

Université ABBES LAGHROUR Khenchela



Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Industriel  
جامعة عباس لغرور خنشلة  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
قسم الهندسة الصناعية



N° Série :.....

## Mémoire de fin d'étude

*Pour l'obtention du diplôme de Master*

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

### THEME

**Réalisation et contrôle à distance  
d'une couveuse d'œufs avec un  
module GSM**

*Réalisé par : - LAOUAR OULFA*

**Soutenu le 03/07/2019** *Devant le jury composé de:*

**Mr. HASSAD MOURAD**

*Président*

*Université Abbes Laghrou-Khenchela*

**Mr. KHALFAOUI MAHIOU**

*Encadreur*

*Université Abbes Laghrou-Khenchela*

**Mr. DOUAK FOUZI**

*Examineur*

*Université Abbes Laghrou-Khenchela*

*Promotion 2018/2019*

Ce projet permet un contrôle à distance d'une couveuse à œufs avec un circuit électrique de différents composants nécessaires entouré d'une carte Arduino Mega 2560 connectée à l'unité du système globale pour la communication mobile (GSM). Cela se fait en envoyant des SMS au téléphone de l'utilisateur à travers le module GSM par des commandes AT afin de l'informer sur les défaillances relatives au circuit.

L'objectif préliminaire est de manipuler sur le langage de programmation Arduino IDE et de simuler sur le logiciel de simulation électronique Proteus afin d'arriver à réaliser ce travail pratiquement pour assurer une utilisation efficace et résultats satisfaisants de bon fonctionnement et loin d'endommagement.

**Mots clés :** Contrôle à distance, carte Arduino Mega 2560, module GSM, des SMS, commandes AT, langage de programmation Arduino IDE, logiciel de simulation électronique Proteus.

This project allows remote control of an egg incubator with an electrical circuit of various necessary components surrounded by an Arduino Mega 2560 board connected to the Global System Unit for Mobile Communication (GSM). This is done by sending SMS to the user phone through the GSM Shield by AT commands to inform him about the failures relating to the circuit.

The preliminary goal is to manipulate on the Arduino IDE programming language and simulate on the Proteus electronic simulation software in order to achieve this work practically to ensure efficient use and satisfactory results for smooth operation and far from damage.

**Key words :** Remote control, Arduino Mega 2560 board, Shield GSM, SMS, AT commands, Arduino IDE programming language, Proteus electronic simulation software.

يسمح هذا المشروع بالتحكم عن بعد في حاضنة البيض مع دائرة كهربائية تتكون من عناصر  
ضرورية مختلفة، محطة بلوحة اردوينو ميغا 2560 المتصلة بوحدة نظام الاتصالات المتنقلة العالمية (جي  
اس ام). يتم ذلك عن طريق إرسال رسائل نصية قصيرة إلى هاتف المستخدم من خلال وحدة ال جي  
اس ام عبر أوامر اتي لإبلاغه بالأخطاء المتعلقة بالمشروع.

الهدف الأولي هو معالجة لغة برمجة الاردوينو اي دي او ومحاكاة البرنامج الإلكتروني بروتوز  
لأداء هذا العمل بطريقة عملية ، لضمان الاستخدام الفعال والنتائج المرضية ، للتشغيل السلس بعيداً  
عن التلف.

الكلمات المفتاحية : التحكم عن بعد , لوحة اردوينو ميغا , وحدة جي اس ام , رسائل نصية

قصيرة , اوامر اتي , برنامج اللغة اردوينو اي دي او , البرنامج الإلكتروني بروتوز.

*Je dédie ce modeste travail*

*Premièrement à mes chers parents.*

*Vous représentez pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager, de prier pour moi et de me souhaiter tout ce qui est bon dans la vie.*

*Je continuerai mon chemin seulement pour vous rendre fière de moi.*

*Que Dieu, le tout puissant, vous préserve et vous accorde la santé, une longue vie et infinité de bonheur.*

*A ma sœur et mon frère pour l'attention, l'aide et le soutien qu'ils m'ont apporté. En témoignage de l'attachement et l'affection que je porte pour vous.*

*A tous mes membres de ma famille, petits et grands.*

*A tous mes amis proches et les amis d'études.*

*Oulfa*

## REMERCIEMENT

Avant tout développement sur cette expérience, il apparaît opportun de commencer ce projet par des remerciements au **bon dieu** d'abord pour la force, la patience et la volonté qu'il m'a donnée durant ces années d'études.

Ce travail a été effectué au département de génie industriel, faculté des sciences et technologie, université Abbès Laghrour de Khenchela, proposé et dirigé par **Monsieur Khalifaoui Mahiou**, que je tiens à le remercier profondément pour avoir eu l'amabilité de me proposer un sujet intéressant, de l'avoir suivi, et de m'avoir aidé à le mener à terme grâce à ses conseils précieux et à ses interventions pertinentes.

Mes remerciements vont également à **Monsieur Hassad Mourad**, docteur et maître de conférences à l'université de Khenchela, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider le jury de cette thèse de fin d'étude.

Je remercie également, **Monsieur Douak Fouzi**, docteur et maître de conférences à l'université de Khenchela, qui a bien voulu accepter de faire partie du jury. Je profite de cette opportunité pour exprimer mes profondes gratitude pour tous les enseignants de la spécialité « Télécommunication » qui ont contribué par leur collaboration, disponibilité et sympathie ma formation pendant toutes ces années.

Je tiens à remercier spécialement **Monsieur Boumahrez Farouk** le docteur à l'université de Khenchela et le responsable de la spécialité des Télécommunications, pour les efforts qui a déployé, pour nous aider, conseiller, encourager et corriger.

J'exprime mes sincères remerciements à **Monsieur Laanani Abdelrahman** le chef de département de Génie Industriel pour sa disponibilité, et son aide consistante et précieuse.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin, pour leurs soutiens et encouragement durant la réalisation de cette thèse.

<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE</b>	<b>1</b>
<b>I LA COUVAISON NATURELLE ET ARTIFICIELLE</b>	<b>3</b>
I.1 Introduction . . . . .	3
I.2 L'incubation naturelle et le rôle de la poule dans différents systèmes de production . . . . .	3
I.2.1 Température . . . . .	4
I.2.2 L'humidité . . . . .	4
I.2.3 Retournement . . . . .	5
I.3 Couvaion artificielle . . . . .	5
I.3.1 Température . . . . .	5
I.3.2 Humidité . . . . .	6
I.3.3 Capteurs . . . . .	6
I.3.4 Classification des capteurs . . . . .	7
I.3.4.1 Les capteurs actifs . . . . .	7
I.3.4.2 Les capteurs passifs . . . . .	8
I.3.5 Les types d'informations des capteurs . . . . .	8
I.3.5.1 Les capteurs analogiques . . . . .	8
I.3.5.2 Les capteurs numériques . . . . .	9
I.3.5.3 Les capteurs logiques ou Tout Ou Rien (TOR) . . . . .	10
I.3.6 Capteur de température . . . . .	10
I.3.6.1 Mesure des tensions de thermocouple . . . . .	12
I.3.6.2 Les capteurs de température à résistance . . . . .	12
I.3.7 Capteur d'humidité . . . . .	13
I.3.8 Classification des capteurs d'humidité . . . . .	13
I.3.8.1 Capteurs capacitifs . . . . .	13
I.3.8.2 Capteurs résistifs . . . . .	13
I.3.8.3 Capteurs hygrométriques . . . . .	14
I.3.8.4 Capteurs gravimétriques . . . . .	14

I.3.8.5	Capteurs optiques . . . . .	14
I.3.9	Retournement des œufs . . . . .	15
I.3.9.1	Moteurs . . . . .	15
I.3.9.1.1	Moteurs à courant alternatif . . . . .	15
I.3.9.1.2	Les moteurs à courant continu . . . . .	16
I.3.9.2	Moteurs pas à pas . . . . .	17
I.3.10	Exemple de couveuses à grande production . . . . .	17
I.3.11	Exemple de couveuses à petite production . . . . .	18
I.4	Conclusion . . . . .	18
<b>II</b>	<b>LE SYSTÈME GSM</b>	<b>20</b>
II.1	Introduction . . . . .	20
II.2	Les réseaux mobiles . . . . .	20
II.2.1	Les différents réseaux mobiles . . . . .	20
II.2.1.1	Réseaux mobiles 1G . . . . .	21
II.2.1.2	Réseaux mobiles 2G (réseaux GSM) . . . . .	21
II.2.1.3	Réseaux mobiles 2.5G (réseaux GPRS) . . . . .	21
II.2.1.4	Réseaux mobiles 3G . . . . .	21
II.2.1.5	Réseaux mobiles 4G . . . . .	21
II.3	Structures géographiques dans un réseau GSM . . . . .	22
II.3.1	La zone cellule . . . . .	23
II.3.2	Zone de localisation (LA) . . . . .	23
II.3.3	Zone de service MSC . . . . .	23
II.3.4	Zone de service PLMN . . . . .	23
II.3.5	Zone de service GSM . . . . .	24
II.4	Méthodes de planification du réseau . . . . .	24
II.4.1	Principe des réseaux cellulaires . . . . .	24
II.4.2	Méthode de Cluster . . . . .	25
II.4.3	Antennes pour réseaux de communication mobiles . . . . .	25
II.4.4	Classes de cellules radio . . . . .	27
II.4.4.1	Macro-cellules . . . . .	27
II.4.4.2	Microcellules . . . . .	27
II.4.4.3	Pico-cellules . . . . .	27
II.5	Architecture et structure du réseau GSM . . . . .	28
II.5.1	Station mobile (MS : Mobile Station) . . . . .	29
II.5.2	Sous-système de station de base BSS . . . . .	30
II.5.2.1	Station de base émettrice-réceptrice (BTS : Base Transceiver Station) . . . . .	30
II.5.2.2	Contrôleur de station de base (BSC : Base Station Controller) . . . . .	30
II.5.3	Sous-système du réseau (NSS : Network Sub-System) . . . . .	30

II.5.3.1	Centre des administrations de commutation mobile (MSC : Mobile Switching Center) . . . . .	31
II.5.3.2	Registre de localisation (HLR : Home Location Register) . . . . .	31
II.5.3.3	Registre de localisation des visiteurs (VLR : Visitor Location Register) . . . . .	31
II.5.3.4	Registre d'identification de l'équipement (EIR : Equipment Identity Register) . . . . .	31
II.5.3.5	Centre d'authentification (AUC : Authentication Center) . . . . .	32
II.5.3.6	Passerelle du centre de commutation mobile (GMSC : Gateway MSC) . . . . .	32
II.5.3.7	Passerelle SMS (SMS-G) . . . . .	32
II.5.4	Sous-système d'exploitation et de support (OSS : Operation Sub-System) . . . . .	32
II.5.4.1	Téléphone mobile vers le réseau PSTN . . . . .	32
II.5.4.2	PSTN vers téléphone mobile . . . . .	33
II.5.5	Sécurité GSM . . . . .	33
II.5.6	Echanges lors d'un appel . . . . .	34
II.5.6.1	MSRN (Mobile Station Roaming Number) . . . . .	34
II.5.6.2	IMSI (International Mobile Subscriber Identity) . . . . .	34
II.5.6.3	TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity) . . . . .	35
II.5.6.4	MSISDN (Mobile Station International ISDN Number) . . . . .	35
II.6	Conclusion . . . . .	36

### **III LE DISPOSITIF PROGRAMMABLE ARDUINO 38**

III.1	Introduction . . . . .	38
III.2	Présentation de l'Arduino . . . . .	38
III.2.1	Les différentes cartes Arduino . . . . .	38
III.2.1.1	Carte Arduino UNO . . . . .	39
III.2.1.2	Carte Arduino Ethernet . . . . .	39
III.2.1.3	Carte Arduino Leonardo . . . . .	39
III.2.1.4	Carte Arduino Mini 05 . . . . .	40
III.2.1.5	Carte Arduino Nano . . . . .	40
III.2.1.6	Carte Arduino DUE . . . . .	41
III.2.1.7	Carte Arduino Esplora . . . . .	41
III.2.1.8	Carte Arduino YUN . . . . .	41
III.2.1.9	Carte Arduino Mega 2560 . . . . .	42
III.2.1.9.1	Les caractéristiques techniques de la Mega 2560 . . . . .	43
III.2.1.9.2	Les mémoires . . . . .	45
III.2.2	Les Shields . . . . .	45
III.2.2.1	Le Shield GSM . . . . .	46
III.3	Arduino logiciel . . . . .	47
III.3.1	IDE Arduino et le logiciel de simulation Proteus . . . . .	47

III.3.1.1	Le langage Arduino . . . . .	47
III.3.1.1.1	Les fonctionnalités de base . . . . .	48
III.3.1.1.2	Les fonctions d'entrées/sorties . . . . .	48
III.3.1.1.3	La gestion du temps . . . . .	49
III.3.1.1.4	Les interruptions . . . . .	50
III.3.1.1.5	La gestion des mémoires . . . . .	50
III.3.1.2	Le logiciel de simulation PROTEUS . . . . .	50
III.3.1.2.1	Les fonctionnalités de base . . . . .	51
III.4	Conclusion . . . . .	54
<b>IV</b>	<b>SIMULATION ET PRATIQUE</b>	<b>56</b>
IV.1	Introduction . . . . .	56
IV.2	But du projet . . . . .	56
IV.3	Développement du projet . . . . .	57
IV.4	Fonctionnement du système . . . . .	58
IV.5	Conception mécanique . . . . .	59
IV.5.1	Enveloppe de l'incubateur . . . . .	59
IV.5.2	Le plateau à œufs . . . . .	59
IV.6	Conception Électronique . . . . .	60
IV.6.1	Circuit de contrôleur maître . . . . .	61
IV.6.1.1	Arduino Mega 2560 . . . . .	61
IV.6.1.2	Affichage à cristaux liquides (LCD) . . . . .	61
IV.6.1.2.1	Programmation de l'écran LCD . . . . .	62
IV.6.1.2.2	Exemple de programme . . . . .	63
IV.6.1.3	Résistance chauffante . . . . .	63
IV.6.1.4	Capteur de température et d'humidité . . . . .	64
IV.6.1.4.1	Principe de fonctionnement du DHT22 . . . . .	64
IV.6.1.4.2	Schéma du circuit DHT22 . . . . .	65
IV.6.1.4.3	Code source . . . . .	65
IV.6.1.4.4	Exemple de programme . . . . .	65
IV.6.1.5	Moteur de retournement . . . . .	66
IV.6.1.6	Pompe péristaltique . . . . .	66
IV.6.1.7	Le relais . . . . .	67
IV.6.1.7.1	Branchement des relais . . . . .	67
IV.6.1.7.2	Exemple de programme . . . . .	68
IV.6.1.8	Module GSM . . . . .	68
IV.6.1.8.1	Le rôle du module GSM dans le projet . . . . .	69
IV.6.1.8.2	Branchement du module GSM . . . . .	69
IV.6.1.8.3	Commandes AT . . . . .	70
IV.6.1.8.4	Code source . . . . .	70
IV.6.1.8.5	Exemple de programme . . . . .	71

---

IV.7 Conception logicielle . . . . .	71
IV.7.1 Programmation de la couveuse sur Arduino IDE . . . . .	71
IV.7.1.1 Bibliothèque employée . . . . .	71
IV.7.1.2 Organigramme du programme . . . . .	72
IV.7.2 Simulation de la couveuse sous Proteus . . . . .	74
IV.7.2.1 Test de circuit réalisé . . . . .	75
IV.7.2.2 Test de la mémoire EEPROM . . . . .	75
IV.8 Réalisation et test de la couveuse réalisée . . . . .	75
IV.8.1 Interprétation des résultats . . . . .	77
IV.9 Comparaison avec d'autres couveuses . . . . .	78
IV.10 Conclusion . . . . .	79
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE</b>	<b>81</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>81</b>
<b>ANNEXE</b>	<b>83</b>

## LISTE DES TABLEAUX

IV.1 Affectation des broches LCD. . . . .	62
IV.2 Connexions des broches de communication. . . . .	62
IV.3 Brochage des relais avec la carte Arduino . . . . .	68
IV.4 Role des principaux pins du GSM 900MHz. . . . .	68
IV.5 Commandes AT dediees au service SMS. . . . .	70
IV.6 Comparaison avec la Brinsea Ovation EX. . . . .	78

## TABLE DES FIGURES

I.1	La couvaison naturelle. . . . .	4
I.2	La couvaison artificielle. . . . .	5
I.3	Principe de mesure d'un capteur. . . . .	6
I.4	Principe du capteur actif. . . . .	7
I.5	Principe du capteur passif. . . . .	8
I.6	Principe de mesure d'un capteur analogique. . . . .	9
I.7	Signal délivré par un capteur numérique. . . . .	9
I.8	Signal délivré par un capteur logique. . . . .	10
I.9	Thermocouples. . . . .	11
I.10	Principe de mesure de la température par un thermocouple. . . . .	12
I.11	Les capteurs de température à résistance. . . . .	13
I.12	Capteur d'humidité capacitif HS1101. . . . .	13
I.13	Capteur d'humidité résistif H25K5A. . . . .	14
I.14	Capteur d'humidité hygrométrique. . . . .	14
I.15	Principe des moteurs à courant alternatif. . . . .	16
I.16	Principe des moteurs à courant continu. . . . .	16
I.17	Moteurs pas à pas. . . . .	17
I.18	Incubateur à plus de 10 000 oeufs. . . . .	17
I.19	Couveuse à moins 90 oeufs. . . . .	18
II.1	Structures géographiques en GSM. . . . .	22
II.2	Concepts cellulaires. . . . .	25
II.3	Cluster à cellules radio. . . . .	25
II.4	Antenne omnidirectionnelle. . . . .	26
II.5	Cellules omnidirectionnelles. . . . .	26
II.6	Antenne sectorisée. . . . .	26
II.7	Cellules sectorisées. . . . .	26
II.8	Différentes classes de cellules radio. . . . .	27
II.9	Différentes tailles de cellules en fonction de la capacité. . . . .	28

II.10 Architecture du réseau GSM. . . . .	29
II.11 Composants de la station mobile. . . . .	30
II.12 Échanges lors d'un appel. . . . .	34
II.13 Format du MSRN. . . . .	34
II.14 Format de l'IMSI. . . . .	35
II.15 Format du MSISDN. . . . .	35
III.1 Carte Arduino Uno. . . . .	39
III.2 Carte Arduino Ethernet. . . . .	39
III.3 Carte Arduino Leonardo. . . . .	40
III.4 Carte Arduino Mini 05. . . . .	40
III.5 Carte Arduino Nano 3.0. . . . .	40
III.6 Carte Arduino DUE. . . . .	41
III.7 Carte Arduino Esplora. . . . .	41
III.8 Carte Arduino YUN. . . . .	42
III.9 Arduino Mega 2560. . . . .	42
III.10 Microcontrôleur Atmega2560. . . . .	43
III.11 Shield GSM SIM900. . . . .	46
III.12 Envoie des SMS via le GSM. . . . .	46
III.13 L'interface principale de l'Arduino IDE. . . . .	47
III.14 La syntaxe du langage Arduino. . . . .	48
III.15 L'interface principale de Proteus. . . . .	51
III.16 La sélection des composants sur Proteus. . . . .	51
III.17 Choix d'un composant à partir du formulaire. . . . .	52
III.18 Raccordement entre les différents composants. . . . .	52
III.19 Formulaire de modification du composant. . . . .	53
III.20 Les alimentations électriques et les générateurs. . . . .	53
IV.1 Organigramme de développement du projet. . . . .	57
IV.2 Organigramme du fonctionnement du projet. . . . .	58
IV.3 Enveloppe de l'incubateur. . . . .	59
IV.4 Plateau de retournement. . . . .	59
IV.5 Schéma fonctionnel de la conception matérielle. . . . .	60
IV.6 Boîtier de l'Arduino Mega 2560. . . . .	61
IV.7 Fil chauffant en carbone. . . . .	63
IV.8 Capteur DHT22. . . . .	64
IV.9 Circuit interne du capteur DHT22 . . . . .	64
IV.10 Moteur de retournement. . . . .	66
IV.11 Principe de pompe péristaltique. . . . .	66
IV.12 Principe des relais électromécaniques. . . . .	67
IV.13 Câblage en entrée des deux relais. . . . .	67

---

IV.14	Configuration des broches du module GSM SIM900. . . . .	69
IV.15	Branchement du SIM900 avec l'Arduino. . . . .	69
IV.16	Schéma récapitulatif du système GSM. . . . .	70
IV.17	Déclaration principale du programme. . . . .	71
IV.18	Organigramme du programme Arduino. . . . .	73
IV.19	Circuit global sur Proteus. . . . .	74
IV.20	Résultat de simulation sur proteus. . . . .	74
IV.21	Boîtier de la couveuse. . . . .	75
IV.22	Plateau de retournement. . . . .	76
IV.23	Système de chauffage et de ventilation. . . . .	76
IV.24	Affichage sur l'écran LCD. . . . .	76
IV.25	Circuit électrique de la couveuse. . . . .	77
IV.26	Test du GSM. . . . .	77
IV.27	La Brinsea Ovation EX. . . . .	78

**A**

<b>AC</b>	<b>A</b> lternating <b>C</b> urrent
<b>ADC</b>	<b>A</b> nalog to <b>D</b> igital <b>C</b> onverter
<b>AUC</b>	<b>A</b> uthentication <b>C</b> enter
<b>AVR</b>	<b>A</b> dvanced <b>V</b> irtual <b>R</b> ISC

**B**

<b>BSC</b>	<b>B</b> ase <b>S</b> tation <b>C</b> ontroller
<b>BSS</b>	<b>B</b> ase <b>S</b> tation <b>S</b> ubsystem
<b>BTS</b>	<b>B</b> ase <b>T</b> ransceiver <b>S</b> tation

**C**

<b>CAN</b>	<b>C</b> onvertisseur <b>A</b> nalogique- <b>N</b> umérique
<b>CC</b>	<b>C</b> ountry <b>C</b> ode
<b>CDMA</b>	<b>C</b> ode <b>D</b> ivision <b>M</b> ultiple <b>A</b> ccess
<b>CMOS</b>	<b>C</b> omplementary <b>M</b> etal <b>O</b> xide <b>S</b> emiconductor
<b>CNA</b>	<b>C</b> onvertisseur <b>N</b> umérique- <b>A</b> nalogique

**D**

<b>DAC</b>	<b>D</b> igital to <b>A</b> nalog <b>C</b> onverter
<b>DC</b>	<b>D</b> irect <b>C</b> urrent
<b>DCS</b>	<b>D</b> igital <b>C</b> ellular <b>S</b> ystem

**E**

<b>EDGE</b>	<b>E</b> nhanced <b>D</b> ata for <b>G</b> SM <b>E</b> volution
<b>EEPROM</b>	<b>E</b> lectrically- <b>E</b> rasable <b>P</b> rogrammable <b>R</b> ead <b>O</b> nly <b>M</b> emory
<b>EIR</b>	<b>E</b> quipment <b>I</b> dentify <b>R</b> egister
<b>EPROM</b>	<b>E</b> rasable <b>P</b> rogrammable <b>R</b> ead <b>O</b> nly <b>M</b> emory

**F****FDMA**                    **F**requency **D**ivision **M**ultiple **A**ccess**G****GMSC**                    **G**ateway **M**obile **S**witching **C**enter**GPRS**                    **G**eneral **P**acket **R**adio **S**ervice**GSM**                      **G**lobal **S**ystem for Mobile Communications**H****HLR**                      **H**ome **L**ocation **R**egister**I****ICSP**                    **I**n-**C**ircuit **S**erial **P**rogramming**IDE**                        **I**ntegrated **D**evelopment **E**nvironment**IMEI**                    **I**nternational **M**obile **E**quipment **I**dentify**IMSI**                    **I**nternational **M**obile **S**ubscriber **I**dentify**ISDN**                    **I**ntegrated **S**ervices **D**igital **N**etwork**ISR**                      **I**nterrupt **S**ervice **R**outine**I2C**                      **I**nter **I**ntegrated **C**ircuit**L****LA**                        **L**ocation **A**rea**LAI**                      **L**ocation **A**rea **I**dentify**LCD**                    **L**iquid **C**ristal **D**isplay**LDR**                    **L**ight **D**ependent **R**esistor**LED**                    **L**ight-**E**mitting **D**iode**M****MCC**                    **M**obile **C**ountry **C**ode**ME**                        **M**obile **E**quipment**MISO**                    **M**aster **I**n-**S**lave **O**ut**MNC**                    **M**obile **N**etwork **C**ode**MOSI**                    **M**aster **O**ut-**S**lave **I**n**MS**                        **M**obile **S**tation**MSC**                    **M**obile **S**witching **C**enter**MSIN**                    **M**obile **S**ubscriber **I**dentification **N**umber**MSISDN**                **M**obile **S**tation **I**SDN number**MSRN**                    **M**obile **S**tation **R**oaming **N**umber**N**

<b>NDC</b>	<b>N</b> ational <b>D</b> estination <b>C</b> ode
<b>NMSI</b>	<b>N</b> ational <b>M</b> obile <b>S</b> ubscriber <b>I</b> dentify
<b>NSMN</b>	<b>N</b> ational <b>S</b> ignificant <b>M</b> obile <b>N</b> umber
<b>NSS</b>	<b>N</b> etwork <b>S</b> witching <b>S</b> ubsystem
<b>NTC</b>	<b>N</b> egative <b>T</b> emperature <b>C</b> oefficient
<b>O</b>	
<b>OFDM</b>	<b>O</b> rthogonal <b>F</b> requency- <b>D</b> ivision <b>M</b> ultiplexing
<b>OMC</b>	<b>O</b> peration and <b>M</b> aintenance <b>C</b> enter
<b>OSS</b>	<b>O</b> peration <b>S</b> upport <b>S</b> ubsystem
<b>P</b>	
<b>PCB</b>	<b>P</b> rinted <b>C</b> ircuit <b>B</b> oard
<b>PCS</b>	<b>P</b> ersonal <b>C</b> ommunication <b>S</b> ervice
<b>PLMN</b>	<b>P</b> ublic <b>L</b> and <b>M</b> obile <b>N</b> etwork
<b>PSTN</b>	<b>P</b> ublic <b>S</b> witched <b>T</b> elephone <b>N</b> etwork
<b>PWM</b>	<b>P</b> ulse <b>W</b> idth <b>M</b> odulation
<b>Q</b>	
<b>QoS</b>	<b>Q</b> uality <b>O</b> f <b>S</b> ervice
<b>R</b>	
<b>RAM</b>	<b>R</b> andom <b>A</b> ccess <b>M</b> emory
<b>RF</b>	<b>R</b> adio <b>F</b> requency
<b>RNIS</b>	<b>R</b> éseau <b>N</b> umérique à <b>I</b> ntégration de <b>S</b> ervices
<b>RTCP</b>	<b>R</b> éseau <b>T</b> éléphonique <b>C</b> ommuté <b>P</b> ublic
<b>RTD</b>	<b>R</b> esistance <b>T</b> emperature <b>D</b> etection
<b>RXD</b>	<b>R</b> eceive <b>D</b> ata
<b>S</b>	
<b>SCK</b>	<b>S</b> erial <b>C</b> lock
<b>SD</b>	<b>S</b> ecure <b>D</b> igital
<b>SDA</b>	<b>S</b> erial <b>D</b> ata <b>L</b> ine
<b>SIM</b>	<b>S</b> ubscriber <b>I</b> dentify <b>M</b> odule
<b>SMS</b>	<b>S</b> hort <b>M</b> essage <b>S</b> ervice
<b>SMS-G</b>	<b>S</b> MS <b>G</b> ateway
<b>SMS-GMSC</b>	<b>S</b> hort <b>M</b> essage <b>S</b> ervice <b>G</b> ateway
<b>SMS-IW MSC</b>	<b>S</b> MS <b>I</b> nter <b>W</b> orking <b>M</b> SC
<b>SN</b>	<b>S</b> ubscriber <b>N</b> umber
<b>SPI</b>	<b>S</b> erial <b>P</b> eripheral <b>I</b> nterface

---

<b>SRAM</b>	<b>S</b> tatic <b>R</b> andom <b>A</b> ccess <b>M</b> emory
<b>SS</b>	<b>S</b> lave <b>S</b> elect
<b><u>T</u></b>	
<b>TCP</b>	<b>T</b> ransmission <b>C</b> ontrol <b>P</b> rotocol
<b>TDMA</b>	<b>T</b> ime <b>D</b> ivision <b>M</b> ultiple <b>A</b> ccess
<b>TMSI</b>	<b>T</b> emporary <b>M</b> obile <b>S</b> ubscriber <b>I</b> dentities
<b>TOR</b>	<b>T</b> out <b>O</b> u <b>R</b> ien
<b>TXD</b>	<b>T</b> ransmit <b>D</b> ata
<b><u>U</u></b>	
<b>UART</b>	<b>U</b> niversal <b>A</b> synchronous <b>R</b> eceiver <b>T</b> ransmitter
<b>UDP</b>	<b>U</b> ser <b>D</b> atagram <b>P</b> rotocol
<b>UMTS</b>	<b>U</b> niversal <b>M</b> obile <b>T</b> elecommunications <b>S</b> ystem
<b>USB</b>	<b>U</b> niversal <b>S</b> erial <b>B</b> us
<b>USIM</b>	<b>U</b> niversal <b>S</b> ubscriber <b>I</b> dentify <b>M</b> odule
<b><u>V</u></b>	
<b>VCC</b>	<b>C</b> ommon <b>C</b> ollector <b>V</b> oltage
<b>VLR</b>	<b>V</b> isitor <b>L</b> ocation <b>R</b> egister
<b>VSM</b>	<b>V</b> irtual <b>S</b> ystem <b>M</b> odelling

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

De nos jours on assiste à une progression spectaculaire dans les services de télécommunications. Ceci s'est accompagné par la mise en œuvre de différentes technologies dans différents domaines avec des capacités de plus en plus grandes et une fiabilité toujours meilleure. Néanmoins l'existence de ces nouvelles technologies n'a pas empêché l'apparition, dans les pays du tiers monde, des problèmes de manque de la main d'œuvre et surtout le manque d'intérêt pour de tels produits. Ceci est dû aux contraintes de coût et de délais de production.

Il ne fait maintenant aucun doute que la révolution des télécommunications est la plus importante et la plus novatrice qui a pu marquer la vie de l'humanité au cours de ce siècle. En effet, loin d'être une mode passagère, la communication à distance ne fait que nous apporter de nombreux avantages en offrant de nombreux services, tant pour les entreprises que pour l'administration. Toutes ces innovations ont pour objectif de simplifier la vie en faisant beaucoup de choses facilement en peu de temps et surtout à moindre coût.

Dans ce cadre d'idées, notre projet « Réalisation et contrôle à distance d'une couveuse d'œufs avec un module GSM » pouvant être utilisé pour les grands bâtiments d'élevage avicole ou par tout autre système de production industrielle ou amateur. Ce projet a pour but l'étude et la conception d'un incubateur contrôlé à distance. Il s'agit d'utiliser les télécommunications par le biais d'un module GSM, afin de réduire les pertes en cas de défiance humaine ou technique.

Dans le premier chapitre, nous développons des informations générales pour expliquer la couvaison naturelle et artificielle. Le deuxième chapitre parle du modèle GSM. Il explique les caractéristiques et les structures de ce réseau, ainsi que son principe de fonctionnement. Le troisième chapitre, parle des cartes Arduino et le logiciel de programmation approprié à ce dernier, ainsi que le logiciel de simulation utilisé pour gérer les différents circuits de notre projet. Le dernier chapitre décrit la partie simulation, pratique et résultats. Il englobe le matériel et les circuits employés dans le projet. Ainsi, qu'une description de leurs principes de fonctionnement. Enfin, la conclusion générale qui présente le bilan de ce travail.

**Chapitre I :**  
**LA COUVAISON NATURELLE**  
**ET**  
**ARTIFICIELLE**

### I.1 Introduction

Bien que la méthode naturelle utilisant une poule couveuse présente peu de difficulté, puisque c'est l'oiseau mère qui fait l'essentiel du travail, la méthode artificielle avec un incubateur est également être utile dans certaines circonstances, car il existe plusieurs avantages à cela. Le choix dépend en grande partie des besoins en termes de stratégie de production et du nombre d'œufs qu'on espère ou qu'on veut éclore à la fois. L'objectif est de traiter des méthodes naturelles ou artificielles d'éclosion, d'un maximum de 50 à 100 œufs à la fois. Ce chapitre examine la question de l'incubation naturelle et artificielle et donc entre un système intensif et un système extensif, chacun pouvant être rentable à cette échelle.

### I.2 L'incubation naturelle et le rôle de la poule dans différents systèmes de production

L'incubation naturelle est basée sur la poule couveuse. Dans ces systèmes, les poules sont maintenues dans des conditions relativement libres, cueillant et choisissant les aliments, insectes et plantes qu'elles trouvent sur leur passage. Elles trouvent toute la nourriture dont elles ont besoin, pendant la saison des pluies, elles se nourrissent parmi les cultures locales et pendant la saison sèche, elles se nourrissent de divers aliments riches en protéines qu'elles trouvent à proximité. Elles vont couvrir et s'asseoir quand elles ont pondu assez d'œufs. En fait, elles vont couvrir quand leur période de ponte se termine. Elles s'assoient ensuite sur les œufs, les couvent et élèvent leurs poussins. Quand la poule a fini d'élever ses poussins, elle commence à prendre du poids à nouveau et peut être vendue pour la viande. La couvaion des œufs par la poule dure 21 jours. Après 21 jours, les poussins sortent de leurs coquilles. Pour assurer une bonne couvaion, la poule doit faire trois actions, assurer la température adéquate pour le développement de l'embryon. Dans le cas de la couvaion des poules, cette température est comprise entre 37.5 degrés et 38 degrés, sans jamais dépassé les 40 degrés. Cette période

s'appelle l'incubation. La deuxième action consiste à assurer une humidité satisfaisante pour éviter le dessèchement de l'embryon nécessaire pour l'éclosion. La troisième et dernière action consiste à retourner les œufs au moins une fois par jour pour éviter le collement de l'embryon à la coque et assurer la répartition de la chaleur sur toute la surface des œufs **[1]**.



FIGURE I.1 – La couvaison naturelle.

### I.2.1 Température

Le transfert de chaleur du corps de la poule à l'œuf est très difficile à mesurer. La plupart des oiseaux développent une "zone de couvain", une zone cutanée nue (non couverte) de saison, sur une partie du thorax et de l'abdomen à travers laquelle elle transfère directement de la chaleur aux œufs. En plus de la perte de plumes, il y aura une augmentation de la taille et du nombre de vaisseaux sanguins dans la zone de couvée. La poule peut s'adapter au taux de transfert de chaleur en se tenant ou en sortant de l'œuf, mais aussi en se rapprochant de la manière dont l'oiseau applique son patch sur l'œuf. De plus, la poule réagit également aux variations de la température de l'œuf, augmentant sa production de chaleur chaque fois que l'œuf est refroidi. La température de la couvée varie selon les espèces aviaires de 34,9°C à 42,4°C, de sorte que la température de la couvée est toujours supérieure de 1,1°C à 5,5°C à la température des œufs chez les différentes espèces.

### I.2.2 L'humidité

La coquille des œufs est poreuse et les œufs se dessèchent naturellement. Des œufs conservés au réfrigérateur ou ailleurs deviennent de plus en plus légers et leur chambre à air augmente de volume. La poule essaye de maintenir une humidité et l'hygrométrie entre 40 % et 60% pendant 18 jours puis entre 75% et 85% jusqu'à l'éclosion grâce à la transpiration de son corps.

### I.2.3 Retournement

Sous une poule qui couve une douzaine d'œufs, à peine la moitié se trouve au contact des plaques incubatrices de ses flancs. Les autres sont sous ses plumes, à la périphérie, moins chauds et moins humides. Mais la poule remue et déplace fréquemment ses œufs. Ceci permet de répartir la température sur l'œuf d'une manière homogène. Il permet aussi de protéger le poussin contre le dessèchement de la membrane qui le protège et évite le collement de cette dernière contre le poussin d'un côté et de la coquille de l'autre côté.

## I.3 Couvaion artificielle

Un incubateur artificiel est une chambre dans laquelle la température, l'humidité et la ventilation sont contrôlées dans le but de couvrir un nombre d'œufs relativement important qu'une seule poule puisse gérer à la fois. La chaleur nécessaire à l'incubation provient généralement du charbon, du pétrole, du gaz ou de l'électricité. Pour les petits incubateurs, environ 58% d'humidité relative est maintenue entre 18 et 39 jours d'incubation au-delà de 18 jours après que l'humidité atteint 70% et la température est abaissée à 36°C jusqu'à l'éclosion du poussin. Les incubateurs sont généralement placés à l'écart des murs aux coins des pièces afin de permettre une ventilation adéquate et de fournir un espace de travail suffisant à l'exploitant de la couveuse [2].



FIGURE I.2 – La couvaion artificielle.

### I.3.1 Température

La température est extrêmement importante pendant l'incubation. Des variations de plus d'un degré de l'optimum affecteront négativement le nombre d'œufs qui va éclore avec succès. Un incubateur ou une couveuse doit reproduire des conditions de température comparables à celles fournies par une poule chauffant ses œufs avec la chaleur de son corps. La chaleur dans l'incubateur est contrôlée manuellement ou à l'aide d'un thermostat ou capteur. Si la température tombe en dessous d'un seuil dans un incubateur équipé d'un système de chauffage, ce dernier devra être utilisé pour réguler la température. Pour réguler cette dernière, un capteur de température dont l'intervalle de mesure peut aller de 0 à 150°C est installé

à l'intérieur de l'incubateur. Le rôle de ce dernier est de surveiller les variations de la température de l'air intérieur. Il mesure régulièrement la température intérieure de l'incubateur et fait intervenir le système de chauffage lorsque la température tombe au-dessous du seuil. Lorsque la température dépasse le seuil, un système de refroidissement entre en jeu pour baisser la température. Les parois de la couveuse ont une bonne isolation contre les facteurs extérieurs. La circulation de l'air est importante à l'intérieur de la machine. Généralement les incubateurs emploient un système de ventilation pour une distribution uniforme de l'air chauffé produit par le système de chauffage de l'incubateur.

### I.3.2 Humidité

L'humidité relative varie considérablement avec la température. Des niveaux incorrects entraînent le dessèchement ou l'empoisonnement des œufs par les gaz produits à l'intérieur de la coquille. L'humidité à l'intérieur de l'incubateur est lue à l'aide d'un hygromètre ou un capteur d'humidité. L'humidité relative dans l'incubateur est fixée dans un intervalle qui varie de 45% à 55% pendant les 18 premiers jours de l'incubation. Elle est ensuite maintenue à un intervalle compris entre 65% et 75% pendant les trois jours avant l'éclosion. Afin d'empêcher les œufs de se dessécher, les incubateurs utilisent un système de maintien de l'humidité dans une plage donnée. En effet, un œuf perd beaucoup d'humidité à travers les pores de la coquille. À un moment donné, les œufs desséchés sont faciles à reconnaître. Lorsque les poussins commencent à éclore, il est important de conserver un taux d'humidité correct. Si l'air est trop sec, les poussins vont sécher très vite et meurent. S'il est trop humide, l'échange de gaz à travers la coquille sera affecté. Les embryons en développement peuvent alors être empoisonnés par le dioxyde de carbone qu'ils produisent. Le système de maintien de l'humidité peut être manuel ou automatique. Dans le système automatique, le capteur lu l'humidité, en fonction de cette dernière un vaporisateur sera enclenché ou pas.

### I.3.3 Capteurs

Un capteur transforme une grandeur physique en une grandeur normée, généralement électrique, qui peut être interprétée par un dispositif de contrôle de commande [3].

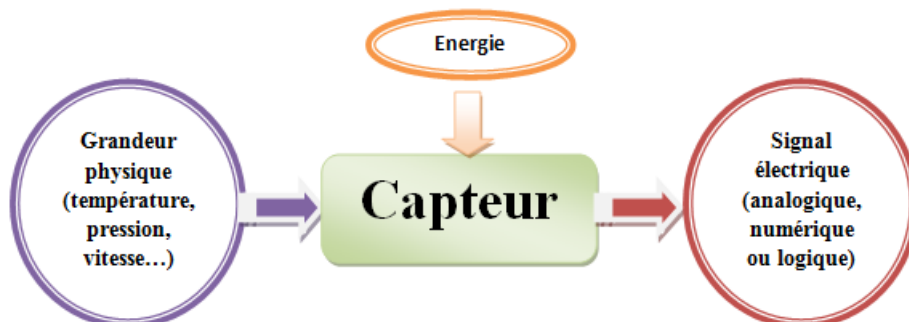


FIGURE I.3 – Principe de mesure d'un capteur.

Le capteur peut être défini comme un dispositif qui peut être utilisé pour détecter la quantité physique telle que la force, la pression, la contrainte, la lumière, etc., puis la convertir en sortie souhaitée comme un signal électrique pour mesurer la quantité physique appliquée. Dans quelques cas, un capteur seul peut ne pas être suffisant pour analyser le signal obtenu. Dans ces cas, une unité de conditionnement de signal est utilisée afin de maintenir les niveaux de tension de sortie du capteur dans la plage souhaitée par rapport à l'appareil final utilisé. Dans l'unité de conditionnement de signal, la sortie du capteur peut être amplifiée, filtrée ou modifiée à la tension de sortie souhaitée. Par exemple, si nous considérons un microphone, il détecte le signal audio et le convertit en tension de sortie (exprimée en millivolts), ce qui rend difficile le pilotage d'un circuit de sortie. Ainsi, une unité de conditionnement de signal (un amplificateur) est utilisée pour augmenter la force du signal. Mais le conditionnement du signal peut ne pas être nécessaire pour tous les capteurs tels que photodiode, LDR, etc. La plupart des capteurs ne peuvent pas fonctionner indépendamment. Une tension d'entrée suffisante doit donc lui être appliquée. Différents capteurs ont différentes plages de fonctionnement qu'il convient de prendre en compte lors de l'utilisation du capteur, sinon le capteur pourrait être endommagé de manière permanente.

### I.3.4 Classification des capteurs

Les capteurs présentent des caractéristiques différentes, leurs différences peuvent se faire aussi grâce à leur principe de fonctionnement. En fonction de la caractéristique électrique de la grandeur de sortie, on peut classer les capteurs en deux grandes familles, les capteurs passifs et les capteurs actifs. Cette classification a une influence sur le conditionneur qui lui est associé [3].

#### I.3.4.1 Les capteurs actifs

Fonctionnant en générateur. Un capteur actif est généralement fondé dans son principe physique qui assure la conversion en énergie électrique de la forme d'énergie propre à la grandeur physique à mesurer (énergie thermique, mécanique ou de rayonnement). Il fonctionne comme un générateur, dès qu'il est soumis à l'action d'une grandeur à mesurer, celui-ci transforme celle-ci en une grandeur directement exploitable à savoir en énergie électrique.



FIGURE I.4 – Principe du capteur actif.

### I.3.4.2 Les capteurs passifs

Un capteur passif est considéré comme une impédance dont l'un des paramètres est sensible aux mesurandes. Cette impédance doit ensuite être intégrée dans un circuit pour pouvoir retrouver une grandeur électrique en sortie. Le montage qui permet ceci est appelé conditionneur. Il existe plusieurs sortes de conditionneur comme le montage potentiométrique, le pont de Wheatstone, les circuits oscillants ou les amplificateurs opérationnels. Il s'agit généralement d'impédances (résistance, inductance, capacité) dont l'un des paramètres déterminants est sensible à la grandeur mesurée. La variation d'impédance résulte, d'une variation de dimension du capteur (capteurs de position, potentiomètre, inductance à noyaux mobile, condensateur à armature mobile). Elle résulte aussi d'une déformation résultant d'une force ou d'une grandeur comme une pression, accélération, etc. Exemples : armature de condensateur soumise à une différence de pression, jauge d'extensomètre liée à une structure déformable.

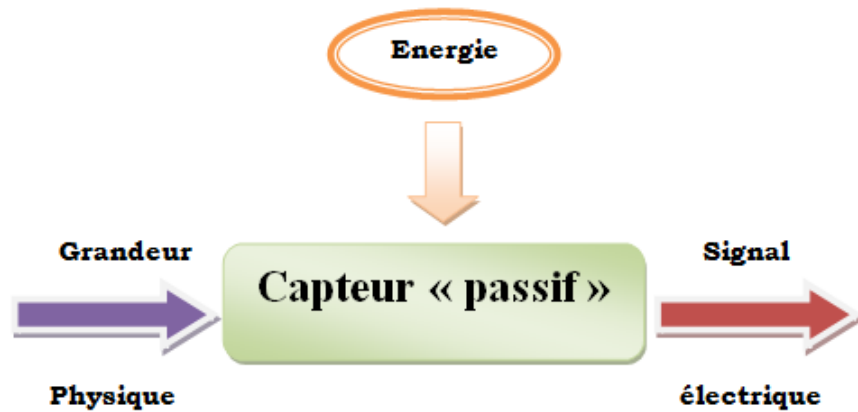


FIGURE I.5 – Principe du capteur passif.

## I.3.5 Les types d'informations des capteurs

### I.3.5.1 Les capteurs analogiques

L'information à transmettre peut varier de manière continue, comme la mesure de température d'une pièce à l'aide d'une sonde. Le signal issu de la sonde de température évolue entre deux valeurs limites de manière continue en fonction de la grandeur mesurée. Selon le conditionneur mis en œuvre, l'information analogique est délivrée sous diverses natures avec de nombreuses plages différentes. L'information délivrée par un voltmètre à aiguille est du type variable continu qui passe par une infinité de valeurs, c'est une information analogique. La mesure de la température, de la pression, du débit et de la vitesse peut se faire à l'aide d'un capteur qui délivre une information analogique. Dans la pratique industrielle, on donne à ce type de matériel le nom de capteurs. Type de signal de sortie : 0–10V ou 0-20mA.

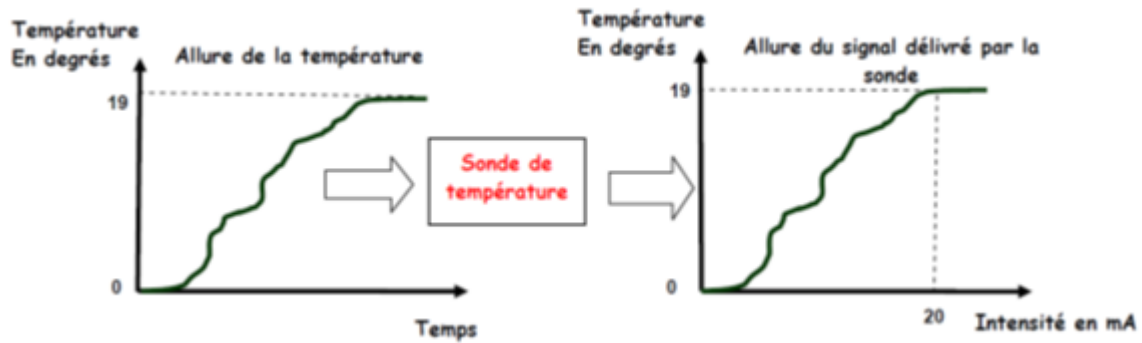


FIGURE I.6 – Principe de mesure d’un capteur analogique.

### I.3.5.2 Les capteurs numériques

Une grandeur numérique est un ensemble ordonné de grandeurs logiques. Ces informations peuvent être délivrées sous la forme d’un code numérique binaire (avec un nombre de bits définis (0 ou 1)) et d’un train d’impulsions (avec un nombre précis d’impulsions ou avec une fréquence précise). Une information qui ne prend qu’un nombre fini de valeurs est dite numérique. Le nombre de valeurs nécessaires pour coder une information est égal  $2^n$  ou  $N$  étant le nombre de bits nécessaire au codage. Les capteurs numériques vont être capables de transmettre des valeurs déterminant des positions, des pressions, des températures, etc. Les informations qui sont des combinaisons du signal 0 et 1 sont transmises à l’unité de traitement et peuvent être lues soit en parallèle, soit en série. Souvent nommés codeurs ou compteurs. Type de signal de sortie : 0011 ou 0001.

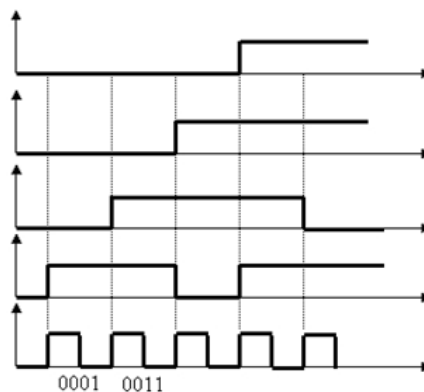


FIGURE I.7 – Signal délivré par un capteur numérique.

Quelques exemples de capteurs qui peuvent délivrer un signal numérique :

Les codeurs optiques (absolus et incrémentaux). Les informations transmises par les bus de données industriels ou en domotique, les lecteurs de cartes magnétiques ou de codes-barres sont numériques.

### I.3.5.3 Les capteurs logiques ou Tout Ou Rien (TOR)

C'est une information logique, de type Tout Ou Rien (TOR) ouvert ou fermé (0 ou 1). Les détecteurs délivrent donc un signal binaire (deux états possibles : soit 0 ou 1). Quelques exemples de capteurs : les interrupteurs de position électromécaniques, les détecteurs de proximité inductifs, capacitifs, photos électriques. Ils portent le nom de détecteurs. Type de signal de sortie 0V ou 5V.

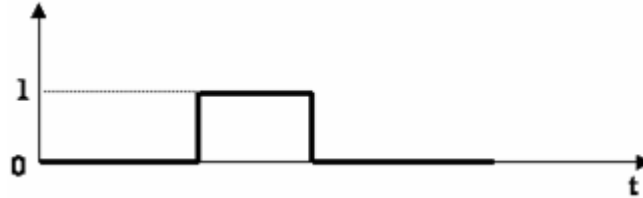


FIGURE I.8 – Signal délivré par un capteur logique.

### I.3.6 Capteur de température

La température est la mesure physique la plus courante. Nous avons des unités de contrôle et de mesure de la température, appelées thermostats, dans nos systèmes de chauffage domestique, nos réfrigérateurs, nos climatiseurs et nos fours. Les capteurs de température sont utilisés sur les cartes de circuit imprimé, dans le cadre des tests thermiques, dans les contrôles industriels et dans les contrôles locaux, tels que les laboratoires d'étalonnage et les centres de données. Bien qu'il existe de nombreux types de capteurs de température, la plupart sont des dispositifs passifs : thermocouples, RTD (détecteurs de température à résistance) et thermistances. Les thermocouples sont le type de capteur le plus courant car ils n'exigent pas de signal d'excitation. Ils se composent de deux fils constitués de métaux différents réunis au point de mesure. Sur la base de l'effet Seebeck, les thermocouples fonctionnent sur le principe que chaque métal développe une différence de tension sur toute sa longueur en fonction du type de métal et de la différence de température entre les extrémités du fil. En utilisant deux métaux, nous obtenons deux tensions différentes  $V_1$  et  $V_2$ . La différence ( $V_T$ ) représente la température. Notons qu'il n'y a pas de tension aux bornes de la jonction du thermocouple, représentée par T dans la figure (I.9 a) ci-dessous. C'est une erreur commune. Nous entendons souvent dire qu'un thermocouple développe une tension à la jonction, ce qui est incorrect. La tension est développée sur la longueur de chaque fil **[3]**.

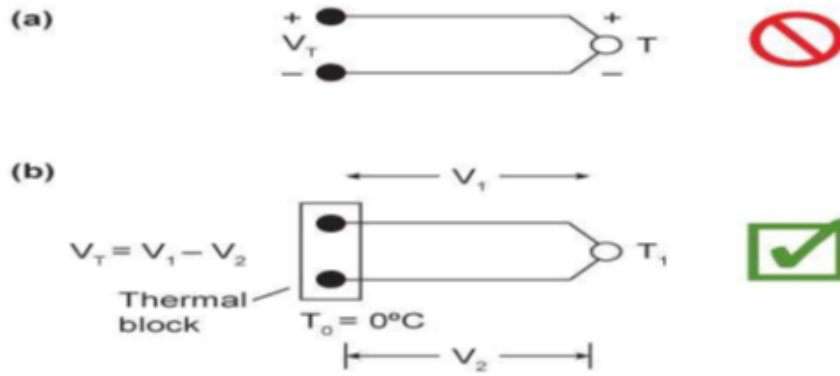


FIGURE I.9 – Thermocouples.

Les thermocouples sont désignés par des lettres. Par exemple, un thermocouple de type J comporte des fils de fer et de constantan (un alliage de cuivre-nickel). La plupart des fils de thermocouple ont un code couleur. Les thermocouples exigent que les extrémités les plus éloignées du fil soient à la même température et que la température soit connue (Figure I.9 b). Ainsi, les instruments utilisant des thermocouples auront un bloc isotherme avec un capteur intégré pour mesurer la température à ce point. C'est ce qu'on appelle la compensation de soudure froide. Avec une extrémité des fils à une température égale et connue, un circuit peut mesurer la tension  $V_T$  et calculer la température inconnue. Les courbes de thermocouple sont non linéaires et nécessitent donc une linéarisation. Cela peut être fait dans le matériel informatique, mais surtout dans les logiciels utilisant les instruments numériques actuels, au moyen d'une équation ou d'un tableau de référence. Les thermocouples sont courants en raison de leur large plage de température (le type J peut atteindre  $760^\circ\text{C}$ ), de leur faible coût, de leur robustesse et de leur circuit de conditionnement de signal simple. Les fils peuvent être parcourus sur de longues distances avec un blindage approprié car les tensions sont exprimées en microvolts par degré Celsius. Ils sont souvent utilisés dans des applications industrielles telles que les fours. Les détecteurs de résistance à la température (RTD) ont une plage plus petite, généralement quelques centaines de degrés Celsius, mais ils ont une précision et une résolution meilleures que celles des thermocouples. Les RTD utilisent un fil de précision, généralement en platine, en tant qu'élément sensoriel. L'élément a besoin d'un courant d'excitation connu, typiquement 1 mA. Les RTD sont proposés dans des configurations à deux, trois et quatre fils. Les configurations à quatre fils, généralement utilisées comme sondes de référence dans les laboratoires d'étalonnage, offrent la meilleure précision, car deux fils transportent du courant et deux sont utilisés pour mesurer la résistance à travers l'élément. Étant donné que les RTD produisent une résistance en fonction de la température, l'instrumentation les utilise souvent dans des circuits en pont pour optimiser la résolution. À partir de là, la sortie du pont est numérisée et linéarisée dans un logiciel.

### I.3.6.1 Mesure des tensions de thermocouple

On ne peut pas mesurer directement les tensions des thermocouples car le simple fait de le connecter sur un voltmètre crée des nouveaux thermocouples par les liaisons entre les fils du thermocouple et les bornes en cuivre ou en laiton du voltmètre.

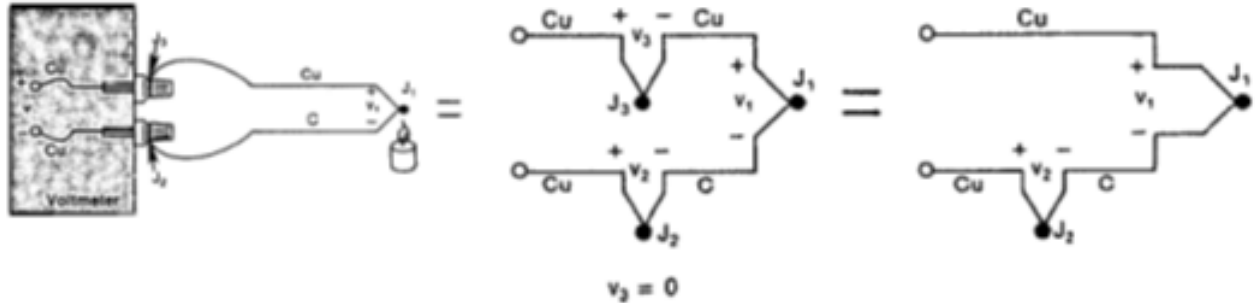


FIGURE I.10 – Principe de mesure de la température par un thermocouple.

Nous voulons que le voltmètre lise seulement la tension générée par le thermocouple J1, c'est-à-dire  $V_1$  mais nous avons créé deux autres jonctions métalliques J2 et J3. Comme J3 est une liaison cuivre surcuivre, il n'y a pas de création d'effet thermoélectrique. En revanche, J2 est une liaison cuivre constantan qui ajoute la tension  $V_2$  en opposition avec  $V_1$ . La lecture sur le voltmètre sera proportionnelle à la différence de température entre J1 et J2. Nous ne pourrions connaître la température de J1 que si nous connaissons d'abord celle de J2.

### I.3.6.2 Les capteurs de température à résistance

Les capteurs de température à résistance fonctionnent sur le principe de la détection des variations de résistance électrique des métaux purs. Leur résistance varie de façon linéaire avec la température. Les types des éléments utilisés pour réaliser ces capteurs incluent le nickel (Ni) et le cuivre (Cu) mais le platine (Pt) est de loin le plus courant, en raison de l'étendue de sa gamme de température, de sa précision et de sa stabilité. Très connus pour leur stabilité, les capteurs de température à résistance présentent le signal le plus linéaire de tous les capteurs électroniques en matière de température, mais ils sont généralement plus onéreux que leurs équivalents à cause de leur construction plus délicate et du platine qu'ils contiennent. Les capteurs de température à résistance se caractérisent aussi par un temps de réponse élevé et par une faible sensibilité. En outre, ils nécessitent une excitation en courant et sont sujets à l'auto-échauffement. Les sondes capteurs de température à résistance sont habituellement classées par résistance nominale à  $0^\circ\text{C}$ . Les valeurs de résistance nominale typiques pour les capteurs de température à résistance à film métallique en platine sont  $100\ \Omega$  et  $1000\ \Omega$ . La relation entre résistance et température est presque linéaire.



FIGURE I.11 – Les capteurs de température à résistance.

### I.3.7 Capteur d'humidité

L'humidité est le mélange d'air sec et de vapeur d'eau dans l'air ambiante. En générale, quand on parle de mesure d'humidité, on fait allusion au taux d'humidité exprimée en % qui est en fait l'humidité relative. La détermination de cette mesure est complexe, car elle est étroitement liée à d'autres grandeurs physique, telle que la température et la pression. 0 % d'humidité correspondrait à un air absolument sec, chose introuvable dans la nature. 100%, souvent vu comme un maximum, correspond à l'équilibre entre liquide et vapeur. L'humidité relative mesure donc le rapport entre la quantité de vapeur d'eau présente dans l'atmosphère et la quantité qu'il y aurait à l'équilibre [3].

### I.3.8 Classification des capteurs d'humidité

Les principales techniques de transduction sont récapitulées dans ce paragraphe, à ce jour, on distingue les capteurs capacitifs, résistifs, hygrométriques, gravimétriques, et optiques.

#### I.3.8.1 Capteurs capacitifs

Les capteurs capacitifs représentent la majeure partie des systèmes dotés d'un capteur d'humidité. Ils sont basés sur la variation de capacité d'une couche diélectrique exposée à un changement du taux d'humidité.



FIGURE I.12 – Capteur d'humidité capacitif HS1101.

#### I.3.8.2 Capteurs résistifs

Les capteurs résistifs sont basés sur le changement d'impédance d'une couche sensible après absorption d'humidité. 3 types de matériaux sont généralement utilisés : céramiques, polymères et électrolytes.



FIGURE I.13 – Capteur d’humidité résetif H25K5A.

### I.3.8.3 Capteurs hygrométriques

Ce principe est historiquement le premier utilisé pour évaluer le taux ambiant d’humidité. La transduction repose sur la déformation d’un solide, comme une membrane, un cheveu, etc. . . . , après absorption d’humidité. L’avantage de cette technique de transduction est qu’elle n’est pas sujette à la dérive en température, le matériau est généralement fiable sur une longue durée.



FIGURE I.14 – Capteur d’humidité hygrométrique.

### I.3.8.4 Capteurs gravimétriques

Le principe de transduction repose sur la variation de masse d’une couche sensible exposée à une variation du taux d’humidité. Ces capteurs utilisent généralement une microbalance à quartz pour détecter la variation de masse. La mesure est alors effectuée en mesurant la variation de fréquence de résonance du quartz, qui est un matériau piézorésistif, excité par un signal électrique. La résolution de ces microbalances atteint les quelques nanogrammes par  $\text{cm}^2$  de surface exposée. Pour améliorer la sensibilité de ces dispositifs, un matériau hydrophile est généralement associé.

### I.3.8.5 Capteurs optiques

L’avantage de ces capteurs réside dans leurs performances. Ce sont des systèmes peu encombrants, ils peuvent présenter des temps de réponse en dessous de la minute, ils sont chimiquement stables et peu sujets aux perturbations électromagnétiques. Ils sont en revanche coûteux et lourds à concevoir et intégrer. Ces capteurs reposent généralement sur l’utilisation de fibres optiques. Leur principe est basé sur la variation des propriétés physiques d’un composant de la fibre sous l’influence de l’humidité, cela se traduit soit par une variation de l’intensité lumineuse transmise, une variation du spectre de fluorescence, ou une variation d’indice d’optique qui permettent des mesures par réflectométrie.

### I.3.9 Retournement des œufs

L'incubateur doit reproduire le comportement de la poule. Par conséquent, il doit retourner les œufs plusieurs fois par jour. Il existe deux modes de retournement, le mode manuel et le mode automatique. Le retournement permet à l'embryon de se développer. La rotation des œufs se réalise dans l'incubateur à l'aide d'un mécanisme à plateaux inclinables, tourner manuellement ou alimenté par un moteur électrique. Ce dernier est contrôlé par une minuterie ou timer, qui fait agir le moteur à des intervalles de temps réguliers. L'absence de retournement des œufs, entraîne un résultat d'éclosion très médiocre. Il y a une relation claire entre le nombre de fois où les œufs sont retournés et la quantité d'œufs qui éclosent. Généralement les œufs sont retournés 3 fois par jour pendant les 18 premiers jours. Ensuite, ils resteront aux repos jusqu'à l'éclosion.

#### I.3.9.1 Moteurs

Un moteur électrique est un dispositif qui convertit l'énergie électrique en énergie cinétique (c'est-à-dire un mouvement). La plupart des moteurs décrits dans cette partie tournent sur un axe, mais il existe également des moteurs spéciaux qui se déplacent de manière linéaire. Tous les moteurs fonctionnent en courant alternatif (AC) ou en courant continu (DC), mais peu d'entre eux peuvent fonctionner sur les deux. Chaque type de moteur possède des caractéristiques uniques qui le rendent adapté à des applications particulières **[4]**.

##### I.3.9.1.1 Moteurs à courant alternatif

Les moteurs à courant alternatif comprennent des types triphasés et monophasés. Les moteurs à induction triphasés sont les moteurs les plus largement utilisés dans les applications industrielles et commerciales. Une caractéristique commune à tous les moteurs à courant alternatif est un champ magnétique tournant produit par les enroulements du stator. Ce concept peut être illustré pour les moteurs triphasés en considérant trois bobines placées de manière égale autour du rotor. Chaque bobine est connectée à une phase d'une alimentation triphasée. Les moteurs synchrones triphasés sont les plus souvent utilisés dans les très grandes applications industrielles ou dans lesquelles une vitesse exacte est requise. Les moteurs à induction monophasés sont utilisés là où l'alimentation triphasée n'est pas disponible ; généralement dans les applications résidentielles, commerciales et agricoles. Dans les moteurs asynchrones, le stator bobiné est composé de trois bobines qui créent 3 champs magnétiques. Ces bobines étant alimentées par un système de courants triphasés créent chacune un champ magnétique variable. La composition de ces trois champs magnétiques crée un champ magnétique tournant qui entraîne le rotor en rotation par la création d'une force électromagnétique **[4]**.

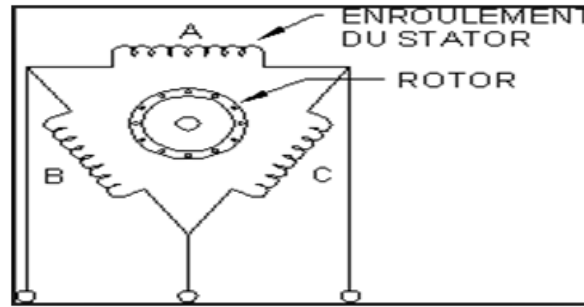


FIGURE I.15 – Principe des moteurs à courant alternatif.

### I.3.9.1.2 Les moteurs à courant continu

Les moteurs à courant continu sont souvent utilisés dans des applications nécessitant un contrôle de vitesse précis. Les moteurs à courant continu possèdent des caractéristiques qui les rendent intéressants pour certaines applications. Faire varier la tension d'alimentation d'un moteur à courant continu peut contrôler la vitesse de rotation. La partie tournante (rotor) d'un moteur à courant continu s'appelle l'armature et se compose d'enroulements similaires à ceux d'un moteur à induction à rotor bobiné. La partie fixe (stator) introduit un champ magnétique soit par des aimants permanents, soit par des enroulements de champ agissant sur l'armature. Le courant circule dans les enroulements d'induit via des balais de charbon et un collecteur. L'ensemble collecteur est facilement reconnaissable en tant qu'anneau de paires parallèles diamétralement opposées de contacts en cuivre de forme rectangulaire à une extrémité de l'induit. Chaque paire de contacts est connectée à une bobine enroulée sur l'armature. Les balais de charbon maintiennent le contact avec le collecteur via des ressorts. Lorsque le moteur est mis en marche, le courant circule dans une brosse via un contact de commutateur connecté à un enroulement de bobine sur l'induit. Le courant passe ensuite à travers l'autre balai de charbon via un contact de commutateur diamétralement opposé. Cela fait apparaître l'armature comme un aimant avec lequel le champ de stator interagit. Le champ d'induit tentera de s'aligner sur le champ de stator. Lorsque cela se produit, un couple est généré et l'armature bouge légèrement. À ce stade, la connexion avec la première paire de contacts du commutateur est interrompue et la paire suivante est alignée sur les balais de charbon. Ce processus se répète et le moteur continue à tourner [4].

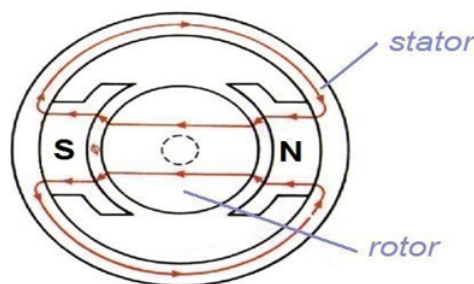


FIGURE I.16 – Principe des moteurs à courant continu.

### I.3.9.2 Moteurs pas à pas

Un moteur pas à pas est un moteur qui est alimenté en courant continu. Son rotor est constitué de N pôles magnétiques (Nord et Sud). Son Stator est constitué de bobines qui sont alimentées par un circuit électronique les unes à la suite des autres pour créer des pôles nord et sud en fonction du sens d'alimentation. On trouve par exemple ce type de moteur dans les imprimantes jet d'encre pour déplacer les têtes d'impression ou entraîner le papier **[4]**.



FIGURE I.17 – Moteurs pas à pas.

### I.3.10 Exemple de couveuses à grande production

Il s'agit d'une couveuse de type incubatrice pour plus de 10 000 œufs de poule.

- Meuble : métallique en tôle zinguée et pré-laquée avec isolation en polyuréthane.
- Puissance total : 4400 watts, avec utilisation moyenne de 20 à 40%.
- Ventilation : avec ventilateur à palmes.
- Chauffage : avec résistance électrique contrôlée par une sonde électronique et avec display.
- Humidité : avec motoréducteur contrôlé par une sonde électronique et avec display ou nébulisation par ultrasons.
- Retournement des œufs : par vérin électrique et programmeur.
- Refroidissement : par circulation d'eau froide et commandée par électrovanne.
- Alarme : surchauffe et sous chauffe de température, manque du courant, courroie brisée, moteur arrêté.



FIGURE I.18 – Incubateur à plus de 10 000 œufs.

### I.3.11 Exemple de couveuses à petite production

Pensées pour les éleveurs professionnels, les couveuses automatiques n'en restent pas moins toutes aussi pratiques et fiables pour les éleveurs familiaux, quelle que soit la taille de leur élevage. Les capacités d'œufs à couvrir varient d'un modèle à l'autre, afin que chaque éleveur puisse disposer de la couveuse automatique adaptée à son cheptel : de 12 à 96 œufs selon les modèles. Ces incubateurs entièrement automatiques permettent de gagner du temps et sont les plus fiables pour s'assurer un taux d'éclosion excellent. Le retournement des œufs se fait de façon automatique à l'aide d'un petit moteur faisant osciller les paniers et/ou grilles. La température et le taux d'hygrométrie sont affichés sur la couveuse pour un suivi précis et minutieux durant la couvaison. Le remplissage d'eau se fait généralement à l'aide de bouches extérieures pour plus de praticité. Enfin, les couveuses automatiques sont généralement équipées d'une grille d'éclosion sur laquelle placer les œufs 3 jours avant l'éclosion.



FIGURE I.19 – Couveuse à moins 90 oeufs.

## I.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons comparé la couvaison naturelle et la couvaison artificielle. Il existe plusieurs facteurs qui doivent être pris en compte pour choisir le type de couvaison. Car ces facteurs influent directement sur la qualité et le résultat de la couvaison. L'incubation naturelle ne demande pas d'efforts particuliers puisque ce sont les poules qui font presque tout le travail. Tandis que l'incubation artificielle en couveuse est pratiquée dans des conditions spécifiques qui méritent certains efforts, travail et un suivi quotidien afin d'obtenir des meilleurs résultats.

**Chapitre II :**  
**LE SYSTÈME GSM**

## II.1 Introduction

Communiquer partout, avec tout le monde et à tout moment, c'était le rêve et l'objectif des chercheurs, ingénieurs et utilisateurs, depuis l'avènement des premiers systèmes de communication sans fil. Aujourd'hui, nous avons presque atteint cet objectif par des technologies qui permettent la réalisation des systèmes de communication performants et économiques pour nombreux domaines d'applications. Parmi les utilisations des systèmes de communication sans fil actuels, le plus populaire aujourd'hui est le GSM (Groupe Spécial Mobile) ou Global System for Mobile Communications. Dans ce chapitre, nous décrivons les réseaux mobiles en général et le GSM en particulier, en détaillant ce réseau qui permet généralement d'envoyer des SMS et d'établir une connexion directe entre correspondants.

## II.2 Les réseaux mobiles

Les réseaux mobiles sont des réseaux de télécommunication sans fils, comprenant un ensemble de terminaux, d'entités et de nœuds connectés les uns aux autres. Ces connections se font par le biais de liaisons permettant la communication entre les utilisateurs des terminaux. Les entités représentent des personnes utilisant des appareils mobiles portables et communiquent simultanément par des messages ou par des signaux vocaux. Les réseaux mobiles sont aujourd'hui le moyen de communication le plus répandu entre les personnes en raison de leur souplesse d'utilisation en tout lieu et à tout moment [5].

### II.2.1 Les différents réseaux mobiles

Les réseaux mobiles sont pris en charge et offert par de nombreuses technologies telles que :

### II.2.1.1 Réseaux mobiles 1G

La première génération de technologies sans fil utilisait la diffusion analogique, qui opère dans la bande des 800 MHz et utilise des canaux de 30 KHz utilisant un accès multiple par division de fréquence (FDMA). Il a été introduit en Amérique du Nord en 1985 en tant que service de téléphonie mobile développé. Comme les signaux numériques peuvent être compressés, cela permet une utilisation plus efficace du spectre de fréquence.

### II.2.1.2 Réseaux mobiles 2G (réseaux GSM)

Les systèmes de deuxième génération numérisent la liaison de contrôle ainsi que le signal vocal. Il est apparu au début des années 90. De plus, ils offrent une meilleure qualité et une plus grande capacité, en réduisant les coûts pour les clients. Cette génération prend en charge les services de voix, de données, de radiomessagerie et de télécopie.

### II.2.1.3 Réseaux mobiles 2.5G (réseaux GPRS)

À la fin des années 90, les réseaux 2.5G ont été introduits. Ils utilisent la norme, qui fournit aux réseaux GSM existants des capacités de données à commutation de paquets permettant aux utilisateurs d'envoyer des données graphiques sous forme de paquets. Le réseau EDGE est un exemple des technologies mobiles 2.5G.

### II.2.1.4 Réseaux mobiles 3G

En 2007, la technologie de téléphonie mobile de troisième génération (3G) a été introduite pour permettre aux clients d'utiliser des applications audio, graphiques et vidéo. Avec l'utilisation des technologies 3G, il est possible de regarder des vidéos et de faire des appels visioconférence. La technologie 3G maintient des débits de données plus élevés, prend en charge la transmission de données à commutation de paquets et de circuits, offre une itinérance mondiale et donne accès aux applications Internet depuis n'importe quel endroit du monde. La technologie 3G est également connue sous le nom de technologie UMTS. Le système de télécommunications mobiles universelles (UMTS) est une technologie de communications mobiles de troisième génération qui fournit une technologie radio à accès multiple par répartition en code à large bande (CDMA). Avec des débits de données pouvant atteindre 2 Mbps, l'UMTS offre une capacité accrue de données, et une gamme de services beaucoup plus large. La technologie CDMA offre un débit plus élevé, des services en temps réel et une qualité de service (QoS) de bout en bout [5].

### II.2.1.5 Réseaux mobiles 4G

La quatrième génération (4G) de téléphonie mobile a été introduite récemment pour fournir des débits de transmission élevés et pour adapter les fonctionnalités de qualité de service (QoS). Cette fonctionnalité permet d'utiliser des applications téléphoniques qui incluent la diffusion en continu des contenus multimédia hautes performances, tout en améliorant la

qualité de la vidéoconférence. La 4G mobile introduit les technologies sans fil pour les téléphones mobiles grand public et offre d'avantage de fonctions pour la télévision en raison de la qualité de service élevée et de la bande passante plus large qu'elle permet d'accéder à Internet et de regarder différentes chaînes de télévision. La quatrième génération de services mobiles est la version avancée des services de communication mobiles de troisième génération. Les services de communication mobile de cette génération fournissent une transmission de données haut débit. Ceci permet de fournir, aux utilisateurs des services multimédias interactifs de haute qualité et a grande vitesse, notamment, la téléconférence, des images vidéo couleur, des jeux d'animation graphique 3D et des services audio. En outre, les réseaux 4G devraient offrir une mobilité, une portabilité des services et une évolutivité mondiale à moindre coût. Ils sont basés sur le multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM), capable d'avoir des centaines de canaux parallèles. Les débits de transmission de données devraient se situer entre 20 et 100 Mb/s en mode mobile. Cette technologie permet une fusion transparente entre différentes normes sans fil, permettant à un appareil mobile de passer de réseaux intérieurs tels que les réseaux locaux sans fil et Bluetooth, au cellulaire, à la diffusion radio et télévisée ou aux communications par satellite [5].

### II.3 Structures géographiques dans un réseau GSM

Le GSM est un standard mondial pour la communication mobile avec une couverture étendue. En raison de la mobilité des abonnés, la structure organisationnelle doit être subdivisée en différents éléments de traitement. Les zones définies sont nécessaires pour établir des connexions point à point. La figure ci-dessous illustre les différentes zones géographiques auxquelles on peut relier un réseau GSM [6].

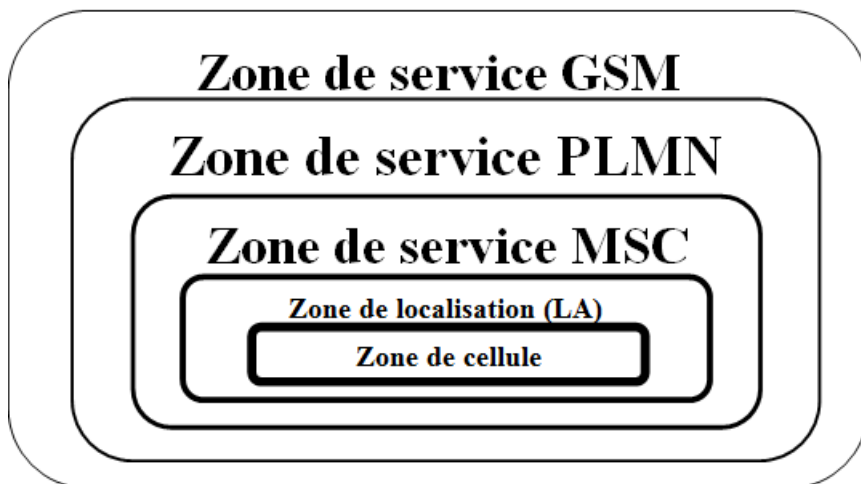


FIGURE II.1 – Structures géographiques en GSM.

### II.3.1 La zone cellule

Le principe de ce système est de diviser une zone géographique en de petites zones, appelées cellules radio d'une portée de quelques centaines de mètres à un environ 40 km, et de partager la bande des fréquences radio entre elles. Ainsi, chaque cellule comporte une station de base reliée au réseau téléphonique et à laquelle on associe un certain nombre de fréquences. Un utilisateur sera donc affecté à la station de base couvrant la cellule dans laquelle il se trouve. Elle constitue ainsi le point à partir duquel l'abonné peut envoyer ou recevoir des appels ou des messages.

### II.3.2 Zone de localisation (LA)

Une région de repérage (LA – Location Area) est un groupe de cellules. C'est la région par laquelle on localise un abonné. Chaque LA est servi par un ou plusieurs contrôleurs de station de base (BSC), mais par un seul centre de commutation mobile MSC (Mobile Switching Centr). À l'intérieur de la zone GSM, la zone de localisation est le niveau le plus bas existant de l'information de localisation d'un abonné. La couche de gestion de la mobilité seule connaît dans quelle zone de localisation, un abonné est situé. Chaque zone de localisation est identifiée par une identité de zone de localisation (LAI) et appartient à un seul MSC (Mobile Switching Centr). Une station mobile est autorisée à se déplacer dans une zone de localisation sans envoyer d'informations de localisation au réseau. La station mobile ne doit mettre à jour les informations de gestion de la mobilité que si elle change de zone géographique. Cette procédure s'appelle mise à jour de l'emplacement [7].

### II.3.3 Zone de service MSC

Une région de service MSC est un groupe de LA sous le contrôle d'un seul MSC. En fonction de la capacité du réseau offerte, un opérateur subdivise son réseau en une zone de service plus petite, constituée par un MSC. La MSC fait partie du réseau de commutation et il est responsable de la connexion des appels téléphoniques. Il possède un accès à différentes bases de données contenant les informations sur le profil, la localisation et les fonctions de sécurité des abonnés. Un MSC est le niveau de commutation le plus bas, il transfère l'appel dans différents réseaux. Deux stations mobiles dans une même zone de service MSC établissant une connexion sont connectées via le MSC, ce qui en fait le niveau de commutation le plus bas du monde GSM.

### II.3.4 Zone de service PLMN

Une zone de service de réseau mobile terrestre public (PLMN) est l'ensemble des cellules desservies par un opérateur de réseau et est définie comme la zone dans laquelle un opérateur offre une couverture radio et un accès à son réseau. Dans un même pays, il peut exister plusieurs zones de service PLMN, une pour le réseau de chaque opérateur de téléphonie mobile.

Finalement, un réseau mobile d'une région public (PLMN) est la région desservie par un opérateur de réseau. Par exemple, un exploitant de réseau pourrait avoir un PLMN pour la région de l'Est, un autre couvrant les régions du Sud, un pour les régions de l'Ouest, d'autres pour le Nord et un dernier pour les Maritimes. Il est à noter que les liens physiques entre les villes peuvent être loués à l'exploitant du réseau cellulaire [8].

### II.3.5 Zone de service GSM

Cette zone la plus haute décrit le monde entier du GSM ; tous les éléments du réseau réalisés font partie de cette zone. La zone de service GSM est l'ensemble de la zone géographique dans laquelle un abonné peut accéder à un réseau GSM. Cette zone augmente à mesure que de plus en plus d'opérateurs signent des contrats acceptant de travailler ensemble [8].

## II.4 Méthodes de planification du réseau

La planification et l'optimisation d'un réseau radio GSM permettent de bien comprendre comment concevoir et organiser un réseau radio GSM de haute qualité.

### II.4.1 Principe des réseaux cellulaires

Dans le réseau GSM, chaque station de base qui compose une cellule comporte des antennes et à laquelle on associe un certain nombre de canaux de fréquences à bande étroite. Les cellules sont schématisées dans des formes hexagonales mais la portée réelle des stations dépend de la configuration du territoire et de la surface de rayonnement des antennes d'émission. La puissance de l'émetteur-récepteur définit la dimension d'une cellule. Plus un émetteur-récepteur est puissant, plus son champ d'action est vaste. Dans la réalité, les cellules se recouvrent partiellement. Au début, à chaque utilisateur qui se trouvait dans la cellule, le système GSM affectait de manière statique une bande de fréquences qu'il en ait besoin ou non. Afin d'éviter les interférences, les cellules adjacentes ne peuvent pas utiliser les mêmes fréquences. Pour améliorer la performance des réseaux et augmenter le nombre d'abonnés, alors, l'utilisateur se voit allouer un canal uniquement à partir du moment où celui-ci en avait besoin. Les cellules sont regroupées en blocs appelés motif ou cluster. Pour couvrir toute une zone, le bloc des cellules (cluster) doit être reproduit d'une manière continue sur cette dernière. Cette reproduction permet de déterminer le nombre de cellules dans un bloc. Typiquement, le nombre de cellules par bloc est de 4, 7, 12 ou 21. Dans un réseau de communication mobile et par rapport à un réseau téléphonique câblé, le transfert de parole ou de données est effectué par une liaison radio. Cette liaison radio sera au moins établie entre la station mobile et la station de base. Les cellules radio se chevauchent, en cas de transfert d'une cellule radio à une autre. Lorsque l'utilisateur quitte une cellule et passe dans une autre, la communication ne doit pas être interrompue, par contre la gestion de l'appel passe de l'ancienne station de base à la nouvelle. Cette procédure s'appelle '**Handover**' [6].

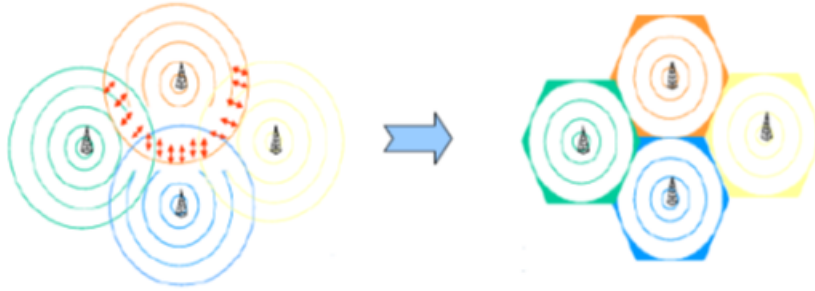


FIGURE II.2 – Concepts cellulaires.

### II.4.2 Méthode de Cluster

La méthode de cluster est une méthode de planification de réseau, dérivant de la technique analogique, dans laquelle il était plus essentiel d'éviter les interférences. Un réseau de communication radio numérique est plus robuste contre les interférences. Un motif cellulaire 'Cluster' est l'ensemble des cellules dans lequel chaque fréquence de la bande est utilisée une fois et une seule fois. Il représente le plus petit groupe de cellules contenant l'ensemble des canaux radios une et une seule fois. Ce motif est répété sur toute la surface à couvrir [6].

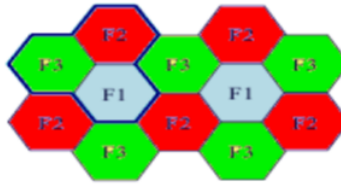


FIGURE II.3 – Cluster à cellules radio.

### II.4.3 Antennes pour réseaux de communication mobiles

Il est possible de classer une cellule radio par la taille et le type de l'antenne installée. Dans les zones rurales, l'antenne omnidirectionnelle est un type courant. Il s'agit de cellule omnidirectionnelle équipée d'une BTS à antennes omnidirectionnelles. L'inconvénient majeur des antennes omnidirectionnelles est qu'une BTS ne forme qu'une seule cellule radio. Ce type d'antenne rayonne dans toutes les directions. Dans d'autre zone, des antennes directionnelles qui rayonnent dans une direction privilégiée sont utilisées. Il s'agit de cellule sectorielle équipée d'une BTS à antennes directionnelles. La capacité dépend du nombre de canaux de fréquence. Par conséquent, une antenne omnidirectionnelle ne peut souvent pas occuper tout le nombre des canaux demandés. En raison de la densité plus élevée des stations de base, un opérateur de réseau est confronté à des problèmes d'attribution de fréquences. En outre, dans les zones très peuplées, on trouve la station de base sectorisée. Ils utilisent des antennes sectorielles et ne transmettent un signal radio que selon un certain schéma horizontal. Une stratégie visant à éviter les dépassements de gamme dans la transmission consiste à choisir des antennes à très petite ouverture verticale. Les valeurs typiques vont de 6° à 20°. Fréquemment nous pouvons trouver

des antennes avec réglage électrique ou manuel de l'inclinaison de l'antenne afin de réduire la portée de transmission pour éviter les interférences avec d'autres cellules radio, en utilisant éventuellement le même canal de fréquence. De nombreuses stations d'émetteur-récepteur de base sont réalisées de cette manière, deux antennes pointant dans la même direction, avec une distance horizontale ou verticale de quelques mètres seulement. Cette configuration s'appelle la diversité. Ces antennes sont utilisées pour obtenir un gain plus élevé du côté récepteur du fait que la superposition des 2 signaux reçus soit différente. Les antennes diffèrent les unes des autres en ce qui concerne les exigences de leur réseau radio dépendant de leur ouverture horizontale et verticale, leur gain en antenne et leur polarisation [6].



FIGURE II.4 – Antenne omnidirectionnelle.

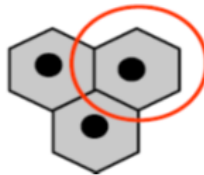


FIGURE II.5 – Cellules omnidirectionnelles.



FIGURE II.6 – Antenne sectorisée.



FIGURE II.7 – Cellules sectorisées.

## II.4.4 Classes de cellules radio

Les cellules radio se distinguent par leur taille de zone cellulaire. Ce paramètre dépend principalement de la hauteur de montage de l'antenne et de la puissance d'émission [6]. Dans un réseau GSM, nous distinguons principalement les trois classes suivantes :

### II.4.4.1 Macro-cellules

Elles ont pour but de constituer une vaste zone de couverture. Ses fréquences radio vont d'environ 10 km à 40 km. Ils sont généralement installés dans des zones peu peuplées avec une grande zone de couverture mais de faible trafic.

### II.4.4.2 Microcellules

Elles forment entre-temps la configuration standard dans les zones peuplées. Avec leur configuration, une densité de station de base élevée peut être obtenue et par conséquent, la capacité demandée peut être fournie. Le rayon d'une telle microcellule est donné dans la gamme de 1 à 3 km. La hauteur de l'antenne montée est plus ou moins similaire à la hauteur des bâtiments environnants. La propagation des ondes et la plage de cellules sont délimitées par l'évanouissement du signal par les bâtiments, etc. De l'autre côté, en raison de leur portée réduite ils doivent être placés au milieu de la zone couverte. Nous pouvons trouver ces classes de cellules radio par exemple dans toutes les villes.

### II.4.4.3 Pico-cellules

Elles sont utilisées pour faciliter le trafic des microcellules. La plupart du temps, ils ne sont pas utilisés pour créer une certaine couverture dans les anciennes zones non couvertes, ils étendent plutôt la couverture existante. Les pico-cellules peuvent être trouvés dans les zones de points chauds ou les zones à fort trafic, comme les places de marché, foires ou carrefours. La hauteur du montage des antennes est inférieure à la hauteur du toit qui est fixée au mur ou au-dessous de la hauteur des bâtiments environnants. De plus, la puissance d'émission est réduite pour éviter les dépassements de fréquence.

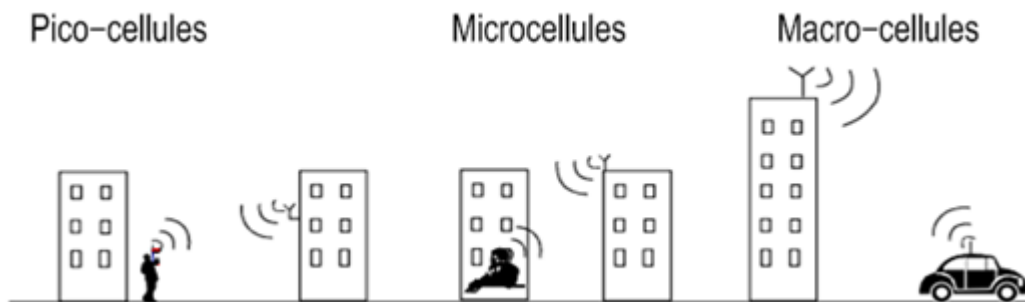


FIGURE II.8 – Différentes classes de cellules radio.

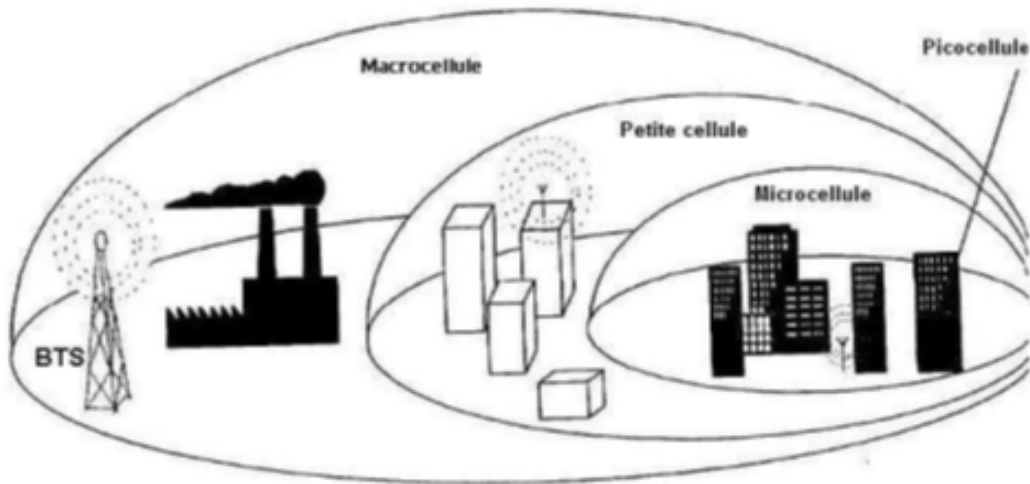


FIGURE II.9 – Différentes tailles de cellules en fonction de la capacité.

## II.5 Architecture et structure du réseau GSM

Le GSM est une norme tout compris reconnue pour la communication cellulaire informatisée. Le GSM utilise l'accès multiple par répartition dans le temps (TDMA) à bande étroite destinée aux administrations basées sur la voix et le contenu des systèmes de téléphonie cellulaire. Il s'agit d'une innovation cellulaire avancée utilisée pour la transmission de voix et d'informations polyvalentes. L'idée du GSM est née au milieu des années 1970 d'un cadre de radio portable basé sur les cellules chez Bell Laboratoires. GSM est le nom d'un groupe d'institutionnalisation créé en 1982 pour créer un standard de téléphone portable européen typique. Le GSM est le standard le plus généralement reconnu dans les communications de diffusion. Le GSM est une structure à circuits échangés qui partitionne chaque canal de 200 kHz en huit postes vacants programmés à 25 kHz. Le GSM fonctionne sur les groupes de correspondance polyvalents 900 MHz et 1800 MHz dans de nombreuses régions du monde. Aux États-Unis, le GSM fonctionne dans les groupes 850 MHz et 1900 MHz. Le GSM revendique une part de l'industrie globale de plus de 70% des endosseurs de cellules avancés dans le monde. Il a été créé en utilisant une innovation avancée. De plus, le GSM est à la base de plus d'un milliard d'avenants polyvalents dans plus de 210 pays du monde. Le GSM est fondamental pour les administrations de pointe en matière de voix et d'information, notamment les administrations itinérantes. L'itinérance est la capacité d'utiliser notre numéro de téléphone GSM dans une autre organisation GSM. Les déterminations spécialisées GSM caractérisent les composants distincts à l'intérieur de la structure d'organisation GSM. Il caractérise les composantes distinctes et les itinéraires dans lesquels ils communiquent pour renforcer le fonctionnement général du réseau. La structure d'organisation GSM est actuellement bien établie. Avec la mise en place des autres infrastructures cellulaires et l'envoi de nouvelles, l'ingénierie essentielle de l'organisation GSM a été repensée pour permettre l'interface avec les composants système requis par ces réseaux. L'ingénierie du GSM, telle que définie dans le GSM, peut être assemblée en quatre principaux territoires :

- Station mobile (MS : Mobile station).
- Sous-système de station de base (BSS : Base Station Subsystem).
- Sous-système de réseau et de commutation (NSS : Network Switching Subsystem).
- Sous-système d'exploitation et de support (OSS : Operation Support Subsystem).

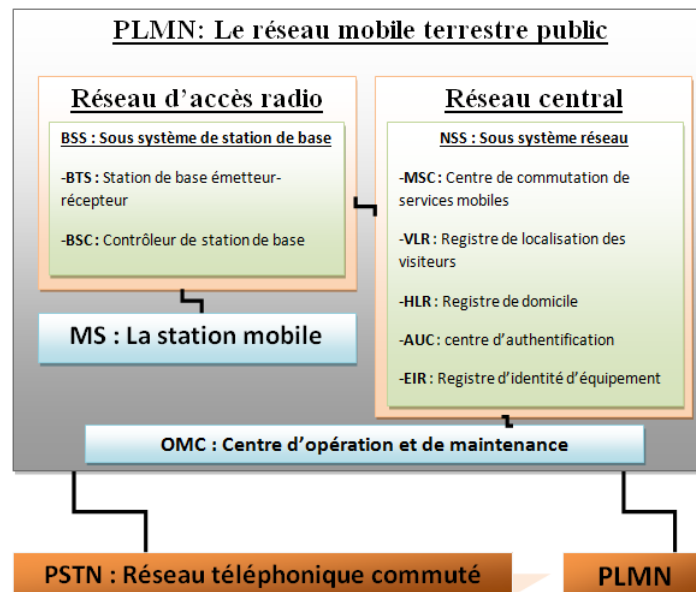


FIGURE II.10 – Architecture du réseau GSM.

### II.5.1 Station mobile (MS : Mobile Station)

Stations polyvalentes ou engins portables (comme on les appelle le plus souvent cellule ou les téléphones cellulaires) se remplissent lorsque le segment d'une cellule GSM s'arrange pour que le client accède aux services GSM. Ces derniers temps, leur taille a considérablement diminuée et leur niveau d'utilité s'est incroyablement accru. Un autre point de vue préféré est que le temps entre les charges soit essentiellement augmenté. La technologie sans fil comporte différents composants, bien que les deux composants principaux soient l'équipement fondamental et la carte SIM. L'équipement lui-même contient les principaux composants du téléphone cellulaire, notamment l'afficheur, le boîtier, la batterie et le matériel utilisé pour produire et traiter l'information à transmettre et à recevoir. Il contient également un numéro appelé IMEI (International Mobile Equipment Identity). Ceci est introduit dans la fabrication du téléphone et ne peut pas être changé. Au moment de l'inscription, le système y accède pour vérifier si le matériel a été déclaré volé. La carte SIM ou le module d'identité d'abonné contient les données qui confèrent au système la personnalité du client. Il contient un assortiment de données, y compris un nombre appelé IMSI (International Mobile Subscriber Identity). Une station mobile doit exécuter toutes les fonctions pour le transfert de données par l'interface radio, par exemple, conversion A/N, codage de la parole, entrelacement, modulation, chiffrement ainsi que la transmission et réception synchronisées en temps et en fréquence [6].

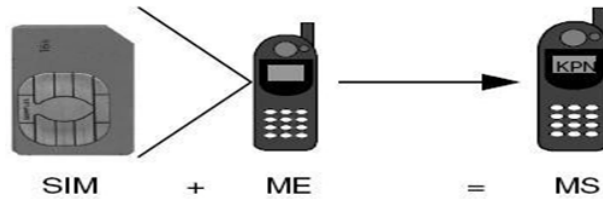


FIGURE II.11 – Composants de la station mobile.

## II.5.2 Sous-système de station de base BSS

Le segment BSS (Base Station Subsystem) du GSM organise l'ingénierie à un niveau très basique lié à la communication avec les mobiles du système. Il comprend deux composants.

### II.5.2.1 Station de base émettrice-réceptrice (BTS : Base Transceiver Station)

Le BTS utilisé dans le cadre d'une organisation GSM implique les destinataires des émetteurs radio et les appareils de réception associés qui transmettent et parviennent à parler directement avec les mobiles. Le BTS est le composant qui caractérise chaque cellule. Le BTS parle avec les mobiles, et l'interface entre les deux est connue comme l'interface Um avec ses conventions associées.

### II.5.2.2 Contrôleur de station de base (BSC : Base Station Controller)

Le BSC façonne l'étape suivante dans l'organisation GSM. Il contrôle un rassemblement de BTS et collabore régulièrement avec l'un des BTS. Il traite des actifs radios et contrôle les échanges, par exemple, le transfert au sein de la collecte de BTS, désigne les canaux, etc. Il fournit toutes les fonctions de contrôle et les liens physiques entre le MSC et le BTS. Le BSC fournit des fonctions telles que le transfert intercellulaire, les données de configuration de cellule et contrôle des niveaux de puissance de fréquence radio (RF) dans les stations de base émetteur-récepteur.

## II.5.3 Sous-système du réseau (NSS : Network Sub-System)

Le NSS est la composante d'un système GSM qui exécute les fonctions de gestion des appels et de la mobilité des téléphones mobiles en itinérance sur le réseau des stations de base telles que la gestion de l'authentification de l'abonné, édition de la localisation, transfert intercellulaire, acheminement des appels vers une itinérance et commutation (connexion à un réseau fixe), comme le réseau téléphonique public commuté (RTCP) au sens large. L'ingénierie de structure GSM contient un assortiment de divers composants et est souvent appelée système central. Il donne le principe de contrôle et d'interfaçage pour l'ensemble du système polyvalent. Les composants importants du système central incluent le centre des administrations de commutation mobile MSC (Mobile Switching administrations Center), registre de localisation HLR (Home Location Register), registre de localisation des visiteurs VLR (Visi-

tor Location Register), registre d'identité d'équipement EIR (Equipment Identity Register), centre d'authentification, centre de commutation mobile Gateway GMSC (Gateway Mobile Switching Center) et passerelle SMS (SMS-G SMS Gateway).

### **II.5.3.1 Centre des administrations de commutation mobile (MSC : Mobile Switching Center)**

Le composant fondamental à l'intérieur de la région du système central de l'ingénierie générale du système GSM est le centre de services d'échange mobiles (MSC). Les fonctions MSC, qui constituent un concentrateur d'échange typique à l'intérieur d'un RTPC ou d'un RNIS, offrent en outre une capacité supplémentaire de prise en charge des besoins d'un client portable. Ceux-ci incorporent l'enrôlement, la vérification, et la zone d'appel entre les transferts MSC et la direction d'appel à un support portable. De plus, il fournit une interface au RTPC afin que les appels puissent être dirigés du système portable vers un téléphone associé à une ligne terrestre. Des interfaces vers différents centres MSC sont données pour permettre aux appels d'être passés vers des téléphones mobiles sur divers systèmes.

### **II.5.3.2 Registre de localisation (HLR : Home Location Register)**

Cette base de données contient toutes les données réglementaires sur chaque support à côté de leur dernier domaine connu. Au moment où un client allume son téléphone, celui-ci s'enregistre auprès du système. Il est donc concevable de déterminer le BTS avec lequel il parle pour pouvoir gérer les appels suivants de manière appropriée. Même si le téléphone n'est pas dynamique (mais plutôt échangé), il se réinscrit par intermittence pour garantir que le système (HLR) connaît sa position la plus récente.

### **II.5.3.3 Registre de localisation des visiteurs (VLR : Visitor Location Register)**

Celui-ci contient des données choisies du registre HLR. Le VLR peut être actualisé en tant que substance différente, mais il est généralement reconnu comme une partie nécessaire du MSC, au lieu d'un élément différent. Le long de ces lignes, l'accès est rendu plus rapide et plus avantageux.

### **II.5.3.4 Registre d'identification de l'équipement (EIR : Equipment Identity Register)**

L'EIR est la substance qui détermine si un matériel portable donné peut être autorisé sur le système. Chaque téléphone portable porte un numéro appelé IMEI (Identité internationale d'équipement mobile). Comme indiqué ci-dessus, ce numéro est introduit dans le matériel et est vérifié par le système lors de l'enrôlement. Subordonné aux données détenues dans l'EIR, le polyvalent pourrait se voir attribuer l'un des trois états autorisés dans le système, être banni ou observé au hasard.

### II.5.3.5 Centre d'authentification (AUC : Authentication Center)

Il s'agit d'une base de données sécurisée contenant l'information saisie également dans la carte SIM du client. Il est utilisé pour la vérification et pour figurer sur le canal radio.

### II.5.3.6 Passerelle du centre de commutation mobile (GMSC : Gateway MSC)

Le GMSC est responsable de l'acquisition du MSRN (Mobile Station Roaming Number : numéro de réacheminement de la station mobile) du HLR à la lumière du MSISDN (numéro RNIS de la station mobile, "numéro d'index" d'une station mobile) et de la gestion de l'appel passé au MSC. La partie "MSC" du terme GMSC est une mauvaise direction, car l'opération de passage ne nécessite aucune connexion à un MSC.

### II.5.3.7 Passerelle SMS (SMS-G)

SMS-G ou porte SMS est le terme utilisé pour décrire tout ce qui est considéré dépeindre les deux passerelles de services de messages courts caractérisés dans les mesures GSM. Les deux portails traitent des messages coordonnés selon différents paliers. Le centre de commutation mobile SMS-GMSC (Short Message Service Gateway) concerne les messages courts envoyés à un ME. Le SMS-IWMSC (centre de commutation mobile interfonctionnel du service de messages courts) est utilisé pour les messages courts lancés avec un portable sur ce système. La partie SMS-GMSC est semblable à celle du GMSC, tandis que le SMS-IWMSC donne une indication précise du centre de service de messages courts.

## II.5.4 Sous-système d'exploitation et de support (OSS : Operation Sub-System)

Le centre d'exploitation et de maintenance (OMC) est connecté à tous les équipements du système de commutation et au BSC. L'implémentation d'OMC est appelée système d'exploitation et de support (OSS). Le sous-système de support OSS ou d'exploitation est un composant de l'ingénierie générale de l'organisation GSM associé aux segments du NSS et du BSC. Il est utilisé pour contrôler et filtrer le système GSM général, ainsi que pour contrôler le tas de mouvements du BSS. Il convient de noter qu'au fur et à mesure que la quantité de BS augmente avec la mise à l'échelle de la population de supporteurs, une partie des routes d'entretien sont échangées vers le BTS, ce qui permet de couvrir le coût de la responsabilité du réseau. Le fonctionnement GSM comprend le téléphone mobile vers le réseaux téléphonique public commuté (PSTN) et PSTN vers le téléphone portable.

### II.5.4.1 Téléphone mobile vers le réseau PSTN

Lorsqu'un abonné mobile appelle un abonné du téléphone RTPC, la séquence d'événements suivante se déroule : Le MSC/VLR reçoit le message d'une demande d'appel. Le MSC/VLR vérifie si la station mobile est autorisée à accéder au réseau. Si c'est le cas, la

station mobile est activée. Si la station mobile n'est pas autorisée, le service sera refusé. Le MSC/VLR analyse le numéro et initie l'établissement d'une communication avec le RTCP. Le MSC/VLR demande au BSC correspondant d'attribuer un canal de trafic (canal radio et intervalle de temps). Le BSC attribue le canal de trafic et transmet les informations à la station mobile. La partie appelée répond à l'appel et la conversation à lieu. La station mobile continue à prendre des mesures des canaux radio de la cellule actuelle et des cellules voisines et transmet les informations au BSC. Le BSC décide si un transfert intercellulaire est requis. Si tel est le cas, un nouveau canal de trafic est attribué à la station mobile et le transfert intercellulaire à lieu. Si le transfert n'est pas requis, la station mobile continue à émettre à la même fréquence.

#### II.5.4.2 PSTN vers téléphone mobile

Au moment où un PSTN fait appel à une station polyvalente, les événements se succèdent : le Gateway MSC reçoit l'appel et interroge le HLR pour obtenir les données attendues lors de l'appel au MSC/VLR en service, le GMSC dirige l'appel vers le MSC/VLR. Le MSC vérifie le VLR pour la région de la zone de la MS. Le MSC contacte la MS par l'intermédiaire du BSC par un message de communication, c'est-à-dire par une demande de radiomessagerie. Le MS réagit à la page demandé. Le BSC distribue un canal de mouvement et fait une impression sur le MS pour accorder le canal. La MS émet un signal sonore et, une fois que le partisan a répondu, l'association de discours est construite. Le transfert, si nécessaire, à lieu tel qu'examiné dans le cas précédent. Transmettre le discours par radio, dans les délais impartis, le MS le code au taux de 13 Kbps. Le BSC transcode le discours en 64 Kbps et l'envoie via une connexion terrestre ou une connexion radio au MSC. Le MSC envoie ensuite les informations pour le RTCP. A l'arrivée, les informations reçues avec un débit de 64 Kbps, le BSC le convertit à 13 Kbps pour la transmission radio. Le GSM délivre une information de 9,6 kbit/s pouvant être dirigée dans un intervalle de temps TDMA.

#### II.5.5 Sécurité GSM

Le GSM était censé être un cadre distant sécurisé. Il a envisagé la validation du client en utilisant une clé pré-partagée et une réaction de test, ainsi qu'un cryptage en liaison radio. Quoi qu'il en soit, le GSM est impuissant face à divers types d'agressions, chacun ayant opté pour une autre partie du système. L'avancement de la technologie UMTS présente un module USIM (Universal Subscriber Identity Module) facultatif, qui utilise une clé de confirmation plus étendue pour offrir une sécurité plus remarquable, et qui valide en outre le système et le client, tandis que GSM vérifie uniquement le client auprès du système (et pas l'inverse). L'affichage de sécurité de cette manière offre le secret et la vérification, même avec des capacités d'approbation limitées, et aucune non-répudiation. GSM utilise quelques calculs cryptographiques pour la sécurité.

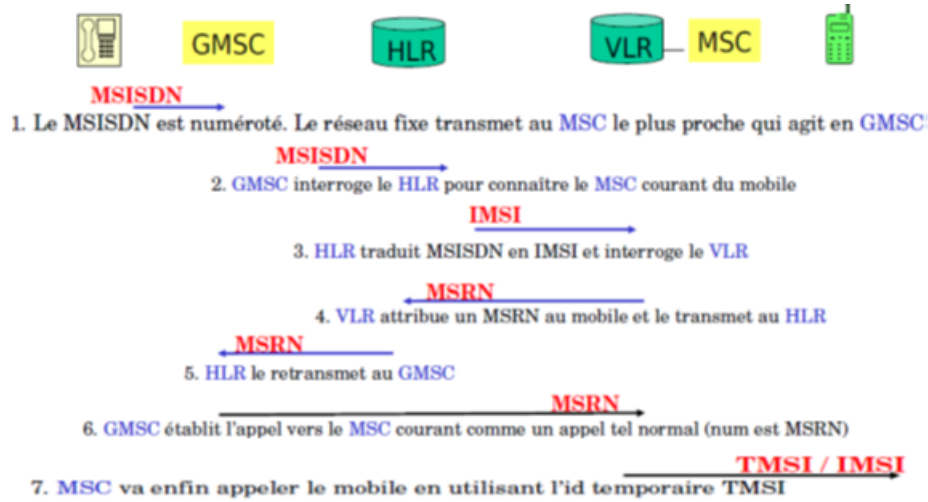


FIGURE II.12 – Échanges lors d'un appel.

## II.5.6 Echanges lors d'un appel

### II.5.6.1 MSRN (Mobile Station Roaming Number)

Pour router les appels vers un mobile, un numéro de roaming MSRN (numéro de réacheminement) est attribué temporairement à la MS. Il permet d'acheminer l'appel vers le MSC dans la zone où se situe la MS. Le VLR qui possède les dernières informations de localisation de ce mobile, alloue temporairement un MSRN (Mobile Station Roaming Number) à la demande d'un GMSC au HLR concerné. La structure du (MSRN) est la même que celle du MSISDN relatifs à une zone de localisation donnée, dans un réseau GSM et dans un pays donné (Figure II.13). Un numéro MSRN est composé par un Country Code (CC), un National Destination code (NDC) et un Subscriber Number (SN).

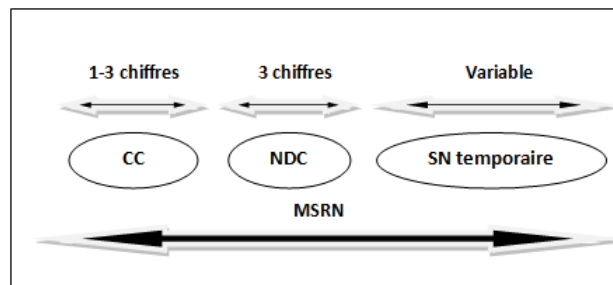


FIGURE II.13 – Format du MSRN.

### II.5.6.2 IMSI (International Mobile Subscriber Identity)

Lorsqu'un abonné souscrit à un abonnement mobile auprès d'un opérateur, un identifiant unique appelé IMSI (International Mobile Subscriber Identity) lui est affecté. Ce numéro est stocké sur la carte SIM (Subscriber Identity Module). Cet IMSI est un concept d'adressage spécifique au GSM. L'IMSI est constitué de trois sous-champs (Figure II.14), un MCC (Mobile

Country Code), un MNC (Mobile Network Code) et un MSIN (Mobile Subscriber Identification Number) : il s'agit du numéro d'identification du mobile. Il identifie l'abonné mobile à l'intérieur du réseau mobile. Les deux champs MCC et MNC permettent de déterminer de façon unique dans le monde le réseau mobile de l'abonné. Les deux premiers chiffres du champ MSIN donnent l'indicatif du HLR de l'abonné au sein de son réseau mobile. Les MSC/VLR sont capables, à partir d'un IMSI quelconque, d'adresser le HLR de l'abonné correspondant. L'ensemble MSIN et MNC forme le NMSI (National Mobile Subscriber Identity). Le NMSI et le MCC forment l'IMSI (International Mobile Subscriber Identity).

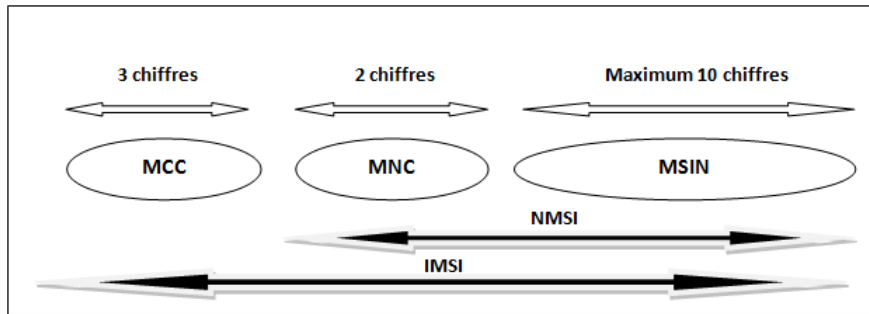


FIGURE II.14 – Format de l'IMSI.

### II.5.6.3 TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity)

Le VLR alloue un numéro temporaire unique à chaque mobile se localisant dans sa zone de couverture pour conserver la confidentialité de l'identité de l'IMSI. Ce numéro est appelé TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity). Suite à une procédure d'authentification, le VLR attribue à un mobile une identité. Cette identité sera stockée sur sa carte SIM.

### II.5.6.4 MSISDN (Mobile Station International ISDN Number)

Le MSISDN (Mobile Station ISDN Number) est Le numéro de téléphone associé à la station mobile. Le MSISDN est composé de trois sous-champs (Figure II.15). Il contient un code du pays dans lequel l'abonné mobile a souscrit un abonnement (CC : Country Code en Algérie = 213), un numéro national du réseau GSM dans lequel un client a souscrit un abonnement (NDC : National Destination Code) et SN (Subscriber Number). L'ensemble NDC et SN forment le NSMN (National Significant Mobile Number).

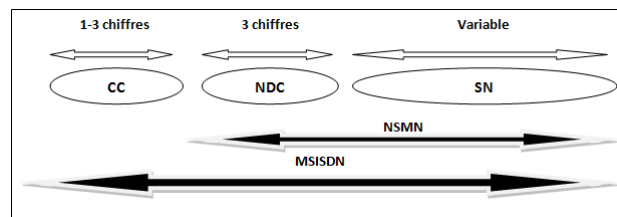


FIGURE II.15 – Format du MSISDN.

## II.6 Conclusion

Étant donné que le GSM est le plus grand système de communication mobile, il est important de reconnaître la nécessité d'étudier les méthodes et les outils d'analyse du système GSM. Il est clair que le système GSM contient de grandes quantités d'informations utiles. La plupart des informations sont disponibles aujourd'hui et peuvent être récupérées et ont un grand potentiel à être utilisées et analysées. Dans le cadre de ce chapitre, nous avons essayé de donner une vue d'ensemble sur le système GSM en se basant principalement sur son architecture. Le GSM est alors apparu pour offrir plusieurs services aux utilisateurs grâce à ses applications et ses mécanismes qui font de cette technologie le meilleur système de télécommunication cellulaire sécurisé disponible afin de répondre aux exigences des utilisateurs rapidement et à un coût modéré.

**Chapitre III :**  
**LE DISPOSITIF PROGRAMMABLE**  
**ARDUINO**

### III.1 Introduction

Il y a une dizaine d'années, travailler autour de l'électronique impliquait des connaissances en physique et en mathématiques. Il y a de nombreuses raisons qui ont rendu l'invention des équipements électroniques possible, comme la croissance rapide dans le domaine des technologies de l'information, la réduction du coût des composants électroniques et des équipements, et la disponibilité généralisée d'internet. L'Arduino est un produit qui a fait usage de ce qui est spécifié et de nombreuses autres raisons pour la fabrication électronique qui peut atteindre n'importe qui, quel que soit son arrière-plan. Ce que nous allons apprendre dans ce chapitre est un mélange entre l'électronique et la programmation, et donc entre tout ce qui est physique et logique, voir les caractéristiques et les fonctionnalités de bases de ces deux derniers.

### III.2 Présentation de l'Arduino

Au fil des années, l'Arduino a été le cerveau de milliers de projets, depuis les objets du quotidien jusqu'aux instruments scientifiques complexes. Une communauté mondiale de créateurs, étudiants, amateurs, artistes, programmeurs et professionnels - s'est rassemblée autour de cette plateforme, leurs contributions ont permis d'accumuler un nombre incroyable de connaissances accessibles qui peuvent être d'une grande aide pour les novices et les experts.

#### III.2.1 Les différentes cartes Arduino

Les cartes et modules Arduino sont pourvus d'entrées/sorties qui peuvent recevoir des signaux de capteurs ou interrupteurs et peuvent commander des actionneurs (moteurs, éclairages, etc.). Il suffit d'un coup d'œil pour constater que les cartes se différencient par leurs tailles et par le nombre de broches de connexions, et donc la possibilité de raccordement avec le monde extérieur. Elles ont aussi différents processeurs, fréquences d'horloge et capacités

de stockage. Selon le domaine d'application et des besoins du projet, une carte Arduino sera peut être plus adaptée qu'une autre [9]. Il existe plusieurs types de module Arduino.

### III.2.1.1 Carte Arduino UNO

C'est une carte à microcontrôleur basée sur l'ATmega328 à 16MHz. Elle possède 14 broches numériques d'entrée/sortie, 6 entrées analogiques, une connexion USB, une prise d'alimentation, un connecteur ICSP et un bouton de réinitialisation. Pour la réalisation, il suffit de la connecter simplement à un ordinateur avec un câble USB ou l'allumant avec un adaptateur CA/CC ou une batterie.

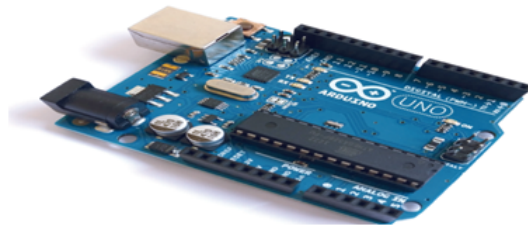


FIGURE III.1 – Carte Arduino Uno.

### III.2.1.2 Carte Arduino Ethernet

Arduino Ethernet est une carte à microcontrôleur basée sur l'ATmega328 à 16MHz. Comme la carte UNO, l'Ethernet possède 14 broches d'entrée/sortie numériques, 6 entrées analogiques, une prise d'alimentation, un en-tête ICSP et un bouton de réinitialisation.



FIGURE III.2 – Carte Arduino Ethernet.

### III.2.1.3 Carte Arduino Leonardo

Elle est basée sur un ATmega32u4 à 16 MHz. Elle a 20 broches numériques d'entrée/sortie (dont 7 peuvent être utilisées en tant que sorties PWM et 12 en tant qu'entrées analogiques). Elle apparaît de manière qu'une souris ou un clavier sur un PC connecté, ceci en plus de sa présentation en tant que port COM.



FIGURE III.3 – Carte Arduino Leonardo.

#### III.2.1.4 Carte Arduino Mini 05

Arduino Mini 05 est en effet basé sur un microcontrôleur ATmega328 à 16MHz, et dotée de 14 entrées/sorties, dont 6 sorties PWM et 8 entrées analogiques. Elle est également équipée d'un connecteur ICSP et d'un bouton Reset. La Mini 05 facilite également la mise en place de nos circuits en nous permettant d'installer tous nos composants sur le dessus de la carte.

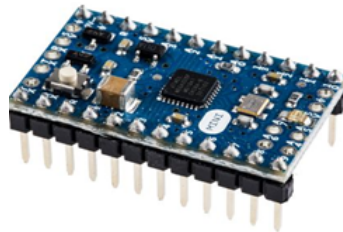


FIGURE III.4 – Carte Arduino Mini 05.

#### III.2.1.5 Carte Arduino Nano

L'Arduino Nano est une carte compacte, complète et facile à utiliser, basée sur la carte ATmega328 (Arduino Nano 3.0) ou ATmega168 (Arduino Nano 2.x). Elle s'adapte particulièrement bien aux plaques sans soudure. Elle est simple d'utilisation et offre de nombreuses possibilités grâce à sa petite taille.

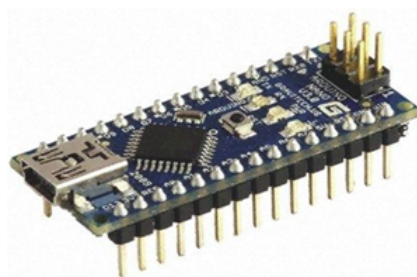


FIGURE III.5 – Carte Arduino Nano 3.0.

### III.2.1.6 Carte Arduino DUE

Arduino Due est une carte à 54 broches d'entrée/sortie numériques dont 12 entrées sont analogiques, 12 PWM et 4 UART et une horloge à 84MHz. C'est la carte idéale pour les projets Arduino puissants à grande échelle et pour des applications exigeantes des caractéristiques plus complètes que la Uno. Contrairement aux autres cartes Arduino, les ports d'entrées/sorties de cette carte Arduino Due sont destinés à recevoir uniquement des niveaux UART logiques 3,3 V. Toutes tensions supérieures appliquées comme du 5 VCC risquent d'endommager la carte.



FIGURE III.6 – Carte Arduino DUE.

### III.2.1.7 Carte Arduino Esplora

L'Arduino Esplora est une carte à microcontrôleur dérivée de l'Arduino Leonardo puisqu'elle utilise un microcontrôleur Atmega32U4 AVR avec une résolution de 16 MHz. La carte Esplora possède une implantation à l'image d'une manette de jeux et est équipée de capteurs et actionneurs permettant de l'utiliser directement pour effectuer des essais. L'Esplora possède des sorties son et lumière intégrées, ainsi que plusieurs capteurs d'entrée, dont un curseur, un capteur de température, un accéléromètre, un microphone et un capteur de lumière.

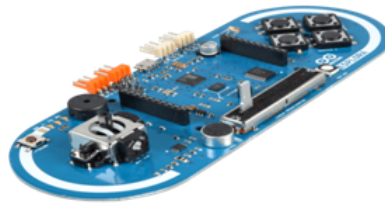


FIGURE III.7 – Carte Arduino Esplora.

### III.2.1.8 Carte Arduino YUN

Arduino Yun est une carte disposant du WiFi intégré, d'un contrôleur Ethernet et un port RJ45 ainsi qu'un port USB permettant la connexion de périphériques, une carte SD qui permet le stockage externe de données, 20 broches d'entrée/sortie numériques (dont 7 peuvent être utilisées en tant que sorties PWM et 12 en tant qu'entrées analogiques), des connecteurs ICSP et 3 boutons de reset. L'avantage de cette carte est qu'elle possède une plus grande rapidité d'exécution et surtout une plus grande capacité de stockage de pages WEB.



FIGURE III.8 – Carte Arduino YUN.

### III.2.1.9 Carte Arduino Mega 2560

Lorsqu'un projet Arduino comporte de nombreux branchement, qui nécessitent plus de 20 broches, comme, il est le cas de notre projet, alors on choisit la Mega[9]. L'Arduino Mega 2560 est un produit populaire parmi les cartes Arduino. Elle est constituée de tous les éléments nécessaires pour permettre la construction d'objets évolués. Ce modèle d'arduino est architecturé sur la base d'un microcontrôleur ATmega2560 associé à une interface USB. Il est tout indiqué pour les personnes désirant développer des applications nécessitant de plus de mémoire et de port d'entrées/sorties. Avec 54 broches d'entrées/sorties numériques, 16 entrées analogiques, c'est la carte recommandée pour les imprimantes 3D et les projets de robotique. Cela donne à nos projets beaucoup d'espace et d'opportunités tout en maintenant la simplicité et l'efficacité de la plateforme Arduino. La carte Mega 2560 est compatible avec la plupart des modules conçus pour la Uno et les anciennes cartes [3].

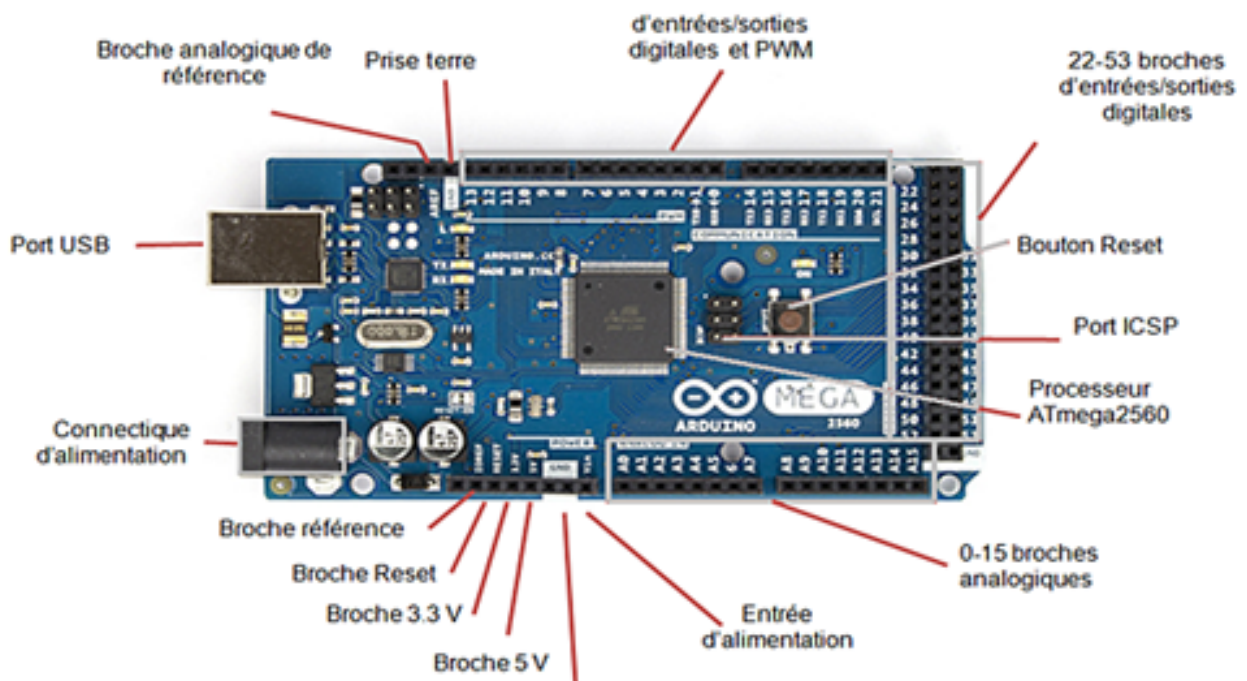


FIGURE III.9 – Arduino Mega 2560.

### III.2.1.9.1 Les caractéristiques techniques de la Mega 2560

L'Arduino Mega possède différentes caractéristiques que l'utilisateur doit tenir en compte afin de ne pas endommager le circuit global.

#### III.2.1.9.1.1 Le microcontrôleur ATmega2560

L'ATMEGA2560 est un microcontrôleur 8 bits CMOS basse puissance basée sur architecture RISC améliorée des AVR. Il s'agit d'un composant autonome, capable d'exécuter séquentiellement un programme contenu dans sa mémoire morte dès qu'il est mis sous tension. Il est constitué par un ensemble d'éléments qui ont chacun une fonction bien déterminée. Globalement, l'architecture interne de ce circuit programmable se compose essentiellement d'une mémoire FLASH, RAM, EEPROM, des registres et mémoire cache. Le microcontrôleur de la carte Méga est un composant utilisé pour différentes applications. Parmi elles l'horloge, la synchronisation, et la conception embarquée.

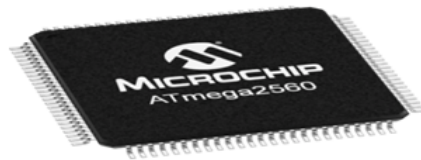


FIGURE III.10 – Microcontrôleur Atmega2560.

#### III.2.1.9.1.2 L'alimentation

Pour fonctionner, une carte Arduino a besoin d'une alimentation. La carte Arduino Mega 2560 peut être alimentée soit via la connexion USB qui fournit 5V ou à l'aide d'une alimentation externe. L'alimentation externe (non-USB) peut être soit un chargeur mural ou des piles (batteries). L'alimentation externe peut aller de 6 à 20 volts. Cependant, si la carte est alimentée avec moins de 7V, la broche 5V pourrait fournir moins de 5V et la carte pourrait être instable. Si on utilise plus de 12V, le régulateur de tension de la carte pourrait chauffer et endommager la carte. Donc, la plage recommandée est de 7 à 12 volts.

#### III.2.1.9.1.3 Les différentes entrées/sorties

La carte Arduino Mega 2560 est constituée de plusieurs broches d'entrées/sorties, dont chacune des broches fournit une fonction spécifiée et dédiée à certains périphériques et tout le nécessaire pour le fonctionnement des circuits.

Elle possède 54 broches numériques d'entrées/sorties. Chacune des 54 broches numériques de la carte Mega peut être utilisée soit comme une entrée numérique, soit comme une

sortie numérique, en utilisant les instructions `pinMode()` pour la direction des broches, `digitalWrite()` pour écrire à travers la broche et `digitalRead()` pour la lecture d'état des broches. Ces broches fonctionnent en 5V.

Parmi ces broches, certaines ont des fonctions spécialisées.

- **Impulsion PWM** : Broches 0 à 13 fournissent une impulsion PWM 8bits à l'aide de l'instruction `analogWrite()` pour écrire une valeur de PWM comprise entre 0 et 255. Leurs dispositifs de sortie sont le contrôle de la vitesse du moteur, variateur de lumière... etc.
- **SPI (Interface Série Périphérique)** : Broches 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS). Le bit d'activation SPI doit être défini pour démarrer la communication avec d'autres appareils. Ils sont généralement utilisés pour la communication avec d'autres périphériques tels que l'écran LCD et la carte SD.
- **I<sup>2</sup>C** : Broches 20 (SDA) et 21 (SCL). Permettre la communication à deux fils avec d'autres périphériques. Les fonctions utilisées sont `wire.begin()` pour démarrer la conversion I<sup>2</sup>C, `wire.Read ()` pour lire les données I<sup>2</sup>C et `wire.Write ()` pour écrire les données I<sup>2</sup>C.
- **LED** : La LED est inclut dans la carte connectée à la broche 13. Lorsque la broche est au niveau HAUT, la LED est allumée, lorsque la broche est au niveau BAS, la LED est éteinte.
- **Interruptions Externes** : Broches 2 (interruption 0), 3 (interruption 1), 18 (interruption 5), 19 (interruption 4), 20 (interruption 3), et 21 (interruption 2). Ces broches peuvent être configurées pour déclencher une interruption sur une valeur basse, sur un front montant/descendant, ou sur un changement de valeur.
- **Communication Serie** : Port Série : 0 (RX) et 1 (TX); Port Série 1 : 19 (RX) et 18 (TX); Port Série 2 : 17 (RX) et 16 (TX); Port Série 3 : 15 (RX) et 14 (TX). Ces broches sont utilisées pour recevoir (RX) et transmettre (TX) des données série du niveau TTL.

La carte Mega2560 dispose 16 entrées analogiques, chacune pouvant fournir une mesure d'une résolution de 10 bits , c'est-à-dire sur 1024 niveaux soit de 0 à 1023 à l'aide de la très utile fonction `analogRead()` du langage Arduino. Par défaut, ces broches mesurent entre 0V (valeur 0) et 5V (valeur 1023), mais il est possible de modifier la référence supérieure de la plage de mesure en utilisant la broche AREF et l'instruction `analogReference()` du langage Arduino. Les broches analogiques peuvent être utilisées en tant que broches numériques. Exemples des périphériques d'entrée analogiques : thermistance, capteurs d'humidité et autres.

Il y a deux autres broches disponibles sur cette carte :

- **AREF** : Tension de référence pour les entrées analogiques (si différent du 5V). Utilisée avec l'instruction `analogReference()`.
- **Reset** : Mettre cette broche au niveau BAS entraîne la réinitialisation (le redémarrage) du microcontrôleur.

### III.2.1.9.2 Les mémoires

Une mémoire est un dispositif permettant d'enregistrer des informations, de les conserver (mémoriser) et de les restituer. Généralement les mémoires sont classées selon les caractéristiques (capacité, débit...) et selon le type d'accès (séquentiel, directe...). Exemple de mémoire : disque dure, disquette, flash disque... etc. Il existe trois types de mémoire dans un Arduino.

#### III.2.1.9.2.1 La mémoire FLASH

C'est une mémoire non volatile dont le programme est toujours présent lorsque le système est mis hors tension. L'Atmega2560 a 256Ko de mémoire FLASH pour stocker le programme. Il est possible d'exécuter le code de programme à partir de la mémoire FLASH, mais il n'est pas possible de modifier les données de la mémoire FLASH à partir du code d'exécution. Pour modifier les données, celles-ci doivent d'abord être copiées dans une mémoire SRAM. La mémoire FLASH est la même technologie utilisée pour les clés USB et les cartes SD.

#### III.2.1.9.2.2 La mémoire SRAM

L'ATmega2560 a également 8Ko de mémoire SRAM qui est une mémoire vive dont elle n'a pas besoin de rafraichir périodiquement son contenu. Elle est aussi une mémoire volatile dont les informations restent mémorisées tant que le composant est sous tension. La mémoire statique d'accès aléatoire SRAM peut être lue et écrite à partir du programme d'exécution.

#### III.2.1.9.2.3 La mémoire EEPROM

L'EEPROM est un type de mémoire morte utilisée pour enregistrer des informations qui ne doivent pas être perdues lorsque l'appareil qui les contient n'est plus alimenté en électricité. EEPROM est une autre forme de mémoire non volatile qui peut être lue ou écrite à partir du programme d'exécution. Elle ne peut être lue octet par octet, elle peut donc être un peu gênante à utiliser. Elle est également plus lente que la mémoire SRAM. L'ATmega2560 possède 4Ko d'EEPROM, et son utilisation nécessite l'inclusion de la bibliothèque EEPROM.

## III.2.2 Les Shields

Pour la plupart des projets, il est souvent nécessaire d'ajouter des fonctionnalités aux cartes Arduino. Plutôt que d'ajouter soit même des composants extérieurs sur une platine d'essai, circuit imprimé, etc..., il est possible d'ajouter des shields (module). Un shield est une carte que l'on connecte directement sur la carte Arduino qui a pour but d'ajouter des composants sur la carte. Ces shields viennent généralement avec une bibliothèque permettant

de les contrôler. On retrouve des shields Ethernet, shield Bluetooth, etc. Le principal avantage de ces shields est leurs simplicités d'utilisation [11]. Une fois que nous avons identifié le type d'Arduino que nous possédons, nous devons vérifier les éléments suivants :

- **Broches d'entrées/sorties du Shield** : Presque tous les appareils électroniques ont ce qu'on appelle un brochage ; il s'agit essentiellement de l'emplacement des broches d'entrées/sorties et de leurs fonctions.
- **Tension de fonctionnement du Shield** : Même si un Shield peut sembler compatible en raison du brochage, il peut rester incompatible en raison des niveaux de tension. Certaines cartes Arduino utilisent 3,3V, tandis que d'autres peuvent utiliser 5V. La plupart des Shields sont conçus avec l'Arduino Uno, ce qui signifie qu'ils sont plus susceptibles de fonctionner à 5V.

### III.2.2.1 Le Shield GSM

Le GSM est un module permettant l'utilisation d'une connexion téléphonique mobile pour réaliser l'échange de données. Il permet généralement d'envoyer des SMS, MMS et audio en envoyant des commandes AT à l'UART qui permet de transmettre et recevoir des données en série avec le module SIM. Il s'agit d'un téléphone cellulaire quadri bande compatible GSM/GPRS, fonctionnant sur des fréquences de 850/900/1800 et 1900MHz et qui peut être utilisé non seulement pour accéder à Internet, mais également pour la communication et pour les SMS. Au début, le GSM était utilisé presque exclusivement pour la communication vocale ; cependant, le service de messages courts (SMS) est rapidement devenu très populaire auprès des utilisateurs de GSM. Le Shield GSM est compatible avec toutes les cartes ayant le même facteur de forme et brochage qu'une carte Arduino standard. Il est configuré et contrôlé via son UART à l'aide de simples commandes AT. Basé sur le module SIM900, et comporte 6 broches d'entrées/sorties, 2 PWM et un CAN [14].



FIGURE III.11 – Shield GSM SIM900.

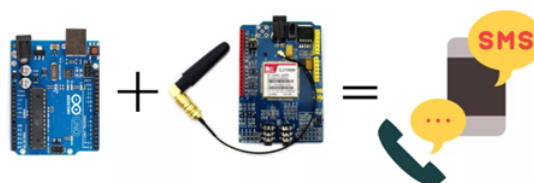


FIGURE III.12 – Envoie des SMS via le GSM.

### III.3 Arduino logiciel

Le projet Arduino comprend à la fois le développement matériel des cartes, mais aussi le développement de son environnement de programmation. C'est une excellente plateforme facile à utiliser qui permet d'apprendre l'électronique et la programmation en même temps. Du côté physique, la carte Arduino est utilisée avec quelques composants afin de permettre d'interagir avec n'importe quel projet. Les cartes Arduino consistent également en un adaptateur USB à l'aide duquel la carte Arduino peut être programmée via une connexion USB. Afin de programmer la carte Arduino, nous devons utiliser un logiciel de programmation afin de structurer et de guider les différentes étapes du projet réalisé **[10]**.

#### III.3.1 IDE Arduino et le logiciel de simulation Proteus

##### III.3.1.1 Le langage Arduino

Les projets Arduino peuvent être autonomes ou liés à un PC. Une fois le circuit est réalisé sur la maquette, un programme Arduino doit être téléchargé. Une fois que le programme est tapé ou modifié, il sera transféré et mémorisé dans la carte à travers la liaison USB. Le logiciel utilisé pour créer des programmes Arduino est appelé IDE (Integrated Development Environment). L'interface de l'IDE Arduino est dotée d'un éditeur de code et d'une barre d'outils rapide. On retrouve aussi une barre de menu qui est utilisée pour accéder aux fonctions avancées de l'IDE. Enfin, une console affichant les résultats de la compilation du code source, des opérations sur la carte, etc. . . . L'IDE Arduino supporte les langages C et C++ en utilisant des règles spéciales pour la structuration du code **[11]**.

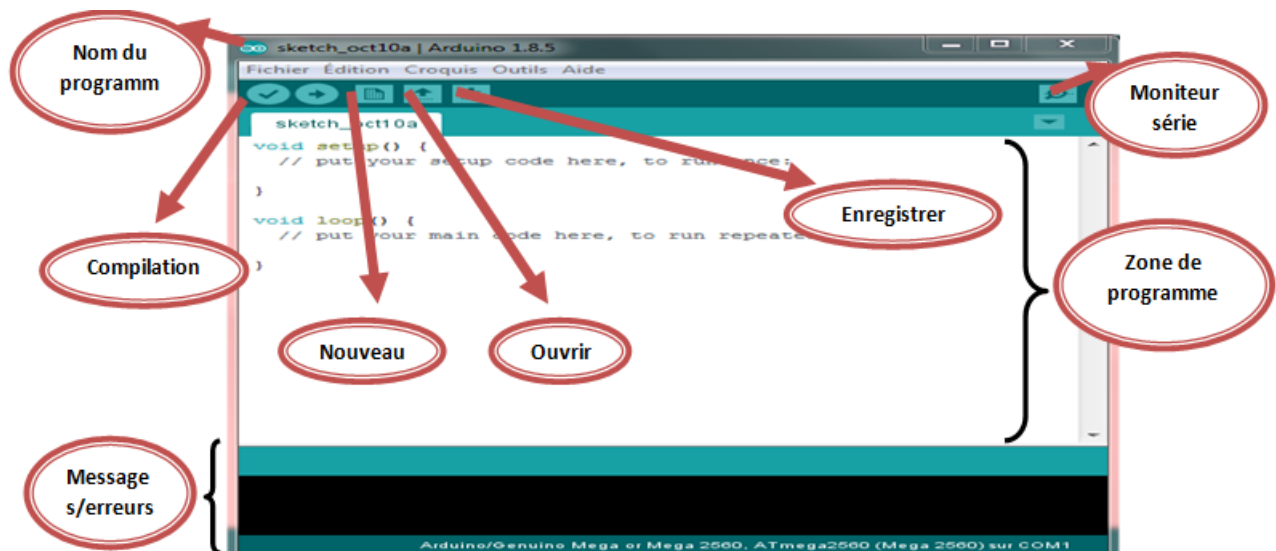


FIGURE III.13 – L'interface principale de l'Arduino IDE.

### III.3.1.1.1 Les fonctionnalités de base

La programmation Arduino est basée sur quelques éléments clés. La partie principale d'Arduino IDE est constituée de deux fonctions intégrées :

- **void setup ()** : Cette fonction est une sorte de fonction de pré-réglage qui ne s'exécute qu'une seule fois. Elle est utilisée pour établir quelques significations et fonctions non changé lors de l'exécution du code. A chaque fois que le circuit est réinitialisé, allumé ou éteint, il exécute setup () une seule fois.
- **void loop ()** : Cette fonction est celle qui s'exécute code en boucle. Dans cette fonction, le code fonctionnel principal est écrit. Elle utilise essentiellement les pré-réglages définis dans setup () et traite le reste des fonctionnalités. Tout ce qui est nécessaire pour le fonctionnement du circuit est écrit dans cette fonction.

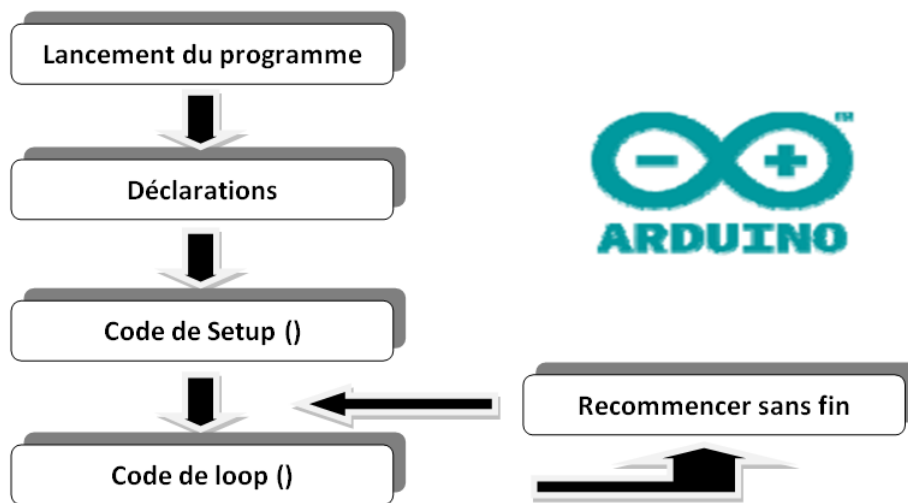


FIGURE III.14 – La syntaxe du langage Arduino.

### III.3.1.1.2 Les fonctions d'entrées/sorties

Le langage Arduino vient avec un nombre important de fonction de base permettant d'interagir avec son environnement. Les fonctions les plus utilisées sont les fonctions d'entrée/-sorties. Ce sont elles qui permettent d'envoyer ou de mesurer une tension sur une des broches de la carte.

#### III.3.1.1.2.1 Entrées/sorties numériques

Une fois que la configuration est faite, on peut procéder à l'utilisation des broches. Toutes les broches sont capables d'écrire et de lire des données numériques c'est-à-dire des 0 (0V) ou des 1 (5V).

Les fonctions concernant les broches d'entrées/sorties numériques sont les suivantes :

- ***pinMode (Numéro\_ broche, mode)*** : Le `pinMode ()` est une fonction pour configurer la broche en mode entrée ou sortie.
- ***digitalRead (Pin)*** : Cette fonction est utilisée pour lire une entrée depuis la broche numérique Pin. Ce qui donnera toujours la valeur 0 ou 1, c'est-à-dire ON ou OFF. L'Arduino IDE interprétera l'entrée numérique en tant que HIGH et LOW. En termes simples, il nous dira s'il existe une tension sur la broche ou non.
- ***digitalWrite (Pin, Valeur)*** : écrit une donnée numérique Valeur sur la broche Pin une qui doit être réglée en sortie. Le paramètre valeur doit être égal à HIGH (état 1 soit 5V) ou LOW (état 0 soit 0V).

### III.3.1.1.2 Entrées/sorties analogiques

Toutes les cartes Arduino possèdent des entrées analogiques. Ce sont les broches A0, A1, A2 etc. Elles permettent de lire des tensions analogiques comprises entre 0 et 5V et de les convertir en entier compris entre 0 et 1023 proportionnellement à la tension mesurée. Toutes ces fonctionnalités sur les broches d'entrées/sorties analogiques sont utilisables par le biais des fonctions suivantes :

- ***analogWrite (Pin, Valeur)*** : écrit une donnée sous forme de PWM sur une des broches compatibles dont la broche doit être réglée en sortie. Le paramètre Valeur doit être compris dans l'intervalle [0;255].
- ***analogRead (Pin)*** : mesure une donnée analogique sur une des broches compatible qui doit être réglée en entrée.

### III.3.1.1.3 La gestion du temps

Pour la plupart des projets, il est nécessaire de faire intervenir des intervalles de temps. Il est possible d'insérer une pause dans le programme pendant un instant. Pour cela, on utilise les fonctions `delay` et `delayMicroseconds` qui opère en milliseconde ou en microseconde. Cependant ces fonctions bloquent le microcontrôleur dont on ne peut alors plus effectuer aucune action.

- ***delay (ms)*** : Cette fonction suspend l'exécution du programme pour la durée indiquée en millisecondes.
- ***delayMicroseconds ( $\mu s$ )*** : Interrompt le programme pour la durée en microsecondes spécifiée en tant que paramètre.
- ***millis ()*** : cette fonction renvoie le nombre de millisecondes écoulées depuis que la carte Arduino commence à exécuter le programme.
- ***micros ()*** : Renvoie le nombre de microsecondes depuis que la carte Arduino commence à exécuter le programme.

#### III.3.1.1.4 Les interruptions

Il est parfois nécessaire en informatique embarquée, d'attendre un évènement externe (appui sur un bouton, données d'un capteur, etc.) pour effectuer une action. Pour ce type de problème, on utilise les interruptions. Les interruptions sont des fonctions appelées lorsqu'un évènement interne ou externe survient et à besoin d'être traité sur le champ en temps réel. Ce mécanisme interrompt le code exécuté, il est prioritaire par rapport au reste du code.

Pour choisir la fonction et la broche utilisée pour l'interruption, on utilise la fonction `attachInterrupt`. On peut utiliser `detachInterrupt` pour supprimer l'interruption.

- ***attachInterrupt ()*** : Elle est utilisée pour créer une interruption externe.
- ***detachInterrupt ()*** : Arrêter l'interruption donnée.

Il est parfois nécessaire de désactiver temporairement les interruptions par exemple lorsque l'on exécute du code critique (activation d'un moteur, etc.). Deux fonctions permettent de changer l'activation des interruptions `interrupts` et `noInterrupts` pour activer (respectivement désactiver) les interruptions.

- ***interrupts ()*** : Cette fonction active les interruptions.
- ***noInterrupts ()*** : Désactive les interruptions.

#### III.3.1.1.5 La gestion des mémoires

Les microcontrôleurs des cartes Arduino ont de mémoires EEPROM qui est une mémoire dont les valeurs sont conservées lorsque la carte est éteinte.

Parmi les fonctions utilisées dans l'Arduino pour ce type de mémoire sont :

- ***EEPROM.read (Adresse)*** : Cette fonction permet de lire un seul octet de données de l'EEPROM.
- ***EEPROM.write (Adresse, Valeur)*** : Cette fonction écrit un octet dans la mémoire EEPROM, et elle ne renvoie aucune valeur.
- ***EEPROM.get (Adresse, Objet)*** : Cette fonction récupérera n'importe quel objet de l'EEPROM.

#### III.3.1.2 Le logiciel de simulation PROTEUS

La simulation est une opération permettant de faire des circuits et de les tester avant de passer à la réalisation, elle permet de faire différentes manipulations et tests sans avoir apprendre des risques au niveau matériel. Ceci induit un gain de temps pour les professionnels en réduisant le temps de conception. Donc, la simulation est un outil puissant si elle est comprise et utilisée correctement. Proteus est un logiciel de simulation destiné à l'électronique offrant la possibilité de simuler à partir de la forme schématique du matériel ainsi que du code du microcontrôleur **[15]**.

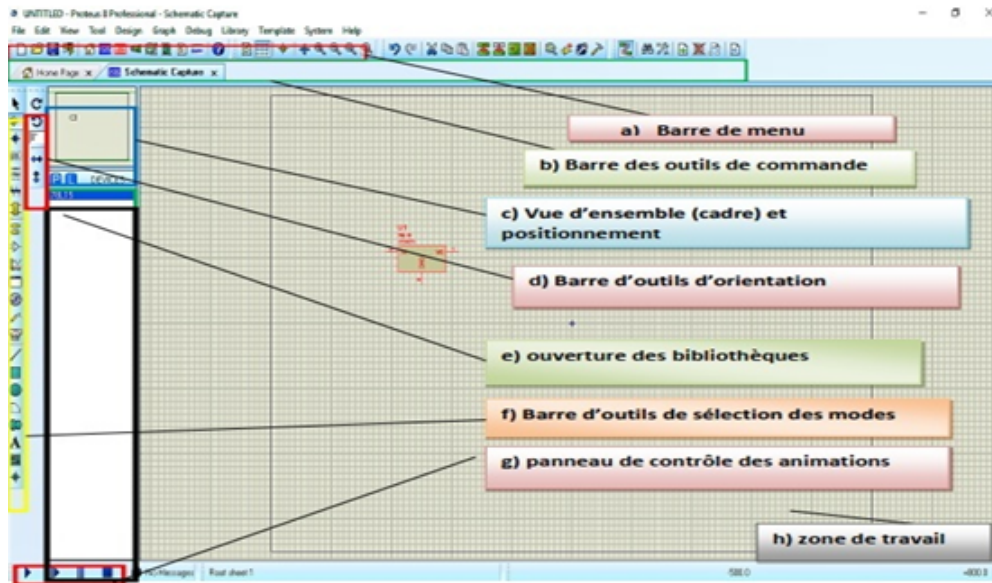


FIGURE III.15 – L'interface principale de Proteus.

### III.3.1.2.1 Les fonctionnalités de base

Pour commencer la simulation nous avons besoin de se familiariser avec les bases de la conception schématique des circuits ; choisir des composants dans les bibliothèques, les placer sur le schéma et les relier ensemble. La première chose à faire est d'obtenir les éléments des bibliothèques dont nous avons besoin pour le schéma du circuit.

#### III.3.1.2.1.1 Sélection des composants dans la bibliothèque

Le bouton **P** en haut à gauche du sélecteur d'objet, permet de sélectionner un objet dans la bibliothèque, comme indiqué ci-dessous. Nous pouvons également utiliser l'icône Parcourir qui est la bibliothèque du raccourci clavier pour cette commande.

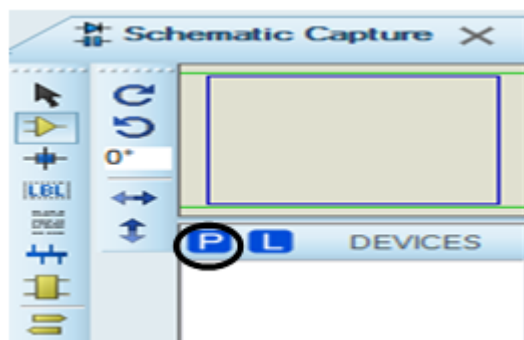


FIGURE III.16 – La sélection des composants sur Proteus.

Étant donné que nous connaissons le nom de toutes les pièces souhaitées, nous pourrions simplement utiliser cette technique pour importer tous les composants dont nous avons besoin. Toutefois, il se peut que cela ne soit pas toujours le cas et Proteus propose plusieurs méthodes pour rechercher des composants dans les bibliothèques. L'une des méthodes est d'utiliser le navigateur de la bibliothèque un peu comme un moteur de recherche Internet, en tapant des mots-clés descriptifs de l'objet souhaité. Ensuite, on parcourt les résultats.

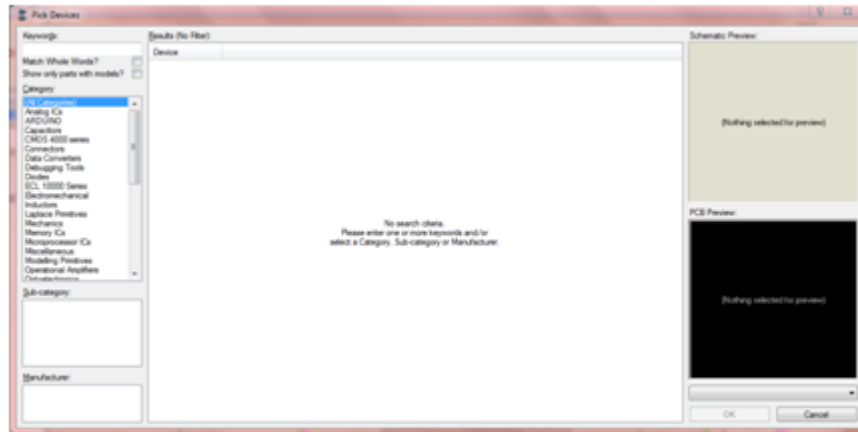


FIGURE III.17 – Choix d'un composant à partir du formulaire.

### III.3.1.2.1.2 Placement des objets dans le schéma

Après avoir sélectionné les pièces dont nous avons besoin, nous devons les placer dans la zone de dessin (la fenêtre d'édition) et les relier ensemble.

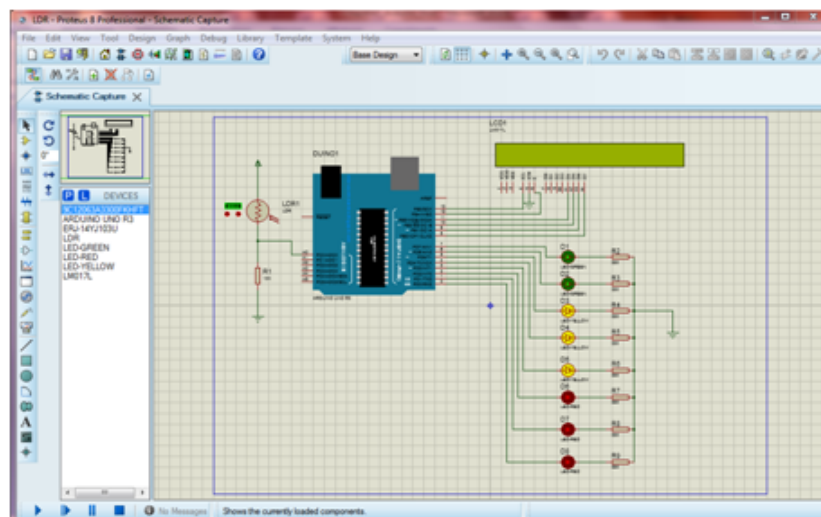


FIGURE III.18 – Raccordement entre les différents composants.

### III.3.1.2.1.3 Etiquettes et annotation

Nous devons voir que toutes les pièces que nous avons placées ont à la fois une référence et une valeur uniques. Une annotation unique et séquentielle est affectée aux composants lorsque nous les plaçons sur le schéma, bien que nous puissions effectuer une nouvelle annotation manuellement si nous en avons besoin. Nous avons un contrôle total sur la position et la visibilité des étiquettes de pièces : nous pouvons modifier les valeurs, déplacer la position ou masquer les informations inutiles.

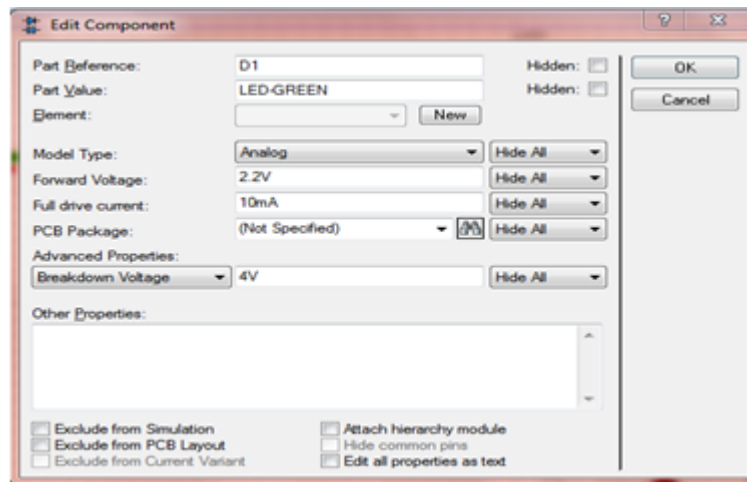


FIGURE III.19 – Formulaire de modification du composant.

### III.3.1.2.1.4 Alimentation et générateurs de signaux d'entrée

Tous les circuits électriques nécessitent une alimentation électrique. Par conséquent, les alimentations seront nécessaires en tant que puissance d'entrée pour un système. De plus, tous les générateurs d'entrée, tels que CA/CC et impulsions, sont contenus dans la catégorie "générateurs" et seront affichés lorsque nous aurons cliqué dessus. De plus, "Ground" ne contiendra pas dans ce groupe car ce n'est pas un signal d'entrée mais c'est juste une jonction terminale. Par conséquent, il sera groupé dans la catégorie "terminal".



FIGURE III.20 – Les alimentations électriques et les générateurs.

Après avoir câblé tous les composants ensemble, la simulation est prête à être exécutée en cliquant sur "démarrer" pour exécuter et "pause" pour arrêter.

## III.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons brièvement détaillé l'outil de commande de notre projet qui est la carte Arduino en général et en particulier la Mega 2560, le cœur de ce projet, ainsi que le langage de programmation Arduino IDE et de simulation Proteus. Le système Arduino, nous donne la possibilité d'allier les performances de la programmation à celles de l'électronique. Plus précisément, le gros avantage de l'électronique programmée c'est qu'elle simplifie grandement les schémas électroniques et par conséquent, le coût de la réalisation, mais aussi la charge de travail à la conception d'une carte électronique.

**Chapitre VI :**  
**SIMULATION**  
**ET**  
**PRATIQUE**

### IV.1 Introduction

Après avoir étudié la modélisation théorique de chaque partie de notre projet, nous arrivons à le réaliser pratiquement. Dans ce chapitre nous allons décrire les composants utilisés et leurs fonctions dans le système. La conception matérielle et logicielle de notre travail sera présentée et expliquée, ainsi que les différents tests effectués. Ce chapitre parle de la conception d'un système d'incubation d'œufs avec contrôle automatique de la température et de l'humidité à l'aide d'un contrôleur d'interface programmable et alerter par l'intermédiaire d'un module GSM en envoyant un SMS en cas de défaillance. Un contrôle inadéquat signifie que la température ou l'humidité est trop élevée ou trop basse pendant une durée suffisante pour empêcher la croissance et le développement normaux de l'embryon. Une mauvaise ventilation, le retournement des œufs et la désinfection des machines des œufs ont également de mauvais résultats. Ce projet de fin d'étude à permet l'étude et la conception d'un incubateur équipé d'un système d'alerte par GSM, capable d'incuber différents types d'œufs.

### IV.2 But du projet

Avec un peu de recherche, nous avons déterminé que ce serait le meilleur plan d'action pour plusieurs raisons. L'incubateur aidera les agriculteurs à produire des produits en un temps limité avec une grande quantité d'œufs. Un incubateur d'œufs peut être considéré comme un remplacement pour une session d'incubation pour l'animal. L'incubateur sera suffisamment grand pour éviter des problèmes de production moindre. Il est possible de tester des idées pour incuber plusieurs types d'œufs en même temps.

### IV.3 Développement du projet

En se référant à la Figure IV.1, le développement du projet a été divisé en trois sections principales. Il y a la conception mécanique, la conception électronique et la conception logicielle. Ensuite, ces parties sont combinées pour réaliser le système d'incubation intelligent d'œufs pour différents types d'œufs. L'incubateur sera équipé par un capteur de température et d'humidité capable de mesurer en temps réel la température et l'humidité à l'intérieur de l'incubateur. Ceci permet de passer automatiquement aux conditions appropriées pour le développement de l'embryon. L'incubateur doit être placé à l'intérieur d'une pièce pour le protéger des intempéries. Il est essentiel que la pièce dispose d'un bon système de ventilation pour fournir beaucoup d'air frais. Le fait de le garder à l'intérieur facilite le maintien d'une température et d'une humidité uniformes. En réalité, ce projet comprend trois éléments qui doivent être contrôlés. Il y a le retournement des œufs, la température et l'humidité. Dans ce projet, une résistante chauffante est utilisée pour donner la température appropriée à l'œuf. Le pourcentage d'humidité dans l'incubateur doit être constant en contrôlant l'eau dans l'incubateur. L'humidité est assurée par une pompe péristaltique. Les paramètres d'état dans l'incubateur apparaîtront sur l'écran LCD. Pour s'assurer que toutes les parties de l'œuf ont été chauffées, un moteur de retournement est très utile pour faire fonctionner un plateau de retournement et automatiquement changer la position de l'œuf. L'ensemble entier sera contrôlé à l'aide d'un circuit intégré programmable (PIC). Il s'agit d'une Arduino Mega. Le PIC est un type de microcontrôleur capable de traiter les données d'un capteur et d'exécuter l'élément de contrôle pour modifier les conditions de l'incubateur.

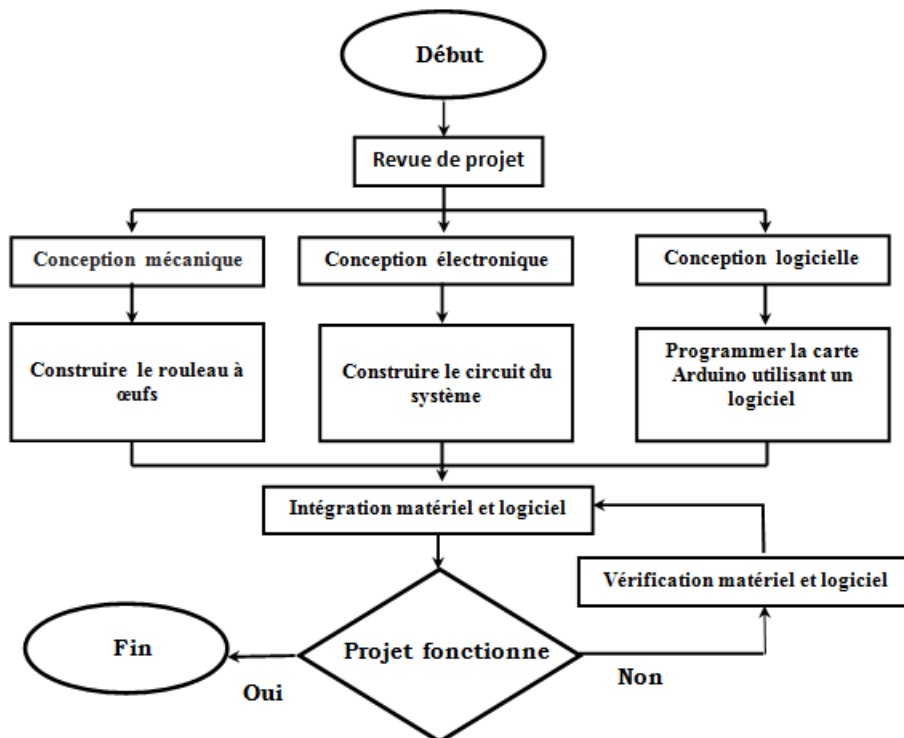


FIGURE IV.1 – Organigramme de développement du projet.

## IV.4 Fonctionnement du système

La figure IV.2 montre le fonctionnement du système de l'incubateur. Tout d'abord, l'utilisateur doit initialiser les paramètres d'état à des valeurs optimales. Ceci permet la protection du système contre d'autres perturbations et rend le système en fonctionnement constant. Ensuite l'incubateur est rempli par des œufs fécondés. Par la suite, l'incubateur est mis en marche. Il contient un circuit électronique composé d'un microcontrôleur (carte Arduino), d'un capteur de température et d'humidité, des relais et d'un module GSM. L'incubateur comprend aussi une résistance chauffante pour bien chauffer les œufs automatiquement. La température est mesurée en temps réel à l'aide du capteur de température. Lorsque la température est inférieure à la température désirée, le microcontrôleur donne l'ordre à la résistance chauffante de se mettre en marche. Une fois la température désirée est atteinte, la résistance chauffante est stoppée. L'autre élément composant l'incubateur est la pompe péristaltique. L'humidité est mesurée en temps réel par le capteur d'humidité. Lorsque l'humidité est inférieure à l'humidité désirée, le microcontrôleur ordonne à la pompe de pomper l'eau et le diffuser à l'intérieur de l'incubateur. Une fois l'humidité cherchée est atteinte, la pompe s'arrête. Il est important de s'assurer que toutes les positions de l'œuf sont chauffées à l'aide de la résistance. Pour se faire, l'œuf doit changer de position 2 ou plusieurs fois par jour. Ceci est assuré par un moteur de retournement placé à l'intérieur de l'incubateur et contrôlé par le microcontrôleur. L'innovation dans ce projet est l'ajout d'un module GSM. Ce module permet d'alerter en cas de défaillance des paramètres d'états, en envoyant un SMS. Il permet aussi de pouvoir modifier les paramètres d'états à distance.

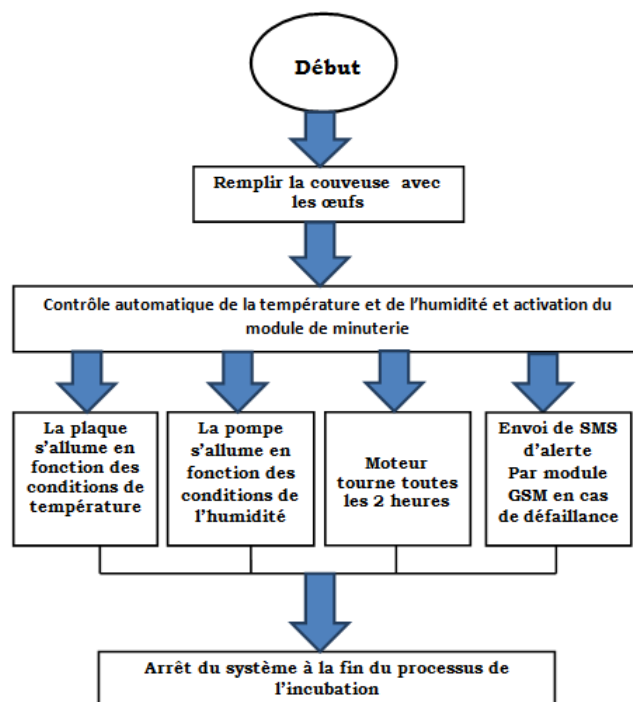


FIGURE IV.2 – Organigramme du fonctionnement du projet.

## IV.5 Conception mécanique

Le développement du projet a commencé avec la conception mécanique. Il consiste à développer un boîtier d'incubateur et à construire un plateau à œufs.

### IV.5.1 Enveloppe de l'incubateur

La construction de l'incubateur commence par la construction du boîtier de l'incubateur. Un matériau de bonne qualité a été utilisé tel que le plastique dur. Le plastique dur a été choisi parce qu'il est préférable au plastique tendre. Le plastique plus mou se déformera pendant le processus d'incubation. Cela affectera l'humidité de l'œuf. Cet incubateur peut contenir jusqu'à 48 œufs. La mesure dimensionnelle de l'incubateur est de 45 cm de long ; 45 cm de large et 40 cm de haut. Une résistance chauffante a été placée sur la partie intérieure du couvercle de l'incubateur. Il existe deux parties pour l'incubateur. La première partie est l'endroit où les œufs ont été placés. Elle se remplit avec le plateau à œufs, la résistance (plaque) chauffante et le ventilateur. La deuxième comporte la partie électronique.



FIGURE IV.3 – Enveloppe de l'incubateur.

### IV.5.2 Le plateau à œufs

Le plateau à œufs est très important pour changer la position des œufs. La position de l'œuf doit être changée deux fois ou plus par jour jusqu'à l'éclosion. Une idée pour concevoir le plateau à œufs tel qu'un convoyeur qui nécessite des roulements et des courroies. Il doit changer la position de l'œuf en douceur. Le matériau utilisé pour construire le rouleau à œufs est un plateau en plastique et une tige en plastique. Un moteur électrique de retournement est ensuite monté sur le plateau. Voir figure IV.4.

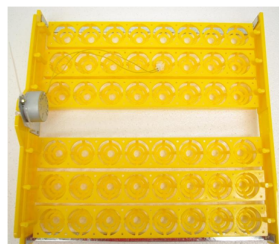


FIGURE IV.4 – Plateau de retournement.

## IV.6 Conception Électronique

Dans cette partie, le plan du circuit comprend six parties principales. Il existe un circuit de commande principal, un circuit de commande GSM, un circuit de commande de la résistance (plaque) chauffante, un circuit de commande de la pompe péristaltique, un circuit pour commander le moteur électrique et un circuit d'alimentation. Le circuit de contrôleur principal était l'interface avec le circuit de température, d'humidité et l'écran à cristaux liquides (LCD). Le schéma fonctionnel de la figure IV.5 montre la connexion de toutes les parties du système. Il y a des entrées, un processeur et des sorties. Les entrées du système sont le capteur de température et d'humidité ainsi que l'alimentation. L'Arduino Mega fonctionnera comme une CPU qui est le système de contrôle principal. Les éléments de sortie se composent d'un écran LCD, d'un moteur électrique, d'un ventilateur, d'une résistance chauffante, d'une pompe péristaltique et d'un module GSM. Le système commence à fonctionner pendant que l'utilisateur branche la prise d'alimentation. Après cela, le contrôleur définira la plage de température et d'humidité de l'incubateur. En cas de modification des paramètres d'états de l'incubateur, le capteur de température et d'humidité mesurera et enverra des données au contrôleur en tant que retour. Le panneau LCD affichera tous les changements qui pourraient survenir. Le contrôleur contrôlera le chauffage et le débit d'eau jusqu'à ce que les paramètres d'états de l'incubateur reviennent à l'état requis. Le contrôleur contrôle également la rotation du moteur électrique. Cela permet aux œufs de changer de position pour une meilleure croissance de l'embryon.

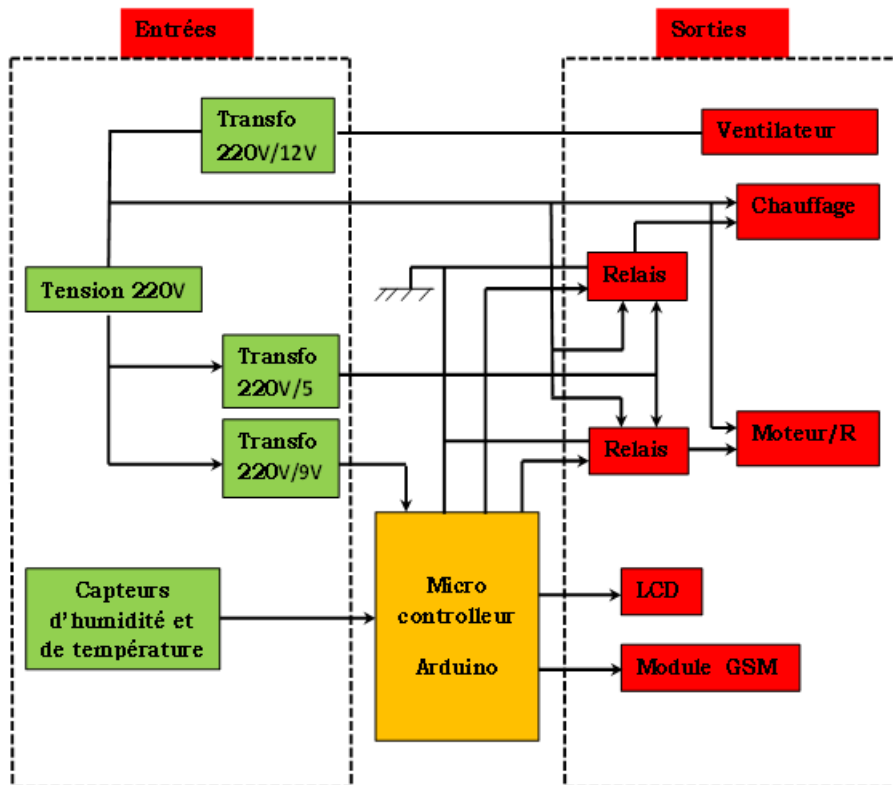


FIGURE IV.5 – Schéma fonctionnel de la conception matérielle.

## IV.6.1 Circuit de contrôleur maître

Le circuit maître a pour fonction de contrôler les données d'entrée et de les afficher sur l'écran LCD. Il lit également les données d'entrée du capteur de température et d'humidité et les stocke dans une variable avant de les afficher sur l'écran LCD.

### IV.6.1.1 Arduino Mega 2560

Dans ce projet nous avons choisi l'utilisation de la carte Arduino Mega 2560. Elle permet de supporter tout les composants utilisés par un branchement direct à la carte sans la nécessité de relier deux ou plusieurs autres cartes. Ceci est assuré par le nombre de broches que la carte Arduino Mega possède. Elle est composée de 16 broches d'entrées/sorties analogiques et 54 d'entrées/sorties digitales pouvant fournir jusqu'à 20mA chacune.

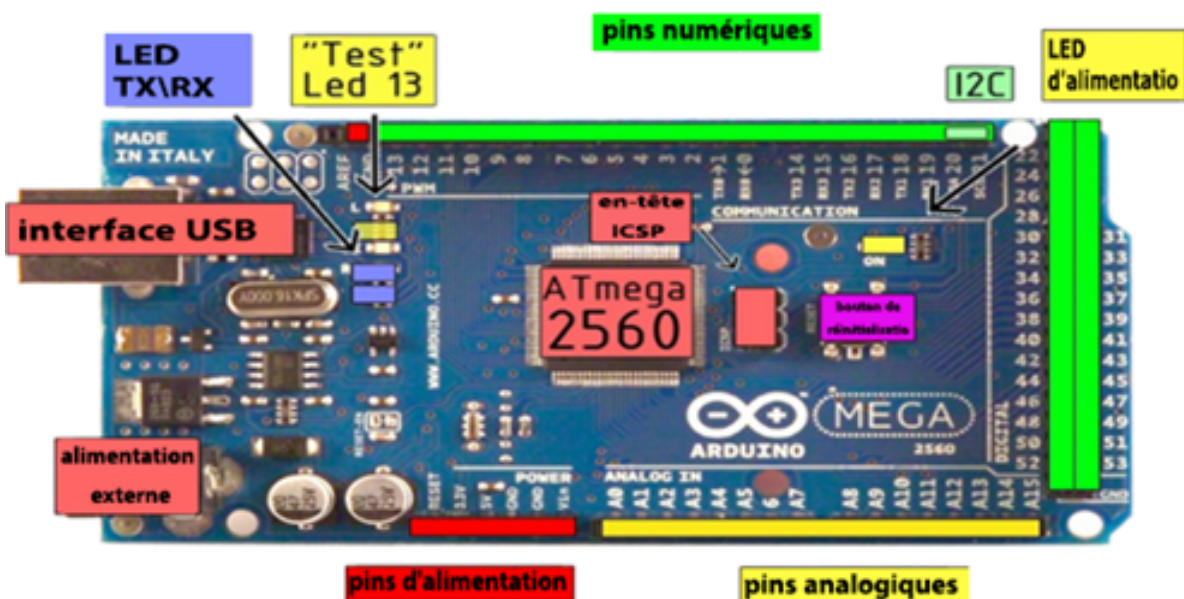


FIGURE IV.6 – Boitier de l'Arduino Mega 2560.

### IV.6.1.2 Affichage à cristaux liquides (LCD)

Pour afficher les paramètres de la couveuse, un écran LCD parallèle est utilisé. C'est un écran de 16×2 caractères. Il comporte 16 broches pouvant afficher un total de 32 caractères (16 colonnes et 2 lignes). Ensuite, l'écran est connecté à une planche à pain et à votre Arduino. Le tableau IV.1 décrit toutes ces broches.

Numéro de broche	Nom de broche	Rôle de la broche
1	VSS	Connexion à la terre
2	VDD	Alimentation de connexion +5V
3	VO	Réglage du contraste
4	RS	Enregistrement de la sélection
5	RW	Lecture/Ecriture
6	EN	Activation
7	D0	Ligne de données 0
8	D1	Ligne de données 1
9	D2	Ligne de données 2
10	D3	Ligne de données 3
11	D4	Ligne de données 4
12	D5	Ligne de données 5
13	D6	Ligne de données 6
14	D7	Ligne de données 7
15	A	Anode de rétro éclairage
16	K	Cathode de rétro éclairage

Tableau IV.1 – Affectation des broches LCD.

Nous pouvons connecter les broches de communication de l'écran LCD à toutes les broches d'entrées/sorties de l'Arduino. Dans ce projet, ils sont connectés comme indiqué dans le tableau IV.2

Broches LCD	Broches d'Arduino
RS	Pin 2
EN	Pin 3
D4	Pin 4
D5	Pin 5
D6	Pin 6
D7	Pin 7

Tableau IV.2 – Connexions des broches de communication.

#### IV.6.1.2.1 Programmation de l'écran LCD

L'IDE Arduino inclut la bibliothèque LiquidCrystal, un ensemble de fonctions qui facilite l'interface avec l'écran LCD parallèle que vous utilisez. La bibliothèque LiquidCrystal possède une quantité impressionnante de fonctionnalités, notamment le clignotement du curseur, le défilement automatique du texte, la création de caractères personnalisés et la modification du sens d'impression du texte. Pour commencer il faut d'abord, inclure le, Bibliothèque LiquidCrystal par `#include <LiquidCrystal.h>`. Ensuite il faut, initialisez un objet LCD comme suit : `LiquidCrystalled (2, 3, 4, 5, 6, 7)`. Les arguments pour l'initialisation de l'écran LCD représentent les broches Arduino connectées à RS, EN, D4, D5, D6 et D7, dans cet ordre. Dans la configuration, vous appelez la fonction `begin()` de la bibliothèque pour configurer l'écran

LCD avec la taille du caractère. L'écran utilisé est un écran (16×2). 16 représente le nombre de colonnes et 2 le nombre de lignes. La fonction qui définit le nombre de lignes et de colonnes est : `lcd.begin(16, 2)`. Les positions à l'écran sont indexées en commençant par (0,0) en haut à gauche. Le premier argument de `setCursor()` spécifie quel numéro de colonne et le second spécifie quel numéro de ligne. Par défaut, l'emplacement de départ est (0,0). Ainsi, si vous appelez `print()` sans d'abord modifier l'emplacement du curseur, le texte commence dans le coin supérieur gauche.

#### IV.6.1.2.2 Exemple de programme

```
#include <LiquidCrystal.h > // inclure le code de la bibliotheque
LiquidCrystal lcd (2,3,4,5,6,7) ; // initialiser la bibliotheque avec les numeros des broches
void setup () {
lcd.begin (16,2) ; // configurer le nombre de colonnes et de ligne de l'ecran LCD
lcd.print ("Mr.Arduino"); //imprimer un message sur l'ecran LCD
}
void loop () {
lcd.setCursor (0,1) ; // deplacer le curseur a la deuxieme ligne , premiere position
lcd.print ("time") ; // imprimer un message sur l'ecran LCD
Delay(1000) ; // attendre une seconde
}
```

#### IV.6.1.3 Résistance chauffante

La résistance chauffante utilisée dans le projet est un fil chauffant en fibre de carbone mesurant 4m et de diamètre 2.2mm. Il est alimenté en 200V et dissipe une puissance de 160W. Il peut chauffer jusqu'à 160 œufs. Le fil chauffant permet une bonne répartition de la chaleur. Sa température varie de 0 à plus de 50 degré Celsius. Dans ce tube de chauffage, la température augmente tout doucement. Ceci permet de pouvoir mettre un système de contrôle efficace.



FIGURE IV.7 – Fil chauffant en carbone.

#### IV.6.1.4 Capteur de température et d'humidité

Il est nécessaire de connaître certains paramètres d'une couveuse comme la température et le taux d'humidité. Le capteur d'humidité et de température DHT22 est celui qui est utilisé dans notre circuit. Celui-ci est un capteur combiné de température et d'humidité calibré. Il retourne un signal de sortie numérique. Le capteur comprend un élément de détection d'humidité et des dispositifs de mesure de température de haute précision, ainsi qu'un microcontrôleur 8 bits haute performance connecté.

##### IV.6.1.4.1 Principe de fonctionnement du DHT22

Le capteur se compose d'un composant de détection d'humidité, d'un capteur de température NTC (ou thermistance) et d'un circuit intégré à l'arrière du capteur. Pour mesurer l'humidité, il utilise le composant de détection d'humidité qui comporte deux électrodes avec un substrat retenant l'humidité entre elles. Ainsi, à mesure que l'humidité change, la conductivité du substrat change où la résistance entre ces électrodes change. Ce changement de résistance est mesuré et traité par le CI, ce qui le rend prêt à être lu par un microcontrôleur. D'autre part, pour mesurer la température, ces capteurs utilisent un capteur de température NTC ou une thermistance. Une thermistance est en réalité une résistance variable qui change de résistance avec le changement de température. Le terme NTC (Negative Temperature Coefficient) signifie "Coefficient de température négatif", ce qui signifie que la résistance diminue avec l'augmentation de la température. Le capteur DH22 est alimenté en 5 v, sa plage de température est  $-40-80\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  et sa plage d'humidité est  $20-90\% \text{ HR} \pm 2\% \text{ HR}$ . Il comprend une broche pour une alimentation 5v, une broche pour la masse et une troisième pour les données.

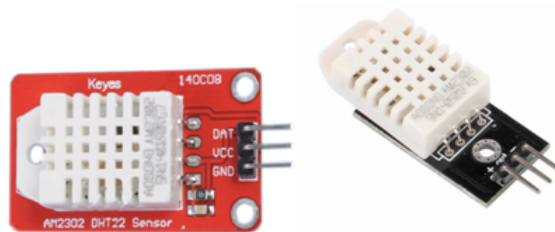


FIGURE IV.8 – Capteur DHT22.

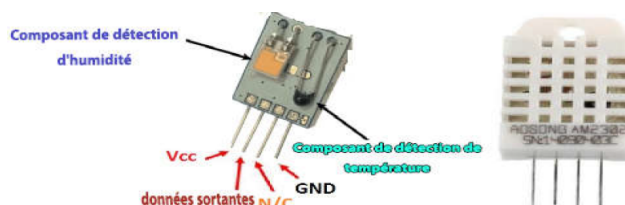


FIGURE IV.9 – Circuit interne du capteur DHT22 .

#### IV.6.1.4.2 Schéma du circuit DHT22

Les capteurs DHT22 ont quatre broches, VCC, GND, broche de données DATA et une broche non connectée inutilisable. Une résistance de montée de 5 000 Ohms à 10 000 Ohms est nécessaire pour maintenir la ligne de données à niveau élevé et pour permettre la communication entre le capteur et la carte Arduino. Certaines versions de ces capteurs sont livrées avec une carte de dérivation avec une résistance de tirage intégrée et ne comportent que 3 broches. Les capteurs DHT22 ont leur propre protocole mono fil utilisé pour transférer les données. Ce protocole nécessite un chronométrage précis et les chronogrammes permettant de récupérer les données des capteurs sont disponibles dans les fiches techniques des capteurs. Cependant, nous n'avons pas à nous inquiéter de ces chronogrammes, car nous utiliserons la bibliothèque DHT qui s'occupe de tout.

#### IV.6.1.4.3 Code source

Nous devons d'abord inclure la bibliothèque DHT (`#include "DHT.h"`), disponible sur le site officiel Arduino, puis définir le numéro de broche auquel notre capteur est connecté et créer un objet DHT. Dans la section de configuration, nous devons initier la communication série car nous utiliserons le moniteur série pour imprimer les résultats. En utilisant les fonctions `readHumidity()` et `readTemperature()`, nous lirons les données du capteur et mettrons les valeurs de température et d'humidité dans les variables. À la fin, nous imprimerons les valeurs de température et d'humidité sur le moniteur série ou sur un écran LCD.

#### IV.6.1.4.4 Exemple de programme

```
#include "DHT.h" // insertion de la librairie Adafruit_DHT
#define DHTPIN 2 // declaration de la broche d'entree
#define DHTTYPE DHT11 // initialisation du capteur
DHT dht (DHTPIN, DHTTYPE) ;
void setup () {
  Serial.begin (9600) ;
  dht.begin () ; // debut de la mesure
}
void loop () {
  Delay(2000) ; // un delai de 2 secondes entre deux mesures
  float h=dht.readHumidity() ; // mesure de l'humidite
  float t=dht.readTemperature() ; // mesure de la temperature
  serial.print ("Humidity:") ;
  serial.print (h) ;
  serial.print ("Temperature:") ;
  serial.print (t) ; }
```

#### IV.6.1.5 Moteur de retournement

Le moteur de retournement des œufs permet d'automatiser le procédé de retournement des œufs. Le moteur utilisé dans le projet est un tout nouveau moteur synchrone, alimenté en 220V. Il a une puissance égale ou inférieure à 4Watt et de dimension (63 × 49 × 21mm). Ce moteur fait 1 tour après l'écoulement d'une durée choisie par l'utilisateur. Sa vitesse de rotation est très lente. Elle est de l'ordre de 2.5/3 r/min. Il est conforme à la réalisation de toute nouvelles couveuses. Grâce à ce type de moteur, il est plus facile de programmer des retournements des œufs, qui peuvent aller jusqu'à 12 retournement par 24 heures.



FIGURE IV.10 – Moteur de retournement.

#### IV.6.1.6 Pompe péristaltique

Les pompes péristaltiques sont un type de pompe volumétrique utilisée pour pomper une variété de fluides. Le fluide est contenu dans un tuyau flexible ou un tube installé à l'intérieur du corps de la pompe. Le principe de pompage réel, appelé péristaltisme, est basé sur une compression et une relaxation alternées du tuyau ou du tube, puisant dans le contenu et entraînant le produit hors de la pompe. Un patin ou un rouleau rotatif passe sur la longueur du tuyau ou du tube, créant ainsi une étanchéité temporaire entre les côtés aspiration et refoulement de la pompe. Lorsque le rotor de la pompe tourne, cette pression d'étanchéité se déplace le long du tube ou du flexible, forçant le produit à s'éloigner de la pompe et à pénétrer dans la conduite de refoulement. Lorsque la pression a été relâchée, le tuyau flexible ou le tube récupère, créant un vide qui entraîne le produit dans le côté aspiration de la pompe. La combinaison de ces principes d'aspiration et de refoulement permet d'obtenir une puissante action de déplacement positif auto-amorçant.

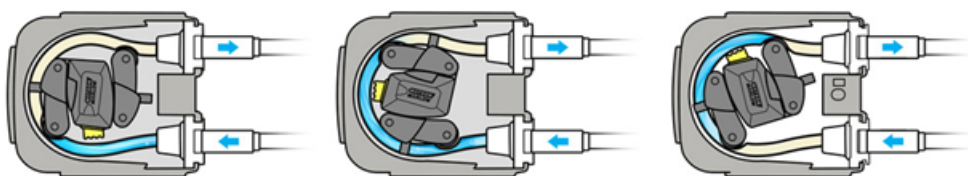


FIGURE IV.11 – Principe de pompe péristaltique.

La pompe utilisée dans le projet est une pompe alimentée en 5 volts et produit une puissance de l'ordre de 1Watt. Cette pompe est réalisée grâce à un moteur pas à pas au bout duquel un embout est accrocher et un tuyau est enrouler autour de ce dernier.

#### IV.6.1.7 Le relais

Un relais est un interrupteur commandé par un électroaimant. Il contient une bobine électrique, qui génère un champ magnétique. Quand le champ magnétique est en place, cela déplace une pièce métallique à l'intérieur du relais, de sorte que celle ci ouvre ou ferme un circuit électrique. Dans ce projet, deux relais ont été employé, un pour commander le moteur de retournement et l'autre pour commander le fil chauffant. Ces relais sont reliés à la carte Arduino sur des broches à 5V. Ils délivrent en sortie une tension de 220V et un courant pouvant aller jusqu'à 10A.

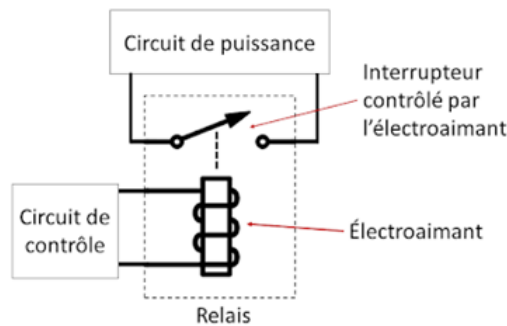


FIGURE IV.12 – Principe des relais électromécaniques.

##### IV.6.1.7.1 Branchement des relais

La disposition des broches des relais n'est pas la même d'un relais à l'autre. Et bien, afin d'utiliser le relais, il faut savoir quelles broches alimentent l'électroaimant, quelle paire de broche est connectée en absence de courant dans l'électroaimant, etc. La figure IV.13 montre le brochage utilisé dans notre circuit avec la carte Arduino pour le module des deux relais.

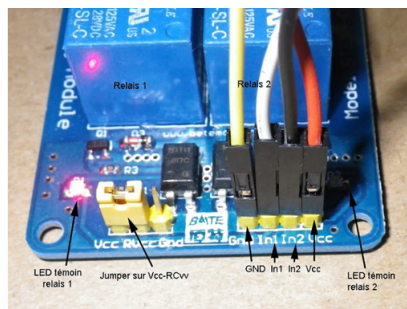


FIGURE IV.13 – Câblage en entrée des deux relais.

Le tableau IV.3 dessiné ci-dessous exprime le bon branchement des relais avec la carte Arduino pour les différents pins nécessaires :

<b>Gnd</b>	La masse du module, à relier impérativement à la masse de la carte Arduino
<b>Int1</b>	Commande en 0V/5V du relais 1, vers pin numérique de l'Arduino
<b>Int2</b>	Commande en 0V/5V du relais 2, vers pin numérique de l'Arduino
<b>Vcc</b>	La tension de référence 5V qui alimente la carte Arduino

Tableau IV.3 – Brochage des relais avec la carte Arduino .

#### IV.6.1.7.2 Exemple de programme

```

const int RELAIS=3 ; // declaration broche 3 comme sortie
boolean etatRelais=0 ; // etat du relais (ON/OFF)
void setup () {
Serial.begin (9600) ; // ouvre le port serie a 9600 bauds
pinMode (RELAIS, OUTPUT) ; // configure la broche relais en sortie
}
void loop () {
etatRelais= !etatRelais ; // inverse l'etat du relais
digitalWrite (RELAIS,etatRelais) ; // met la broche de commande dans l'etat voulu
serial.println(etatRelais);
Delay(1000); //pause 1 seconde
}

```

#### IV.6.1.8 Module GSM

Il existe plusieurs Shields Arduino GSM/GPRS de différentes bandes de fréquence permettant la communication avec le monde entier quelque soit le type de cette communication (SMS, voix, données et fax). Dans ce projet, nous avons choisi le GSM SIM900. Il permet d'échanger des messages avec la carte Arduino grâce aux commandes. Le tableau suivant décrit les différentes broches du module SIM900.

N broche	Interface	Description
1	Rst	Réinitialiser le module SIM900
2	P	Broche de l'interrupteur d'alimentation du SIM900
3	TX	Sortie de données UART
4	RX	Entrée de données UART
5	DT	Débogage de la sortie de données UART
6	DR	Débogage de l'entrée de données UART
7	-	GND
8	+	VCC

Tableau IV.4 – Role des principaux pins du GSM 900MHz.

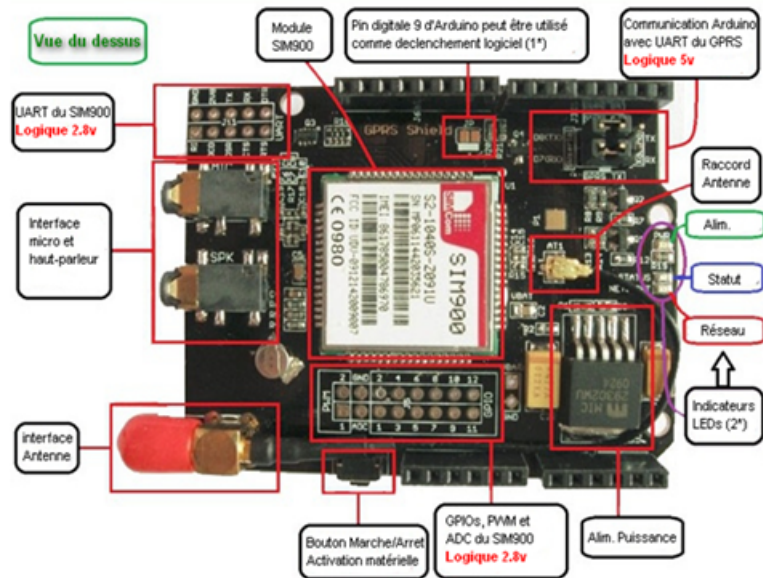


FIGURE IV.14 – Configuration des broches du module GSM SIM900.

#### IV.6.1.8.1 Le rôle du module GSM dans le projet

Dans ce projet, le but est d’envoyer des SMS d’alerte en cas de coupure de courant, de changement brusque de température, de l’humidité, informations sur le délai de retournement. L’autre rôle est de modifier les paramètres de la couveuse par l’envoi des SMS.

#### IV.6.1.8.2 Branchement du module GSM

Le module SIM900 se met directement sur la carte Arduino (voir figure IV.15). La carte Arduino Mega 2560 et le SIM900 sont alimentés par 9V. Le module GSM communique avec la carte Arduino par des commandes AT qui permettent l’échange des SMS entre la carte et le GSM (voir figure IV.16).

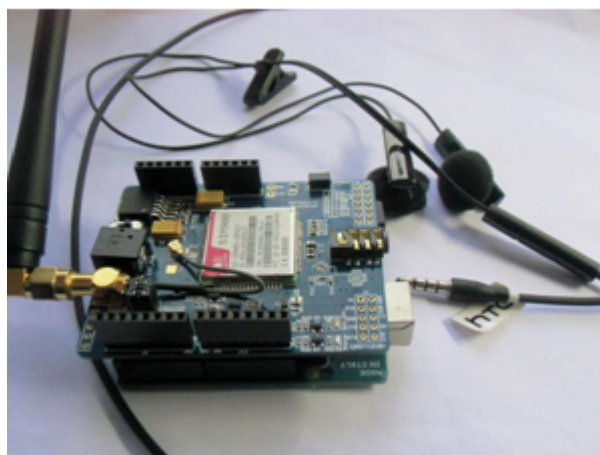


FIGURE IV.15 – Branchement du SIM900 avec l’Arduino.

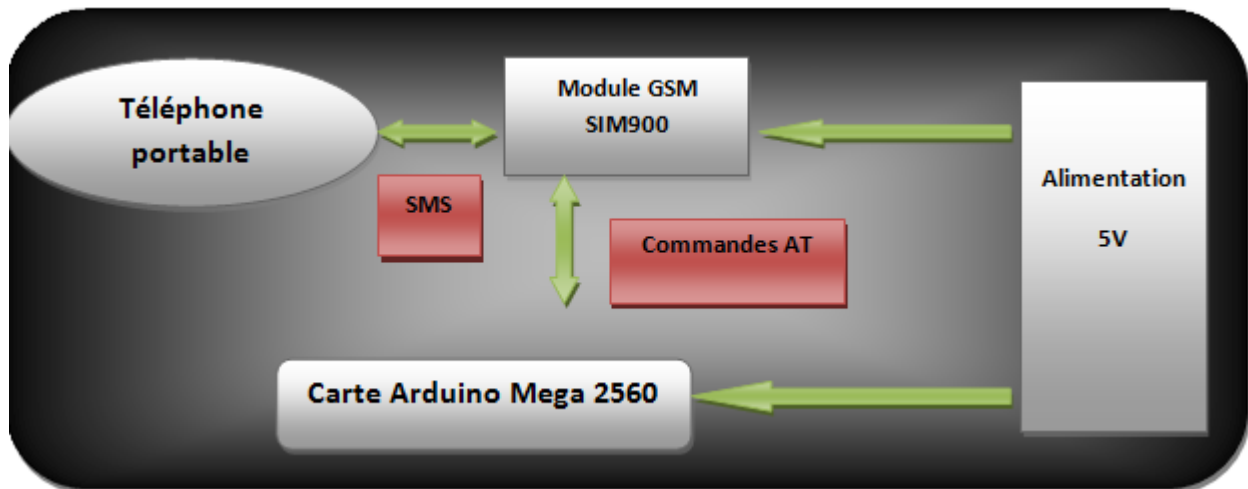


FIGURE IV.16 – Schéma récapitulatif du système GSM.

#### IV.6.1.8.3 Commandes AT

Les commandes AT sont des instructions utilisées pour contrôler le modem GSM. AT est l'abréviation d'Attention. Chaque ligne de commande commence par "AT" ou "at". C'est pourquoi les commandes du GSM sont appelées commandes AT. Le Shield GSM et les téléphones mobiles prennent en charge les commandes AT liées à l'envoi des SMS voir tableau IV.5.

Commande	AT Rôle
AT+CSMS	Sélection du service de messagerie
AT+CMGF	Sélection le format du SMS (PDU ou texte)
AT+CNMI	Indication concernant un nouveau SMS
AT+CMGR	Lecture d'un SMS
AT+CMGS	Envoie d'un SMS
AT+CMGW	Ecriture d'un SMS
AT+CMGD	Efface un SMS

Tableau IV.5 – Commandes AT dédiées au service SMS.

#### IV.6.1.8.4 Code source

La bibliothèque GSM SoftwareSerial.h est incluse dans Arduino IDE. Avec le Shield Arduino GSM, cette bibliothèque permet à une carte Arduino de faire la plupart des opérations que nous pouvons effectuer avec un téléphone GSM : passer et recevoir des appels vocaux, envoyer et recevoir des SMS et vous connecter à Internet via un réseau GPRS. L'utilisation de cette librairie se fait comme suit **#include <SoftwareSerial.h>** au début du programme.

### IV.6.1.8.5 Exemple de programme

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial SIM900 (9,10) ; // RX=9 et TX=10
void setup () {
SIM900.begin (9600) ; // communication de l'Arduino avec SIM900 a un debit de 9600 bauds
delay(1000) ; }
void loop () {
SIM900.println ("AT_commands") ; // commande AT pour regler le SIM en mode SMSdelay(1000) ;
SIM900.println ("MR.GSM_Shield") ; // mesure de la temperature
delay(1000) ; }
```

## IV.7 Conception logicielle

### IV.7.1 Programmation de la couveuse sur Arduino IDE

Dans cette partie, la principale programmation des différentes étapes et des différents blocs de notre système sera présentée. Cette dernière est composée de trois parties principales : le code du module GSM pour l'envoi des SMS, le code du relais pour le tournement des moteurs (température, humidité, retournement des œufs et ventilation) ainsi que le code de l'afficheur LCD englobant le changement de température et de l'humidité captées par le DHT22. Elle concerne aussi les temps concernant le nombre de jours et le nombre de retournement, plus la mémoire EEPROM pour la mémorisation des informations concernant notre couveuse.

#### IV.7.1.1 Bibliothèque employée

Avant de commencer la programmation des différents modules, il est nécessaire d'employer des bibliothèques pour assurer leur fonctionnement. Les différentes déclarations de bibliothèque sont données par la figure IV.17.

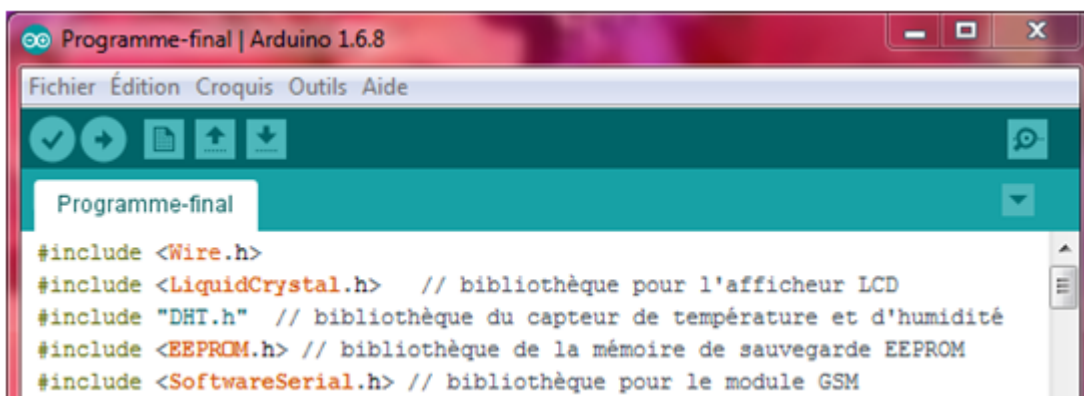


FIGURE IV.17 – Déclaration principale du programme.

### IV.7.1.2 Organigramme du programme

L'organigramme montré sur la figure IV.18 englobe toutes les parties de la conception logicielle. Dans le déroulement du programme de la couveuse, les variables d'états sont initialisées. La variable température désirée (TD) est initialisée a 37.5 degres celcius. La variables de l'humidité désirée (HD) est initialisée a 42%. La durée du nombre de jour Nj est initialisée a 21 jours. La dure du moteur de retournement est initialisée à 7 secondes. Les autres variables, température calculée (TC), Humidité calculée (HC), le temps nécessaire pour rafraichir la mémoire (Temps Mémoire TMe), mémorisation de TC (MeTC), mémorisation de HC (MeHC), mémorisation de Nj (MeNj, Le temps écoulé avant d'envoyer une alerte GSM (TGSM), Le temps écoulé avant d'effectuer un retournement ( Temps retournement Tr), Le temps écoulé avant de compter un jour de plus (Temps jours Tj), Mémorisation du temps écoulé avant de compter un jour de plus ( MeTj) sont initialisées à 0. Apres avoir mis la couveuse sous tension, La boucle du programme est lancée. D'après l'organigramme de la figure IV.18 deux situations se présentent. Le programme est exécuté d'une façon parallèle ou bien d'une façon séquentielle. Les cartes Arduino exécutent les programmes d'une manière séquentielle. Tout d'abord on li la température. Si la température calculée TC est inferieure à la température désirée TD, alors la mémoire mémorise TC dans MeTC. Ensuite on li le temps TGSM si ce temps est supérieur a un seuil alors le GSM envois un SMS d'alerte comme suit :

```
SIM900.println("AT+CMGS=\""+213673473335+"\"); //Le numéro de téléphone que l'on souhaite envoyer un SMS
delay(1000);
SIM900.println("Changement brusque de température"); //Le contenu du message à envoyer
delay(1000);
```

Sinon, Il n'envoie rien. Ensuite, la résistante chauffante mise en marche et en passe tester l'humidité comme dans le cas ou TC est supérieure ou égale a TD. Si la température TC est supérieure ou égale à TD, alors la mémoire mémorise TC dans MeTC. Ensuite, on lit l'humidité et on procède de la même façon comme dans le cas de la température. Si HC est supérieure ou égale à HD, alors la mémoire mémorise HC dans MeHC. Par la suite on lis le temps Tr si Tr est supérieur à 2 heure et le Nj est supérieur à 3, alors Tr est mis à 0 et le moteur est mis en marche pendant 7 secondes. Une fois cette tache est terminée, on li le Tj et on le mémorise dans MeTj. Si Tj est supérieur ou égale à 24 heures alors Nj est décrémente de 1 et Tj est mis à 0. Ensuite on mémorise Nj dans MeNj. Dans le toutes les situations, on test le nombre de jours Nj. Si Nj est inferieures à 3 alors TD doit être égale a 75% et le moteur sarrête de tourner jusqu'à la fin du processus. Apres les tests, on reprend la boucle jusqu'à l'arrêt du processus.

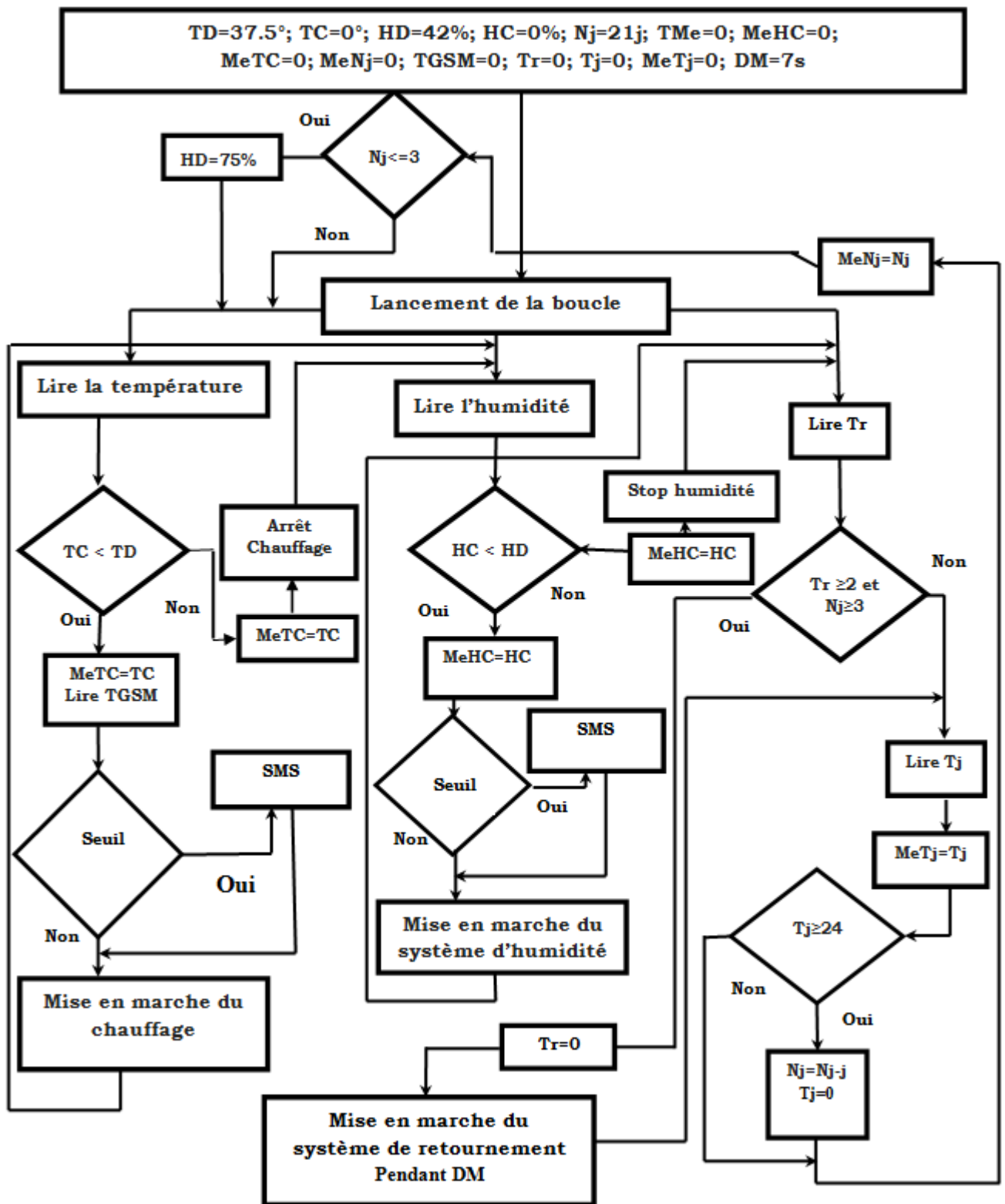


FIGURE IV.18 – Organigramme du programme Arduino.

### IV.7.2 Simulation de la couveuse sous Proteus

Avant de faire la réalisation pratique, Nous avons simulé la couveuse sous logiciel Proteus. La figure IV.19 représente le schéma global de notre système.

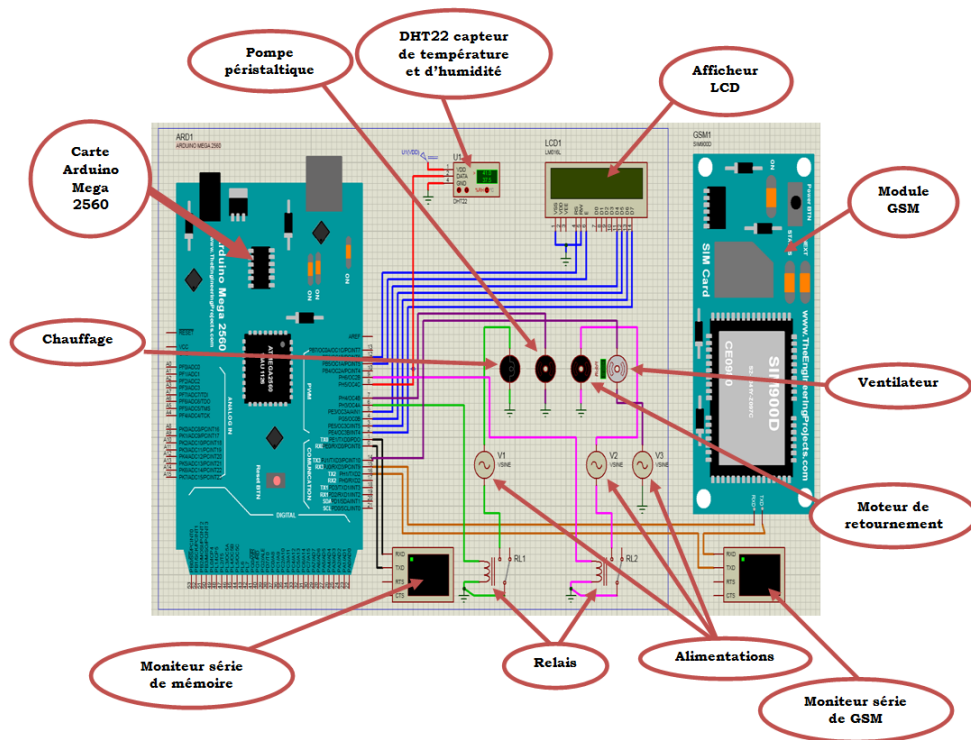


FIGURE IV.19 – Circuit global sur Proteus.

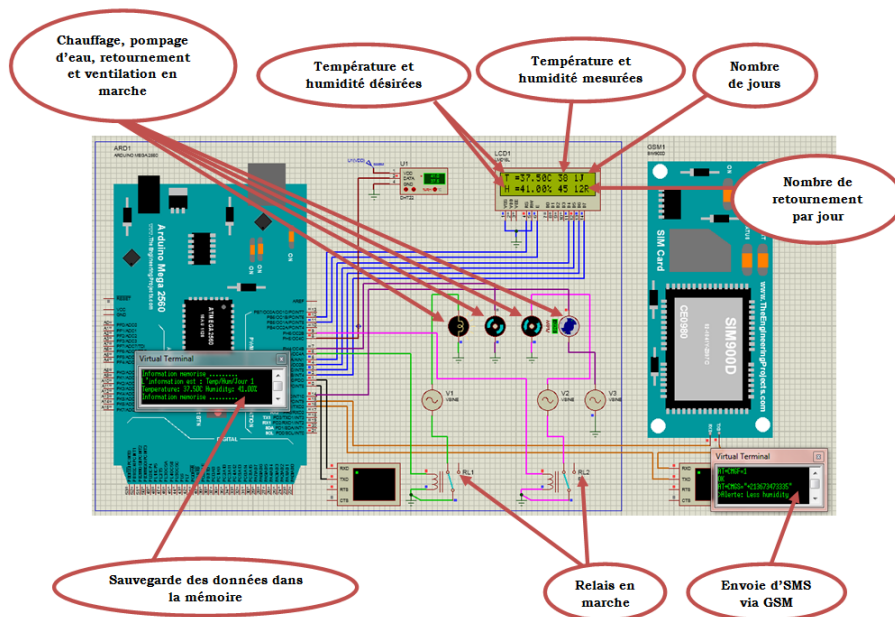


FIGURE IV.20 – Résultat de simulation sur proteus.

### IV.7.2.1 Test de circuit réalisé

Avant de réaliser le circuit électronique globale, on a testé chaque composant par simulation pour confirmer et vérifier le bon état de fonctionnement et afin de ne pas les endommager lors de la réalisation pratique. Les tests lors de la simulation ont données de très bons résultats (voir figure IV.20). Le GSM a bien fonctionné. Le Virtual Terminal affiche le numéro de téléphone à qui on souhaite envoyer le message, ainsi que le contenu du message envoyé. Lorsqu'on fait varier la température la lampe représentant la résistance chauffante s'allume. Lorsque le temps nécessaires au retournement du moteur est épuisé le moteur tourne pour un moment et ensuite s'arrête. Les valeurs des paramètres cités dans l'organigramme sont affichés sur l'écran LCD.

### IV.7.2.2 Test de la mémoire EEPROM

Dans le cas de notre projet, il faut une mémoire pour sauvegarder les données toute les 10 minutes en cas de panne ou coupure d'électricité. Donc, on a testé l'EEPROM. C'est un petit circuit intégré dans la carte Arduino, qui joue le rôle d'une mémoire. On a enregistré les variations de la température et de l'humidité dans la couveuse, ainsi que le nombre des jours. Ceci dans le but de ne pas recommencer le comptage de ce dernier, si on rencontrera une défaillance.

## IV.8 Réalisation et test de la couveuse réalisée

Après avoir terminé de mettre en place les différents composants, l'incubateur est placé dans une pièce bien isolée dans laquelle la température reste la plus constante possible jour et nuit. Premièrement, nous avons placé la couveuse dans une boîte étanche avec une ventilation. La figure IV.21 montre le boîtier contenant les composants de la couveuse réalisée.

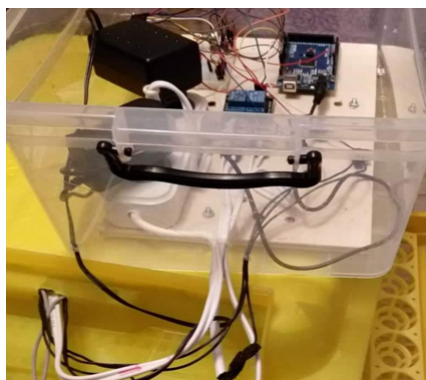


FIGURE IV.21 – Boîtier de la couveuse.

Un plateau pour le retournement des œufs est placé dans cette couveuse. Il est équipé d'un moteur électrique. La figure réelle IV.22 montre le plateau et le moteur de retournement ainsi que le branchement de ce dernier avec les autres composants.

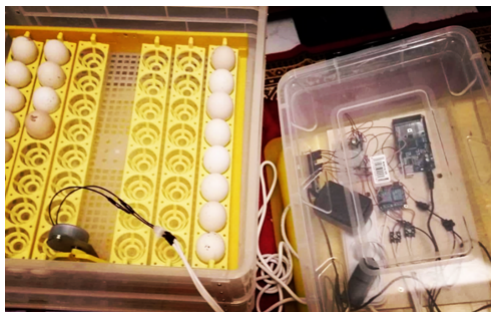


FIGURE IV.22 – Plateau de retournement.

Sur la figure IV.23 on voit le fil chauffant pour réguler la température, un ventilateur pour bien répartir la chaleur et un capteur pour lire la température et l'humidité.

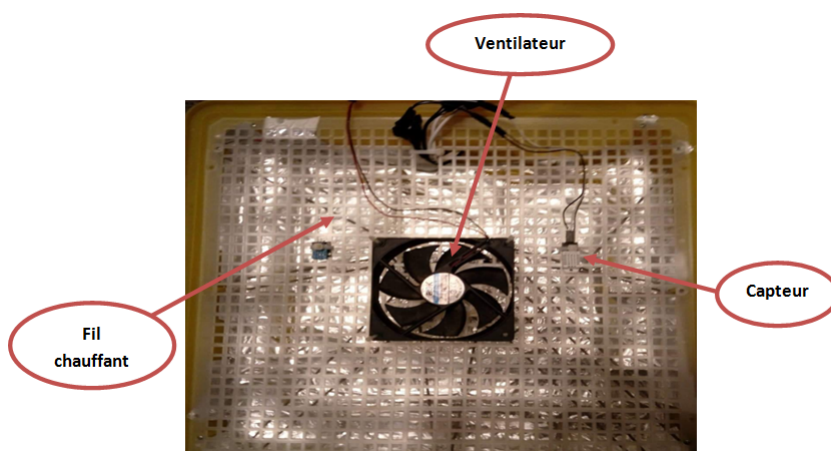


FIGURE IV.23 – Système de chauffage et de ventilation.

Sur la figure IV.24, on voit l'écran LCD de la couveuse. Ce dernier affiche bien les paramètres de la couvaison. Le branchement de l'afficheur LCD est réalisé sur la plaque d'essai avec une carte Arduino Mega.

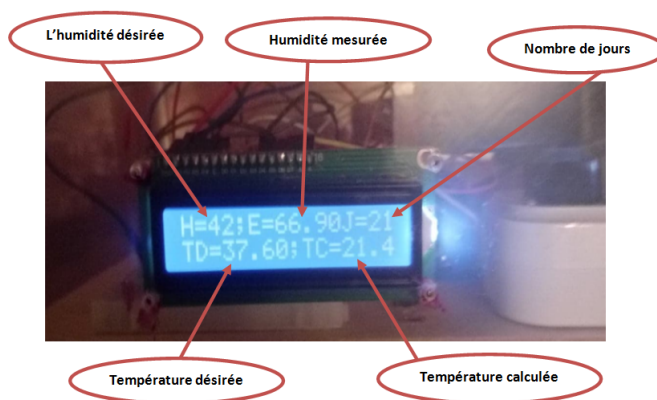


FIGURE IV.24 – Affichage sur l'écran LCD.

La figure IV.25 montre le câblage de la carte Arduino avec les composants concernés par le projet. Elle montre aussi une prise a trois branchement, un branchement pour le transformateur 220V/12V pour alimenter le ventilateur, un branchement pour un transformateur 220V/9V pour alimenter la carte Arduino et le GSM et le dernier pour les relais.

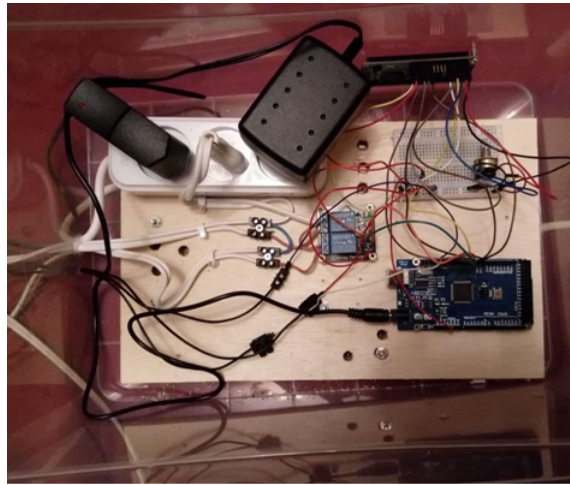


FIGURE IV.25 – Circuit électrique de la couveuse.

### IV.8.1 Interprétation des résultats

Après les tests effectués, le GSM envoie bien un SMS d'alerte lorsque les paramètres de température et d'humidité sont différents de ceux désirés. Le fil chauffant fonctionne parfaitement lorsque la température est inférieure à la température désirée. La pompe péristaltique s'enclenche lorsque l'humidité est inférieure par rapport à un seuil déterminé. Le plateau de retournement entraîné par un moteur électrique tourne toutes les 2 heures. L'écran LCD affiche bien les paramètres de la couvaison. Il affiche aussi leurs changements lorsqu'ils ont lieu. Globalement les résultats sont très encourageants pour un développement et une application ultérieure.

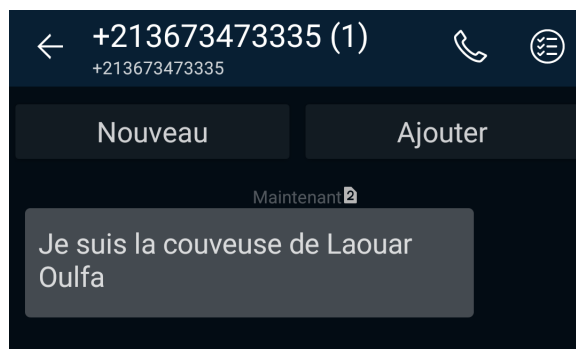


FIGURE IV.26 – Test du GSM.

## IV.9 Comparaison avec d'autres couveuses

La Brinsea Ovation EX est l'une des meilleures couveuses automatiques que nous pouvons la comparer avec la notre. Elle a une capacité de 56 œufs, possédant le contrôle et la régulation de température et humidité automatiquement ainsi que le retournement automatique des œufs par un simple mécanisme. La Brinsea est la couveuse idéale pour toutes les espèces. Son couvercle entièrement transparent offre la visibilité inégalée sur tout ce qui se passe à l'intérieur, avec des matériaux isolants alliés à une ventilation double flux innovante.



FIGURE IV.27 – La Brinsea Ovation EX.

Le tableau suivant est dessiné pour faire la comparaison entre la couveuse que nous avons réalisée et la Brinsea qui est la plus utilisée pour ce système :

	<b>Brinsea Ovation EX</b>	<b>Notre couveuse</b>
La contenance (capacité)	56 œufs	48 œufs
Type de couveuse	Automatique	Automatique
Retournement	Fiable et efficace	Fiable et efficace
Alarme de température et humidité	Alarme en cas de température et humidité hautes et basses, internes	Alarme en cas de température et humidité hautes et basses, internes
Affichage des variations	Ecran LCD pour afficher les paramètres	Ecran LCD pour afficher les paramètres
Type d'alertes en cas de panne		SMS via le module GSM
Coût total	70000 D.A	20000 D.A

Tableau IV.6 – Comparaison avec la Brinsea Ovation EX.

La couveuse réalisée dans ce projet comporte un système de communication à distance entre l'incubateur et l'utilisateur à travers le module GSM, qui sert à nous envoyer des SMS concernant tout changement relié à cette couveuse, et c'est ce qui la diffère des autres technologies d'incubateurs. Le coût est le facteur le plus important pour tout utilisateur, c'est pour cela que la couveuse est réalisée à moindre coût pour être accessible à toute personne intéressée par ce domaine.

## IV.10 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté l'essentiel de notre travail qui consiste à la réalisation d'une couveuse à module GSM, et avec lequel différents tests ont été effectués. Les trois différentes parties de ce projet ont été développées. La conception mécanique (l'enveloppe de l'incubateur et le plateau à œufs), la conception électronique (la carte Arduino, les capteurs. . .) ainsi que la conception logicielle dédiée à l'Arduino IDE et Proteus.

# CONCLUSION GÉNÉRALE

## CONCLUSION GÉNÉRALE

De nos jours, les facteurs qualité, gestion du temps, gestion des distances et surtout la réduction des coûts rencontrent des contraintes de plus en plus sévères. Vu l'importance donnée en industrie à ces facteurs, on se trouve devant l'obligation d'améliorer les méthodes et les outils en particulier dans le domaine des télécommunications. Concevoir une couveuse à œufs à base d'une carte Arduino et autour d'un module GSM était l'objectif principal de notre projet. Nous sommes arrivés dans ce travail à acquérir des connaissances en télécommunications (système de GSM, protocole de connexion...), en informatique (langage C, programmation sur Arduino IDE...) et de dépasser les problèmes trouvés dans la simulation sous PROTEUS ainsi qu'enrichir nos compétences en électronique (choix des composants, réalisation du circuit...).

Ce projet parle d'une nouvelle idée extraordinaire dont le système d'incubation est un élément nécessaire qui peut aider à améliorer la production par une série d'innovation au niveau de la fabrication. Il permet aussi de réduire la dépendance du facteur humain et de réduire les coûts. Ce projet peut être étendue à d'autre domaine comme la gestion automatique de la température d'un bâtiment de production avicole, la distribution automatique d'eau et d'aliment, gestion des cameras de surveillance. Il peut aussi s'introduire dans le domaine de la domotique. Les autres perspectives pour la suite de ce travail est d'étendre ce système d'incubation à tout type d'œufs d'oiseaux et à une échelle industrielle.

Nous espérons que ce projet sera bénéfique à toute personne souhaitant réaliser ce genre de systèmes et qu'il pourra être achevé par d'autres étudiants dans le but d'améliorer et d'approfondir encore plus leurs connaissances surtout pour la technologie GSM.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Ernst, R.A., Hatchery and hatching -eggsanitation. Berkeley, Univ. Of California.
- [2] Manuel d'instructions de l'incubateur artificiel d'œufs : web site : [WWW.BOROTTO.COM](http://WWW.BOROTTO.COM).
- [3] Georges Asch Bernard Poussery LES CAPTEURS EN INSTRUMENTATION INDUSTRIELLE. 8 édition. DUNOD
- [4] J.Chatelain, Machines électriques, Traite d'Electricité, Dunod, 1984.
- [5] Mobile Network E- Business Technology Prof. Dr. Eduard Heindl Shirin Faghihi No.232493 : web site : <https://webuser.hs-furtwangen.de/~heindl/ebte-09ss/Mobile-network.pdf>
- [6] Dipl.- Ing. Reiner Stuhlfauth, ROHDE & SCHWARZ ; Training Centre : web site : [http://read.pudn.com/downloads161/ebook/733562/GSM/GSM\\_chap3.pdf](http://read.pudn.com/downloads161/ebook/733562/GSM/GSM_chap3.pdf)
- [7] Tanenbaum, Andrew, RÉSEAUX, Prentice Hall, 3e édition, 1996 : web site : <http://www.iro.umontreal.ca/~kropf/ift-6052/notes/gsm.pdf>
- [8] <http://tel3pedia.blogspot.com/2011/10/gsm-geographical-network-structure.html>
- [9] how to choose the right arduino board for your project ; web site :<https://maker.pro/profile/sandheep.gopinath>
- [10] ATELIER ARDUINO, Initiation à la mise en oeuvre matérielle et logicielle de l'Arduino novembre 2006
- [11] Cours d'initiation à Arduino - ASTUPS – CampusFab LECHALUPÉ Julien
- [12] <https://www.editions-eni.fr/open/mediabook.aspx?idR=bf76cb088a2a51eabb543791cea5f592>
- [13] [http://www.mon-club-elec.fr/pmwiki\\_reference\\_arduino/pmwiki.php?n=Main.MaterielMega2560](http://www.mon-club-elec.fr/pmwiki_reference_arduino/pmwiki.php?n=Main.MaterielMega2560)
- [14] <https://randomnerdtutorials.com/sim900-gsm-gprs-shield-arduino/>
- [15] Digital Circuit Laboratory - Proteus Tutorial for Digital Circuit Design

### Le logiciel Fritzing :

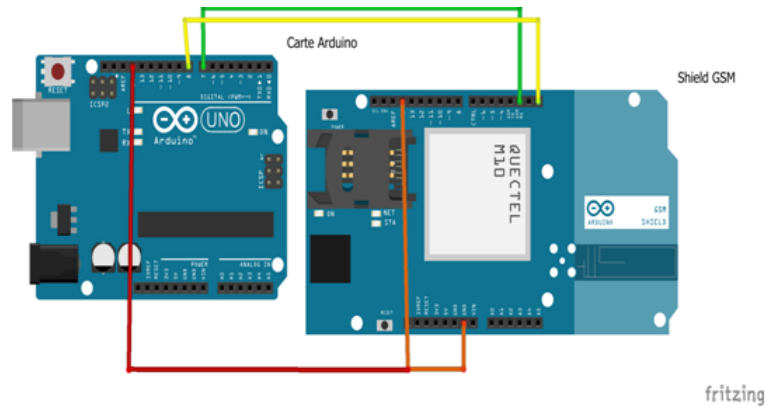
Fritzing est un logiciel libre de conception de circuit imprimé permettant de concevoir de façon entièrement graphique le circuit et d'en imprimer le typon. Avant de débiter un projet sous Fritzing, nous avons besoin de concevoir un circuit électronique réel et de nous assurer qu'il fonctionne correctement. Nous pourrions alors construire sa maquette sous Fritzing. Commençons par ouvrir Fritzing, nommer et sauvegarder notre projet.



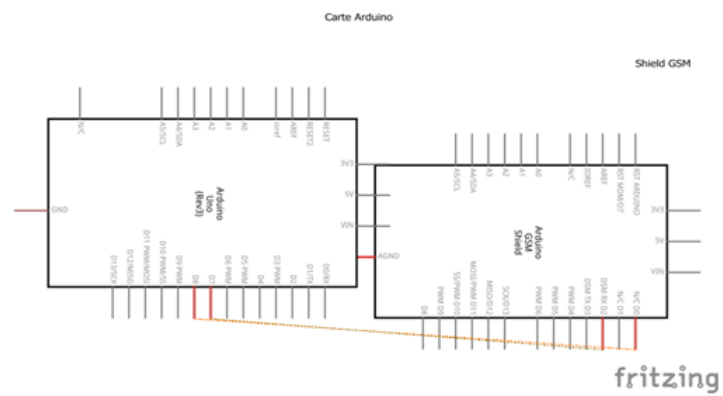
Après avoir réalisé notre circuit électronique qui est la couveuse, et après confirmation qu'elle est de bon fonctionnement ; nous avons construit son circuit, sa vue schématique et son circuit imprimé sous Fritzing. Ainsi que la construction du circuit du GSM qui est la partie essentielle de notre projet.

## 1) Le GSM

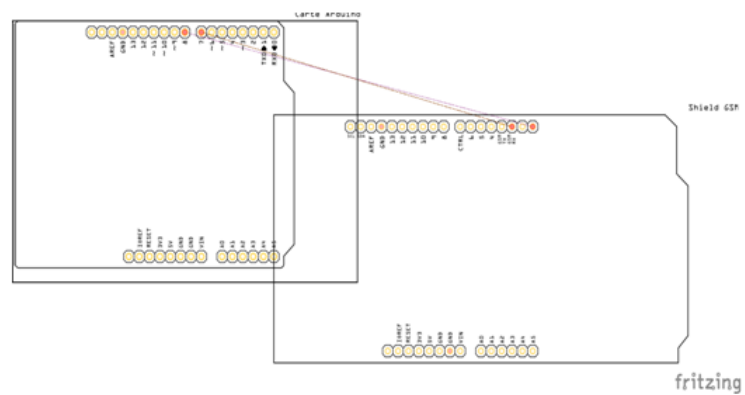
### • Schéma :



### • Vue schématique

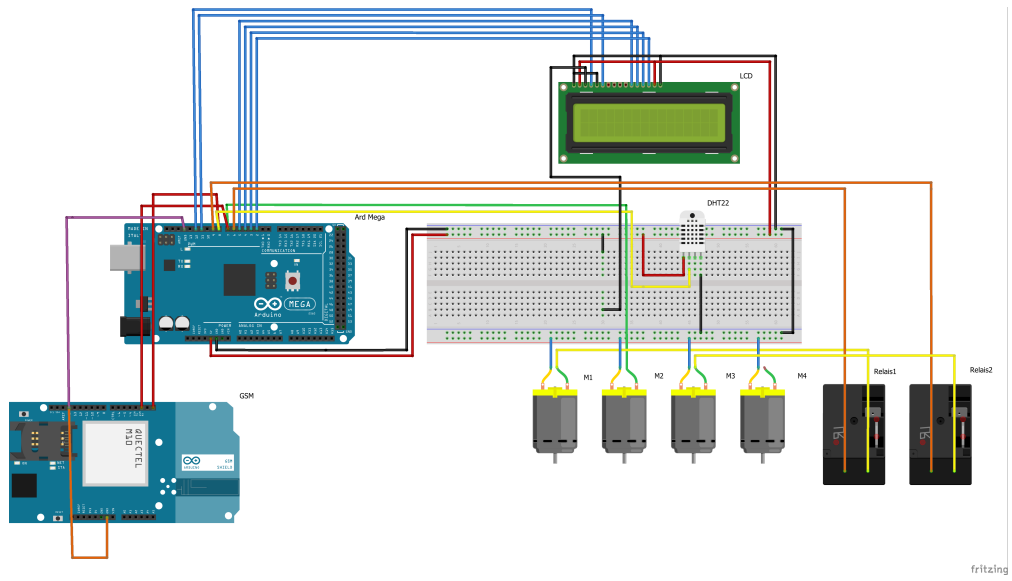


### • Circuit imprimé

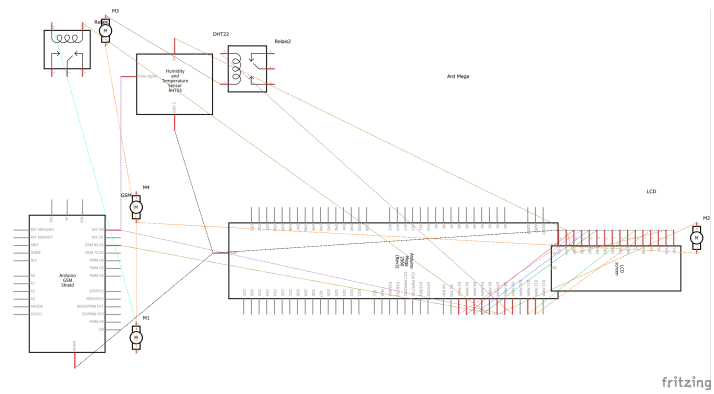


## 2) Circuit global

### • Schéma :



### • Vue schématique



### • Circuit imprimé

