

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET

FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
DÉPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie Electrique

Spécialité : Electronique des systèmes embarqués

THÈME

Automatisation et le Smart Farming en Elevage Cunicole

Préparé par : BENDJARA MOHAMED
BOUALEM MUSTAFA

Devant le Jury :

Nom et prénoms	Grade	Qualité
M.ADDA BENATTIA Abderrahmane	(MCB)	Président
M.NASRI Djillali	(Professeur)	Examineur 1
M.GUEMMOUR Djilali (FSNV)	(Professeur)	Examineur 2
M. KOUADRIA	(MCB)	Encadrant

Année Universitaire : 2023 -2024

PROMOTION 2023 /2024

DÉDICACE

Je dédie mon travail à :

Mon père

Ma mère

Mes frères et

sœurs

Mes chères amies

BOUALEM Mustafa

DÉDICACE

A mes chers parents

A mes chers frères

A mes chères sœurs

A mes chers amis

*A toute ma famille pour leur soutien tout au long de
mon parcours universitaire*

BENDJARA Mohamed

Remerciement

Je remercie avant tout ALLAH le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience qui m'ont permis d'accomplir ce petit modeste travail.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon encadreur de mémoire, Dr. Kouadria Mohamed. Je le remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.

Automatisation et Smart Farming en Élevage Cunicole

Résumé- L'élevage cunicole, comme de nombreux filières agricoles, bénéficie grandement des avancées technologiques, qui permettent une surveillance et une gestion plus efficace des exploitations. Ce mémoire porte sur la mise en place d'un système d'automatisation et de smart farming dans l'élevage cunicole. L'objectif est de permettre aux utilisateurs de recevoir des alertes en temps réel et de prendre des décisions immédiates, améliorant ainsi la sécurité et la performance du système, notamment en matière de communication mobile. Un microcontrôleur est utilisé pour contrôler plusieurs paramètres essentiels : le remplissage d'un réservoir d'eau, la température, la luminosité et l'humidité. En cas de dépassement des seuils prédéfinis pour ces paramètres, l'utilisateur reçoit une alerte par SMS via un module GSM. Dans notre cas, la température du système est particulièrement surveillée comme paramètre critique. De plus, une carte de développement ESP32 est utilisée pour sa connectivité Wi-Fi intégrée, permettant un suivi en temps réel des paramètres du système. La validation du système a été réalisée par des simulations et des tests pratiques, ce qui a conduit à une meilleure compréhension de son fonctionnement et de son suivi opérationnel.

Mots-clés : Elevage Cunicole, Automatisation, Communication mobile, SMS, GSM, ESP32.

Automation and Smart Farming in Rabbit Breeding

Abstract - Rabbit farming, like many agricultural sectors, greatly benefits from technological advancements, enabling more effective monitoring and management of operations. This thesis focuses on implementing an automation and smart farming system in rabbit farming. The objective is to enable users to receive real-time alerts and make immediate decisions, thereby enhancing system security and performance, particularly in terms of mobile communication. A microcontroller is utilized to monitor several key parameters: water tank filling, temperature, luminosity, and humidity. In the event of exceeding predefined thresholds for these parameters, the user receives an alert via SMS through a GSM module. In our case, system temperature is particularly monitored as a critical parameter. Additionally, an ESP32 development board is utilized for its integrated Wi-Fi connectivity, enabling real-time monitoring of system parameters. System validation was conducted through simulations and practical tests, leading to a better understanding of its operation and operational monitoring.

Keywords: Rabbit Breeding, Automation, Mobile Communication, SMS, GSM, ESP32.

التحكم والزراعة الذكية في تربية الأرناب

ملخص - تستفيد تربية الأرناب، مثل العديد من الشعب الزراعية الأخرى، بشكل كبير من التطورات التكنولوجية، مما يمكن من مراقبة وإدارة العمليات بشكل أكثر فعالية، فقد تم التركيز في هذه المذكرة على تنفيذ نظام للتحكم التلقائي والذكي في تربية الأرناب. الهدف من ذلك هو تمكين المستخدمين من تلقي تنبيهات في الوقت الحقيقي الآتي واتخاذ قرارات فورية، مما يعزز الأمن والأداء النظامي، لا سيما فيما يتعلق بالاتصالات المحمولة. يُستخدم متحكم صغير لمراقبة عدة معلمات رئيسية: ملء خزان المياه، ودرجة الحرارة، وسطوع الضوء، والرطوبة. ففي حال تجاوز الحدود المحددة مسبقاً لهذه المعلمات، يتلقى المستخدم تنبيهاً عبر الرسائل القصيرة عن طريق وحدة GSM. في حالتنا، يتم مراقبة درجة حرارة النظام بشكل خاص كمعلمة حرجة. بالإضافة إلى ذلك، يُستخدم لوح تطوير ESP32 لاتصاله بتقنية الواي فاي المدمجة، وربطه بقاعدة البيانات على شبكة الانترنت، مما يمكن من مراقبة معلمات النظام في الوقت الحقيقي. تم إجراء التحقق من النظام من خلال المحاكاة والاختبارات العملية، مما أدى إلى فهم أفضل لعمله ومراقبته العملية.

الكلمات المفتاحية: تربية الأرناب، التحكم ، الاتصال المحمول، الرسائل النصية، شبكة الجوال العالمية، ESP32

Table des matières

	Page
Résumé	
Tables des matières	
Introduction générale	1
Chapitre 1 : Fondements et Besoins en Conception de l'Élevage Cunicole	
1.1 Introduction	3
1.2 Présentation de l'élevage cunicole	3
1.2.1 Caractéristiques des élevages de lapins.....	3
1.2.2 Enjeux et défis spécifiques à l'élevage cunicole.....	8
1.3 Élevage Cunicole : Perspectives Globales, Nationales et Locales.....	8
1.3.1. Élevage Cunicole mondial.....	8
1.3.2. Élevage Cunicole local.....	9
1.4 Adoption d'outils technologiques dans l'Élevage cunicole.....	10
1.4.1. Matériel d'élevage utilisé.....	11
1.4.2. Respiration	12
1.4.3 Rôle de la ventilation minimum du bâtiment	12
1.5 Systèmes d'automatisation disponibles.....	13
1.6 Applications de l'automatisation dans différents aspects de l'élevage cunicole.....	13
1.6.1 Étude de la Structure d'un Système d'Alimentation.....	13
1.6.2 Etude de la Structure d'un Système d'abreuvement.....	14
1.6.3 Etude de la Structure des Conditions Environnementales.....	15
I.6 CONCLUSION.....	20
Chapitre2 : Étude des ressources matérielles d'un système de commande à base de microcontrôleurs	
2.1 Introduction.....	21
2.2 Présentation générale de la carte Arduino.....	22
2.2.1 Vue d'ensemble de la carte Arduino.....	22
2.2.2 Diversité des Modèles d'Arduino.....	22
2.2.3 Choix de la carte Arduino.....	24
2.2.4 Caractéristiques de la carte Arduino UNO.....	24

2.2.5 Description des broches principales.....	26
2.3 Présentation générale de la carte ESP32.....	27
2.3.1 Vue d'ensemble de la carte ESP32.....	28
2.3.2 Diversité des Modèles d'ESP32.....	28
2.3.3 Choix de la carte ESP.....	30
2.3.4 Caractéristiques de la carte ESP32.....	30
2.3.5 Description des broches principales d'ESP32.....	31
2.3.6 Comparaison entre Arduino et ESP32	32
2.3.7 Domaines d'applications de la carte ESP32.....	32
2.4 Les périphériques d'entrée.....	34
2.4.1 Capteur de température.....	34
2.4.2 Capteur d'humidité.....	38
2.4.3 Capteur de lumière.....	40
2.4.4 Le capteur ultrasonique.....	41
2.5 Les périphériques de sortie.....	43
2.5.1 Afficheur LCD.....	43
2.5.2 I2C Module.....	43
2.5.3 Module Relais.....	44
2.5.4 Les actionneurs.....	45
2.6 Intégration des technologies de communication.....	45
2.6.1 Technologie de communications GSM.....	45
2.6.2 Communication IoT via Firebase et ESP32.....	48
2.7 Environnements logiciels.....	51
2.7.1 Proteus Isis Pro 8.13.....	51
2.7.2 Arduino IDE.....	51
2.7.3 Android Studio.....	52
2.8 Conclusion.....	53

Chapitre 3 : Réalisation du Système d'Automatisation dans l'Élevage Cunicole

3.1 Introduction.....	54
3.2 Schéma synoptique.....	54
3.2.1 Description du schéma bloc.....	55
3.2.2 Fonctionnement global du système.....	56

3.3 Implémentation de systèmes de mesure et de contrôle : Schémas et fonctionnement.....	57
3.3.1 Fonctionnement du système via la carte Arduino.....	58
3.3.2 Fonctionnement du système utilisant un système de communication mobile....	58
3.3.3 Control automatique de température et d’humidité via carte Arduino.....	62
3.3.4 Control automatique de la lumière via carte Arduino.....	62
3.3.5 Control automatique de capteur Ultrasonique via carte Arduino.....	63
3.4 Fonctionnement du système utilisant les technologies de communication.....	63
3.4.1 Communication mobile avec GSM.....	63
3.4.2 Communication Internet via la carte ESP32 et Firebase.....	64
3.5 Organigramme de fonctionnement.....	67
3.6 Simulations et programmations.....	71
3.6.1 Température.....	71
3.6.2 Humidité.....	73
3.6.3 Lumière.....	76
3.6.4 Réservoir d’eau.....	79
3.7 Conception et réalisation.....	82
3.7.1 Schéma de système via Arduino Uno avec Fritzing.....	82
3.7.2 Schéma de système via ESP32 avec Fritzing.....	82
3.7.3 Réalisation du prototype d'un système d'élevage cunicole intelligent.....	82
3.8 Conclusion.....	83
Conclusion générale.....	85
Références bibliographiques	

Liste des figures

Figure 1.1	Le nouveau mode d'élevage de lapins En France.....	9
Figure 1.2	Elevage cunicole à Tizi Ouzou.....	9
Figure 1.3	Cages mères	11
Figure 1.4	Cages d'engraissement	11
Figure 1.5	Dispositif d'alimentation automatique.....	14
Figure 1.6	Photos de lapins en train de se nourrir.....	14
Figure 1.7	lapin arrosant avec de la tétine.....	15
Figure 1.8	Les panneaux de refroidissement par évaporation.....	18
Figure 1.9	Les panneaux de refroidissement par évaporation.....	18
Figure 1.10	Panneau de refroidissement dans le mur	19
Figure 1.11	l'éclairage artificiel.....	20
Figure 2.1	Différents types de cartes Arduino.....	23
Figure 2.2	Brochage de la carte Arduino UNO.....	26
Figure 2.3	Différents types de cartes ESP.....	29
Figure 2.4	schéma de brochage de l'ESP32.....	31
Figure 2.5	Domaines d'applications de la carte ESP32.....	32
Figure 2.6	Diversité des Modèles de capteurs de température.....	37
Figure 2.7	Diversité des Modèles de capteurs d'humidité.....	38
Figure 2.8	Brochage DHT11.....	39
Figure 2.9	Les types des capteurs de lumière.....	40
Figure2.10	DollaTek Module LDR.....	41
Figure2.11	Capteur HC-SR04.....	42
Figure 2.12	Afficheur LCD 2x16.....	43
Figure 2.13	Module I2C.....	42
Figure 2.14	Module relais à quatre canaux.....	44
Figure 2.15	Les actionneurs.....	45
Figure 2.16	Présentation du module GSM SIM 808	45
Figure 2.17	Module de communication.....	47
Figure 2.18	Types de convertisseurs USB TTL.....	47
Figure 2.19	Installation du pilote USB TTL sous Windows.....	48
Figure 2.20	Logo de Firebase.....	49

Figure 2.21	Google Firebase.....	50
Figure 2.22	Connexion d'ESP32 avec Application Via Firebase.....	51
Figure 2.23	Logo de Proteus.....	51
Figure 2.24	Logo d'Arduino IDE.....	52
Figure 2.25	Logo d'Android Studio.....	52
Figure 2.26	l'IDE Android studio.....	53
Figure 3.1	Structure générale du système à base d'un module GSM.....	54
Figure 3.2	Fonctionnement du système via la carte Arduino.....	58
Figure 3.3	Fonctionnement du système utilisant un système de communication mobile.	58
Figure 3.4	Transmission commande AT.....	61
Figure 3.5	Control de la température via Arduino.....	62
Figure 3.6	Control de l'humidité via Arduino.....	62
Figure 3.7	Control automatique de la lumière via carte Arduino.....	63
Figure 3.8	Control automatique de capteur Ultrasonique via carte Arduino.....	63
Figure 3.9	Fonctionnement du circuit à l'aide d'un système de communication mobile..	64
Figure 3.10	Fonctionnement du circuit via Internet.....	65
Figure 3.11	Google Firebase.....	67
Figure 3.12	Les organigrammes.....	70
Figure 3.13	Schéma de contrôle de la température.....	71
Figure 3.14	Schéma de contrôle de l'humidité.....	74
Figure 3.15	Schéma de contrôle de la lumière.....	77
Figure 3.16	Schéma de contrôle d'un réservoir d'eau.....	79
Figure 3.17	Schéma de système via Arduino Uno avec Fritzing.....	82
Figure 3.18	Schéma de système via ESP32 Uno avec Fritzing.....	82
Figure 3.19	Photo de système réalisé (Prototype).....	83
Figure 3.20	Les différents éléments du système réalisé.....	83

Liste des tableaux

Tableau 1.1	Critère de températures.....	4
Tableau 1.2	Critère d'humidité.....	5
Tableau 1.3	Critère d'éclairage.....	7
Tableau 1.4	critère d'alimentation des lapins.....	7
Tableau 1.5	Mesures d'une cage-mère	11
Tableau 1.6	Besoins en ventilation des lapins en fonction de la température..	15
Tableau 1.7	Niveaux de CO2 et NH3 dans l'environnement.....	15
Tableau 2.1	Comparaison entre Arduino et ESP32	32
Tableau 2.2	Les types de capteurs de température.....	35
Tableau 3.1	AT COMMANDS.....	61
Tableau 3.2	Commandes dédiées au service SMS	62

Introduction Générale

Introduction Générale

Dans le contexte actuel, l'élevage des animaux est devenu une importance essentielle à plusieurs niveaux, touchant à la fois la sécurité alimentaire, l'économie mondiale, la durabilité environnementale et le bien-être humain. Ainsi, avec une population mondiale en constante croissance, la demande en produits d'origine animale, tels que la viande, le lait et les œufs, ne cesse d'augmenter. L'élevage fournit une source importante de nutriments nécessaires pour nourrir la population mondiale.

A cet effet, l'automatisation joue un rôle important dans de nombreux aspects de notre société moderne : l'industrie manufacturière, l'agriculture et bien d'autres domaines. Sa nécessité est devenue de plus en plus évidentes à mesure que nous recherchons des moyens d'améliorer la valeur dans nos opérations quotidiennes.

Encore, l'intégration de l'automatisation dans le domaine de l'élevage des animaux est devenue indispensable et s'avère une nécessité pour répondre aux défis croissants auxquels ce secteur est confronté. En effet, l'automatisation offre une multitude d'avantages parmi lesquelles, la surveillance en permanence des conditions environnementales telles que la température, l'éclairage, la consommation d'eau, l'humidité et la qualité de l'air, ainsi que le comportement et la santé des animaux. Cela permet une détection précoce des problèmes potentiels et une intervention rapide pour prévenir les maladies et les pertes.

De plus, les systèmes de communication mobile ont révolutionné notre manière de travailler dans le monde actuel. Ainsi, parmi les types de communications mobiles exploités dans le domaine industriel, nous avons: les alertes SMS pour avertir les opérateurs, les applications mobiles pour surveiller à distance les machines, la messagerie instantanée pour la coordination rapide des tâches et des urgences, et les applications de suivi des actifs utilisant la connectivité mobile pour localiser et gérer les équipements. Donc, différents modules ou cartes sont employés pour assurer de telles fonctions: Module GSM/GPRS pour les systèmes de contrôle à distance, Module LTE/4G pour une connectivité haut débit, Carte SIM industrielle, Module Wi-Fi pour la communication sans fil,...

Pareillement, l'intégration des technologies de communication mobile dans l'élevage des animaux représente une avancée significative dans le secteur agricole, offrant un avantage pour les éleveurs et les animaux eux-mêmes tel que la surveillance à distance et en temps réel des animaux et de leur environnement grâce à des capteurs et des dispositifs de communication.

Le présent projet se concentre sur l'application de l'automatisation et du smart farming dans l'élevage cunicole, visant à améliorer les performances de fonctionnement de tel système. L'objectif principal est de permettre aux éleveurs de recevoir des alertes en temps réel et de prendre des décisions immédiates grâce à l'utilisation de technologies de communication mobile.

Introduction Générale

Problématique

Malgré les avancées technologiques, la surveillance et le contrôle des paramètres dans l'élevage cunicole à distance restent un défi majeur, où la réactivité est essentielle. Comment l'automatisation et le smart farming peuvent-ils être intégrés de manière optimale dans l'élevage cunicole afin d'améliorer la santé des animaux et la durabilité environnementale, tout en relevant les défis spécifiques liés à ce domaine d'élevage, tels que le contrôle de l'environnement, la gestion de la reproduction et la surveillance sanitaire des lapins ?

Pour relever ce défi, ce projet propose l'utilisation d'un microcontrôleur associé à un module GSM pour permettre le suivi des paramètres liés à l'élevage. La température a été choisie comme paramètre de surveillance critique. En cas de dépassement de la température prédéfinie, une alerte SMS est envoyée à l'utilisateur, lui permettant d'intervenir rapidement.

En outre, l'intégration d'une carte de développement ESP32, avec sa connectivité Wi-Fi intégrée, permet un suivi en temps réel de l'ensemble des paramètres, offrant une partie supplémentaire de surveillance et de contrôle. La validation du système a été réalisée à travers des simulations et des tests pratiques, assurant une compréhension approfondie de son fonctionnement.

En conséquence, le mémoire de master est structuré comme suit :

Ce premier chapitre introduit les lapins et les principes de base nécessaires pour concevoir un élevage cunicole. Nous examinerons les caractéristiques biologiques des lapins et leurs besoins en termes d'habitat, d'alimentation, de santé, ainsi que leurs besoins spécifiques en température, humidité et lumière. Ces informations fourniront une base essentielle pour les techniques d'élevage abordées dans les chapitres suivants.

Ce deuxième chapitre présente le système utilisé dans l'élevage cunicole, d'abord, l'ESP32 connecté au Wifi via Firebase, qui contrôle la maison des lapins en surveillant et régulant les conditions environnementales telles que la température et l'humidité. Ensuite, l'Arduino Uno avec module GSM, utilisé pour la transmission des données et l'envoi d'alertes en temps réel, même en l'absence de connectivité Wifi. Ce chapitre décrit en détail ces composants et leur rôle dans l'automatisation de l'élevage cunicole.

Le dernier chapitre est consacré à la simulation et à la réalisation pratique de nos systèmes de l'élevage cunicole automatisé. Nous testerons l'Arduino Uno avec module GSM en utilisant HyperTerminal et Proteus pour valider la transmission de données par SMS. Ensuite, nous mettrons en œuvre le système ESP32 connecté au Wifi via Firebase pour le contrôle et la surveillance des lapins. Ce chapitre détaillera les étapes de mise en œuvre et les résultats obtenus, culminant avec la réalisation d'un prototype combinant ces technologies.

Chapitre 01

Fondements et Besoins en Conception de l'Élevage Cunicole

Chapitre 01 Fondements et Besoins en Conception de l'Élevage Cunicole

1.1 Introduction

L'élevage cunicole en Algérie, entre tradition et modernité, se présente comme un domaine fascinant. Ce chapitre explore les différentes caractéristiques de ce type d'élevage, du climat idéal pour les lapins aux systèmes d'élevage pratiqués dans le monde et en Algérie. Il analyse ensuite les défis rencontrés par les éleveurs algériens et les potentialités offertes par l'élevage intelligent. En conclusion, il pose les bases d'une réflexion sur l'avenir de cette filière en Algérie, soulignant le rôle crucial de l'innovation pour son développement.

1.2 Présentation de l'élevage cunicole

1.2.1 Caractéristiques d'un élevage des lapins

L'élevage cunicole nécessite une gestion attentive des conditions environnementales pour assurer le bien-être et la productivité des lapins. Parmi ces conditions, la température, l'humidité et la lumière jouent un rôle crucial.

Voici quelques caractéristiques importantes à considérer dans ce domaine [1] [2] [3] :

A. Contrôle strict de la température ambiante

Le contrôle strict de la température ambiante dans un élevage cunicole vise à maintenir des conditions environnementales optimales pour le bien-être et la productivité des lapins. Voici une explication détaillée de ce processus :

➤ Sensibilité des lapins aux variations de température

Les lapins sont des animaux thermosensibles, réagissant significativement aux changements de température dans l'environnement. Ces variations peuvent affecter leur métabolisme, leur comportement alimentaire, leur système immunitaire et leur capacité à réguler leur température.

➤ Conditions optimales pour le bien-être des lapins

Ces conditions varient en fonction du stade de vie des lapins (croissance, reproduction, etc.), généralement entre 18 et 22 degrés Celsius.

- Un environnement trop chaud peut entraîner un stress thermique, une baisse de la consommation d'aliments et des problèmes de reproduction.
- Un environnement trop froid peut causer une diminution de l'activité alimentaire, une croissance lente et une susceptibilité accrue aux maladies.

➤ Valeurs typiques pour différentes phases de la vie des lapins

Lapins en croissance (0 à 6 semaines)

- Température optimale : Environ 20 à 22 degrés Celsius.

Chapitre 01 Fondements et Besoins en Conception de l'Élevage Cunicole

- Raisonement : Les jeunes lapins, plus sensibles aux variations de température, bénéficient d'une température plus élevée pendant leur croissance, favorisant une meilleure conversion alimentaire et une croissance optimale.

Lapins en phase d'élevage (6 à 16 semaines)

- Température optimale : Environ 18 à 20 degrés Celsius.

- Raisonement : Bien que les besoins de température diminuent légèrement avec la maturité, maintenir des conditions stables reste essentiel pour une croissance continue.

Lapins adultes (plus de 16 semaines)

- Température optimale : Environ 16 à 18 degrés Celsius.

- Raisonement : Les lapins adultes peuvent tolérer des températures légèrement plus basses, mais il est crucial de maintenir un environnement confortable, en particulier pendant les périodes de reproduction.

Lapines en période de reproduction

- Température optimale : Environ 18 à 20 degrés Celsius.

- Raisonement : Les lapines en période de reproduction ont des besoins de température similaires à celles en phase d'élevage. Un environnement thermiquement stable soutient la gestation et la lactation.

Phase de vie (Semaines)	Température (°C)
0 → 6	20 à 22
6 → 16	18 à 20
>>16	16 à 18
période de reproduction	18 à 20

Tableau 1.1 Critère de températures

B. Besoins spécifiques en termes d'humidité

Maintenir une humidité relative entre 40% et 60% dans un élevage de lapins est crucial pour garantir leur bien-être, leur santé et leur productivité. Cette plage optimale répond aux besoins des lapins à tous les stades de leur vie, de la croissance à la reproduction, tout en réduisant les risques de problèmes de santé associés à l'humidité [4].

Lapins en croissance (0 à 6 semaines)

- Niveau d'humidité optimal : Environ 50% à 60% d'humidité relative.

- Raisonement : Les jeunes lapins sont plus sensibles aux infections respiratoires et cutanées. Un niveau d'humidité modéré contribue à prévenir la prolifération de moisissures et de bactéries.

Lapins en phase d'élevage (6 à 16 semaines)

- Niveau d'humidité optimal : Maintenir entre 40% et 50% d'humidité relative.

- Raisonement : Des niveaux d'humidité plus bas sont préférables pour éviter les problèmes de pododermatite (ulcères aux pattes) et pour maintenir un environnement plus sec et hygiénique.

Chapitre 01 Fondements et Besoins en Conception de l'Élevage Cunicole

Lapins adultes (plus de 16 semaines)

- Niveau d'humidité optimal : Entre 30% et 40% d'humidité relative.
- Raisonnement : Un niveau d'humidité relativement bas aide à minimiser les risques de maladies respiratoires et cutanées chez les lapins adultes.

Lapines en période de reproduction

- Niveau d'humidité optimal : Entre 40% et 50% d'humidité relative.
- Raisonnement : Maintenir un niveau d'humidité modéré est important pour le confort des lapines gestantes et pendant la période de lactation.

Phase de vie (Semaines)	Humidité (°C)
0 → 6	50% à 60%
6 → 16	40% et 50%
>>16	30% et 40%
période de reproduction	40% et 50%

Tableau 1.2 Critère d'humidité

C. Besoins d'éclairage

L'éclairage est une composante essentielle dans l'élevage des lapins, influençant leur comportement, leur bien-être et leur productivité. Voici des détails en valeur sur l'éclairage pour un élevage de lapins [5]:

Durée d'éclairement quotidienne

- Valeur optimale : Environ 12 à 14 heures de lumière par jour.
- Raisonnement : Les lapins sont des animaux sensibles à la photopériode. Une exposition quotidienne à une durée de lumière appropriée stimule la reproduction, maintient leur activité alimentaire et favorise le bien-être général.

Intensité lumineuse

- Valeur optimale : Entre 20 et 50 lux pour les lapins en général.
- Raisonnement : Les lapins n'ont pas besoin d'une lumière intense, mais une luminosité suffisante est importante pour assurer une vision adéquate et maintenir leur activité.

Cycle lumière/obscurité

- Mettre en place l'obscurité : Généralement, cela pourrait être fait au coucher du soleil, simulant ainsi le cycle naturel.
- Durée de l'obscurité : Les lapins ont besoin d'un temps suffisant pour se reposer. Une période d'obscurité d'au moins 8 heures est souvent recommandée.
- Heure spécifique : Cela dépend de la région géographique, de la saison, et de l'environnement de votre élevage. Par exemple, si le coucher du soleil est à 18h, nous pourrions envisager de fournir de

Chapitre 01 Fondements et Besoins en Conception de l'Élevage Cunicole

l'obscurité à partir de cette heure et maintenir cette obscurité jusqu'au lever du soleil du lendemain matin.

- Raisonement : Un cycle naturel jour/nuit permet aux lapins de réguler leur comportement, de se reposer la nuit et d'être actifs pendant la journée.

Éviter les changements brusques

- Valeur optimale : des transitions douces entre l'obscurité et la lumière.

- Raisonement : Les lapins peuvent être sensibles aux changements brusques de lumière, il est donc important de minimiser les perturbations pour éviter le stress.

Utilisation de la lumière naturelle

- Valeur optimale : Maximiser l'utilisation de la lumière naturelle lorsque c'est possible.

- Raisonement : La lumière naturelle offre des avantages supplémentaires et contribue au bien-être des lapins.

Positionnement des sources lumineuses

- Valeur optimale : Des sources lumineuses bien réparties pour éviter les zones d'ombre.

- Raisonement : Assurer une distribution uniforme de la lumière dans l'ensemble de l'espace d'élevage pour minimiser le stress et favoriser l'activité des lapins.

	Valeur optimale	Raisonement
Durée d'éclairement quotidienne	12 à 14 heures par jour	Une exposition quotidienne à une durée de lumière appropriée stimule la reproduction, maintient l'activité alimentaire et favorise le bien-être général des lapins.
Intensité lumineuse	20 à 50 lux	Une luminosité suffisante assure une vision adéquate et maintient l'activité des lapins, sans nécessité d'une lumière intense.
Cycle lumière/obscurité	Transition douce entre l'obscurité et la lumière	Un cycle jour/nuit permet aux lapins de réguler leur comportement, de se reposer la nuit et d'être actifs pendant la journée.
Durée de l'obscurité	Au moins 8 heures	Une période d'obscurité suffisante permet aux lapins de se reposer.
Utilisation de la lumière Naturelle	Maximiser l'utilisation de la lumière naturelle	La lumière naturelle contribue au bien-être des lapins.
Positionnement des sources lumineuses	Répartition uniforme des sources lumineuses	Une distribution uniforme de la lumière minimise le stress et favorise l'activité des lapins en

évitant les zones d'ombre.

Tableau 1.3 Critère d'éclairage

D- Besoins nutritifs

Les besoins nutritives des lapins varient en fonction de leur stade de vie, de leur poids, de leur santé et d'autres facteurs. Voici des détails en valeur sur les principaux aspects des besoins d'alimentation des lapins :

- Protéines : Les lapins ont besoin d'une alimentation riche en protéines, en particulier lors de la croissance et de la reproduction.
- Valeur optimale : Environ 16% à 18% de protéines dans l'alimentation des lapins en croissance et reproduction.
- Fibres : Les fibres sont cruciales pour la digestion et la santé gastro-intestinale des lapins.
- Valeur optimale : Environ 18% à 25% de fibres dans l'alimentation des lapins adultes.
- Lipides : Les lipides fournissent de l'énergie, mais une quantité modérée est recommandée.
- Valeur optimale : Environ 3% à 5% de lipides dans l'alimentation.

Apports nutritifs

- Lapins en croissance : La quantité d'alimentation dépend du poids et de la race, mais en général, les lapins en croissance consomment plus.
- Valeur optimale : Environ 100 à 200 grammes d'aliment par jour pour les lapins en croissance, ajustés en fonction du poids.
- Lapins adultes : La quantité d'alimentation peut varier en fonction du poids, de l'activité et de la saison.
 - Valeur optimale : Environ 100 à 150 grammes d'aliment par jour pour les lapins adultes, ajustés en fonction du poids.

Fréquence d'alimentation

- Lapins en croissance : Les lapins en croissance peuvent être nourris 02 fois par jour.
- Lapins adultes : Les lapins adultes peuvent être nourris 01 à 02 fois par jour.

	Lapins en croissance	Lapins adultes
Quantité d'aliment	100-200 g/jour	1-2 fois par jour
Fréquence d'alimentation	2 fois par jour	1-2 fois par jour

Tableau 1.4 Critère d'alimentation des lapins

Variété d'aliments

- Les lapins bénéficient d'une variété d'aliments, y compris du foin de qualité, des légumes verts et des granulés commerciaux.
- Valeur optimale : Environ 70% à 80% de foin, 10% à 15% de granulés, et 10% à 20% de légumes verts.

Chapitre 01 Fondements et Besoins en Conception de l'Élevage Cunicole

E- Besoins d'eau

- Valeur optimale : Les lapins doivent avoir accès à de l'eau fraîche en permanence.
- Valeur optimale : Environ 100 à 150 ml d'eau par kilogramme de poids corporel par jour.

1.2.2 Enjeux et défis spécifiques à l'élevage cunicole

Les enjeux et défis de l'élevage de lapins peuvent être divers et inclure des aspects tels que la santé, la productivité, la durabilité environnementale, et le bien-être animal. Voici quelques-uns des enjeux et défis courants :

- **Santé et maladie** : Les maladies infectieuses et parasitaires peuvent affecter gravement les populations de lapins. La gestion efficace de la santé, y compris la prévention des maladies et la gestion des infections, est essentielle pour maintenir la productivité.
- **Génétique et sélection** : La génétique et la sélection chez les lapins visent à améliorer leur croissance, la qualité de leur viande et leur résistance aux maladies. Des programmes de sélection et le séquençage du génome ont permis d'augmenter leur résistance à des maladies comme la myxomatose, réduisant ainsi la mortalité due aux infections [6].
- **Alimentation et nutrition** : Assurer une alimentation équilibrée et nutritive pour les lapins est crucial pour leur croissance, leur santé et leur reproduction. Les défis incluent la formulation d'aliments adaptés aux besoins spécifiques des lapins et la gestion des coûts des aliments [7].
- **Bien-être animal** : Le bien-être animal est un enjeu majeur dans l'élevage de lapins, avec des attentes croissantes de la part de la société concernant les conditions de vie des animaux. Les logements actuels en cages grillagées ne correspondent plus aux attentes des consommateurs, ce qui pousse la filière cunicole à envisager des systèmes de production alternatifs [6].
- **Durabilité environnementale** : L'évaluation récente de l'impact environnemental global de la cuniculture a été justifiée par des analyses du cycle de vie, prenant en compte à la fois les effets associés à la production alimentaire et les impacts directs de l'élevage des animaux [6].

1.3 Élevage Cunicole : Perspectives mondiales, Nationales et Locales

1.3.1 Élevage Cunicole mondial :

L'élevage de lapins s'est développé avec l'introduction de nouvelles pratiques telles que l'utilisation de cages grillagées, l'adoption d'une alimentation granulée et l'élevage de races spécifiques telles que les lapins Blancs de races Néo-Zélandaise et Californienne, sélectionnées pour leur productivité et leur adaptabilité à l'élevage en cage [8].

Les avancées dans les pratiques d'élevage ont conduit à une amélioration des performances des lapins et à une expertise accrue dans les techniques d'élevage. De plus, la gestion alimentaire et les progrès génétiques ont entraîné une nette augmentation de la productivité.



Figure 1.1 *Le nouveau mode d'élevage de lapins En France [9]*

1.3.2 Élevage Cunicole local

En Algérie, l'élevage des lapins remonte à une période ancienne et était principalement pratiqué de manière traditionnelle, selon des méthodes de type fermier qui perdurent encore aujourd'hui.

Ce n'est qu'à partir de 1987 que l'introduction de l'élevage moderne a été entreprise, sous l'impulsion de l'État, dans le dessein d'accroître la consommation de protéines animales au sein de la population algérienne. Cette transition vers des pratiques d'élevage plus rationalisées a été précédée par l'importation de reproducteurs hybrides [8].



Figure 1.2 *Elevage cunicole à Tizi ouzouref ; reportage de la chaine NoumediyaReportage TV sur la cuniculture chez monsieur Bouhadoun25/08/2015 [10]*

Chapitre 01 Fondements et Besoins en Conception de l'Élevage Cunicole

1.3.2.1 La production algérienne de viande de lapin

La production de viande de lapin en Algérie est estimée à 27 000 tonnes par an et pourrait être fortement augmentée compte tenu de la demande. Le développement de la production de lapin en Algérie nécessite au préalable une caractérisation des populations existant dans le pays. Leur évaluation peut être réalisée par le contrôle des performances de croissance et de reproduction de ces animaux en élevage rationnel. Des déterminations ont déjà été faites, mais essentiellement dans le domaine de la croissance, Le niveau de consommation est essentiellement par les producteurs, à laquelle on peut rajouter la vente en circuits courts, parents, voisins... Mais la viande de lapin paraît bien acceptée et se trouve sur les marchés urbains, par exemple dans la région de Constantine [11].

1.3.2.2 Contraintes à l'élevage du lapin

Il y'a une faible disponibilité de données sur la filière lapin en terme d'effectifs, de systèmes d'élevage, de race, des prix pratiqués sur les marchés. L'élevage cunicole est une activité secondaire pratiquée par les agriculteurs, les fonctionnaires en activité et, les salariés du secteur privés et bien d'autres catégories socioprofessionnelles. Il ya un très faible investissement dans l'exploitation de l'élevage cunicole. En termes de marché on note des difficultés d'écoulement, d'approvisionnement, une variabilité des prix de cession de lapin par manque d'organisation des producteurs. Il y'a un faible accès à l'information sur le marché du lapin. Les mortalités élevées ont été constaté qui s'explique par la méconnaissance et la non maîtrise de la gestion des exploitations cunicoles [12].

1.4 Adoption d'outils technologiques dans l'Élevage cunicole

Un élevage rationnel peut se constituer de plusieurs bâtiments ou être entièrement installé dans un seul bâtiment divisé en plusieurs salles indépendamment de l'importance de l'élevage [12], les bâtiments comportent plusieurs pièces ou cellules :

1. Les reproducteurs logent dans la maternité
2. Leurs petits après sevrage sont transférés en engraissement. Lebas (2009) souligne que la construction d'un bâtiment pour lapin doit répondre aux fonctions de l'élevage : Assurer la protection des lapins vis-à-vis de son environnement (pluie, vent, soleil, froid...)
3. Permettre à l'éleveur de soigner ses animaux (largeur d'allées,)
4. Assurer une facilitée entrées-sorties de lapins vivants ou morts de bâtiment (hygiène).
5. Permettre l'entrée des aliments.
6. Permettre une évacuation des déjections facile et hygiénique.
7. Etre facile à nettoyer et à désinfecter.
8. Etre le mieux isolé possible pour limiter les déperditions de chaleur en hiver et restreindre les entrées de chaleur excessives en été.
9. Etre d'un prix de revient compatible avec la rentabilité de la production cunicole.

Chapitre 01 Fondements et Besoins en Conception de l'Élevage Cunicole

1.4.1 Matériels d'élevage utilisé

Le choix du matériel utilisé est toujours en fonction de la destination et l'objectif économique de l'éleveur. Le clapier doit contenir un matériel spécifique dont on trouve :

- Des cages grillagées en métal car ce type de matériel est facile à nettoyer, léger et permet une surveillance des animaux, surtout pour la litière source de contamination.
- Des abreuvoirs automatiques (pipettes), et des mangeoires (trémie).
- Des boîtes à nids en bois se trouvent à l'extérieur ou à l'intérieur des cages.

1.4.1.1 Les cages

La disposition des cages a une influence directe sur l'accessibilité, la surveillance et le confort des animaux, ainsi que sur les facilités d'évacuation des déjections [13].

- La cage-mère, définie précédemment, correspond donc à une place de lapine reproductrice active dans une cage équipée d'une boîte à nid, ouverte ou fermée en plastique ou bois ou fer.

	Mesures
Surface	1/3 m ²
Hauteur	30 cm
Diamètre de fil	2.0 à 2.45mm
Dimension de la maille	13 × 169 mm 13 × 76 mm

Tableau 1.5 Mesures d'une cage-mère

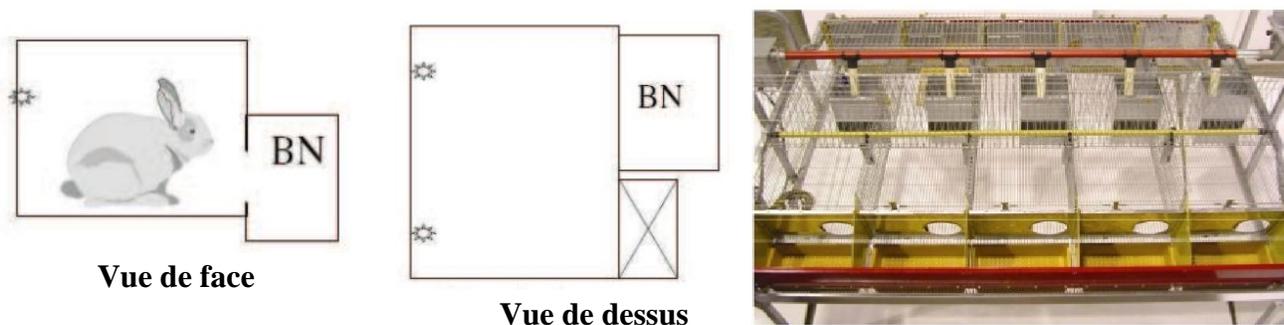


Figure 1.3 Cages mères [13]

- Les cages d'engraissement destinées à l'élevage des lapereaux de leur sevrage à leur abattage (Figure 1.4).

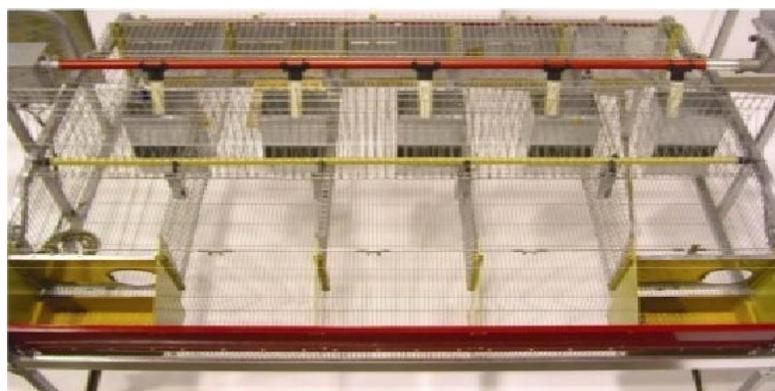
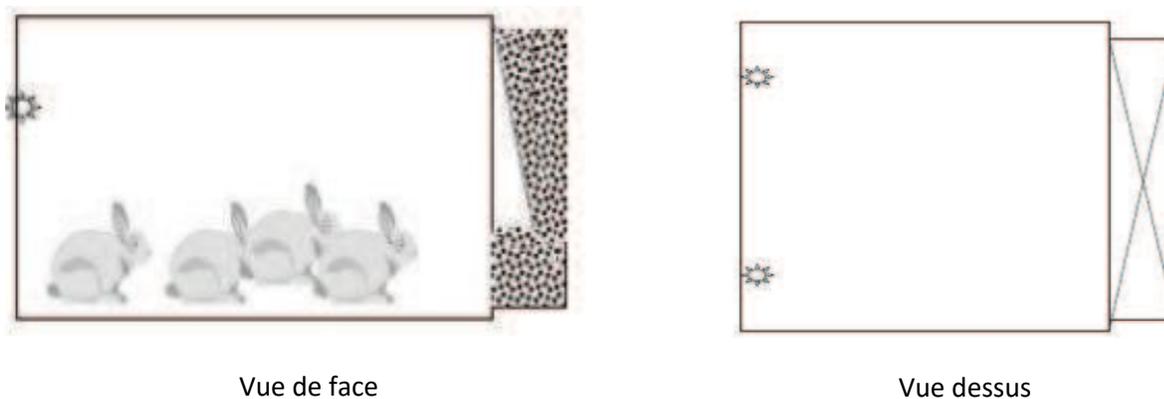


Figure 1.4 Cages d'engraissement [13]

1.4.2 Respiration

A chaque inspiration "normale", un lapin adulte de 4kg inspire environ 21 ml d'air (de 19 à 24 ml selon les individus), et le volume pulmonaire résiduel est d'environ 12 à 15 ml. Compte tenu d'un rythme respiratoire moyen de 90 respirations par minute, le volume inspiré puis expiré par un lapin représente environ 1,8 à 2,0 litres d'air par minute ou 110 à 120 litres par heure. Cet air sert à exporter environ 2 litres de CO₂ par heure et à évaporer les 3 à 4 grammes d'eau déjà mentionnés.

1.4.3 Rôle de la ventilation minimum du bâtiment :

La ventilation minimum du bâtiment (1 m³ /kg de PV et /heure) sert principalement à évacuer l'eau émise par la respiration et par le fait même elle évacue le gaz carbonique produit (CO₂). En effet ce dernier ne représente que 50 ppm de l'air renouvelé alors que le lapin supporte sans gêne respiratoire des teneurs allant de 1000 et 1500 ppm de CO₂ dans l'air qu'il respire [14].

Chapitre 01 Fondements et Besoins en Conception de l'Élevage Cunicole

1.5 Systèmes d'automatisation disponibles

Cette partie examine les recommandations technologiques dans la production de lapins, en mettant l'accent sur les conditions de logement les facteurs tels que la taille de la cage, le type de sol, le microclimat, l'éclairage et l'enrichissement environnemental sont discutés.

Des recommandations pour améliorer les conditions de logement afin d'assurer le bien-être animal et la productivité sont fournies.

Les recherches sur l'effet des systèmes de logement sur le bien-être des lapins sont encore en cours, avec l'élevage en groupe étant le meilleur choix pour les lapins d'engraissement.

Des systèmes de logement alternatifs pour les animaux reproducteurs devraient être développés pour améliorer le bien-être et la survie et des investigations supplémentaires sont aussi nécessaires sur les dimensions des cages, l'équipement et les types de sol pour éviter les comportements anormaux et une mauvaise hygiène.

Diverses études et directives ont été publiées sur le logement des lapins et l'enrichissement environnemental pour améliorer le bien-être et le comportement [15].

Il existe plusieurs systèmes d'automatisation disponibles dans l'élevage des lapins, notamment :

1. Un système automatisé de cage pour lapins avec alimentation, eau, régulation de la température, pulvérisation de désinfectant et mesure des niveaux de déchets.
2. Un système automatique pour l'alimentation, l'abreuvement, le contrôle de la température et la surveillance des niveaux de gaz de fumier de lapin dans la cage.
3. Un système de nettoyage automatisé des déchets de lapin connecté à un réceptacle de déchets via une application smartphone [16].

1.6 Applications de l'automatisation dans différents aspects de l'élevage cunicole

L'automatisation est largement utilisée dans différents aspects de l'élevage cunicole, notamment pour la distribution automatique de nourriture et de l'eau, le contrôle de la température des cages, la pulvérisation de désinfectants et la mesure des niveaux de déchets des lapins. Ces systèmes fonctionnent automatiquement selon des horaires prédéfinis, peuvent être contrôlés manuellement à distance via un microcontrôleur, et sont équipés pour stocker les données de mesure dans une base de données [16].

1.6.1 Étude de la Structure d'un Système d'Alimentation

L'étude de la structure d'un système d'alimentation dans l'élevage des lapins est essentielle pour garantir une alimentation adéquate et automatisée. Cette étude implique l'analyse des composants nécessaires tels que les distributeurs automatiques de nourriture, les systèmes de contrôle de l'alimentation, les capteurs de niveau de nourriture, et les mécanismes de distribution. La conception de ce système doit prendre en compte la quantité et la fréquence d'alimentation requises pour les lapins, ainsi que la facilité d'accès pour la maintenance et le nettoyage [16].

Chapitre 01 Fondements et Besoins en Conception de l'Élevage Cunicole

L'alimentation automatique précise comprend une nourriture quantitative et un arrosage régulier. Comme le montre la figure, la vanne peut être ouverte jusqu'à un certain espace en fonction de la nourriture consommée, puis le convoyeur peut être entraîné par un moteur pour distribuer la nourriture pour lapin. Lorsque le convoyeur s'arrête, le chariot est entraîné sur une certaine distance et des espaces peuvent apparaître. Chaque lapin a un espace qui garantit la même dose. L'ensemble du processus est effectué automatiquement. La **figure 1.5** montre le processus réel d'alimentation du lapin. La nourriture restante peut être pesée et les données peuvent être envoyées à l'ISMP et aux administrateurs, ce qui permet de déterminer si les lapins sont malades [17].

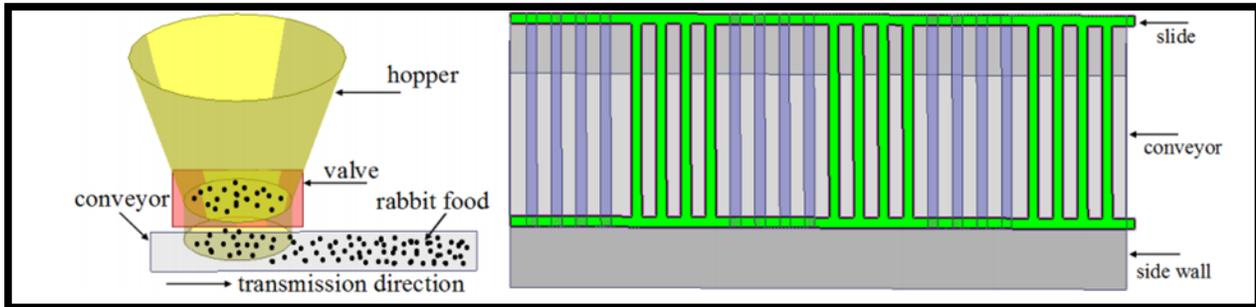


Figure 1.5 Dispositif d'alimentation automatique

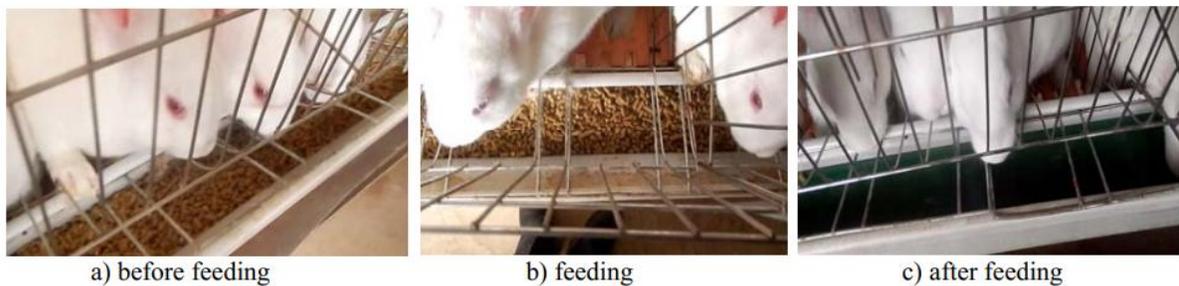


Figure 1.6 Photos de lapins en train de se nourrir

1.6.2 Etude de la Structure d'un Système d'abreuvement

L'abreuvement des lapins est effectué de manière automatique à travers un système intelligent basé sur l'Internet, fournissant de l'eau selon un horaire prédéfini et des quantités spécifiques. Ce système intelligent est conçu pour assurer un approvisionnement régulier en eau en fonction des besoins des lapins et des conditions environnementales. Il contribue à améliorer les soins aux lapins et à garantir une fourniture efficace de leurs besoins en eau.

Un arrosage régulier peut être réalisé par des minuteries. Les administrateurs peuvent modifier l'heure d'abreuvement des lapins. Le système contrôle une pompe pour injecter de l'eau dans les tuyaux à heure régulière. La figure 4 montre l'image d'un lapin abreuvé régulièrement.

Chapitre 01 Fondements et Besoins en Conception de l'Élevage Cunicole

Une alimentation quantitative et un abreuvement régulier garantissent que les lapins grandissent à la même vitesse, que l'incidence des maladies gastro-intestinales diminue fortement, que le taux de survie augmente dans une certaine mesure et que la qualité de la viande et de la fourrure du lapin s'améliore.



Figure 1.7 *lapin arrosant avec de la tétine*

1.6.3 Etude de la Structure des Conditions Environnementales

L'étude de la structure des conditions environnementales telles que l'humidité, la température et la lumière est essentielle pour comprendre leur impact sur l'élevage des lapins. Ces variables sont interdépendantes et peuvent influencer le bien-être et la productivité des lapins. Par exemple, des niveaux adéquats d'humidité et de température sont nécessaires pour éviter le stress thermique chez les lapins, tandis que l'éclairage peut affecter leur comportement et leur cycle de reproduction [18].

1.6.3.1 Etude de l'humidité

L'étude de la structure de l'humidité dans l'élevage des lapins est cruciale pour comprendre son impact sur le bien-être des animaux. Des recherches ont montré que l'humidité relative est un facteur important, avec des niveaux optimaux recommandés entre 60% et 65% pour assurer des conditions favorables aux lapins. Une humidité constante est préférable pour éviter les problèmes de santé, et une ventilation adéquate est nécessaire pour évacuer les gaz nocifs et maintenir des niveaux d'humidité appropriés [19].

Les technologies utilisées pour réguler l'humidité dans l'élevage des lapins comprennent l'intégration de la technologie de l'internet des objets (IoT) pour surveiller en temps réel les niveaux d'humidité dans les cages des lapins. Cela peut être réalisé en installant des capteurs d'humidité connectés à un réseau IoT, permettant ainsi un contrôle à distance et une surveillance continue des conditions d'humidité. De plus, l'utilisation de systèmes de ventilation négative à rideaux humides et de ventilation à pression négative peut contribuer à maintenir des niveaux d'humidité appropriés dans l'environnement des lapins [20].

1.6.3.2 Etude de la température

Chapitre 01 Fondements et Besoins en Conception de l'Élevage Cunicole

Gestion de la ventilation et du chauffage en élevage cunicole

L'étude de la structure de la température dans l'élevage des lapins est essentielle pour comprendre son impact sur le bien-être des animaux. Des recherches ont montré que la modélisation de la température dans la maison des lapins est complexe en raison des phénomènes physiques et physiologiques impliqués. La méthode de l'équilibre thermique en régime permanent a été appliquée pour modéliser la température intérieure de la maison des lapins, en tenant compte des échanges thermiques entre la température corporelle du lapin et l'environnement ambiant [20] [21].

Maitriser la ventilation et le chauffage, c'est offrir aux lapins les conditions thermiques et la qualité de l'air optimales, quelles que soient les conditions climatiques extérieures, afin qu'ils expriment au mieux leur potentiel de production, en étant en bonne santé.

Les paramètres qui conditionnent le confort thermique ressenti par le lapin sont la température ambiante corrigée par l'hygrométrie et la vitesse d'air au niveau des animaux.

La qualité de l'air dépend de la concentration en :

- ammoniac (NH_3) produit par la déjection, lors de la décomposition de l'acide urique,
- dioxyde de carbone (CO_2) produit par les animaux et le chauffage en cas de combustion directe
- monoxyde de carbone (CO), directement lié aux systèmes de chauffage des bâtiments

La ventilation du bâtiment a pour objectif essentiel de conserver une ambiance saine en évacuant les gaz nocifs (Ammoniac, CO_2 , ...), l'excès d'humidité et/ou de chaleur produits par les animaux.

Une mauvaise gestion de ces paramètres d'ambiance peut conduire à l'apparition de troubles respiratoires (coryza, pasteurellose,..), dont les conséquences sont non négligeables (baisse de production, usage d'antibiotiques, mortalité). En effet, le lapin respire uniquement par le nez ce qui explique que toute atteinte des voies respiratoires supérieures impacte directement l'intégrité de l'animal, voire sa survie.

Maitrise de l'ambiance dans mon bâtiment « les recommandations »

La ventilation fait référence

- au renouvellement d'air,
- au déplacement de l'air dans la salle (circuit)
- à la vitesse d'air

Le débit de ventilation est directement dépendant de la température ambiante, les recommandations de débit et de vitesse d'air se font donc principalement en fonction de la température

Chapitre 01 Fondements et Besoins en Conception de l'Élevage Cunicole

Température (en °C)	Vitesse d'air (en m/s) au niveau des animaux	Débit de ventilation (m ³ /h/kg poids vif)
<15	0,10 - 0,15	0,8-1,5
16-18	0,15 - 0,20	2-2,5
19-22	0,20-0,30	2,5-3
>25	Jusqu'à 0,40	Jusqu'à 3,5 (4 sans pad cooling)

Tableau 1.6 Besoins en ventilation des lapins en fonction de la température

Plus la température est basse, plus l'air doit être sec et se déplacer lentement. Le lapin est particulièrement sensible à la vitesse de l'air qui ne pourra dépasser 0,30 m/s au niveau des animaux que si la température est supérieure à 24-25°C

Dioxyde de carbone (CO ₂)	Ammoniac (NH ₃)
< 1500 ppm à hauteur des animaux	< 10 ppm à hauteur des animaux

Tableau 1.7 Niveaux de CO₂ et NH₃ dans l'environnement

NH₃ si >10 ppm altération de l'intégrité des voies respiratoires supérieures

Situations à risque pour la gestion de l'ambiance [21]

- Climat de la mi-saison (printemps et automne) : changement brutaux de conditions atmosphériques provoquant de fortes variations de température dans la journée.
- Absence de chauffage en maternité ou engraissement durant l'hiver induisant un faible renouvellement de l'air, ainsi qu'une dégradation de l'indice de consommation
- Coups de chaleur ou température très élevée durant l'été

Pad Cooling

Le système PAD COOLING est un autre système de refroidissement très utilisé en élevage. Ils sont utilisés dans les bâtiments dynamiques.

Une circulation d'eau par gravité est créée dans des panneaux refroidissants alvéolés, en cellulose ou en plastique, et installés aux entrées d'air. L'air entrant est alors refroidi et humidifié [22].

Le principe est celui d'un refroidissement adiabatique, efficace dans les climats chauds et secs. Il consiste à refroidir l'air extérieur en le faisant circuler à travers des panneaux (pads) composés de feuilles en cellulose alvéolaire ondulées et collées. Ces pads sont positionnés en façade de la serre et

Chapitre 01 Fondements et Besoins en Conception de l'Élevage Cunicole

humidifiés en continu. Au contact de l'eau, l'air se charge en humidité, Un système de pompage distribue l'eau dans les pads. Une partie de l'eau s'évapore sous l'action des ventilateurs. L'eau restante est collectée dans une gouttière au bas du mur puis stockée dans des réservoirs avant d'être recyclée.



Figure 1.8 *Les panneaux de refroidissement par évaporation [23]*

Cubes de refroidissement

Les cubes de refroidissement (Cool-Box) suivent le même principe de fonctionnement que les Pads mais sont des unités externes accolées à la serre.



Figure 1.9 *Les panneaux de refroidissement par évaporation*

Brouillard Haute Pression

Le brouillard haute pression (Fog HP) émet de fines gouttelettes d'eau qui se vaporisent au contact de l'air chaud et le force ainsi à se refroidir.

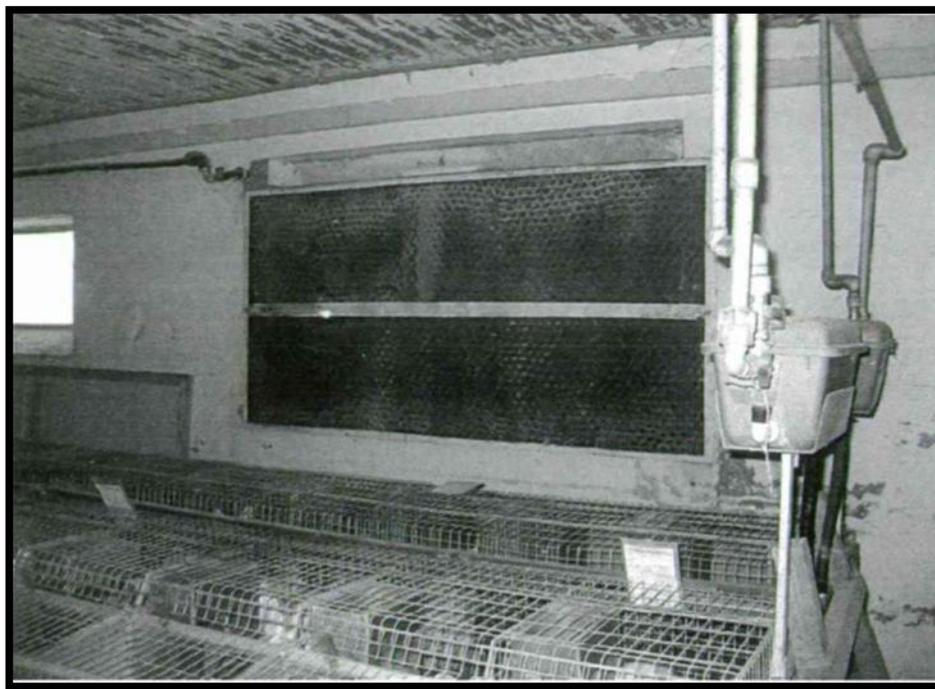


Figure 1.10 *Panneau de refroidissement dans le mur* [23]

1.6.3.3 Etude de la lumière

En cuniculture, l'éclairage artificiel joue également un rôle important pour optimiser les conditions d'élevage des lapins, l'éclairage artificiel peut être utilisé pour compenser les variations saisonnières de lumière naturelle et influencer la reproduction des lapins. Le choix du bon luminaire revêt donc une importance significative pour les éleveurs de lapins.

Après la transition du marché des ampoules à incandescence et des ampoules halogènes vers des alternatives plus efficaces sur le plan énergétique, comme les ampoules fluo-compactes et les LED, les éleveurs en cuniculture se trouvent confrontés à des choix similaires en matière d'éclairage. Ces nouvelles technologies offrent diverses options en termes de spectre lumineux, de température lumineuse et d'efficacité énergétique, ce qui nécessite une évaluation minutieuse pour choisir le luminaire le plus adapté à leurs besoins spécifiques.

Les facteurs à prendre en considération pour choisir le bon luminaire en cuniculture incluent le type de luminaire (ampoules fluo-compactes ou LED), les caractéristiques du spectre lumineux (par exemple, la lumière blanche ou la lumière rouge pour simuler le cycle jour-nuit), la température

Chapitre 01 Fondements et Besoins en Conception de l'Élevage Cunicole

lumineuse ajustable, l'efficacité énergétique pour réduire les coûts d'exploitation, la durabilité et la fiabilité du luminaire, ainsi que le confort visuel pour les lapins [24].

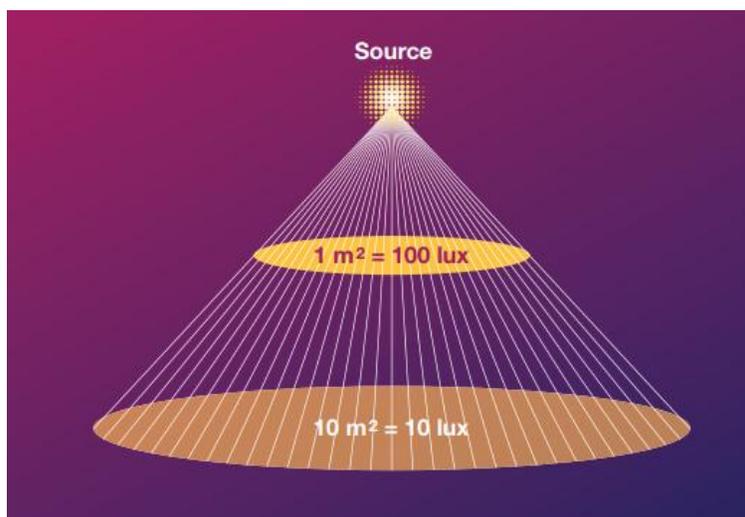


Figure 1.11 *l'éclairage artificiel*

I.6 CONCLUSION

En conclusion, ce chapitre a posé les bases de l'élevage cunicole, soulignant l'intérêt d'un élevage intelligent pour optimiser la production et le bien-être des lapins. L'essor du marché mondial du lapin ouvre des perspectives prometteuses aux éleveurs. L'élevage intelligent, grâce aux technologies de pointe, permet une gestion optimisée de l'élevage, se traduisant par une meilleure surveillance, une prise de décision plus précise et une augmentation de la productivité. Le chapitre suivant explorera en détail les outils et technologies mis en jeu dans l'élevage cunicole intelligent.

Chapitre 02

Étude des ressources matérielles d'un
système de commande à base de
microcontrôleurs

2.1 Introduction

Ce chapitre se concentre sur le développement d'un système d'élevage cunicole intelligent, basé sur l'utilisation des technologies Arduino et GSM, ce système proposé pour pouvoir surveiller en temps réel la température et l'humidité dans l'enclos des lapins, ajuster l'éclairage en fonction des besoins et assurer une gestion optimale des niveaux d'eau dans le réservoir.

La technologie GSM permet d'envoyer des alertes et des notifications à distance, informant l'éleveur de tout changement critique nécessitant une intervention immédiate.

Nous débuterons par une présentation générale de l'architecture du système, détaillant les différents composants et leur interconnexion. Cette section décrira les capteurs utilisés pour la mesure de la température, de l'humidité, de la luminosité et du niveau d'eau, ainsi que les actionneurs pour le contrôle des dispositifs associés. Ensuite, nous explorerons les aspects techniques de la mise en œuvre, y compris la programmation des microcontrôleurs Arduino et l'intégration du module GSM pour les communications.

Afin de renforcer les fonctionnalités et la performance du système, une amélioration sera proposée en intégrant la carte ESP32 et Firebase. L'ESP32, avec ses capacités Wi-Fi et Bluetooth intégrées, permettra une connexion plus stable et des mises à jour en temps réel. En outre, l'utilisation de Firebase comme base de données en temps réel et une application Android sera développée pour permettre aux éleveurs de surveiller et contrôler les conditions environnementales directement depuis leur smartphone, offrant une interface utilisateur conviviale et accessible à distance.

L'intégration des technologies Arduino, GSM, ESP32 et Firebase, couplée à une application Android, offrira une solution moderne et performante pour les éleveurs cherchant à optimiser leurs opérations et à assurer le bien-être de leurs animaux.

2.2 Présentation générale de la carte Arduino

2.2.1 Vue d'ensemble de la carte Arduino

La carte Arduino est un outil électronique utilisé pour créer une variété de projets interactifs. Elle est dotée d'un microcontrôleur programmable et de nombreuses broches d'entrée/sortie (E/S) qui permettent de connecter différents composants électroniques, tels que des capteurs et des actionneurs. Grâce à son langage de programmation accessible et à son environnement de développement facile d'utilisation, l'Arduino est largement reconnue pour sa polyvalence et est utilisée dans divers domaines, à savoir : Biologie, Physique, Chimie, Médecine, Géologie, Ingénierie, Ces exemples montrent la diversité des applications de l'Arduino dans le domaine scientifique, où elle est utilisée pour des expériences, des mesures, des contrôles, et bien d'autres applications encore.

2.2.2 Diversité des Modèles d'Arduino

Nous citons ci-dessous quelques-unes des séries de cartes Arduino par type de microcontrôleur, chacune offrant une variété d'options pour répondre aux besoins spécifiques des projets.

1. Le microcontrôleur ATmega328

- Arduino Uno
- Arduino Nano
- Arduino Duemilanove
- Arduino Bluetooth

2. Le microcontrôleur ATmega168

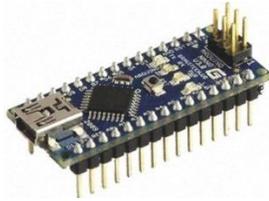
- Arduino Mini
- Arduino Nano
- Arduino LilyPad
- Arduino NG Plus
- Arduino Duemilanove

3. Le microcontrôleur ATmega1280

- Arduino Mega

3. Le microcontrôleur ATmega3284

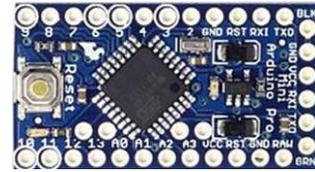
- Arduino Leonardo



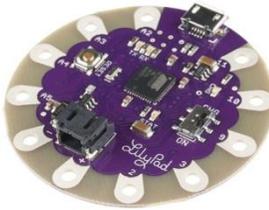
Arduino Nano



Arduino Duemilanove



Arduino Pro Mini



Arduino LilyPad



Arduino NG



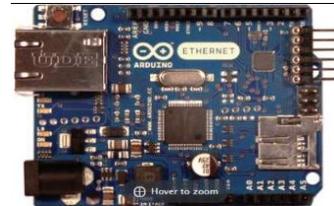
Arduino Mega 2560 Rev3



Arduino Leonardo



Leonardo BLUETOOTH



Arduino ETHERNET



Arduino DUE

Figure 2.1 Différents types de cartes Arduino

2.2.3 Choix de la carte Arduino

Parmi ces types, nous avons choisi la carte Arduino UNO. Le choix de cette carte est fait pour plusieurs raisons :

1. L'ArduinoUno est une **carte polyvalente** qui convient à notre projet. Elle offre un nombre de broches d'E/S suffisant, ce qui facilite son utilisation.
2. L'ArduinoUno est **largement disponible** dans le commerce, ce qui en fait un choix pratique pour notre projet.
3. Comparée à d'autres cartes Arduino, l'ArduinoUno est relativement abordable, ce qui la rend plus accessible en termes de prix.
4. L'ArduinoUno offre une **capacité mémoire** adéquate pour notre projet. Les programmes nécessaires au fonctionnement du système ne dépassent généralement pas sa capacité, ce qui en fait une option fiable pour nos besoins.

2.2.4 Caractéristiques de la carte Arduino UNO

Les caractéristiques principales de la carte ArduinoUno sont les suivantes [25]:

1. **Microcontrôleur:** Utilise un microcontrôleur ATmega328P fonctionnant à 16 MHz.
2. **Mémoire:** Dispose de 32 Ko de mémoire flash pour le stockage du programme, dont 0,5 Ko sont utilisés par le bootloader. Elle comprend également 2 Ko de mémoire SRAM et 1 Ko de mémoire EEPROM.
3. **Broches d'E/S:** Offre 14 broches d'entrée/sortie numériques (dont 6 peuvent être utilisées en sortie PWM) et 6 broches d'entrée analogiques.
4. **Interfaces:** Possède une interface USB pour la connexion à un ordinateur, un connecteur d'alimentation, un connecteur ICSP pour la programmation hors ligne, et des broches d'alimentation 5V et 3.3V.
5. **Alimentation:** Peut être alimentée via le câble USB, une source d'alimentation externe de 7 à 12 V ou une batterie.
6. **Tension de fonctionnement:** Fonctionne avec une tension de 5V.
7. **Compatibilité:** Compatible avec la plupart des shieldsArduino et des accessoires.

Les shields Arduino couramment utilisés permettant d'étendre les fonctionnalités de l'Arduino [26]:

- **Shield Ethernet** : Permet de connecter l'Arduino à un réseau Ethernet pour la communication Internet.
- **Shield WiFi** : Ajoute une connectivité Wifi à l'Arduino, permettant la communication sans fil.
- **Shield GSM/GPRS**: Permet à l'Arduino d'accéder au réseau GSM pour la communication mobile.
- **Shield Bluetooth** : Ajoute une connectivité Bluetooth à l'Arduino pour la communication sans fil avec d'autres appareils.
- **Shield GPS** : Permet à l'Arduino de recevoir des signaux GPS pour la localisation et la navigation.
- **Shield écran LCD** : Facilite l'ajout d'un écran LCD à l'Arduino pour l'affichage d'informations.
- **Shield capteurs** : Regroupe plusieurs capteurs (comme des capteurs de température, d'humidité, de lumière, etc.) sur une seule carte pour une intégration facile avec l'Arduino.
- **Shield moteur** : Permet de contrôler des moteurs (pas à pas, DC, servo) à partir de l'Arduino pour des applications robotiques ou de domotique.
- **Shield relais** : Offre des relais pour commuter des charges électriques à partir de l'Arduino, utile pour le contrôle d'équipements électriques.
- **Shield audio** : Ajoute des capacités audio à l'Arduino, permettant la lecture et l'enregistrement de sons.

8. **Dimensions**: Ses dimensions sont d'environ 68.6 mm x 53.4 mm.

9. **Bootloader**: Préchargé avec un bootloader qui permet de le programmer via l'interface USB sans nécessiter d'équipement de programmation externe.

10. **Logiciel**: Programmable avec le logiciel Arduino IDE, compatible avec les systèmes d'exploitation Windows, macOS et Linux.

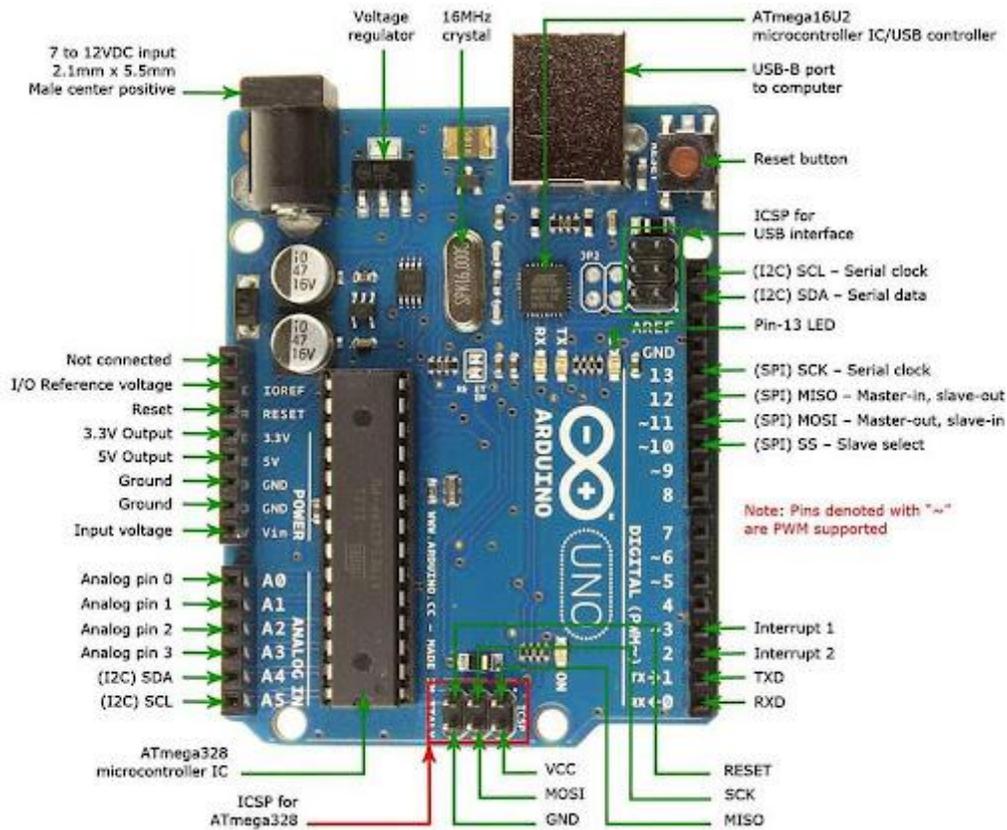


Figure 2.2 Brochage de la carte Arduino UNO

2.2.5 Description des broches principales

1. Broches d'E/S numériques (Digital Pins) :

- Il y a un total de 14 broches d'E/S numériques numérotées de 0 à 13.
- Chacune de ces broches peut être utilisée comme une entrée ou une sortie numérique.
- Elles prennent en charge les signaux numériques (HIGH ou LOW) et peuvent être utilisées pour contrôler des LED, des moteurs, des relais, etc.

Fondamentale

Les broches numériques 3, 5, 6, 9, 10 et 11 peuvent être utilisées comme des broches PWM (modulation de largeur d'impulsion), ce qui permet de contrôler la vitesse des moteurs, la luminosité des LED, etc.

2. Broches d'entrée analogique (Analog Pins) :

- Il y a 6 broches d'entrée analogique numérotées d'A0 à A5.
- Elles peuvent être utilisées pour mesurer des signaux analogiques provenant de capteurs tels que des capteurs de lumière, de température, de pression, etc.

- Elles ont une résolution de 10 bits, ce qui signifie qu'elles peuvent représenter des valeurs entre 0 et 1023.

3. Broches d'alimentation :

- Il y a deux broches d'alimentation principales sur la carte ArduinoUno : 5V et GND (masse).

4. Broches d'entrée/sortie spéciales :

Il y a plusieurs broches spéciales avec des fonctions supplémentaires :

- Vin : Cette broche permet d'alimenter la carte Arduino via une tension externe (7-12V) lorsqu'elle n'est pas alimentée par USB.

- Aref : Cette broche est la référence de tension analogique externe, utilisée pour la conversion analogique-numérique (ADC).

- Reset : Cette broche est utilisée pour réinitialiser la carte Arduino.

5. Communication série (Serial Communication) :

- La carte ArduinoUno prend en charge la communication série via les broches 0 (RX) et 1 (TX).

- Ces broches sont utilisées pour la communication avec d'autres périphériques série tels que des modules GSM, GPS, etc.

Courant continu par broche d'E/S de l'ArduinoUno [27]

- **Courant maximal par broche en sortie** : Généralement, chaque broche d'E/S numériques peut fournir jusqu'à 20 mA de courant en mode de sortie. Cependant, il est recommandé de limiter le courant à environ 10 mA par broche pour éviter tout risque de dommage à la carte Arduino.
- **Courant maximal par broche en entrée** : Les broches d'E/S numériques peuvent accepter des courants plus élevés en mode d'entrée, généralement jusqu'à 40mA. Mais, il est important de ne pas dépasser cette valeur maximale de 20 mA pour éviter d'endommager le microcontrôleur.

2.3 Présentation générale de la carte ESP32

2.3.1 Vue d'ensemble de la carte ESP32

L'ESP32 est un circuit intégré à microcontrôleur 32, il est devenu un terme fourre-tout désignant une gamme de cartes et de puces de développement conviviales et compatibles Wi-Fi. Il s'appuie sur le silicium par la société chinoise Espressif, il est fondé en 2008. [28]Son premier produit, un système sur puce (SoC) Wi-Fi à 2,4 GHz, a été

commercialisé en 2013, permettant d'établir des connexions TCP/IP, en mode client/serveur http, la puissance de l'ESP32 en fait la solution idéale pour l'IoT (Internet des objets) et les projets connectés [29],

2.3.2 Diversité des Modèles d'ESP32 [30],

1. ESP32-S Séries

- ESP32-S3 Series : **32-bit MCU & 2.4 GHz Wi-Fi & Bluetooth 5 (LE)**
- ESP32-S2 Series : 32-bit MCU & 2.4 GHz Wi-Fi

2. ESP32-C Séries

- ESP32-C6 Series : 32-bit RISC-V MCU & 2.4 GHz Wi-Fi 6 & Bluetooth 5 (LE) & IEEE 802.15.4
- ESP32-C3 Series : 32-bit RISC-V MCU & 2.4 GHz Wi-Fi & Bluetooth 5 (LE)
- ESP32-C2 Series : 32-bit RISC-V MCU & 2.4 GHz Wi-Fi & Bluetooth 5 (LE)

3. ESP32-H Séries

- ESP32-H2 Series: 32-bit RISC-V MCU & Bluetooth 5 (LE) & IEEE 802.15.4

4. ESP32Séries

- ESP32 modules : 32-bit MCU & 2.4 GHz Wi-Fi & Bluetooth/Bluetooth LE

5. ESP8266Séries

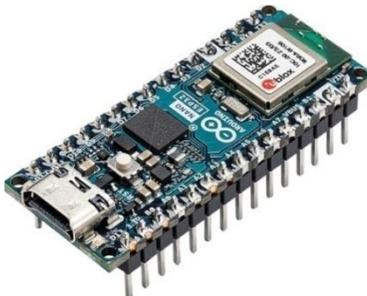
- ESP8266 modules 32-bit MCU & 2.4 GHz Wi-Fi



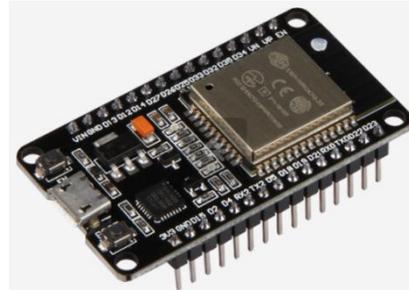
ESP32-S



ESP32 Type-C



ESP32 -H



ESP32



ESP8266

Figure 2.3 Différents types de cartes ESP

2.3.3 Choix de la carte ESP

Nous avons choisi la carte ESP32 pour les raisons suivante :

1. Offre de nombre suffisant des broches E/S, qui convient à nos besoins pour le projet.
2. dispose de différents modules de communications intégrés, tels que : Wifi, Bluetooth, qui nous aide à une connectivité sans fil pour contrôler notre système à distance.
3. Mémoire suffisante : 4MB Flash (pour bien stocker notre programme)
4. Faible cout : par rapport aux autres cartes similaires.
5. Utilisation flexible : Possibilité de la programmer sous logiciel Arduino –IDE.

2.3.4 Caractéristiques de la carte ESP32 [31]

Les caractéristiques principales de la carte ESP32 sont les suivantes :

1. **Microcontrôleur:** Utilise un microcontrôleur à processeur à double-cœur Xtensa LX6 32 bits cadencé jusqu'à 240 MHz.
2. **Mémoire:** Dispose de mémoire flash entre 4 MB et 16 MB selon les modèles et 520 Ko de RAM pour les instructions et les données.
3. **Broches d'E/S:** Offre 23 Entrées/sorties numériques GPIO, et 18 Entrées/sorties Analogiques GPIO.
4. **Interfaces:** Possède ;
 - Une interface à connecteur micro USB (type-C) pour la connexion à un ordinateur et pour l'alimentation externe de 2.2 V à 3.6 V, et des broches d'alimentation 3.3V.
 - Bluetooth Low Energy (BLE, BT4.0, Bluetooth Smart) intégré.
 - Puce Wifi 2.4 GHz (802.11 b/g/n) avec antenne intégré.
5. **Compatibilité:** Compatible avec la plupart des shields Arduino et des accessoires comme mentionné précédemment dans la partie de la carte Arduino.
6. **Dimensions :** Ses dimensions sont d'environ 51 mm x 25.4 mm.
7. **Logiciel:** Programmable avec le logiciel Arduino IDE, compatible avec les systèmes d'exploitation Windows, macOS et Linux.

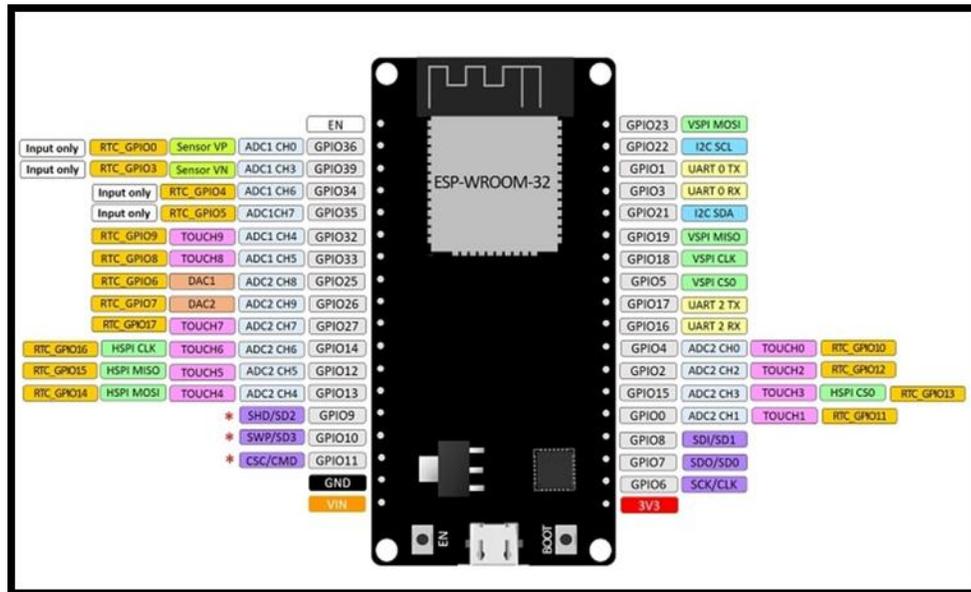


Figure 2.4 Schéma de brochage de l'ESP32 [32]

2.3.5 Description des broches principales d'ESP32 [32]

Grâce à la fonction de multiplexage de la puce ESP32, plusieurs fonctions sont attribuées à la même broche. Si vous ne les définissez pas sur le code, les broches seront utilisées par défaut- comme indiqué dans la figure ci-dessous (l'emplacement des broches peut changer en fonction du fabricant)

Les broches GPIO1 (TX0) et GPIO3 (RX0) sont utilisées pour communiquer avec l'ordinateur en UART via USB. Si vous les utilisez, vous ne pourrez pas téléverser de programmes sur la carte ni utiliser le moniteur série via le port USB. Elles peuvent être utiles pour programmer la carte sans USB mais avec un programmeur externe, ou pour relier avec d'autre carte comme Arduino UNO.

Les broches GPIO36 (VP), GPIO39 (VN), GPIO34 et GPIO35 ne peuvent être utilisées qu'en entrée. Elles ne disposent également pas de résistances internes pull-up et pull-down (`pinMode(36, INPUT_PULLUP)` ou `pinMode(36, INPUT_PULLEDOWN)` ne peuvent pas être utilisées).

La broche EN peut activer ou désactiver l'ESP32 via un fil externe. Elle est connectée au bouton EN de la carte. Lorsque l'ESP32 est allumé, cette broche est à 3,3V. Si vous mettez cette broche à la masse, l'ESP32 est éteint. Cela peut être utilisé lorsque l'ESP32 est dans une boîte et que vous souhaitez pouvoir l'allumer/éteindre avec un interrupteur [33].

2.3.6 Comparaison entre Arduino et ESP32

	Arduino UNO	ESP32
<i>Processeur</i>	Le microcontrôleur RA4M1, avec une puce ARM Cortex-M4 32 bits cadencée à 48 MHz, est idéal pour les applications IoT. Il existe également une version Wi-Fi.	processeur Xtensa LX6 double cœur, cadencé à 240 MHz, est une alternative plus puissante
<i>mémoires</i>	Le RA4M1 dispose de 32 kB de RAM (utilisée pour stocker des données pendant l'exécution des programmes), 256 kB de mémoire flash (utilisée pour stocker des programmes) et 8 kB de mémoire de données (utilisée pour stocker des données de programme lorsqu'il est éteint)	le processeur Xtensa LX6 offre 520 kB de RAM et 4 MB de mémoire flash par défaut, avec certains modules contenant jusqu'à 8 ou 16 MB.
<i>I/O</i>	20 broches d'E/S, dont 14 pour une utilisation en GPIO numérique et 6 pour une utilisation en entrée analogique	32 broches d'E/S.
<i>Wifi/Bluetooth</i>	peut se connecter au Wi-Fi en utilisant un shield Wi-Fi, ou en utilisant le modèle Arduino R4 Wi-Fi	dispose de capacités Wi-Fi intégrées.

Tableau 2.1 Comparaison entre Arduino et ESP32

2.3.7 Domaines d'applications de la carte ESP32

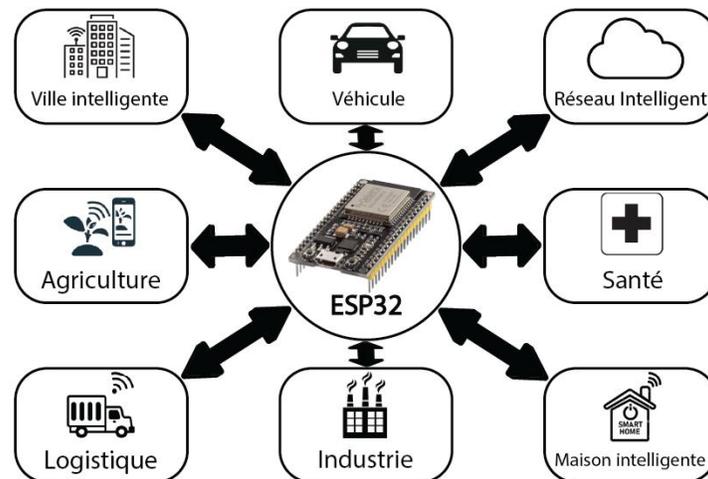


Figure 2.5 Domaines d'applications de la carte ESP32

- **Smart home : maison intelligente** [34]

Contrôler les opérations d'éclairage, de température, de multimédia, ainsi que de nombreuses autres fonctions.

- **Gadget portable**

Ces appareils sont principalement destinés à la santé, à la forme physique et d'autres Le principal avantage de ces outils est leur petite taille, leur rendement élevé, et leur faible consommation [34].

- **Voitures connectées**

Qui se connectent au téléphone portable du conducteur aux véhicules connectés à l'internet qui ont une communication bidirectionnelle avec d'autres véhicules, des appareils mobiles et des carrefours urbains [35].

- **Villes intelligentes**

Utilisant les technologies de l'information et de la communication (TIC) pour «améliorer» la qualité des services urbains, l'efficacité et compétitive économique de la ville ou encore réduire ses coûts [34].

- **L'industrie**

Ces usines intelligentes sont caractérisées par automatisation les processus industriels, la communication continue et instantanée entre les différents outils et poste de travail [32].

- **L'agriculture et l'élevage**

La demande de produits alimentaires augmente en raison de l'augmentation de la population mondiale. L'Internet des objets, tels que l'ESP32, tend à développer certaines techniques dans l'agriculture pour augmenter la production alimentaire, ainsi que l'automatisation de l'élevage animal (dans notre cas, l'élevage cunicole). Par exemple, l'utilisation de capteurs permet de recueillir des informations utiles sur l'état du sol, le taux d'humidité, le taux de sels minéraux, ainsi que divers paramètres de l'environnement des animaux, comme dans notre cas, les lapins. Ces informations sont ensuite envoyées à l'agriculteur, qui peut prendre les mesures nécessaires pour garantir une bonne production [32].

- **La santé**

Les systèmes de santé intelligente seront en mesure de recueillir des informations sur la santé de l'individu comme le rythme cardiaque, pression de sang, etc. et beaucoup d'autre fonctionnalité comme l'identification des allergies et des médicaments

administrés aux patients, la localisation des docteurs et des patients dans l'hôpital [32].

- **Les réseaux intelligents**

Les réseaux intelligents sont des réseaux de distribution de l'électricité, il désigne l'ensemble des technologies et infrastructures « intelligents » installées [36].

2.4 Les périphériques d'entrée

Un périphérique d'entrée est un élément utilisé à l'entrée d'un système fonctionnel permettant de fournir des données et des signaux de commande à un système de traitement de l'information, par exemple un microcontrôleur. Les exemples de périphériques d'entrée incluent les interrupteurs, les microphones, les capteurs,

2.4.1 Capteur de température

Les capteurs de température sont des dispositifs indispensables pour mesurer la température dans de nombreuses applications. Ci-dessous, nous présentons une vue d'ensemble des différents types de capteurs de température [37] :

2.4.1.1 Les types de capteurs de température

Capteur	Principe	Type
Thermocouple	produit une tension électrique en réponse à une différence de température entre deux jonctions métalliques différentes.	<ul style="list-style-type: none"> • Type J : Fer-constantan, utilisé pour des plages de température moyennes. (0°C to 760°C) • Type K : Chromel-alumel, largement utilisé pour sa large plage de température et sa durabilité. (-100°C to 1250°C) • Type T : Cuivre-constantan, utilisé pour des mesures à basse température. (-200°C to 370°C) • Type E : Chromel-constantan, offre une haute sensibilité. (-200°C to 870°C)
Thermistance	Valeur de sa résistance varie de manière significative avec la température	<ul style="list-style-type: none"> • NTC (Negative Temperature Coefficient) : La résistance diminue avec l'augmentation de la température. • PTC (Positive Temperature Coefficient) : La résistance augmente avec l'augmentation de la température.
Capteur de Température à Résistance (RTD)	Sa résistance varie avec la température	<ul style="list-style-type: none"> • PT100 : Une des RTD les plus courantes, avec une résistance de 100 ohms à 0°C. • PT1000 : Similaire au PT100 mais avec une résistance de 1000 ohms à 0°C.
Capteur à Semi-	utilise les	<ul style="list-style-type: none"> • LM35 : Offre une sortie analogique

conducteurs	propriétés de semi-conducteurs pour mesurer la température	proportionnelle à la température en °C. <ul style="list-style-type: none"> • TMP36 : Similaire au LM35 mais calibré pour une plage de température différente.
Capteur Infrarouge (IR)	mesure la température en détectant le rayonnement infrarouge émis par un objet.	<ul style="list-style-type: none"> • Thermomètres infrarouges sans contact : Mesurent la température de surface sans contact physique. • Caméras thermiques : Fournissent des images thermiques pour l'analyse de la température sur une large surface.
Capteur à Dilatation de Liquide (Thermomètres à Liquide)	utilise la dilatation d'un liquide (comme le mercure ou l'alcool coloré) pour mesurer la température	<ul style="list-style-type: none"> • Thermomètres au mercure : Traditionnellement utilisés mais de moins en moins courants en raison des préoccupations environnementales. • Thermomètres à alcool : Plus sûrs que les thermomètres au mercure, utilisés dans les environnements domestiques et éducatifs.

Tableau 2.2 Les types de capteurs de température

2.4.1.2 Domaines d'application [38]

Capteur	Domaines d'application
Thermocouple	<ul style="list-style-type: none"> □ Industrie de Processus : Utilisés dans les industries chimiques et pétrochimiques pour surveiller les températures des réacteurs et des chaudières. □ Fabrication de Métaux : Essentiels pour surveiller les températures dans les fours de traitement thermique, les coulées de métal en fusion et les traitements de surface. □ Aéronautique et Aérospatiale : Mesurent les températures des moteurs à réaction, des turbines et des composants structurels exposés à des températures extrêmes. □ Automobile : Utilisés dans les systèmes de gestion thermique des moteurs et dans les capteurs de gaz d'échappement pour surveiller les émissions. □ Applications de Laboratoire : Utilisés pour les expérimentations nécessitant des mesures de température précises dans une large gamme.

Thermistance

- **Électronique Grand Public** : Utilisés dans les appareils ménagers comme les réfrigérateurs, les climatiseurs et les fours à micro-ondes pour contrôler la température.
- **Automobile** : Utilisés pour surveiller les températures des fluides, comme le liquide de refroidissement et l'huile moteur.
- **Dispositifs Médicaux** : Utilisés dans les thermomètres électroniques pour mesurer la température corporelle.
- **Batteries** : Surveillance de la température des batteries dans les dispositifs portables et les véhicules électriques.
- **Équipements de Réseaux** : Utilisés dans les serveurs et les centres de données pour surveiller les températures et prévenir la surchauffe.

Capteur de Température à Résistance (RTD)

- **Industrie Chimique et Pétrochimique** : Utilisés pour des mesures de température précises et stables dans les procédés de fabrication.
- **Laboratoires de Recherche** : Favorisés pour leur haute précision et leur stabilité à long terme dans les expériences scientifiques.
- **Industrie Alimentaire** : Utilisés dans les processus de cuisson et de pasteurisation pour assurer la sécurité alimentaire.
- **Énergie et Production d'Électricité** : Surveillance des températures dans les centrales électriques et les turbines.
- **Systèmes HVAC** (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) : Utilisés pour le contrôle précis de la température dans les systèmes de chauffage, ventilation et climatisation.

Capteur à Semiconducteurs

- **Électronique Grand Public** : Utilisés dans les téléphones mobiles, les ordinateurs et les appareils électroménagers pour la gestion thermique.
- **Systèmes Embarqués** : Intégrés dans les microcontrôleurs pour surveiller la température des circuits et des processeurs.
- **Applications de Santé** : Utilisés dans les dispositifs portables pour surveiller la température corporelle et environnementale.
- **Automobile** : Utilisés dans les systèmes de gestion thermique des véhicules pour surveiller les températures des composants électroniques.

Capteur Infrarouge (IR)

- **Médical** : Utilisés dans les thermomètres infrarouges sans contact pour mesurer la température corporelle.
- **Industriel** : Utilisés pour la surveillance de la température des machines et des processus à distance.
- **Bâtiment et Sécurité** : Utilisés dans les systèmes de surveillance et de détection des incendies.
- **Électronique Grand Public** : Utilisés dans les appareils ménagers pour des mesures de température sans contact.
- **Aérospatiale** : Surveillance des températures des surfaces des engins spatiaux et des satellites.

Capteur à Dilatation de Liquide (Thermomètres à Liquide)

□ **Laboratoires** : Utilisés pour des mesures de température précises dans des expériences scientifiques.

- **Médical** : Utilisés dans les thermomètres médicaux traditionnels pour mesurer la température corporelle.
 - **Environnement** : Utilisés dans les thermomètres de jardin et les stations météorologiques pour mesurer les températures ambiantes.
 - **Appareils Ménagers** : Utilisés dans les thermomètres de cuisine pour surveiller la température des aliments.
 - **Industrie Alimentaire** : Utilisés pour la surveillance des températures de stockage des aliments.
-

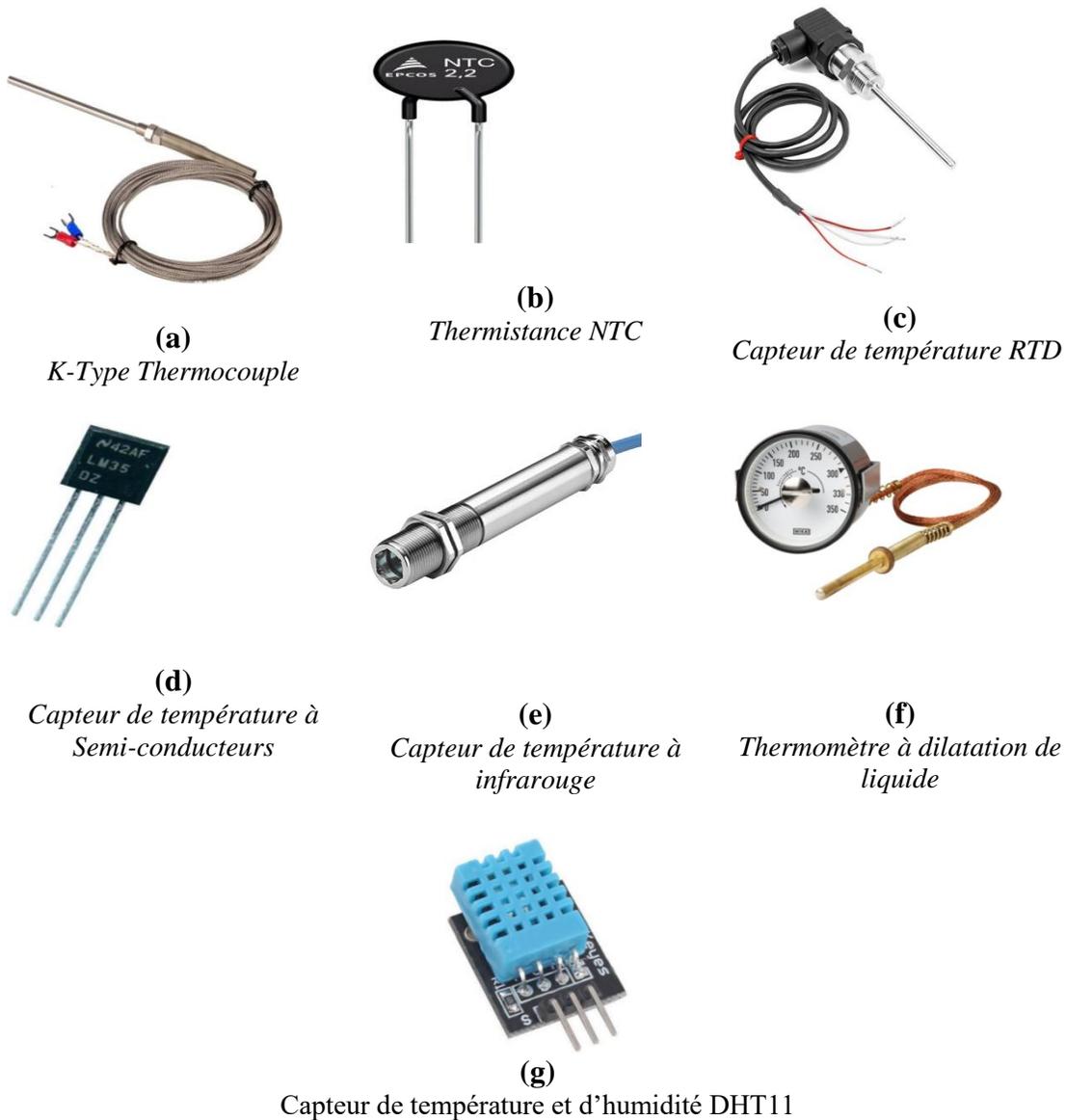


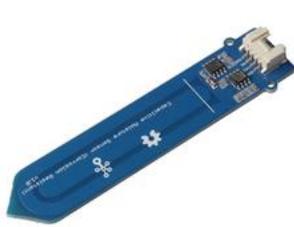
Figure 2.6 Diversité des Modèles de capteurs de température

2.4.2 Capteur d'humidité

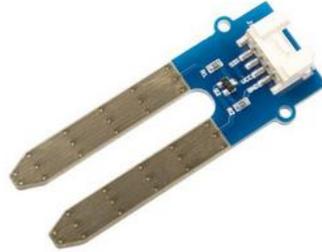
Le capteur d'humidité permet, comme son nom l'indique, de mesurer l'humidité ambiante.

2.4.2.1 Les types des capteurs d'humidité [39]

Voici des types des capteurs d'humidité



Capteur capacitif



Capteur résistif



Capteur d'humidité à micro-ondes



capteur humidité à points de rosée

Figure 2.7 Diversité des Modèles de capteurs d'humidité

2.4.2.2 Applications des capteurs d'humidité [40]

Les capteurs d'humidité sont utilisés dans de nombreux domaines, tels que :

1. **Santé** : Aide les personnes souffrant de maladies sensibles à l'humidité.
2. **Habitat** : Surveillance et mesures préventives dans les maisons.
3. **Systemes HVAC** : Intégrés dans les systèmes de chauffage, ventilation et climatisation.
4. **Outils de surveillance** : Utilisés dans les bureaux, voitures, humidificateurs, musées, espaces industriels et serres.
5. **Météorologie** : Aident à rapporter et prédire la météo dans les stations météorologiques.

2.4.2.3 Choix du capteur de température et d'humidité

Les capteurs de température et d'humidité sont adaptés à différentes applications en fonction de leurs caractéristiques spécifiques, leur choix du capteur dépend :

- de la plage de température et d'humidité,
- Disponibilité d'un capteur mesurant à la fois la température et l'humidité.
- de la précision requise,
- de l'environnement d'utilisation

➤ des contraintes économiques.

Parmi les types de capteurs de température et d'humidité mentionnés, nous avons choisi le capteur DHT11. Son choix repose sur :

1. Possibilité d'utilisation combinée : mesure simultanée de la température et de l'humidité.
2. Il fournit une sortie numérique proportionnelle à la température en degrés Celsius, et à l'humidité en pourcentage ce qui simplifie l'interfaçage avec la carte Arduino Uno utilisée.
3. Sa capacité de mesurer des températures et d'humidité sur une plage étendue, et sa consommation électrique est faible, et aussi donc adapté à notre application.

2.4.2.4 Caractéristiques du capteur de température et d'humidité DHT11 [41]

- Alimentation : 5V
- Consommation : 0.5 mA en nominal / 2.5 mA maximum
- Etendue de mesure température : 0°C à $50^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
- Etendue de mesure humidité : 20-90%RH $\pm 5\%$ RH
- Taille : 15 mm x 12 mm x 5,5 mm
- Poids : 3 g

2.4.2.4 Brochage du capteur DHT11 [41]

Ce type de capteur se présente avec trois broches comme le montre la figure suivante :



Figure 2.8 Brochage DHT11

2.4.3 Capteur de lumière [42]

Est un circuit électronique qui transforme le niveau d'éclairement reçue par la photorésistance en une tension, cette tension, mesurée directement par le circuit du microcontrôleur, est comparée à une valeur seuil et déclenchera l'allumage de la lampe.

2.4.3.1 Les types des capteurs de lumière [42]



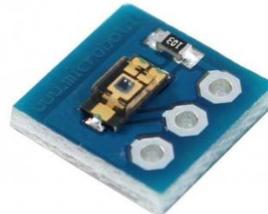
Photocellules (cellules photoélectriques)



Photodiodes



Phototransistor



Capteur de lumière ambiante TEMT6000

Figure 2.9 *Les types des capteurs de lumière*

2.4.3.2 Capteur de lumière (Photorésistance - LDR) [43]

1. Principe

Les photorésistances sont des capteurs de lumière appelée LDR (Light Depending Resistor ou Résistance dépendant de la lumière). Elles sont réalisées à partir d'un élément photosensible (le sulfure de cadmium) dont la résistance élevée dans l'obscurité diminue avec l'éclairement suivant la relation suivante :

$R = A L^{-\alpha}$ Avec: R : résistance en Ohms, A et α : constantes, L : éclairement en Lux

2.4.3.3 Choix du capteur de lumière LDR

On a choisi LDR module pour les raisons suivantes :

1. Simplicité et coût
2. Gamme de détection large de la lumière ambiante faible à la lumière directe du soleil.
3. Applications d'utilisations variées
4. Compatibilité avec les microcontrôleurs : Sortie analogique facile à lire, Interfaçage simple.

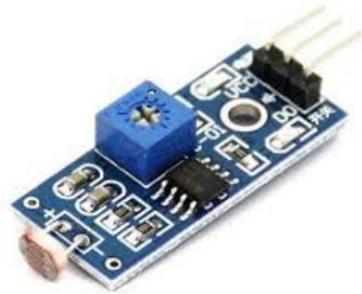


Figure 2.10 DollaTek Module LDR

2.4.3.4 Brochage du LDR

Le module capteur LDR est utilisé pour détecter l'intensité de la lumière. Il est associé à la fois à une broche de sortie analogique et à une broche de sortie numérique, désignées respectivement A0 et D0 sur la carte. Lorsqu'il y a de la lumière, la résistance de la LDR devient faible en fonction de l'intensité lumineuse. Plus l'intensité lumineuse est grande, plus la résistance de la LDR est faible. Le capteur est équipé d'un bouton potentiomètre pouvant être ajusté pour modifier la sensibilité de la LDR à la lumière [43].

❖ **Spécifications:**

- Tension d'entrée : DC 3,3V à 5V
- Sortie : Analogique et Numérique
- Sensibilité ajustable

2.4.4 Le capteur ultrasonique

C'est un circuit électronique principalement utilisé pour la mesure de distance. En émettant des ondes ultrasonores et en mesurant le temps pris par ces ondes pour rebondir après avoir frappé un objet [44].

2.4.4.1 Principe de fonctionnement

L'émetteur et le récepteur sont situés dans le même boîtier.

L'émetteur envoie un train d'ondes qui va se réfléchir sur l'objet à détecter et ensuite revenir à la source. Le temps mis pour parcourir un aller-retour permet de déterminer la distance de l'objet par rapport à la source. Plus l'objet sera loin plus il faudra longtemps pour que le signal revienne [44].

Pour détecter le niveau (la distance d), on utilise l'équation :

$$V=d/t \text{ donc } d=V*t$$

t étant le temps vu au-dessus entre le début de l'émission et le début de la réception.

Et v étant la vitesse du son qui est de 330 m.s-1.



Figure 2.11 Capteur HC-SR04

2.4.4.2 Brochage du capteur Ultrasonique HC-SR04 [44]

1. **VCC (5V Courant Continu)**
2. **GND (Masse)**
3. **Trig (Déclenchement)** : Cette broche est utilisée pour initier le capteur à émettre une onde ultrasonore. En envoyant une impulsion haute d'au moins 10 μ s à cette broche, le HC-SR04 émettra une série de 8 impulsions d'ultrasons à 40 kHz.
4. **Echo** : Une fois l'onde ultrasonore émise et qu'elle rebondit après avoir frappé un objet, la broche Echo fournit une impulsion de sortie. La largeur de cette impulsion est proportionnelle à la distance de l'objet par rapport au capteur. En mesurant la durée de cette impulsion, le microcontrôleur peut déterminer la distance jusqu'à l'objet.

2.5 Les périphériques de sortie

Un périphérique de sortie est tout élément d'un système fonctionnel qui convertit les informations sous une forme perceptible par l'utilisateur. Il peut être textuel, graphique, sonore, audio, rotationnel, lumineuse...

2.5.1 Afficheur LCD

Les modules LCD parallèles ont des broches de sortie standard, avec deux modes principaux : le mode 4 broches et le mode 8 broches. Les connexions typiques incluent des broches pour activer l'affichage, la lecture/écriture, la masse, +5V, la sélection du registre, le rétro-éclairage LED, et l'ajustement du contraste. Pour connecter l'écran LCD à un ArduinoUno, les broches d'E/S de l'Arduino sont assignées aux broches correspondantes de l'écran LCD en utilisant la syntaxe LiquidCrystal LCD(RS, EN, D4, D5, D6, D7) [45].



Figure 2.12 *Afficheur LCD 2x16*

2.5.2 I2C Module

L'interface I2C permet de connecter un Arduino Uno à un écran LCD en utilisant seulement les broches analogiques A4 (SDA) et A5 (SCL), libérant ainsi d'autres broches d'E/S pour d'autres usages. Elle supporte la connexion de plusieurs périphériques I2C sur les mêmes broches et est compatible avec divers types d'écrans LCD comme les 16×2 et 20×4 . Les connexions typiques incluent +5V à +5V, GND à la masse, SDA à A4, et SCL à A5 [45].



Figure 2.13 *Module I2C*

2.5.3 Module Relais

Ce module relais à quatre canaux est équipé de quatre relais 5 V et des composants de commutation et d'isolation associés. Il permet une interface simple avec un microcontrôleur ou un capteur en utilisant le minimum de composants et de connexions possible.

Les contacts de chaque relais sont conçus pour supporter une tension alternative (AC) de 250 VAC, une tension continue (DC) de 30 VDC et un courant de 10 A dans les deux cas, comme indiqué sur le corps des relais. Ce module permet d'activer et de désactiver d'autres équipements électroniques alimentés par un courant alternatif (AC) de 240 VAC ou des appareils haute tension à continu (DC) jusqu'à 28 VDC, tels que des moteurs à courant continu de forte puissance. Chaque canal de l'appareil a un courant maximum de 7 ampères [46].

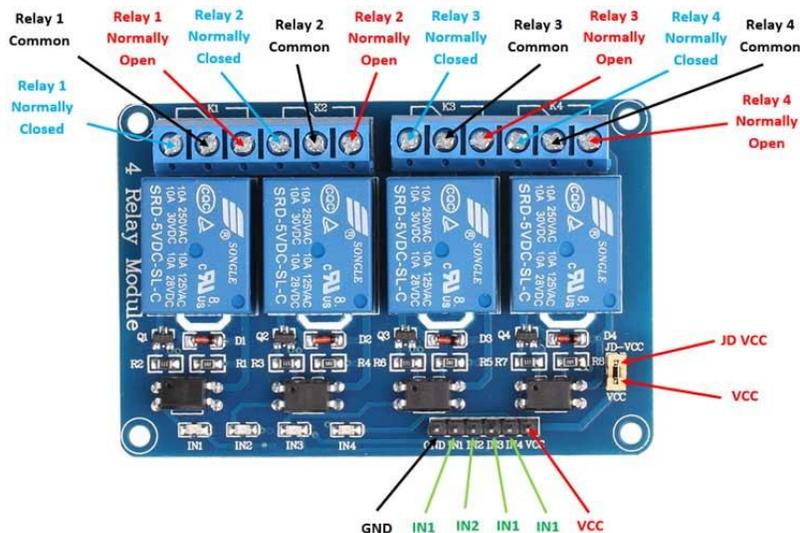


Figure 2.14 Module relais à quatre canaux [47]

2.5.4 Les actionneurs

Les actionneurs sont des composants essentiels dans tous les systèmes, car ils permettent de transformer des signaux électriques ou électroniques en actions physiques concrètes. Ils jouent un rôle crucial dans la transmission et la réception d'informations, Dans notre cas, nous pouvons utiliser un chauffage, un ventilateur d'extraction, un ventilateur, une pompe à eau et une lampe.



Figure 2.15 Les actionneurs

2.6 Intégration des technologies de communication

2.6.1 Technologie de communications GSM

2.6.1.1 Présentation du module GSM

A- Désignation

Le module SIM808 utilisé dans notre système est une carte de développement de SIMCOM qui nous permet d'utiliser les fonctionnalités de communication GSM, GPS et Bluetooth. Avec ce module, nous pouvons envoyer et recevoir des SMS, suivre un emplacement et même créer notre propre téléphone portable. Le module est contrôlé via la commande AT via UART et prend en charge les niveaux logiques 3,3V et 5V [48].

B- Brochage

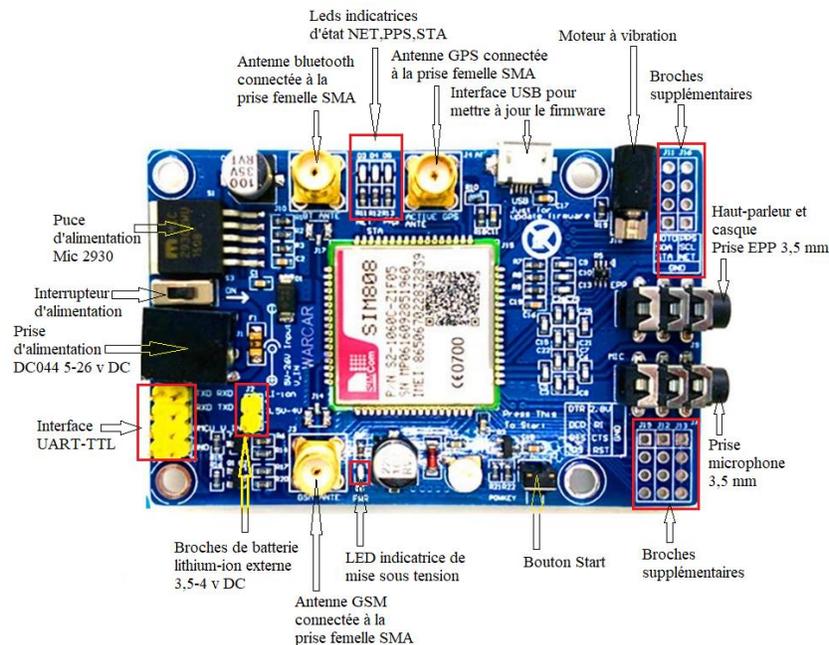
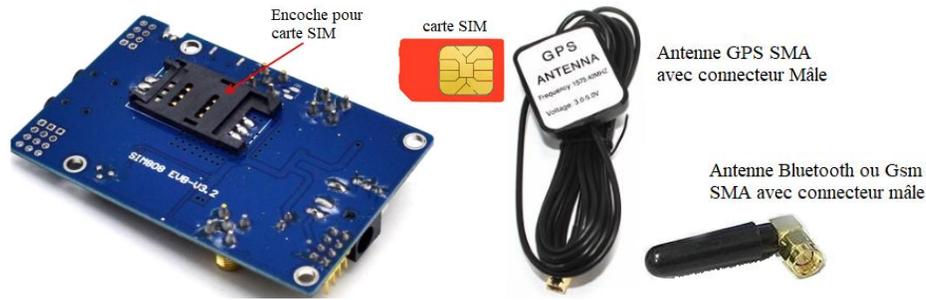


Figure 2.16 Présentation du module GSM SIM 808 [48]

- Prend en charge le quadri-bande 850/900/1800/1900MHz, compatible avec tous les réseaux 2G du monde entier.

- Récepteur GPS interne MT3337, précision -165dBm, contrôle sur un même port série.
- Sorties écouteur/microphone sur carte ou haut-parleur externe 32 ohms + prend en charge les appels vocaux avec un microphone à électret.
- Envoi et réception de SMS.
- Envoi et réception de données GPRS (TCP/IP, HTTP).
- Communication UART avec réglages automatiques du débit en bauds.
- GPRS multi-slot classe 12/10
- Station mobile GPRS classe B
- Conforme GSM phase 2/2 +
 - Classe 4 (2 W @ 850 / 900MHz)
 - Classe 1 (1 W @ 1800 / 1900MHz)
- Prend en charge le mode de faible consommation d'énergie : 100 mA @ 7 V-GSM
- Prise en charge du contrôle des commandes AT (3GPP TS 27.007, 27.005 et commandes AT améliorées SIMCOM)
- Prend en charge la technologie de navigation par satellite GPS
- Indicateur d'état LED de prise en charge : état de l'alimentation, état du réseau et modes de fonctionnement
- Environnement de travail : -40 ~ 85 °C
- L'alimentation
 - La tension d'entrée est de 5 à 26V. A noter que lorsque la tension d'entrée est inférieure à 9V, le courant devrait être de 2A.
 - Un autre port d'alimentation 3.5 à 4.2V (adapté à l'alimentation par batterie au lithium)

Le module SIM808 GSM/GPRS se compose de quatre composants clés, qui jouent un rôle important dans son fonctionnement, Ces composants clés sont la puce cellulaire GSM SIM808, les indicateurs d'état LED, les antennes pour recevoir et envoyer les données et la prise Micro-SIM. Ces éléments sont montrés dans les figures suivantes :



(a) Encoche de la carte SIM (b) Antennes GPS et GSM, Bluetooth

Figure 2.17 Module de communication

2.6.1.2 Convertisseur USB TTL

En règle générale, l'utilisation d'un convertisseur USB permet de gérer l'interface de communication série entre un microcontrôleur et un ordinateur via USB. Différents types de convertisseurs sont disponibles, comme illustré dans la figure ci-dessous :

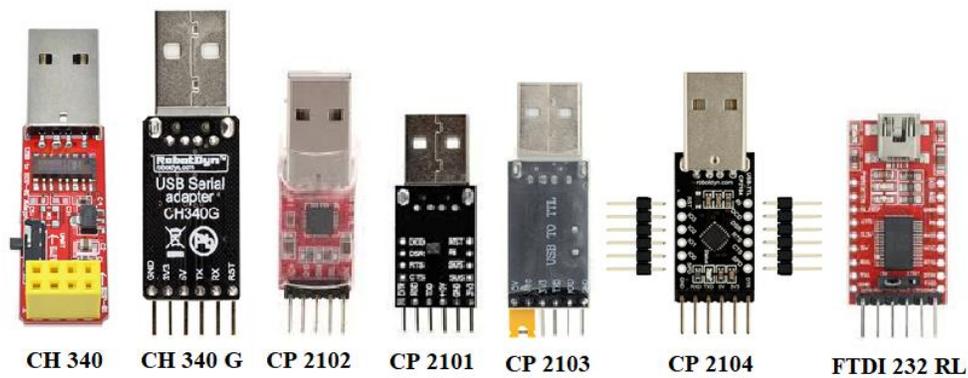


Figure 2.18 Types de convertisseurs USB TTL

Pour être fonctionnel, il est nécessaire d'installer d'abord le pilote du convertisseur série USB vers TTL afin qu'il soit reconnu par Windows. Il est important de vérifier son installation dans le gestionnaire de périphériques de Windows. Dans notre cas, nous avons utilisé le FTDI FT232.

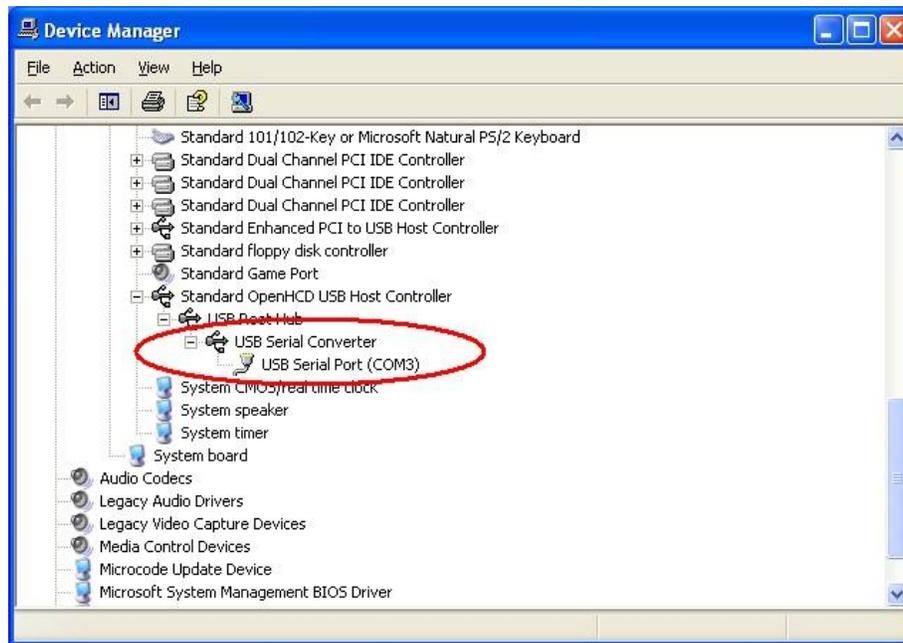


Figure 2.19 Installation du pilote USB TTL sous Windows

2.6.2 Communication IoT via Firebase et ESP32

2.6.2.1 L'Internet des objets (IoT)

La meilleure définition de l'Internet des objets serait : « Un réseau ouvert et complet d'objets intelligents capables de s'auto-organiser, de partager des informations, des données et des ressources, en réagissant et en agissant face aux situations et aux changements de l'environnement. »

L'Internet des objets peut également être considéré comme un réseau mondial permettant la communication entre humains, entre humains et objets, et entre objets, en fournissant une identité unique à chaque objet. La plupart d'entre nous pensent à la « connexion » en termes de dispositifs électroniques tels que des serveurs, des ordinateurs, des tablettes, des téléphones et des smartphones. Dans ce que l'on appelle l'Internet des objets, des capteurs et des actionneurs intégrés dans des objets physiques - des routes aux stimulateurs cardiaques - sont reliés par des réseaux filaires et sans fil [49].

2.6.2.2 Utilisation de la base de données en temps réel –Firebase

Firebase, est une plateforme de développement d'applications mobiles proposée par Google, permet de créer rapidement des applications de haute qualité en étant intégrée à Google Cloud Platform. Au cœur de cette plateforme se trouve une base de données temps réel efficace et à faible latence, idéale pour les applications nécessitant une synchronisation immédiate des données entre différents appareils. Cela garantit aux utilisateurs une information constamment à jour, sans nécessiter d'actualisation manuelle. Firebase est particulièrement adaptée pour les applications nécessitant une synchronisation des données en temps réel, telles que la diffusion en direct (live streaming) ou la messagerie

instantanée. Sa structure NoSQL permet cette synchronisation sur tous les types d'appareils (iOS, Android et Web) sans actualisation de l'écran. De plus, les applications bénéficient d'une connexion sécurisée au serveur et d'un tableau de bord intuitif pour la gestion des différents services [50].



Figure 2.20 Logo de Firebase

2.6.2.3 Fonctionnalités de Firebase [51]

1. **Authentification** : La fonctionnalité d'authentification de Firebase vous permet de limiter l'accès à votre application aux seuls utilisateurs autorisés.
2. **Hébergement** : L'hébergement est un service de contenu Web de qualité production qui facilite la tâche des développeurs. Avec Hébergement, vous pouvez envoyer rapidement et efficacement des applications Web.
3. **Messagerie** : Il s'agit d'une solution de messagerie multiplateforme qui vous permet de transmettre des messages de manière fiable et gratuite.
4. **Analytiques**: Cette fonctionnalité permet au développeur d'application de comprendre comment les utilisateurs utilisent son application. Le SDK capture automatiquement des événements et des propriétés, et vous permet également d'obtenir des données personnalisées.
5. **Stockage** : Firebase propose également un service de stockage. Il permet de stocker et de récupérer du contenu tel que des images, des vidéos et de l'audio.
6. **Base de données en temps réel** : La base de données dans Firebase est une base de données cloud et ne nécessite pas de requêtes SQL pour stocker et récupérer des données. La base de données est hautement fiable, donc même en cas de perte de connexion, les données sont conservées, Ce qui nous a aidés dans notre système a récupéré les données depuis la carte ESP32, puis à y accéder via l'application créée.

2.6.2.4 Firebase Realtime (temps réel)

Selon son nom, la base de données en temps réel de Firebase est en temps réel, ce qui signifie que si un utilisateur de l'application met à jour des données, alors les données sur le serveur Google seront immédiatement mises à jour, et le système Firebase mettra

immédiatement à jour toutes les données sur tous les autres utilisateurs qui utilisent l'application [52].

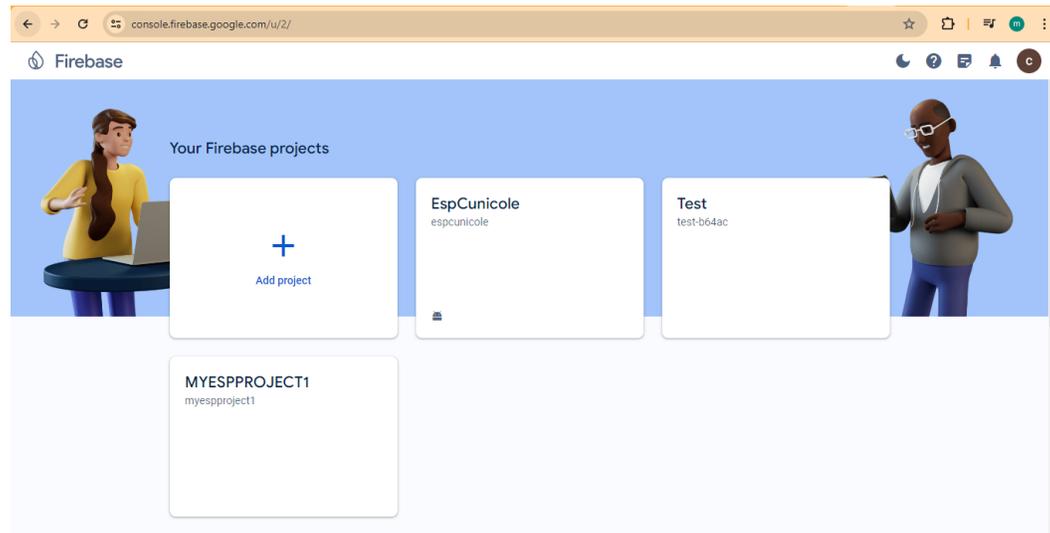


Figure 2.21 Google Firebase

2.6.2.5 Utilisation d'application Android

Est une application mobile spécifiquement développée pour les smartphones et les tablettes utilisant le système Android, sous Android, une application est composée d'une ou plusieurs activités pour la création d'interfaces utilisateur. Afin de faciliter la cinématique de l'application, il est préconisé de n'avoir qu'une interface visuelle par activité [53].

2.6.2.6 Caractéristiques des applications Android

Plusieurs caractéristiques spécifient les applications Android :

- *Une application mobile est plus rapide* : car elle va exploiter au mieux les capacités du téléphone sauf si elle est très mal programmée.
- *Elle offre plus de possibilités* : Accès aux photos, à l'agenda, aux contacts etc...
- Plus difficile à développer.
- *Il faut développer pour chaque plateforme* : Pour s'adapter à l'ergonomie de chaque plateforme et exploiter au mieux les fonctionnalités.
- *On gagne plus avec une application mobile* : plus aisé qu'avec une Web App de vendre l'application sur l'App Store ou l'Android Market.
- Le déploiement est plus compliqué, plus long.
- Pas besoin d'être connecté pour utiliser mon application [54].

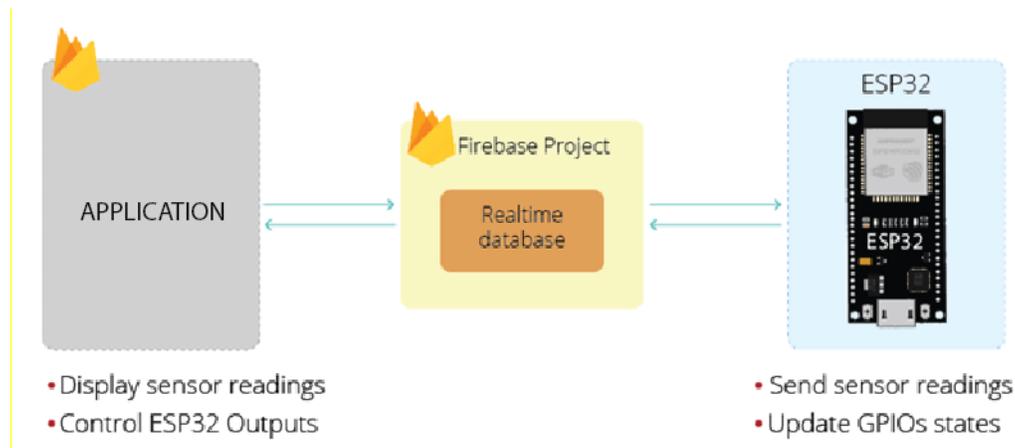


Figure 2.22 Connexion d'ESP32 avec Application Via Firebase

2.7 Environnements logiciels

2.7.1 Proteus Isis Pro 8.13

L'une des manières les plus commodes est de faire la simulation à l'ordinateur pour voir à l'avance si le montage fonctionne comme on le veut avant de passer à la réalisation pratique.

Les outils de simulation en électronique sont d'une grande variété.

Parmi ceux-ci, le plus préféré par les électroniciens professionnels est évidemment Proteus.

Proteus est en fait un logiciel de simulation électronique offrant plusieurs avantages (simulation, conception des cartes imprimées, plusieurs bibliothèques et librairies, infinité des composants etc.). Dans notre projet on a utilisé Proteus Isis pro version 8.13.



Figure 2.23 Logo de Proteus

2.7.2 Arduino IDE

L'Arduino IDE est un logiciel open source utilisé pour écrire et compiler du code dans un module Arduino. Il s'agit d'un logiciel officiel d'Arduino, qui facilite la compilation de code même pour les débutants sans connaissances techniques. Disponible pour Mac, Windows et Linux, il fonctionne sur la plateforme Java avec des fonctions et commandes

intégrées pour le débogage, l'édition et la compilation du code. Compatible avec une gamme de modules Arduino tels que l'Arduino Uno, Mega, Leonardo, et Micro, chaque module contient un microcontrôleur programmé pour accepter des informations sous forme de code. Le code principal, ou sketch, créé sur l'IDE génère un fichier Hex transféré dans le contrôleur du module. L'IDE comprend un éditeur pour écrire le code et un compilateur pour le compiler et le télécharger, et il prend en charge les langages C et C++ [55].



Figure 2.24 *Logo d'Arduino IDE*

2.7.3 Android Studio

Android Studio est l'environnement de développement intégré (IDE) officiel pour le développement d'applications Android. Il est basé sur IntelliJ IDEA, un environnement de développement intégré Java pour les logiciels, et intègre ses outils d'édition de code et de développement [52].



Figure 2.25 *Logo d'Android Studio*

2.7.3.1 Les avantages d'Android [52]

1. **Open source** : Le contrat de licence pour Android respecte les principes de l'open source, c'est-à-dire qu'on peut à tout moment télécharger les sources et les modifier selon le besoin.
2. **Gratuit** : Android est gratuit, autant pour l'utilisateur que pour les constructeurs.

3. **Facile à développer** : Toutes les API (Interface de Programmation d'Application) mises à disposition facilitent et accélèrent grandement le travail. Ces APIs sont très complètes et très faciles d'accès.
4. **Facile à vendre** : Le Play Store (anciennement Android Market) est une plateforme immense et très visitée ; c'est donc une mine d'opportunités pour quiconque possède une idée originale ou utile.
5. **Flexible** : Le système est extrêmement portable, il s'adapte à beaucoup de structures différentes. Les smartphones, les tablettes, la présence ou l'absence de clavier ou de trackball, différents processeurs & On trouve même des fours à micro-ondes qui fonctionnent à l'aide d'Android.
6. **Ingénieux** : L'architecture d'Android est inspirée par les applications composites, et encourage par ailleurs leur développement. Ces applications se trouvent essentiellement sur internet et leur principe est que vous pouvez combiner plusieurs composants totalement différents pour obtenir un résultat surpuissant. Par exemple, si on combine l'appareil photo avec le GPS, on peut poster les coordonnées GPS des photos prises.

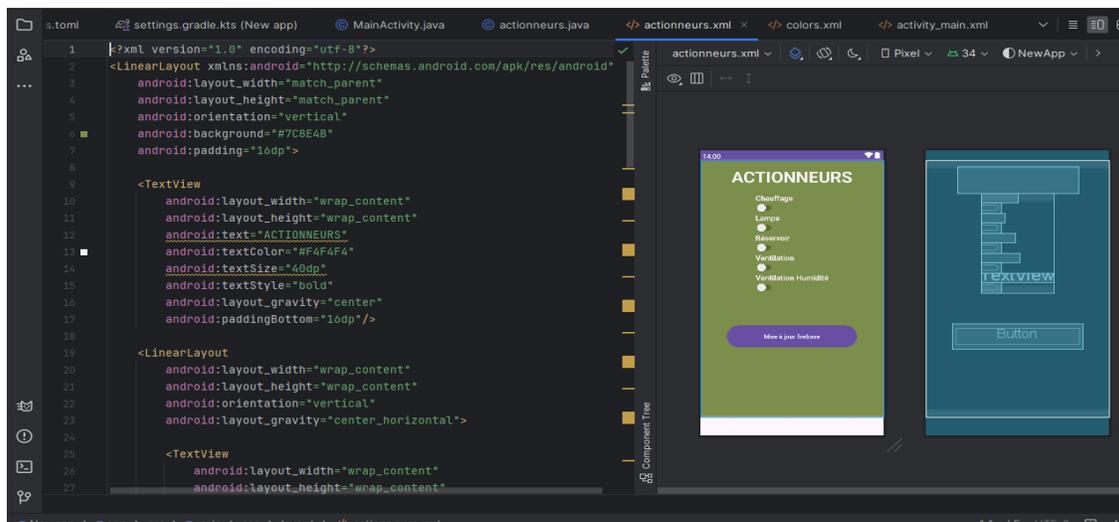


Figure 2.26 l'IDE Android studio.

2.8 Conclusion

Le système d'élevage cunicole intelligent proposé offre une solution moderne et performante pour les éleveurs cherchant à optimiser leurs opérations et à assurer le bien-être de leurs animaux. L'intégration des technologies Arduino, GSM, ESP32 et Firebase, couplée à une application Android, permet une surveillance et un contrôle à distance des conditions environnementales de l'enclos des lapins, garantissant ainsi un environnement propice à leur croissance et à leur santé.

Chapitre 03

Réalisation du Système d'Automatisation dans l'Élevage Cunicole

3.1 Introduction

Ce chapitre présente la simulation et la réalisation d'un système de contrôle de l'élevage de lapins utilisant Arduino et GSM ou ESP32 et une application mobile connectée via Firebase. Le système vise à maintenir des conditions environnementales optimales pour les lapins en surveillant et en contrôlant la température, l'humidité, la lumière et le niveau d'eau. Le système utilise des capteurs pour collecter des données et des actionneurs pour ajuster l'environnement en conséquence.

3.2 Schéma synoptique

Ce système de commande d'élevage cunicole utilise une carte Arduino pour gérer le tous le système d'élevage cunicole. Le système est équipé des capteurs de température, d'humidité, de lumière, pour surveiller les différents paramètres de notre système et d'un module GSM pour transmettre des messages à l'utilisateur et recevoir des commandes de celui-ci. L'ensemble du système comprend des blocs distincts pour chaque fonction clé, détaillés ci-dessous.

Schéma bloc d'un système de commande et de surveillance d'élevage cunicole avec Arduino est donné par la figure suivante :

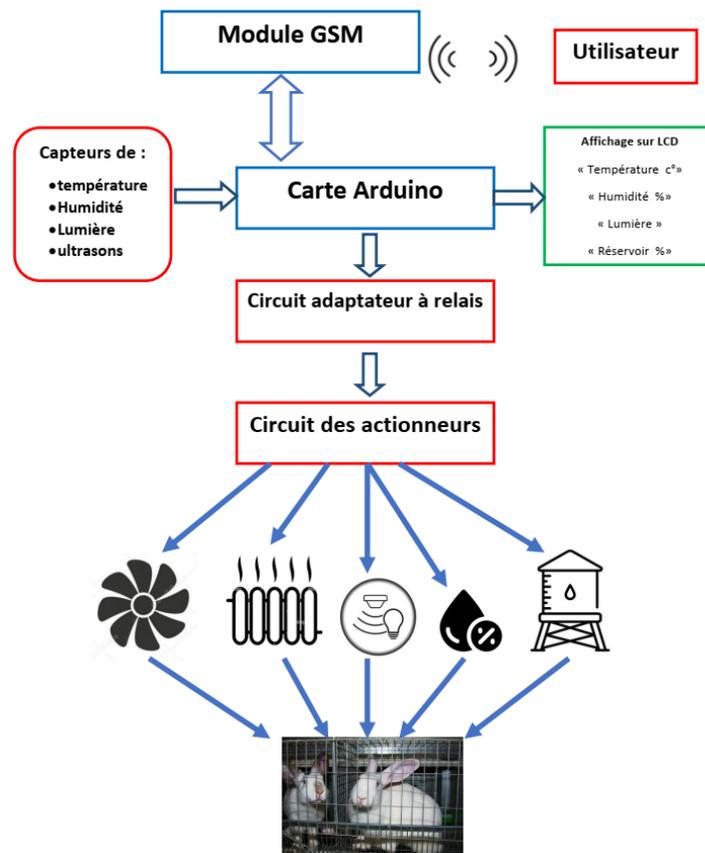


Figure 3.1 Structure générale du système à base d'un module GSM

3.2.1 Description du schéma bloc

1. Capteur de température et humidité

- Fonction : Mesurer la température et l'humidité du système en temps réel.
- Connexion : Le capteur de température est connecté à l'entrée analogique de la carte Arduino.

2. Capteur de lumière

- Fonction : Mesurer la luminosité du système en temps réel.
- Connexion : Le capteur de lumière est connecté à l'entrée analogique de la carte Arduino.

3. Capteur Ultrasonic

- Fonction : Mesurer le niveau du réservoir en temps réel.
- Connexion : Le capteur Ultrasons est connecté à l'entrée numérique de la carte Arduino.

4. Carte Arduino

- Fonction : Servir de contrôleur central pour le système.
- Entrée :
 - Capteur de température/humidité : La carte Arduino reçoit les données de température et d'humidité du capteur.
 - Capteur de lumière : La carte Arduino reçoit les données de lumière du capteur.
 - Capteur Ultrasons : La carte Arduino reçoit les données du niveau de réservoir du capteur.
- Sortie :
 - Affichage : La carte Arduino envoie les valeurs mesurées à un dispositif d'affichage (comme un écran LCD) pour une lecture en temps réel.
 - Module GSM : En cas de détection des mesures critiques pour la température, l'humidité, la lumière et le niveau d'eau du réservoir l'Arduino transmettent un message d'alerte via le module GSM.
 - Circuit adaptateur à base de relais : La carte Arduino envoie des signaux pour activer ou désactiver le relais afin de contrôler les paramètres de notre système.

5. Affichage des valeurs de la température

- Fonction : Afficher les valeurs de la température mesurées par les capteurs en temps réel.
- Connexion : Connecté à une sortie de la carte Arduino.

6. Module GSM

- Fonction : Transmettre des messages d'alerte à l'utilisateur et recevoir des commandes.
- Connexion : Connecté à la carte Arduino pour l'envoi et la réception de messages.

- Opérations :
 - Transmission : Envoie un message d'alerte à l'utilisateur lorsque les mesures dépassent des seuils critiques.
 - Réception : Reçoit des commandes de l'utilisateur pour réagir d'activer ou désactiver les actionneurs.

7. Relais (Circuit adaptateur)

- Fonction : Agir comme un interrupteur contrôlé électroniquement pour arrêter/démarrer les actionneurs.
- Connexion :
 - Entrée : Connecté à une sortie numérique de la carte Arduino.
 - Sortie : Connecté au circuit adaptateur des actionneurs.

8. Circuit adaptateur des actionneurs

- Fonction : Assurer un environnement optimal pour le lapin dans toutes ses configurations : température, lumière, humidité, Eau.
- Connexion :
 - Entrée : Connecté au relais pour recevoir les signaux de commande.
 - Sortie : Connecté aux actionneurs (Ventilateurs, Lampes, pompe à eau) pour gérer leurs fonctionnements.

9. Actionneurs

Ventilateur : - Fonction : Assurer la circulation de l'air pour maintenir une température adéquate et prévenir l'accumulation de chaleur.

Ventilateur d'extraction : - Fonction : Extraire l'air chaud et vicié maintenir une humidité appropriée pour lapins.

Lampes : - Fonction : Fournir un éclairage suffisant et réguler les cycles de lumière pour le bien-être des lapins.

Pompe à eau : - Fonction : Assurer l'approvisionnement en eau pour fournir de l'eau potable pour lapins.

3.2.2 Fonctionnement global du système

1. Surveillance des paramètres

- Les capteurs (DHT11, LDR, Ultrasons) mesurent en continu (la température, l'humidité, La luminosité, niveau d'eau du réservoir) pour l'environnement de lapin.
- Les données mesurées sont envoyées à la carte Arduino.

2. Affichage des valeurs

- La carte Arduino affiche les valeurs de (température, humidité, lumière, niveau de réservoir d'eau) sur un écran pour une surveillance visuelle.

3. Alerte en cas mesure critique détectée :

- Si la mesure dès l'un des paramètres précédant dépasse un seuil critique, l'Arduino envoie un message d'alerte à l'utilisateur via le module GSM.

4. Commande utilisateur

L'utilisateur reçoit le message d'alerte et peut envoyer une commande pour démarrer ou arrêter (le ventilateur, le chauffage, la lampe, la pompe à eau) s'il ya un dépassement des seuils critiques.

- La commande de l'utilisateur est reçue par le module GSM et transmise à l'Arduino.

5. Contrôle du ventilateur / chauffage

- **ventilateur**

- Sur réception de la commande d'arrêt/ marche, l'Arduino active/désactive le relais.
- lorsque le relais ouvre le circuit adaptateur des actionneurs, coupant ainsi l'alimentation du ventilateur l'arrêtant.

Lorsque le cas contraire le relais ferme le circuit d'actionneur, démarrant le ventilateur.

- **Chauffage**

- Sur réception de la commande d'arrêt/ marche, l'Arduino active/désactive le relais.
- lorsque le relais ouvre le circuit adaptateur des actionneurs, coupant ainsi l'alimentation du chauffage l'arrêtant.

Lorsque le cas contraire le relais ferme le circuit d'actionneur, démarrant le chauffage.

6. Contrôle d'humidité

- **Ventilateur d'extraction**

- Sur réception de la commande d'arrêt/ marche, l'Arduino active/désactive le relais.
- lorsque le relais ouvre le circuit adaptateur des actionneurs, coupant ainsi l'alimentation du ventilateur l'arrêtant.

Lorsque le cas contraire le relais ferme le circuit d'actionneur, démarrant le ventilateur.

7. Contrôle de lumière

- **Lampes**

- Sur réception de la commande d'arrêt/ marche, l'Arduino active/désactive le relais.
- lorsque le relais ouvre le circuit adaptateur des actionneurs, coupant ainsi l'alimentation de la lampe l'arrêtant.

Lorsque le cas contraire le relais ferme le circuit d'actionneur, démarrant la lampe.

8. Contrôle de niveau du réservoir

- **Pompe à eau**

- Sur réception de la commande d'arrêt/ marche, l'Arduino active/désactive le relais.
- - lorsque le relais ouvre le circuit adaptateur des actionneurs, coupant ainsi l'alimentation de la Pompe à eau l'arrêtant.
- Lorsque le cas contraire le relais ferme le circuit d'actionneur, démarrant la Pompe à eau

3.3 Implémentation de systèmes de mesure et de contrôle : Schémas et fonctionnement

3.3.1 Fonctionnement du système via la carte Arduino

Dans ce système, le fonctionnement via le microcontrôleur Arduino s'effectue à travers l'appui sur le bouton-poussoir BP.

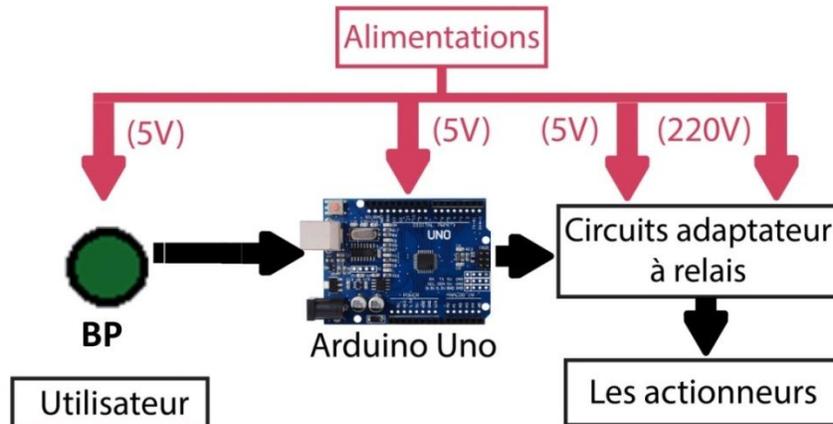


Figure 3.2 Fonctionnement du système via la carte Arduino

3.3.2 Fonctionnement du système utilisant un système de communication mobile

En ajoutant au système précédant le control à travers la communication mobile par le module GSM.

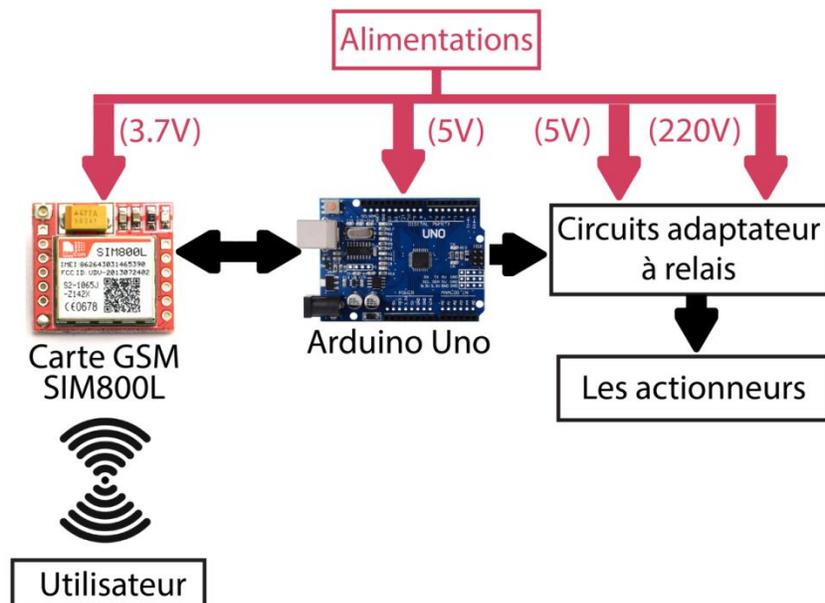


Figure 3.3 Fonctionnement du système utilisant un système de communication mobile

A- Configurations matérielles FTDI232 avec GSM SIM 808

1- Connexion du convertisseur USB TTL à l'interface UART USB TTL SIM 808

- TXT – RXD

- RXD – TXD
- GND – GND

- 2- Insertion de la carte SIM valide dans le support SIMCARD.
- 3- Connexion l'antenne GSM à la carte.
- 4- Connexion l'adaptateur secteur à l'interface DC044.
- 5- Changement l'interrupteur.
- 6- Action sur le bouton START pendant 3 secondes, le module SIM808 fonctionnera et les 3 autres LED s'allumeront.

B- Configurations Software de l'HyperTerminal avec GSM SIM 808

Une fois le module GSM SIM 808 est lié avec le PC et mis sous tension. On procède à son test grâce à un HyperTerminal et un émulateur virtuel de port série à l'aide des commandes AT qui seront discutées en bas.

➤ **Hyperterminal**

C'est un logiciel qui permet de se connecter à des systèmes (Ordinateurs, modem, module etc.....) afin d'envoyer des commandes pour s'assurer qu'ils sont correctement connectés. La communication entre HyperTerminal et les équipements est en textuelle « interface textuelle ».

Il peut être inclus dans Windows ou téléchargé séparément.

Il existe différents types de logiciel terminal dont nous citons quelques uns :

- RealTerm Serial capture program 2...0.0.7
- YAT
- PUTTY
- Project1
- HyperTerminal Windows

Dans notre cas nous avons l'HyperTerminal YAT.

➤ **Emulateur port série**

Ce sont des ports série virtuels **pour établir une liaison entre un équipement virtuel ou physique et une application afin de communiquer entre eux**, sont spécifiés pour configurer une interface virtuelle. Ils se comportent comme de vrais ports COM, de manière à ce que les applications n'y voient aucune différence. Il permet ainsi à l'utilisateur de créer un nombre illimité de port COM virtuel série qui est détecté automatiquement par le périphérique ou logiciel série.

Il existe plusieurs modèles dans le marché :

- ComPort Data Emulateur

- Advanced Serial Port Terminal
- VSPE Emulateur
- Virtuel Serial Port Driver

Il très simple à configurer une fois lance après l'installation :

- Ajouter une paire de ports COM
- Lier le modèle de COM de l'application et utilisez le terminal de port série pour vous connecter.

Dans notre cas nous avons utilisé le VSPE Emulateur pour créer une liaison entre l'HyperTerminal et le module GSM SIM 808 dans Windows, les paramètres de configuration de l'HyperTerminal pour permettre une communication sont :

- Port COM5
- 9600 bps
- 8 bits de data
- Pas de bit de parité
- 1 bit d'arrêt
- Aucun contrôle de flux
- FIFO désactivés

L'étape suivante pour terminer les tests du module GSM SIM 808, ces tests ne sont que les commandes envoyer entre l'HyperTerminal et le module appelés sous le nom de commandes AT.

Commandes AT

Les commandes AT sont définies dans la norme GSM (pour les SMS cf. GSM 07.05). AT est l'abréviation de 'Attention'. Ces 2 caractères sont toujours présents pour commencer une ligne de commande sous forme de texte (codes ASCII). Les commandes permettent :

- de composer un numéro de téléphone.
- de commander le raccordement du modem à la ligne (l'équivalent de décrocher le téléphone).
- de connaître l'état de la ligne : tonalité d'invitation à transmettre, ligne occupée...
- de spécifier le type de transmission et le protocole de liaison à utiliser
- de régler le volume sonore du haut-parleur interne du modem.
- d'envoyer les caractères transmis simultanément vers l'écran.
- d'afficher certains renseignements concernant le modem.
- de manipuler les registres internes du modem.

Composer et modifier les paramètres de connexion pour les modems.

A- Structure et Syntaxe d'une commande AT

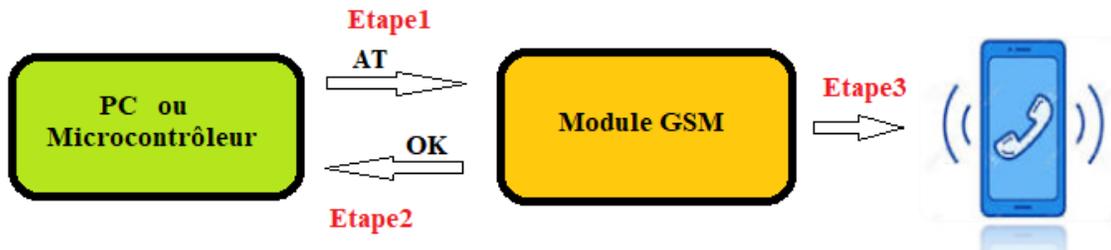


Figure 3.4 Transmission commande AT

AT est le préfixe d'une ligne de commande qui indique au module qu'une commande ou une séquence de commande est entrée. Il existe deux modes pour configurer les commandes afin d'envoyer un sms :

- Mode texte
- Mode Pdu

Pour les SMS, on n'a exploité que le mode texte.

B- Types des AT COMMANDS et les réponses

Commande de test	AT+<X> = ?	Le ME renvoie la liste des paramètres et des plages de valeurs définies avec la commande d'écriture correspondante par processus internes.
Commande pour lire	AT+<X> ?	Cette commande renvoie la valeur actuellement définie du paramètre ou des paramètres.
Commande pour écrire	AT+<X> = <...>	Cette commande définit les valeurs de paramètre défini par l'utilisateur.
Commande d'exécution	AT+<X>	La commande d'exécution lit les paramètres non variables affectés par les processus internes dans le GSM.

Tableau 3.1 AT COMMANDS

C- Commandes dédiées au service SMS

Ce tableau ne désigne que quelques commandes AT pour gérer la manipulation des sms

AT	Répond par OK pour accusé la réception
AT+CPIN ?	Vérifier la qualité du signal
AT+ COPS ?	Chercher le nom du fournisseur
AT+CMGR	AT+CMGR=1 lit le premier message en position
AT+ CMGD =1	Supprime le premier en position
AT+CMGDA="DELALL"	Supprime tous les messages
AT+ CMGL ="ALL"	Supprime tous les messages
AT+ CMGF = 0	Configurer sms en mode PDU
AT+ CMGF =1	Configurer sms en mode texte
AT+ CMGS = "+91 968837XXXX"	Envoyer un sms à un numéro particulier
AT+ CPMS	Sélection de ta zone mémoire pour le stockage des SMS
AT+ CMNI	Indication concernant un nouveau message
AT+CMGL	Lister les sms stockés en mémoire

Tableau 3.2 Commandes dédiées au service SMS

3.3.3 Control automatique de température et d'humidité via carte Arduino

Dans cette étape le capteur de température mesure la température ambiante et envoie les données à l'Arduino. Si la température est inférieure à un seuil prédéfini, l'Arduino active le chauffage. Si la température est supérieure à ce seuil, l'Arduino active le ventilateur.

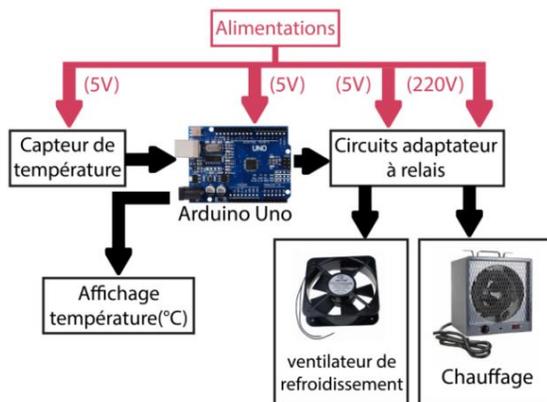


Figure 3.5 Control de la température via Arduino

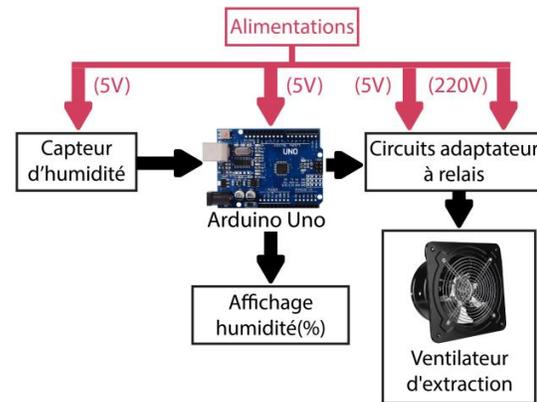


Figure 3.6 Control de l'humidité via Arduino

3.3.4 Control automatique de la lumière via carte Arduino

Dans cette étape, le capteur de lumière mesure la luminosité ambiante et envoie les données à l'Arduino. Si la luminosité est inférieure à un seuil prédéfini, l'Arduino allume la lampe.

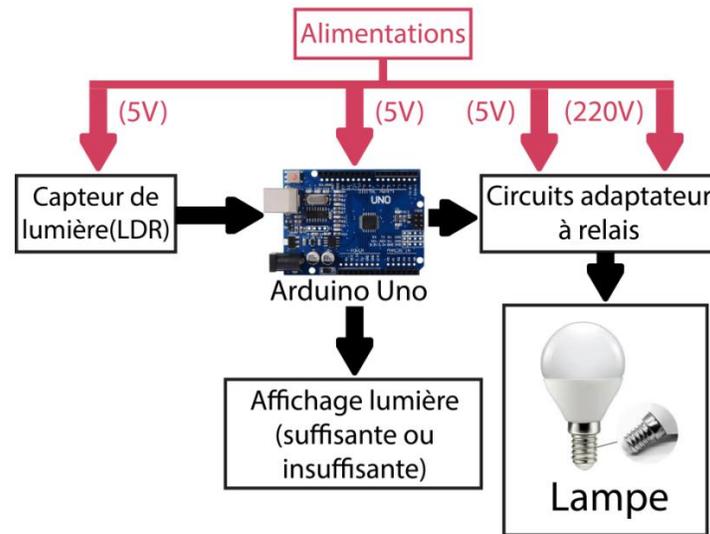


Figure 3.7 Control automatique de la lumière via carte Arduino

3.3.5 Control automatique de capteur Ultrasonique via carte Arduino

Lorsque le capteur de distance à ultrasons détecte que le réservoir n'est pas rempli, il envoie cette information à l'Arduino, qui active alors la pompe à eau.

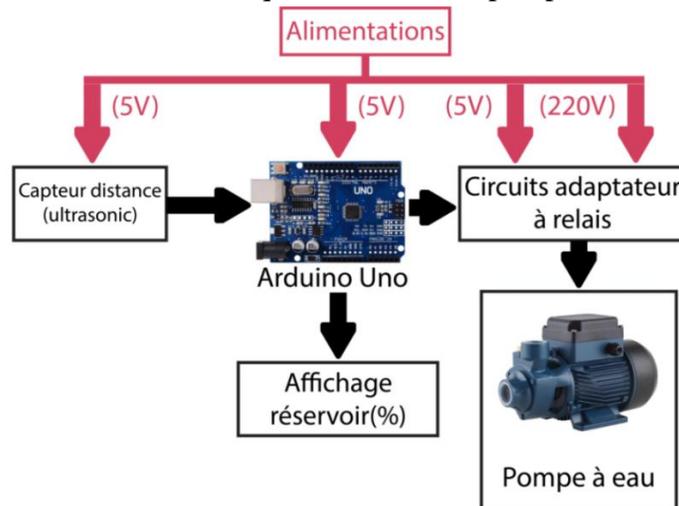


Figure 3.8 Control automatique de capteur Ultrasonique via carte Arduino

3.4 Fonctionnement du système utilisant les technologies de communication

3.4.1 Communication mobile avec GSM

Utilisant une carte Arduino Uno et une carte GSM, notre système surveille l'environnement avec des capteurs de luminosité, de température, etc. Les données sont analysées localement pour contrôler les actionneurs selon les besoins. La carte GSM facilite l'interaction utilisateur et permet un contrôle à distance, assurant des réponses adaptées en temps réel aux conditions mesurées.

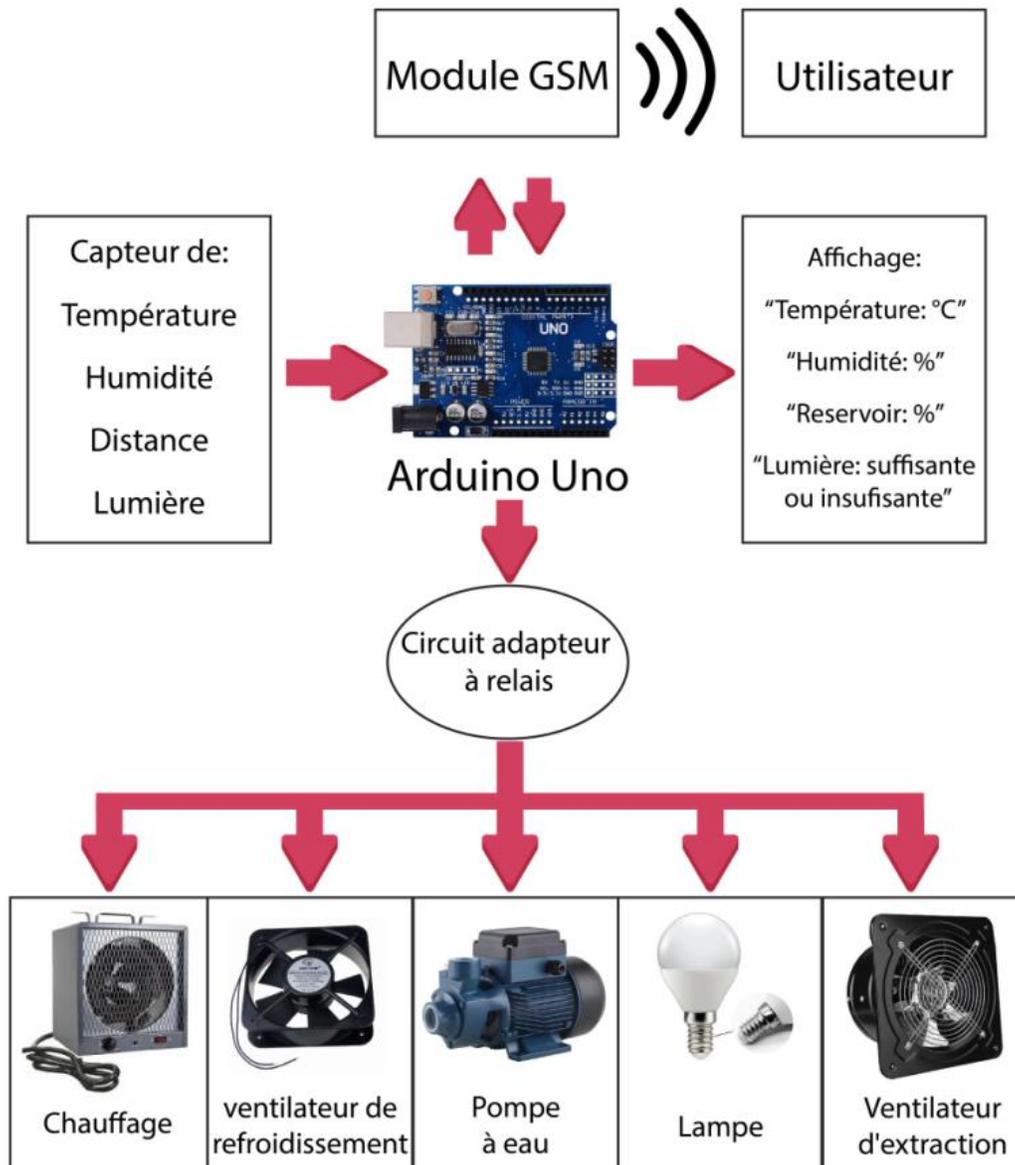


Figure 3.9 Fonctionnement du circuit à l'aide d'un système de communication mobile

3.4.2 Communication Internet via la carte ESP32 et Firebase

Nous améliorons notre système en utilisant la carte ESP32 pour se connecter à Firebase afin de communiquer via Internet. Les capteurs envoient les données environnementales telles que la luminosité, la température, etc., à une application mobile. En fonction de ces données, le système prend des décisions et actionne les actionneurs, permettant ainsi un contrôle à distance et en temps réel de l'environnement surveillé. Cela assure des réponses automatiques adaptées aux conditions mesurées.

Pour automatiser le fonctionnement, il est possible de remplacer la carte Arduino par l'ESP32 tout en conservant les mêmes étapes et programmations, en ajoutant simplement la configuration du Wifi et de Firebase.

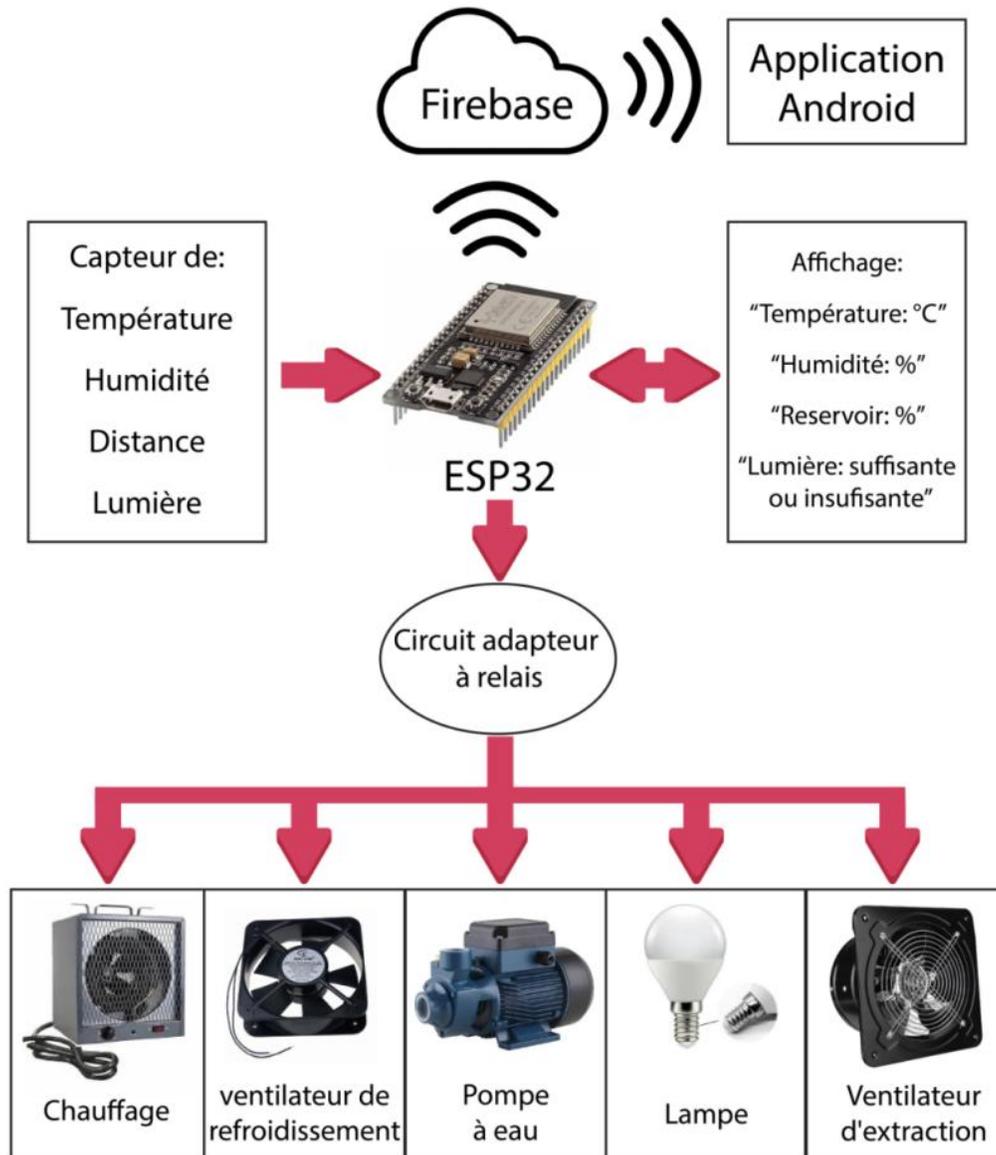


Figure 3.10 Fonctionnement du circuit via Internet

3.4.2.1 Etapes de création de base de données temps réel sur Firebase

1. **Accès à la Console Firebase**
 - Accédez à la Console Firebase.
2. **Création d'un Nouveau Projet**
 - Cliquez sur le bouton "Ajouter un projet" ou sélectionnez un projet existant.
3. **Configuration du Projet**
 - Donnez un nom à votre projet.

- Activez ou désactivez l'option de collecte de données Analytics selon vos besoins.
4. **Création du Projet**
 - Cliquez sur "Continuer" puis sur "Créer le projet" pour créer votre projet Firebase.
 5. **Attente de la Création :**
 - Attendez que Firebase crée votre projet.
 6. **Activation de FirebaseHosting (optionnel)**
 - Si vous souhaitez utiliser FirebaseHosting, activez cette fonctionnalité dans la section "Hosting" de votre projet.
 7. **Ajout d'une Application à Votre Projet**
 - Sélectionnez l'icône correspondant à l'application (Web, Android, iOS) que vous souhaitez ajouter à votre projet.
 - Suivez les instructions pour ajouter votre application à Firebase.
 8. **Configuration de l'Application**
 - Si nécessaire, ajoutez les fichiers de configuration (par exemple, google-services.json pour Android) à votre projet.
 9. **Installation des Dépendances (pour les Applications Mobiles)**
 - Installez les dépendances Firebase dans votre projet (par exemple, via les gestionnaires de dépendances comme Gradle pour Android ou CocoaPods pour iOS).
 10. **Initialisation de Firebase**
 - Initialisez Firebase dans votre application en suivant les instructions spécifiques à la plateforme que vous avez choisie.
 11. **Configuration des Règles de Sécurité (optionnel)**
 - Si vous utilisez FirebaseDatabase, Storage ou Firestore, configurez les règles de sécurité pour restreindre l'accès à vos données.
 12. **Développement et Test**
 - Commencez à développer et tester votre application en utilisant les fonctionnalités Firebase que vous avez configurées.

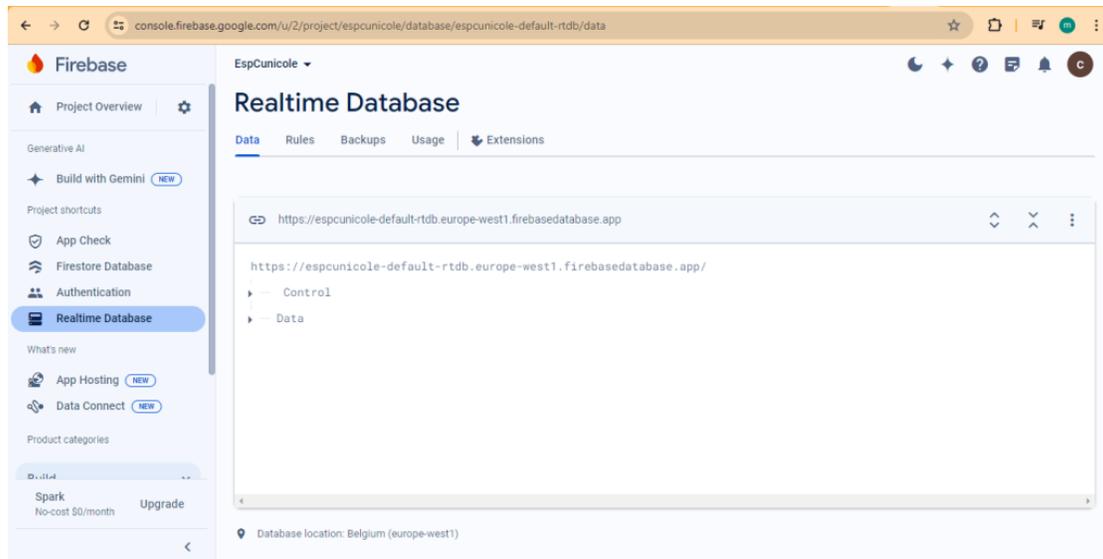


Figure 3.11 Google Firebase

3.5 Organigramme de fonctionnement

1. Démarrage du Système :

- Le système initialise tous les capteurs et actionneurs.

2. Lecture des Capteurs :

- Le capteur de lumière (Module LDR) mesure la luminosité.
- Le capteur d'humidité (DHT11) mesure l'humidité de l'air.
- Le capteur de température (DHT11) mesure la température de l'air.
- Le capteur ultrasonique mesure le niveau d'eau dans le réservoir.

3. Contrôle de la Lumière :

- Si la luminosité est insuffisante, le capteur de lumière envoie un signal au système d'éclairage pour qu'il s'allume.
- Sinon, le système d'éclairage reste éteint.

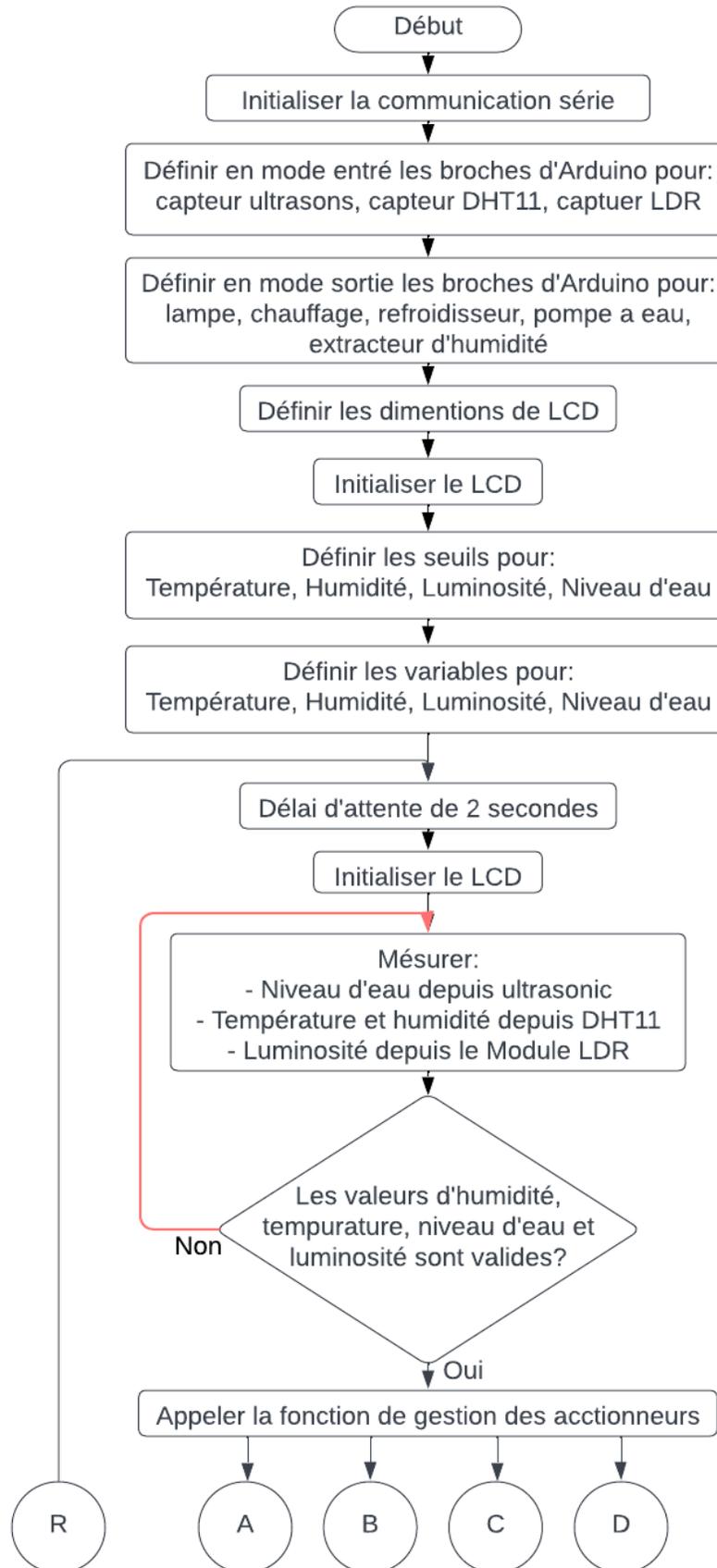
4. Contrôle de l'Humidité :

- Si l'humidité est élevée, le capteur d'humidité active l'extracteur d'air pour réduire l'humidité.
- Sinon, l'extracteur d'air reste inactif.

5. Contrôle de la Température :

- Si la température est élevée, le capteur de température active le ventilateur pour refroidir l'air.
- Si la température est basse, le capteur de température active le chauffage pour réchauffer l'air.

- Si la température est dans les limites normales, ni le ventilateur ni le chauffage ne s'activent.
6. **Contrôle du Réservoir d'Eau :**
- Si le niveau d'eau dans le réservoir est bas, le capteur ultrasonique active la pompe à eau pour remplir le réservoir.
 - Sinon, la pompe à eau reste inactive.
7. **Retour à l'Initialisation :**
- Le système retourne à l'étape de lecture des capteurs et continue le cycle pour maintenir des conditions optimales dans la maison des lapins.



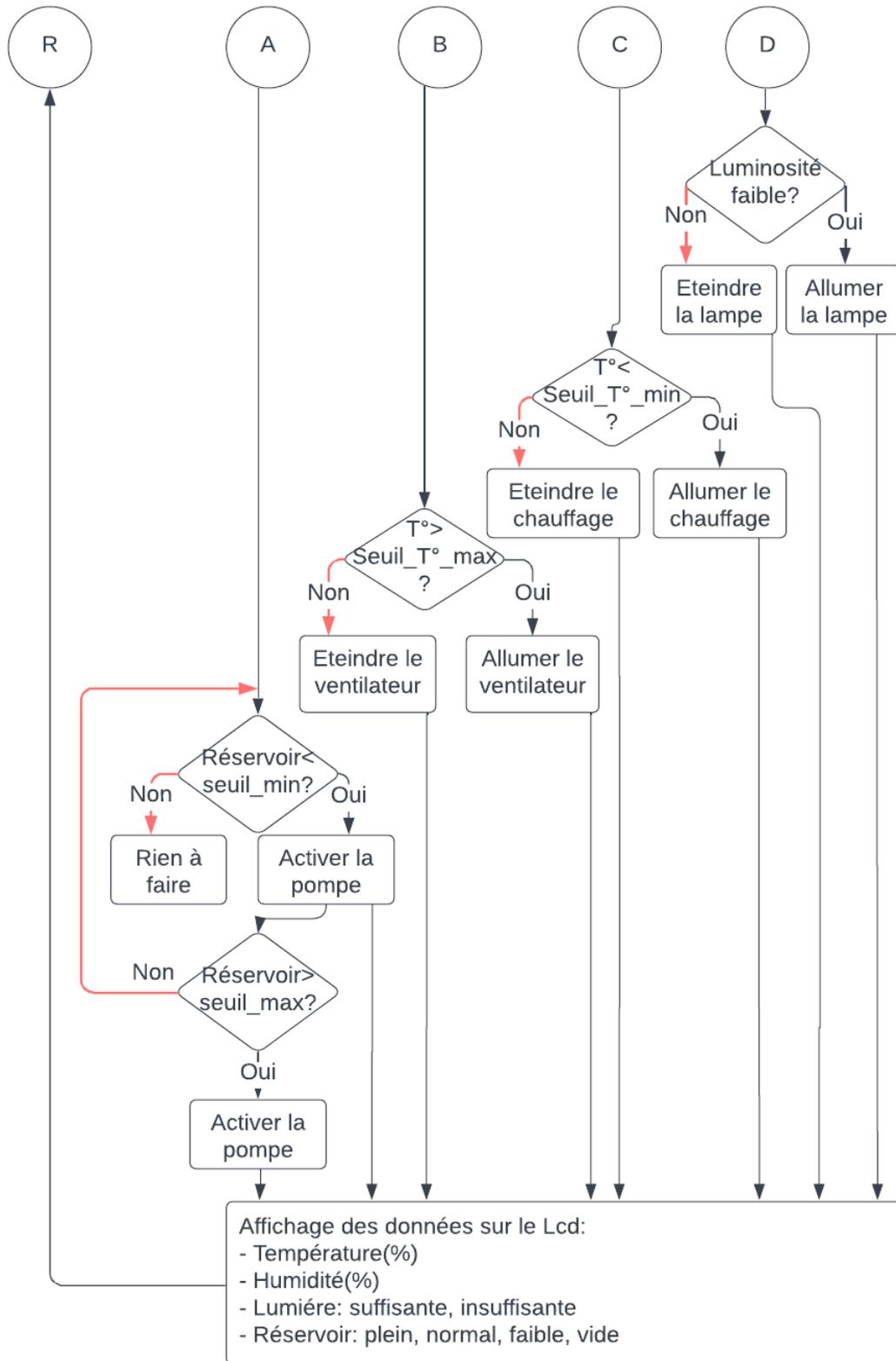


Figure 3.12 Organigramme

3.6 Simulations et programmations

Les simulations et programmations ont été effectuées à l'aide de Proteus et Arduino IDE, mettant en œuvre des circuits de base impliquant l'Arduino, tandis que la programmation a été réalisée à l'aide de l'Arduino IDE. Ces étapes revêtent une importance primordiale, précédant la phase de réalisation effective. Elles nous ont permis d'évaluer et de tester le fonctionnement de notre système dans un environnement virtuel, garantissant ainsi sa fiabilité et son efficacité avant sa mise en œuvre opérationnelle.

3.6.1 Température

Quand la température est élevée dans la serre, le capteur de température (DHT11) va détecter cela et le ventilateur va s'activer pour refroidir l'air. Inversement, quand la température est basse, le capteur de température (DHT11) va également le détecter et le chauffage va s'activer pour réchauffer l'air.

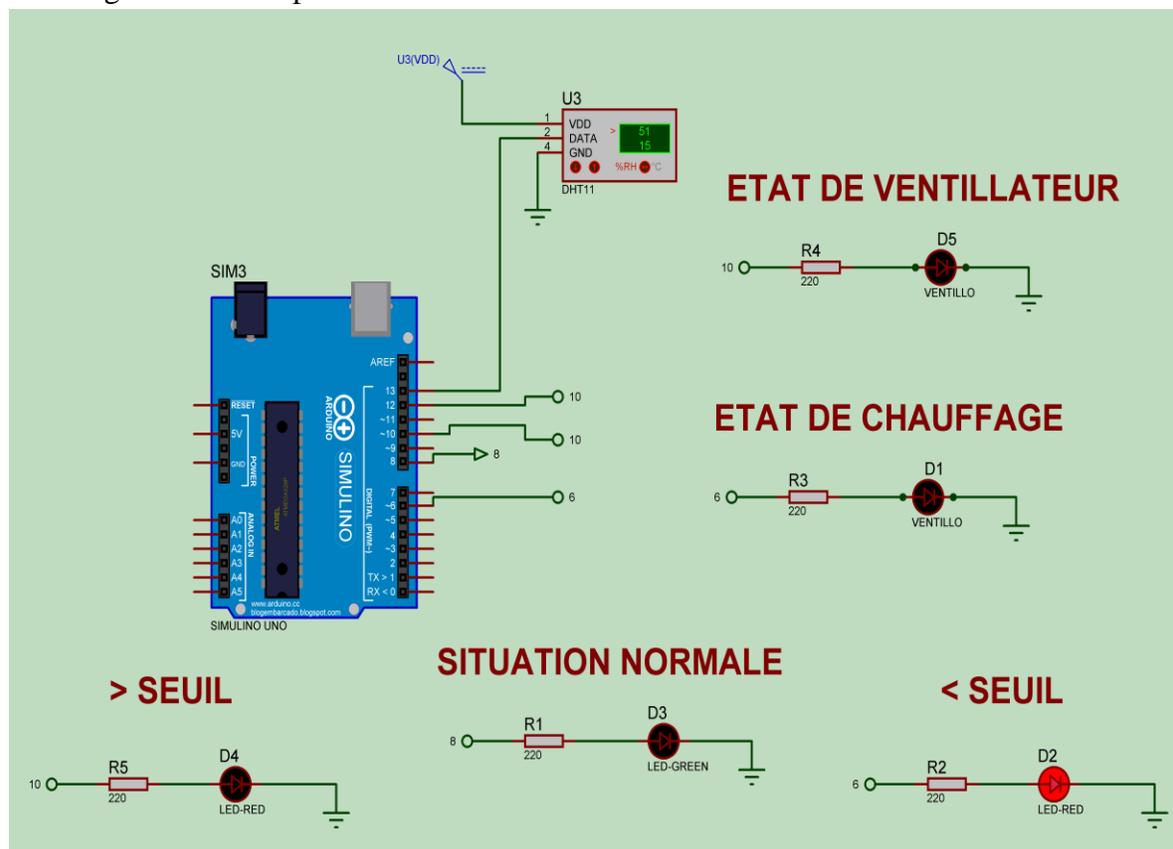


Figure 3.13 Schéma de contrôle de la température

Programme de contrôle de la température

```
#include <DHT.h>
// Configuration du capteur DHT11
#define DHTPIN 13 // Broche où le capteur DHT11 est connecté
#define DHTTYPE DHT11 // Type de capteur DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
// Seuils de température
const float seuilTempMin = 16.0; // Seuil de température minimale
const float seuilTempMax = 22.0; // Seuil de température maximale
// Broches pour les LED et les appareils
const int brocheLEDNormal = 8;
const int brocheVentilateur = 10;
const int brocheChauffage = 6;
void setup() {
    // Initialisation du capteur DHT
    dht.begin();
    // Configuration des broches des LED et des appareils en sortie
    pinMode(brocheLEDNormal, OUTPUT);
    pinMode(brocheVentilateur, OUTPUT);
    pinMode(brocheChauffage, OUTPUT);
    // Initialisation de la communication série
    Serial.begin(9600);
}
void loop() {
    // Lecture de la température du capteur DHT11
    float temperature = dht.readTemperature();
    // Vérification si la lecture a échoué
    if (isnan(temperature)) {
        Serial.println("Erreur de lecture du capteur de température !");
        return;
    }
    // Affichage de la température mesurée sur le port série
    Serial.print("Temperature: ");
    Serial.print(temperature);
    Serial.print(" C - Etat: ");
    // Contrôle des LEDs et appareils en fonction de la température
    if (temperature >= seuilTempMin && temperature <= seuilTempMax) {
        Serial.println("normal"); // Afficher "normal" si la température est dans la plage
        // Allumer la LED de la broche 8 (LED normal) et éteindre le ventilateur et le
        // chauffage
    }
}
```

```
digitalWrite(brocheLEDNormal, HIGH);
digitalWrite(brocheVentilateur, LOW);
digitalWrite(brocheChauffage, LOW);
} else if (temperature > seuilTempMax) {
    Serial.println("superieur a 22");
// Allumer le ventilateur et éteindre le chauffage et la LED normale
digitalWrite(brocheVentilateur, HIGH);
digitalWrite(brocheChauffage, LOW);
digitalWrite(brocheLEDNormal, LOW);
} else if (temperature < seuilTempMin) {
    Serial.println("inferieur a 16"); // Afficher "inferieur a 16" si la température est
inférieure à la plage normale

// Allumer le chauffage et éteindre le ventilateur et la LED normale
digitalWrite(brocheChauffage, HIGH);
digitalWrite(brocheVentilateur, LOW);
digitalWrite(brocheLEDNormal, LOW);
}

delay(1000); // Attente d'une seconde
}
```

3.6.2 Humidité

Quand l'humidité est élevée dans l'environnement de système autour, le capteur d'humidité (DHT11) va détecter ça et l'extracteur d'air (extractor) aura fonctionné.

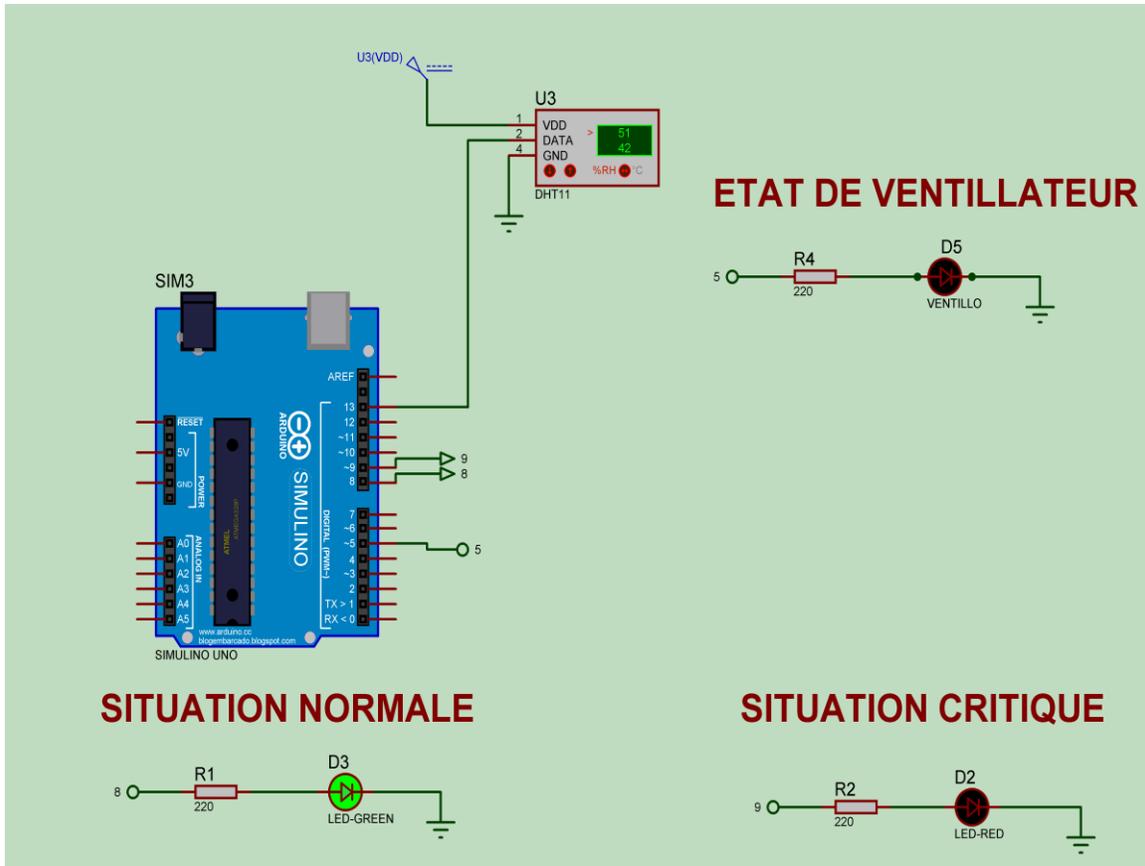


Figure 3.14 Schéma de contrôle d'humidité

Programme de contrôle d'humidité

```
#include <DHT.h>

// Configuration du capteur DHT11
#define DHTPIN 13      // Broche où le capteur DHT11 est connecté
#define DHTTYPE DHT11 // Type de capteur DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

// Seuils d'humidité pour un lapin
const float seuilMin = 40.0; // Seuil d'humidité minimale pour un lapin
const float seuilMax = 60.0; // Seuil d'humidité maximale pour un lapin

// Broches pour les LED supplémentaires
const int brocheLEDNormal = 8;
const int brocheLEDCritique = 9;
const int VentBroche = 5; // Nouvelle broche LED critique pour allumer
Ventullo

void setup() {
    // Initialisation du capteur DHT
    dht.begin();

    // Configuration des broches des LED en sortie
    pinMode(brocheLEDNormal, OUTPUT);
    pinMode(brocheLEDCritique, OUTPUT);
    pinMode(VentBroche, OUTPUT); // Configurer la nouvelle broche LED
critique en sortie

    // Initialisation de la communication série
    Serial.begin(9600);
}

void loop() {

    float humidite = dht.readHumidity();

    // Vérification si la lecture a échoué
    if (isnan(humidite)) {
        Serial.println("Erreur de lecture du capteur d'humidité !");
        return;
    }
}
```

```
Serial.print("Humidite: ");
Serial.print(humidite);
Serial.print(" % - Etat: ");

if (humidite >= seuilMin && humidite <= seuilMax) {
    Serial.println("normal");
    digitalWrite(brocheLEDNormal, HIGH);
    digitalWrite(brocheLEDCritique, LOW);
    digitalWrite(VentBroche, LOW);
} else {
    Serial.println("critique");
    digitalWrite(brocheLEDCritique, HIGH);
    digitalWrite(VentBroche, HIGH);
    digitalWrite(brocheLEDNormal, LOW);
}

delay(1000); // Attente d'une seconde
}
```

3.6.3 Lumière

Quand la luminosité est insuffisante, le capteur de lumière (Module LDR) va détecter ça et le système d'éclairage aura fonctionné.

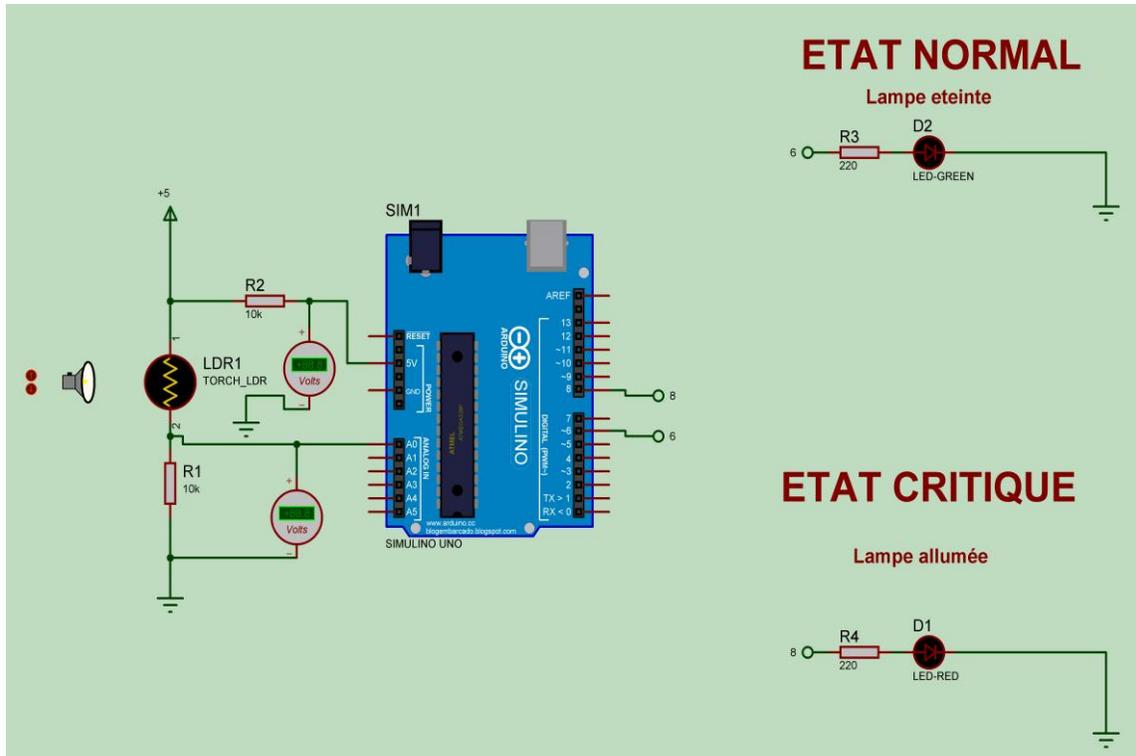


Figure 3.15 Schéma de contrôle de la lumière

Programme de contrôle de la lumière

```
const int analogInputPin = A0;
const int normalLedPin = 6;
const int critiqueLedPin = 8;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(normalLedPin, OUTPUT);
  pinMode(critiqueLedPin, OUTPUT);
}

void loop() {
  int valeurAnalogique = analogRead(analogInputPin);
  Serial.print("\033[2J\033[H");
  Serial.print("Luminosite : ");

  if (valeurAnalogique >= 800) {
    Serial.println("Normale");
    digitalWrite(normalLedPin, HIGH);
    digitalWrite(critiqueLedPin, LOW);
  } else if (valeurAnalogique >= 500 && valeurAnalogique < 800) {
    Serial.println("Moyenne");
    digitalWrite(normalLedPin, HIGH);
    digitalWrite(critiqueLedPin, LOW);
  } else if (valeurAnalogique >= 200 && valeurAnalogique < 500) {
    Serial.println("Faible");
    digitalWrite(normalLedPin, HIGH);
    digitalWrite(critiqueLedPin, LOW);
  } else if (valeurAnalogique >= 50 && valeurAnalogique < 200) {
    Serial.println("Tres faible");
    digitalWrite(normalLedPin, HIGH);
    digitalWrite(critiqueLedPin, LOW);
  } else {
    Serial.println("Critique pour le lapin");
    digitalWrite(normalLedPin, LOW);
    digitalWrite(critiqueLedPin, HIGH);
  }
  delay(1000);
}
```

3.6.4 Réservoir d'eau

Le réservoir d'eau : Quand le niveau d'eau dans le réservoir est bas, le capteur ultrasonique va le détecter et la pompe à eau va s'activer pour remplir le réservoir, assurant ainsi un approvisionnement constant en eau.

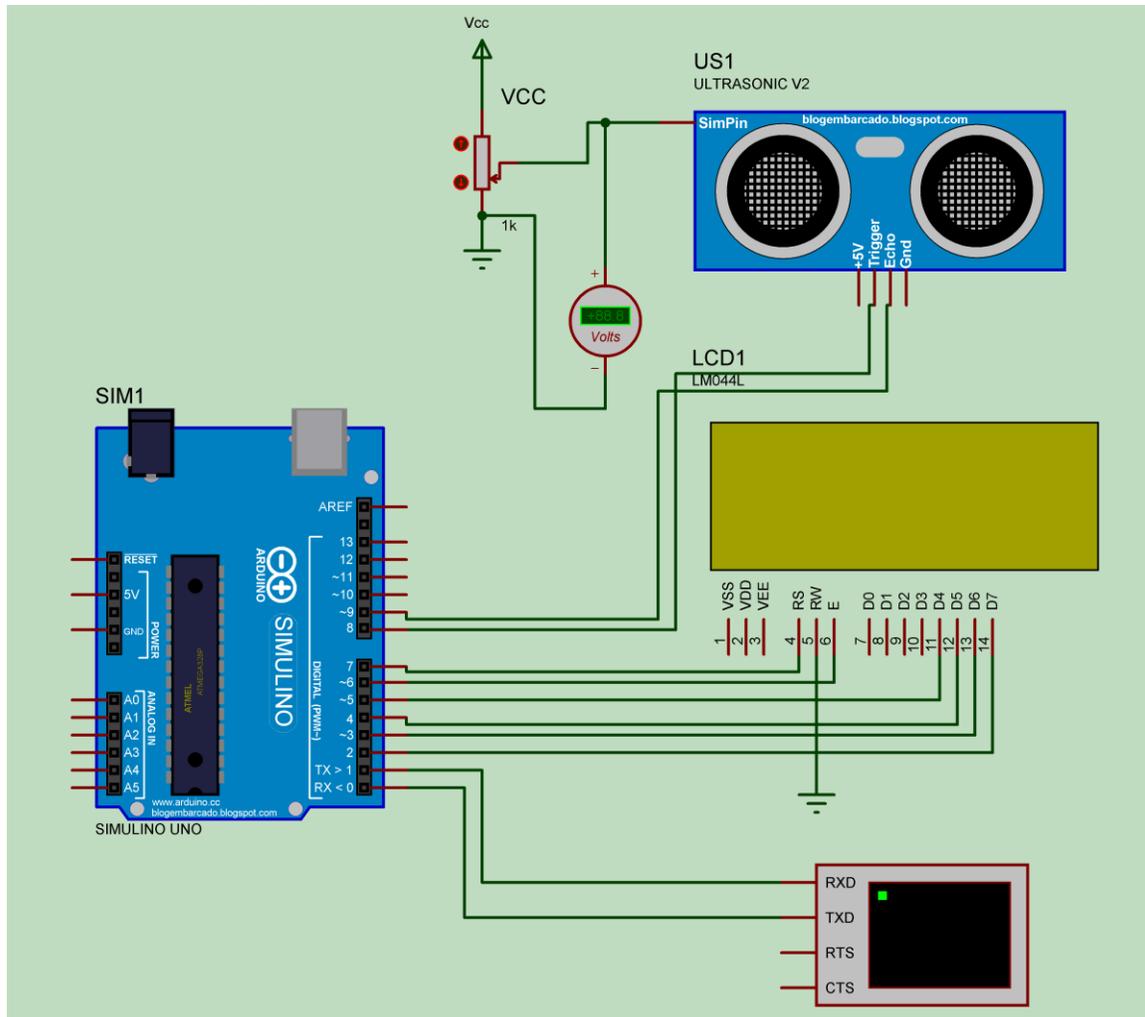


Figure 3.16 Schéma de contrôle d'un réservoir d'eau

Programme de contrôle de la lumière

```
#include <LiquidCrystal.h>

#define trigPin 8
#define echoPin 9
#define pompePin 13

// Initialize the LCD. Pins: RS, E, D4, D5, D6, D7
LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2);

int lastPumpState = -1; // Variable to store the last state of the
pump

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
  pinMode(pompePin, OUTPUT);

  lcd.begin(20, 4);
  lcd.clear();
}

void loop() {
  long duration, distance;
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
  distance = (duration / 4) / 291;

  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Distance= ");
  lcd.print(distance);
  lcd.print("cm");

  Serial.print(distance);
  Serial.println(" cm");
}
```

```
int pumpState = getPumpState(distance);
if (pumpState != lastPumpState) {
  lastPumpState = pumpState;
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 1);
  if (pumpState == 0) {
    lcd.print("Reservoir vide");
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("Pompe: ON");
    Serial.println("Pompe: ON");
    digitalWrite(pompePin, HIGH); // Turn on the pump
  } else if (pumpState == 1) {
    lcd.print("Reservoir normal");
    Serial.println("Reservoir normal");
  } else if (pumpState == 2) {
    lcd.print("Reservoir rempli");
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("Pompe: OFF");
    Serial.println("Pompe: OFF");
    digitalWrite(pompePin, LOW); // Turn off the pump
  }
}

delay(500);
}

int getPumpState(long distance) {
  if (distance <= 12) {
    return 0; // Reservoir empty, turn on pump
  } else if (distance > 12 && distance < 22) {
    return 1; // Reservoir normal, no change to pump
  } else if (distance >= 22) {
    return 2; // Reservoir filled, turn off pump
  } else {
    return -1; // No change
  }
}
```

3.7 Conception et réalisation

Fritzing est un logiciel de conception de circuits électroniques facile à utiliser, idéal pour créer des schémas et des prototypes de circuits imprimés. Son interface intuitive permet de dessiner, d'ajouter des composants électroniques et de visualiser les connexions de manière visuelle.

3.7.1 Schéma de système via Arduino Uno avec Fritzing

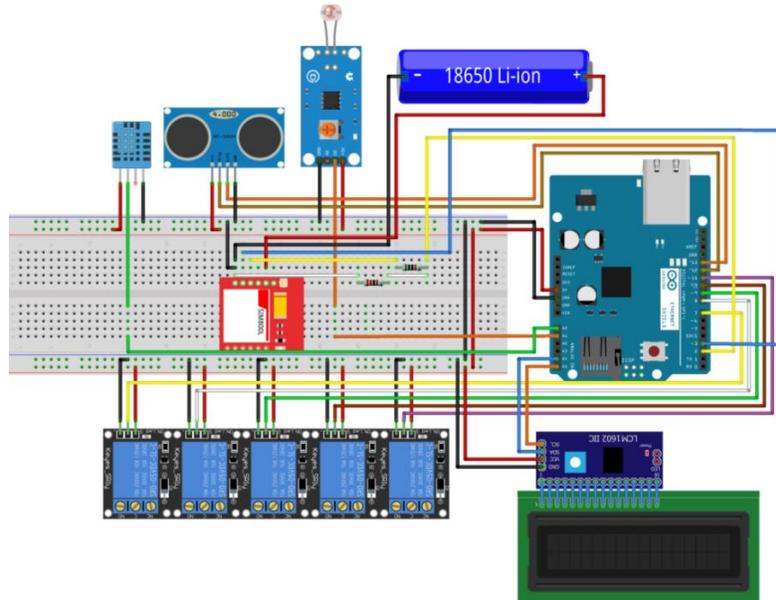


Figure 3.17 Schéma de système via Arduino Uno avec Fritzing

3.7.2 Schéma de système via ESP32 avec Fritzing

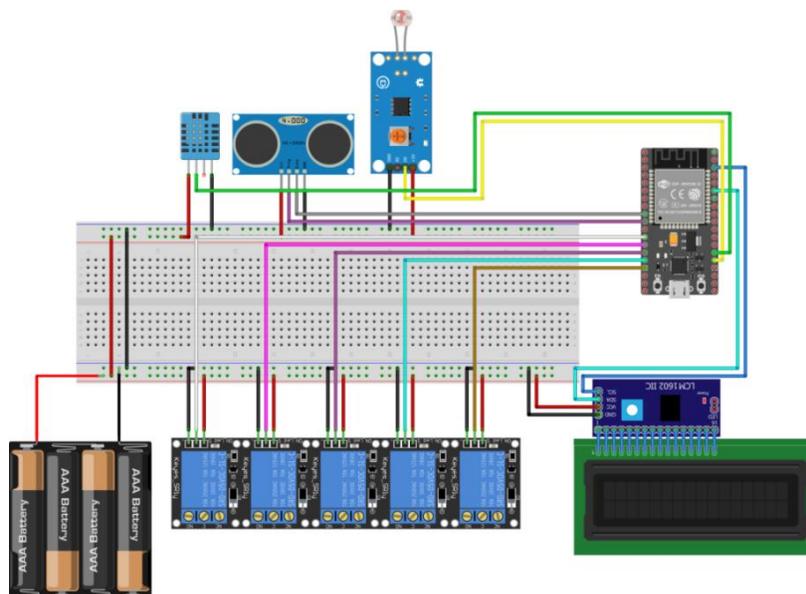


Figure 3.18 Schéma de système via ESP32 Uno avec Fritzing

3.7.3 Réalisation du prototype d'un système d'élevage cunicole intelligent

Les photos fournies ci-dessous représentent la mise en œuvre de notre projet.



Figure 3.19 Photo de système réalisé (Prototype)

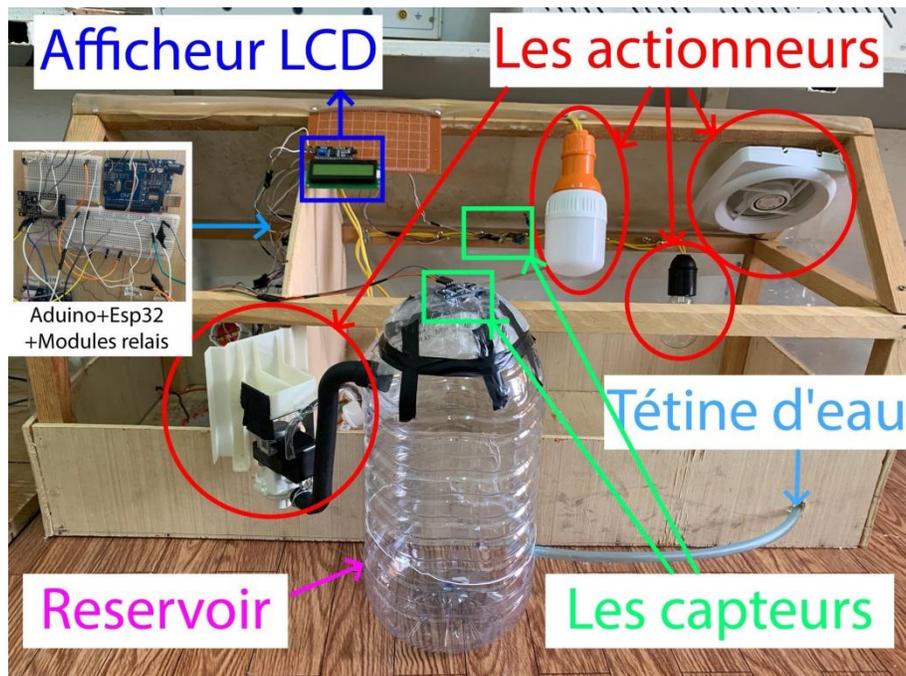


Figure 3.20 Les différents éléments du système réalisé

3.8 Conclusion

En conclusion, ce chapitre a présenté une réalisation d'un système d'élevage cunicole intelligent basé sur les technologies Arduino, GSM, ESP32 et Firebase. Ce prototype permet de surveiller en temps réel les conditions environnementales dans l'enclos des lapins, d'ajuster l'éclairage et de gérer les niveaux d'eau. Les alertes SMS et les notifications push permettent à l'éleveur d'être informé de tout changement critique

nécessitant une intervention immédiate. L'intégration de Firebase et d'une application Android offre une interface utilisateur conviviale pour le contrôle et la surveillance à distance des paramètres de l'élevage.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

La présente étude sur l'application d'un système de communication mobile à un élevage cunicole intelligent, bien que modeste, a permis d'explorer les fondements théoriques, les ressources matérielles et l'implémentation pratique d'un tel système. À travers les trois chapitres, nous avons approfondi notre compréhension et développé des solutions pratiques pour améliorer le contrôle et la surveillance des élevages cunicoles. De plus, il s'agit d'un domaine d'actualité qui est devenu de plus en plus important dans l'agriculture actuelle.

Dans le premier chapitre, nous avons exploré en profondeur les fondements et les besoins en conception de l'élevage cunicole en mettant en lumière les éléments essentiels à une gestion efficace des lapins. Nous avons souligné l'importance cruciale du contrôle rigoureux de la température, de l'humidité et de l'éclairage pour assurer le bien-être et la productivité des animaux tout au long de leur cycle de vie.

En intégrant ces connaissances théoriques et pratiques, nous avons jeté les bases pour examiner de plus près les systèmes d'automatisation disponibles, notamment le système d'alimentation et le système d'abreuvement. De plus, une étude approfondie de la structure des conditions environnementales a été entreprise, essentielle pour garantir un élevage cunicole efficace et durable.

Le deuxième chapitre s'est concentré sur les ressources matérielles d'un système de commande basé sur Arduino. Nous avons introduit les éléments clés d'un tel système, en décrivant les périphériques d'entrée et de sortie, et en discutant des outils de développement associés. Nous avons également examiné les avantages et inconvénients des systèmes basés sur Arduino ainsi que des modules de communication mobile, et avons exploré l'amélioration de ce système par l'intégration de la base de données Firebase via la carte ESP32.

L'intérêt tiré de ce chapitre réside dans la compréhension des outils nécessaires pour concevoir un système de gestion d'élevage cunicole intelligent.

Conclusion Générale

Le troisième chapitre a été dédié à l'étude du système d'élevage cunicole intelligent, en présentant une représentation générale du système et son fonctionnement global. Nous avons exploré les différentes méthodes de fonctionnement, incluant le fonctionnement automatique contrôlé par interaction utilisateur, via une carte Arduino et en utilisant un système de communication mobile. Nous avons travaillé sur les paramètres de température, d'humidité, de lumière et de contrôle du réservoir d'eau, étant donné qu'ils sont essentiels pour assurer le bien-être optimal des lapins dans un environnement d'élevage. De plus, nous avons intégré des systèmes basés sur Arduino pour surveiller et contrôler ces paramètres, marquant ainsi le début d'un contrôle complet et intelligent de l'environnement de l'élevage cunicole. Nous avons détaillé le processus de réalisation du système, de l'organigramme de fonctionnement à la simulation et la réalisation des circuits, enfin à la programmation. L'étude économique a complété cette analyse en évaluant la faisabilité financière du projet. L'intérêt porté aux modules de communication tels que GSM et ESP32 a été bénéfique, nous permettant de voir de près comment un système d'élevage cunicole pourrait être commandé à distance et en temps réel. Les manipulations dans ce domaine étaient particulièrement intéressantes et enrichissantes.

Cependant, la réalisation pratique de ce projet n'a pas été sans difficultés. En particulier, nous avons rencontré des défis liés à l'acquisition des composants nécessaires pour notre système d'élevage cunicole intelligent en raison de l'indisponibilité de ces composants au niveau de l'université, nous avons dû les acheter à l'extérieur pour compléter nos réalisations pratiques. Cette démarche nous a non seulement permis de mener à bien notre projet, mais elle nous a également offert une expérience précieuse qui se rapproche des conditions réelles de l'élevage cunicole.

De plus, ce travail nous a donné la possibilité d'apprendre et de connaître des principes que nous ignorions avant d'entamer cette étude, notamment l'intégration des systèmes embarqués aux domaines d'agriculture, et plus particulièrement l'application des composants de communication mobiles pour le fonctionnement d'un système en général. Par conséquent, l'intégration de ces systèmes de communication mobile dans le contrôle et la surveillance de l'élevage cunicole offre des perspectives prometteuses pour

Conclusion Générale

améliorer leur efficacité. Les avancées technologiques, combinées à des solutions matérielles accessibles comme les cartes Arduino (Microcontrôleur), permettent de développer des systèmes de contrôle intelligents et adaptatifs.

Notre projet a consisté en la réalisation d'un prototype et les futurs travaux dans ce domaine impliqueront principalement l'utilisation de d'autres systèmes de communication pour développer des solutions adaptées aux paramètres restants de cet élevage (Nutrition, santé des animaux, gestion des déchets, etc..) et aussi pour d'autres types d'élevage d'animaux tels que :

- Le Clapier
- La Bergerie
- L'Écurie
- La Bâche ou L'Étable
- Le Poulailier

Références Bibliographiques

- [1] Casella, S., Pugliese, C., Barone, F., Giannetto, C., Fazio, F., & Piccione, G. (2018). Thermoregulatory and metabolic adaptation responses to environmental stress in rabbits*. *Animal Science Journal*, 89(3), 623-630.
- [2] Trocino, A., & Xiccato, G. (2021). Animal welfare in rearing and transport of rabbits: A review with emphasis on the welfare indicators and their assessment*. *Italian Journal of Animal Science*, 20(1), 348-363.
- [3] Gidenne, T., Fortun-Lamothe, L., & Garcia, J. (2017). Reproductive rabbit does: Nutritional and environmental management*. *World Rabbit Science*, 25(1), 29-39.
- [4] <https://www.groupe-techna.com/fr/feedia/conseils/forte-chaaleur-stress-thermique-lapin>
- [5] González-Redondo, P., & De Blas, C. (2017). Lighting schedules in rabbit production: a review. *World Rabbit Science*, 25(1), 1-12.
- [6] Ridremont, B. (2022). Adaptation du métier de vétérinaire à l'évolution de la filière cunicole (lapins de chair). *Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France*, 175(1), 331-343.
- [7] Blasco Mateu, A., Ouhayoun, J., & Masoero, G. (1993). Harmonization of criteria and terminology in rabbit meat research. *World Rabbit Science*, 1(1).
- [8] Saidj, D., Aliouat, S., Arabi, F., Kirouani, S., Merzem, K., Merzoud, S., ... & Ainbaziz, H. (2013). La cuniculture fermière en Algérie: une source de viande non négligeable pour les familles rurales. *Livestock Research for Rural Development*, 25(8).
- [9] Documentaire télévisé sur :
<https://www.youtube.com/watch?v=6yD491QPKBE&t=72s>
- [10] *Elevage cunicole à Tizi ouzou*, Reportage TV sur la cuniculture réalisée par la chaîne NUMIDIA TV à Agouni Rihan, Tizirt chez Mr Bouhadoun Madjid en présence de Monsieur le Directeur des Services Agricoles, 25/08/2015 (consulté le 10/03/2024)
- [11] Méthodes et Techniques d'élevage du Lapin. Elevage du lapin en milieu tropical. Book · August 2007 DJAGO A. Yaouk PODEKON Marc Révision par F. Lebas Méthodes et Techniques d'Élevage du Lapin Élevage en Milieu tropical 2ème édition révisée du LE GUIDE PRATIQUE DE L'ÉLEVEUR DE LAPIN EN AFRIQUE DE L'OUEST 2007 Editeur : Association "Cuniculture" 31450 Corronsac – France Document en libre accès sur le Web à <http://www.cuniculture.info/Docs/Elevage/Tropic-01.html>
- [12] Ouedraogo, B., Nikiema, Z. S., & Zoundi, S. J. (2021). Cuniculture dans la zone périurbaine de Ouagadougou: situation actuelle et perspectives de son

développement. *Rev. Ivoir. Sci. Technol*, 37, 82-105.

- [13] Réunion formation GIPAC – Tunisie – 24-25 juin 2009-Maîtrise des conditions d’ambiance en élevage cunicole -François LEBAS-Conference Paper · June 2009
- [14] Fortun-Lamothe, L., & Davoust, C. (2017). Innovations en élevage cunicole : des réussites d’hier aux défis de demain. *Journées Rech. Cunicole, Le Mans, France, 17*, 11-22.
- [15] KárolyBodnár, László Makra, Erika SkobrákBodnár. (2016). Recommandations technologiques dans la production de lapins : certains facteurs des conditions de logement. *Review on Agriculture and Rural Development*, 5(1-2), 132-138. ISSN 2063-4803.
- [16] Kharisma, A., & Sintawati, A. (2023). An Automatic Internet of Things-Based System for Rabbit Cage. *Ultima Computing: Jurnal Sistem Komputer*, 15(2), 52-57.
- [17] Design of Standardized Breeding System for Rabbits Based on Internet of Things Hong-Jun GU1, a, Ji LI1, Zhi GU2, Dong-Bo REN1, He GONG1, Jian LI1, Shi-Jun LI1, 1Jilin Agricultural University, Changchun 130118, Jilin, China 4th International Conference on Advanced Materials and Information Technology Processing (AMITP 2016)
- [18] Ji, R., Shi, S., Liu, Z., & Wu, Z. (2023). Decomposition-based multi-step forecasting model for the environmental variables of rabbit houses. *Animals*, 13(3), 546
- [19] Bodnár, K., Makra, L., & Bodnár, E. S. (2016). Technological recommendations in rabbit production: some factors of housing conditions. *Review on Agriculture and Rural Development*, 5(1-2), 132-138
- [20] GUO, B., YANG, J., & WANG, Z. (2016). Research on the rabbit house temperature regulation system based on the internet of things and fuzzy PID. *International Journal of Smart Home*, 10(7), 81-90.
- [21] Benhmad, T., Abdennour, A. B., Darghouthi, A., & Rhaimi, C. B. (2022). Remote control of environmental parameters in rabbitry based on IoT. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 2, 111-119.
- [22] <https://www.lubing.fr/volailles/pad-cooling>
- [23] <https://richel-group.fr/produits/refroidissement/>
- [24] De la lumière à l’éclairagisme : critères de choix et leviers de réussite en élevages avicoles, Chambre d’agriculture Pays de la Loire & Transaxe – 2018
- [25] Banzi, M., & Shiloh, M. (2020). Getting Started with Arduin: The Open Source

Electronics Prototyping Platform* (4th ed.). Maker Media.

- [26] Norris, T. (2019). *Arduino for Dummies* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- [27] Monk, S. (2020). *Programming Arduino: Getting Started with Sketches* (2nd ed.). McGraw-Hill Education.
- [28] Stuart Cording on Internet of Things , What Is the ESP32? - Sur site web : <https://www.elektormagazine.com/articles/what-is-the-esp32> consulté le 07/06/2024
- [29] C. Espressif, “Introduces on ESP32,” *espressif.com*, 2017. [Online]. Available: https://www.espressif.com/en/media_overview/news/zerynth-introducespython-esp32. [consulté le : 23-Mar-2019].
- [30] <https://www.espressif.com/en/products/modules> consulté le 08/06/2024
- [31] S. Sara, “ESP32 vs ESP8266,” *makeradvisor.com*, 2019. [Online]. Available: <https://makeradvisor.com/esp32-vs-esp8266/>. [consulté le : 21-Mar-2019]
- [32] L. Microcontrollers, “ESP32 pinout - How to use GPIO pins?,” *microcontrollerslab.com*, 2019. [Online]. Available: <https://microcontrollerslab.com/esp32-pinout-use-gpio-pins/> [consulté le : 01/06/2024]
- [33] REF6ESP32 Wroom Devkit Pinout: Use the ESP32 GPIO pins, sur siteweb: <https://www.upesy.com/blogs/tutorials/esp32-pinout-reference-gpio-pins-ultimate-guide?shpxid=1cde68c1-ecce-45d8-8481-4397a9adc30d>, consulté le 08/06/2024
- [34] BOURENANE Sabrina, Conception d’un habitat intelligent (smart house) : Domotique et confort labélisé à Souk Ahras, Algérie, Mémoire de Master, Département : Architecture ,Faculté des Sciences et de Technologie ,l'Université 08 Mai 1945 de Guelma, Juin 2022
- [35] Jayna Locke, directrice principale du marketing, Digi International 17 juin 2020, Qu'est-ce que la technologie des véhicules connectés et quels sont les cas d'utilisation ? sur siteweb: <https://fr.digi.com/blog/post/what-is-connected-vehicle-technology-and-use-cases>
- [36] Quinn Jones, Chef de produit senior - Digi XBee, Digi International 02 novembre 2023, Qu'est-ce que le réseau électrique intelligent et comment est-il rendu possible par IoT? Sur siteweb : <https://fr.digi.com/blog/post/what-is-the-smart-grid-and-how-enabled-by-iiot> consulté le : 08/06/2024.
- [37] Fraden, J. (2016). *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications* (5th ed.). Springer.

- [38] Bentley, P. (2021). *Temperature Sensors: Principles and Applications*. CRC Press.
- [39] Appareils industriels de mesure d'humidité, sur site web :
[,https://www.wimesure.fr/cbx/](https://www.wimesure.fr/cbx/)
- [40] Justin Walsh, L'importance des capteurs d'humidité, sur siteweb:
<https://www.vaisala.com/fr/expert-article/importance-humidity-sensors>
- [41] <https://youpilab.com/components/product/capteur-dhumidite-et-de-temperature-dht-11>
- [42] Capteurs de luminosité: Le guide complet pour comprendre et choisir le bon capteur, sur siteweb : <https://circa-diem.com/pages/capteurs-de-luminosite-le-guide-complet-pour-comprendre-et-choisir-le-bon-capteur>
- [43] Etude d'un capteur de lumière : la photorésistance, sur siteweb : https://pedagogie.ac-orleans-tours.fr/fileadmin/user_upload/physique/lycee/seconde/Signaux_capteurs_TP_photoreistance.pdf
- [44] Jeff Smoot, Comprendre les capteurs à ultrasons, sur siteweb : <https://www.digikey.fr/fr/articles/understanding-ultrasonic-sensors>
- [45] CAkinwole, O. O., & Oladimeji, T. T. (2018). Design and implementation of arduino microcontroller based automatic lighting control with I2c LCD display. *J Electr Electron Syst*, 7(258), 2332-0796.
- [46] Sung, W. T., Devi, I. V., & Hsiao, S. J. (2022). Smart Lamp Using Google Firebase as Realtime Database. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 33(2).
- [47] <https://components101.com/switches/5v-four-channel-relay-module-pinout-features-applications-working-datasheet>
- [48] Li, S., & Cui, Z. (2020). *Design of Wireless Communication Systems: Key Technologies and Applications*. Springer.
- [49] aras, M., & Skotnicki, T. (2018). Thermoelectricity for IoT—A review. *Nano Energy*, 54, 461-476.
- [50] Axmadjonov, M. F., & Mirzaraximov, M. A. (2022). Firebase in real-time systems based on client server technology. *Oriental renaissance Innovative, educational, natural and social sciences*, 2(1), 146-150.
- [51] Khedkar, S., Thube, S., Estate, W. I., & Naka, C. (2017). Real time databases for applications. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(06), 2078-2082.

- [52] Sung, W. T., Devi, I. V., & Hsiao, S. J. (2022). Smart Lamp Using Google Firebase as Realtime Database. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 33(2)
- [53] Reto Meier ,Professional android 4 application development,: Sur site web : <https://www.techtarget.com/searchmobilecomputing/definition/Android-Studio> consulté le : 12/06/2024
- [54] B. Hadj Brahim , M. Souaad , développement d'une application de géolocalisation des médecins de la wilaya de tlemcen sous android , Master , Université Abou Baker BelkaidTlemcen , 2016/2017.
- [55] Fezari, M., & Al Dahoud, A. (2018). Integrated development environment "IDE" for Arduino. *WSN applications*, 11, 1-12.