

RESUME

L'Etablissement scolaire fait face à une perturbation du timing due à l'imperfection de la personne humaine sensée d'actionner la clochette et l'instabilité du courant électrique devient une difficulté qui perturbe, non seulement la sonorisation mais aussi d'autres activités.

L'automatisation de la commande de la clochette et le dimensionnement d'une source autonome photovoltaïque pour son alimentation est l'objectif principal pour une meilleure gestion du timing au sein du collège.

L'idée de concevoir un système électronique pour la commande automatique de la clochette selon le rythme dicté par l'horaire de l'établissement est dans un premier temps une solution au problème dû à l'imperfection humaine et le dimensionnement d'une source autonome photovoltaïque pour l'alimentation de la clochette une solution au second problème cadrant avec l'instabilité du courant de la SNEL.

Le système électronique est piloté par la carte Arduino UNO, secondé du module RTC DS1302 pour l'apport du signal d'horloge et calendrier ; de l'afficheur LCD pour l'affichage de la date, l'heure et l'état de la clochette et du module relais qui est le préactionneur de la clochette.

La clochette pourra fonctionner sans intervention humaine et dans l'indépendance énergétique une fois connectée au système de sa commande en automatique et alimentée par la source autonome photovoltaïque.

EPIGRAPHE

« NOUS NE POUVONS PROCEDER POUR
NOUS INSTRUIRE, QUE DU CONNU A
L'INCONNU »

ANTOINE LAURENT DE LAVOISIER

TABLE DES MATIERES

<u>RESUME</u>	I
<u>EPIGRAPHHE</u>	II
<u>LISTE DES FIGURES</u>	VII
<u>LISTE DES TABLEAUX</u>	IX
<u>LISTE D'ABREVIATIONS</u>	X
<u>DEDICACE</u>	XI
<u>REMERCIEMENT</u>	XII
<u>INTRODUCTION GENERALE</u>	1
<u>CHAPITRE I. GENERALITES SUR LES SYSTEMES AUTOMATISES</u>	3
<u>I.1. Introduction</u>	3
<u>I.2. Définition et buts d'un système automatisé</u>	3
<u>I.3. Classification des systèmes automatisés</u>	4
<u>I.3.1. Différentes Natures d'informations</u>	4
<u>I.3.1.1. Information (signal) analogique</u>	4
<u>I.3.1.2. Information (signal) discrète.</u>	5
<u>I.3.2. Logique de traitement des informations</u>	6
<u>I.3.2.1. Variables logiques - Systèmes automatisés à logique combinatoire</u>	6
<u>I.3.2.2. Variables logiques - Systèmes automatisés à logique séquentielle</u>	6
<u>I.3.2.3. Variables analogiques ou numériques - Systèmes automatisés continus</u>	7
<u>I.3.2.4. Systèmes asservis</u>	7
<u>I.3.2.4.1. Systèmes à chaîne directe</u>	7
<u>I.3.2.4.2. Systèmes à Retour d'information ou à boucle fermée</u>	8
<u>I.4. Capteur</u>	9
<u>I.5. Conclusion partielle</u>	10
<u>CHAPITRE II. SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE</u>	11
<u>II.1. Introduction</u>	11
<u>II.2. Energie Solaire</u>	11
<u>II.2.1. Faisceau lumineux (lumière)</u>	11
<u>II.2.2. Rayonnement solaire</u>	11
<u>II.3. Types des systèmes photovoltaïques</u>	13

<u>II.3.1. Système autonome</u>	13
<u>II.3.2. Système hybride</u>	13
<u>II.3.3. Système raccordée au réseau</u>	14
<u>II.4. Eléments d'un système solaire photovoltaïque</u>	15
<u>II.4.1. Générateur photovoltaïque</u>	15
<u>II.4.1.1. Energie solaire photovoltaïque</u>	15
<u>II.4.1.2. Cellule solaire photovoltaïque</u>	15
<u>II.4.1.3. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque</u>	16
<u>II.4.1.4. Rendement d'une cellule photovoltaïque</u>	17
<u>II.4.1.5. Types des cellules photovoltaïques</u>	17
<u>II.4.1.6. Avantages et Inconvénients de chaque cellule</u>	19
<u>II.4.1.7. Association des cellules photovoltaïques</u>	19
<u>II.4.2. Régulateur</u>	20
<u>II.4.2.1. Types des régulateurs</u>	20
<u>II.4.3. Onduleur</u>	22
<u>II.4.4. Batterie</u>	22
<u>II.4.4.1. Principe de fonctionnement d'une Batterie</u>	23
<u>II.4.4.2. Couplage des batteries</u>	23
<u>II.5. Conclusion partielle</u>	25
<u>CHAPITRE III. PRESENTATION DU COLLEGE, MATERIELS ET METHODES</u>	26
<u>III.1. Introduction</u>	26
<u>III.2. Présentation du collège UFUNDI</u>	26
<u>III.2.1. Présentation, Historique, Objectif et Vision du Collège</u>	26
<u>III.2.2. Localisation du Collège</u>	26
<u>III.2.3. Présentation du système de sonorisation actuel</u>	27
<u>III.2.4. Difficultés</u>	27
<u>III.3. MATERIELS</u>	27
<u>III.3.1. Carte Arduino UNO</u>	27
<u>III.3.2. Modules</u>	30
<u>III.3.2.1. Module RTC DS1302</u>	30
<u>III.3.2.2. Module RELAIS</u>	31
<u>III.3.2.3. Afficheur à cristaux liquides</u>	32

<u>III.3.3. Logiciel Arduino (IDE)</u>	34
<u>III.4. METHODES</u>	35
<u>III.4.1. Méthode d'observation Directe</u>	35
<u>III.4.2. Méthode d'interview</u>	36
<u>III.4.3. Méthode de documentation</u>	36
<u>III.5. Conclusion partielle</u>	37
CHAPITRE IV. REALISATION DU SYSTEME ET DIMENSIONNEMENT DE LA SOURCE	38
<u>IV.1. Introduction</u>	38
IV.2. REALISATION DU SYSTEME D'AUTOMATISATION DE LA CLOCHETTE	38
<u>IV.2.1. Objectif de l'automatisation de la Clochette</u>	38
<u>IV.2.2. Rôles des matériels</u>	38
<u>IV.2.3. Programmation</u>	41
<u>IV.2.4. Fonctionnement du système</u>	44
IV.3. DIMENSIONNEMENT DE LA SOURCE AUTONOME PHOTOVOLTAIQUE	45
<u>IV.3.1. Etapes du dimensionnement</u>	45
<u>IV.3.1.1. Evaluation du besoin en électricité</u>	45
<u>IV.3.1.2. Calcul de la puissance crête P_c</u>	46
<u>IV.3.1.2.1. Tension de fonctionnement du système</u>	47
<u>IV.3.1.3. Choix du panneau</u>	47
<u>IV.3.1.4. Dimensionnement de la batterie</u>	47
<u>IV.3.1.5. Dimensionnement de l'onduleur et du régulateur</u>	48
<u>IV.3.1.5.1. Choix de l'onduleur</u>	48
<u>IV.3.1.5.2. Choix du régulateur</u>	49
<u>IV.3.1.6. Dimensionnement des câbles</u>	49
<u>IV.3.1.6.1. Calcul de la section des conducteurs entre le panneau et le régulateur</u>	51
<u>IV.3.1.6.2. Calcul de la section des conducteurs entre le régulateur et la batterie</u>	51
<u>IV.3.1.6.3. Calcul de la section des conducteurs entre la batterie et l'onduleur</u>	51
<u>IV.4. Devis</u>	52
<u>IV.5. Conclusion partielle</u>	53
CONCLUSION GENERALE	54
BIBLIOGRAPHIE	55
ANNEXE	56

LISTE DES FIGURES

<u>Figure 1. Capsuleuse Ravoux</u>	4
<u>Figure 2. Information analogique</u>	5
<u>Figure 3. Information binaire</u>	5
<u>Figure 4. Information numérique</u>	5
<u>Figure 5. Afficheur 7 segments</u>	6
<u>Figure 6. Commande d'un système en chaîne directe</u>	7
<u>Figure 7. Commande de la température d'une salle</u>	7
<u>Figure 8. Commande d'un système à chaîne directe avec perturbation</u>	8
<u>Figure 9. Système boucle fermée</u>	8
<u>Figure 10. Régulation de température d'une salle</u>	9
<u>Figure 11. Schéma fonctionnel d'un capteur</u>	9
<u>Figure 12. Le rayonnement solaire</u>	12
<u>Figure 13. Système autonome</u>	13
<u>Figure 14. Système hybride</u>	14
<u>Figure 15. Système PV raccordée au réseau</u>	15
<u>Figure 16. Principe d'une cellule photovoltaïque</u>	16
<u>Figure 17. Cellules monocristallines</u>	17
<u>Figure 18. Cellules Polycristallines</u>	18
<u>Figure 19. Cellules Photovoltaïques amorphes</u>	18
<u>Figure 20. Groupement des Modules PV en Série</u>	20
<u>Figure 21. Groupement des Modules PV en parallèle</u>	20
<u>Figure 22. Le régulateur MPPT</u>	21
<u>Figure 23. Le régulateur PWM</u>	21
<u>Figure 24. Symbole d'un Onduleur</u>	22
<u>Figure 25. Accumulateur Electrochimique(Batterie)</u>	22
<u>Figure 26. Principe de fonctionnement d'une batterie</u>	23
<u>Figure 27. Couplage Série des accumulateurs</u>	24
<u>Figure 28. Couplage parallèle des accumulateurs</u>	24
<u>Figure 29. Localisation du Collège Ufundi (8FP7+5V4, Lubumbashi)</u>	26

<u>Figure 30. La carte Arduino UNO</u>	28
<u>Figure 31. Le module RTC DS1302</u>	31
<u>Figure 32. Le module RELAIS</u>	31
<u>Figure 33. Afficheur LCD 16*2</u>	32
<u>Figure 34. Le module I2C</u>	33
<u>Figure 35. Interface du logiciel IDE</u>	34
<u>Figure 36. Les boutons d'action</u>	35
<u>Figure 37. Connexion du module Ds1302 sur la carte Arduino UNO</u>	38
<u>Figure 38. Connexion du module Relais sur la carte Arduino UNO</u>	39
<u>Figure 39. Connexion de l'Afficheur LCD sur la carte Arduino UNO</u>	39
<u>Figure 40. Schéma synoptique du système</u>	40
<u>Figure 41. Circuit d'automatisation de la Clochette</u>	41
<u>Figure 42. Organigramme de déroulement d'un programme sur l'IDE Arduino</u>	42
<u>Figure 43. Organigramme de déroulement du programme</u>	44
<u>Figure 44. Disposition des appareils du système PV</u>	50

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Broches d'un afficheur LCD.....	33
Tableau 2. Horaire du COLLEGE UFUNDI (du Lundi au Vendredi).....	42
Tableau 3. Besoin Energétique	46
Tableau 3. Besoin Energétique.....	47
Tableau 3. Besoin Energétique.....	52

LISTE D'ABREVIATIONS

BCD : Binary Code Decimal

EEPROM: Electrical Erasable Programmable Read-Only Memory

EDI : Espace de Développement Intégré

PWM : Pulse Width Modulation (Modulation de largeur d'impulsion)

MPPT: Maximum Power Point Tracking

RTC: Real Time Clock

SCL: Serial clock

SDA: Serial data

RAM: Random Access Memory

ROM: **Read** Only Memory

SRAM: Static Random Access Memory (Memoire vive statique)

TOR : Tout Ou Rien

DC : Direct current

AC : Alternating current

PV : Photovoltaïque

LCD : Liquid Crystal Display (Ecran à cristaux liquids)

DEDICACE

A DIEU tout puissant, créateur du ciel et de la terre, lui qui nous a donné la force et le courage de réaliser ce travail.

A vous très chers parents KASHIRAMANGO SIMBANE Paulin et MWAVITA RAMAZANI Joséphine pour tous ce que vous ne cessez de manifester comme effort pour mon élévation.

A vous mes frère BASIMIKE KASHIRAMANGO Clément et ZAGABE KASHIRAMANGO Lebon pour toute forme de contribution que vous ne cessez de manifester pour mon épanouissement.

A vous mes sœurs COSTANCE KASHIRAMANGO Clémence et FAIDA KASHIRAMANGO Melissa pour vos prières à ma faveur.

A vous chers frères et amis BISIMWA CIRUZA Guidi et KAYOKA Oscar pour votre incommensurable soutien.

A vous mes compagnons de lutte MIBARAKA BALIBUNO Destin et IRAGI LUGERE Yves.

A toi ma très chère amie MUSIMWA CUBAKA Rachel.

Je vous dédie ce travail.

REMERCIEMENT

Nous remercions premièrement le Créateur de nous avoir donné le courage, la santé et la volonté pour aller au bout de ce travail.

Nous remercions nos très chers parents KASHIRAMANGO SIMBANE Paulin et MWAVITA RAMAZANI Joséphine pour les sacrifices qu'ils ont consentis pour nous faire arriver au stade actuel. Que toute la famille trouve un sentiment de profonde reconnaissance à travers ce travail.

Nous remercions le Professeur KAYEMBE WA KAYEMBE et le Ms GRACE TWITE d'avoir acceptés de nous diriger malgré leurs multiples tâches, sans oublier le corps académique et scientifique de l'Ecole Supérieure des Ingénieurs, plus particulièrement du département de génie électrique de nous avoir formés durant tout notre cursus universitaire.

Nous ne pouvons oublier de remercier la famille LUBELE pour son soutien à notre faveur.

Aux frères et amis BISIMWA CIRUZA Guidi, KAYOKA Oscar, MIBARAKA BALIBUNO Destin, IRAGI LUGERERO Yves et MUSIMWA CUBAKA Rachel toujours présents et fidèles, merci pour la franche collaboration.

Aux membres du jury, pour l'honneur que vous nous faites en acceptant d'examiner et d'évaluer notre travail,

A toute personne qui n'a pas retrouvé son nom, mais qui de loin ou de près a eu à contribuer à l'avancement de ce travail,

Nous vous disons grand merci.

INTRODUCTION GENERALE

Depuis la seconde moitié du 18^e siècle, l'innovation technologique apporte plusieurs changements dans plusieurs domaines de la vie de l'homme, tels que l'environnement, l'agriculture, la santé, le transport et même la gestion des horaires au sein des établissements scolaires.

Le collège UFUNDI est une école privée agréée contribuant à l'éducation des élèves dans la province du Haut Katanga.

Chaque journée ouverte au sein du collège est planifiée et une horaire régis différentes étapes de la journée dont le début des activités (mot du matin), les heures des cours programmés pour la journée, la pause et aussi la fin des activités. Chaque étape de la journée a une heure de début et une heure de fin.

Le signal de chaque étape est d'une importance capitale pour avertir les concernants, notamment les élèves, enseignants, ...

Bien avant, un sifflet permettait de réaliser cette fin malgré la faible intensité du son qui atteignait difficilement toutes les salles. Le sifflet est aujourd'hui remplacé par une clochette électrique à commande manuelle via un Bouton poussoir.

L'erreur étant humaine, l'imprudence de la personne devant actionner la clochette devient dans un premier temps un problème conduisant souvent au non-respect du timing dicté par l'horaire de l'établissement et les coupures intempestives du courant électrique reconduisent à l'ancienne et non-performante méthode de sonorisation par sifflet.

L'automatisation est devenue une priorité absolue dans la vie actuelle et le débat sur ce phénomène est toujours sujet à controverse, vu que l'homme ne cesse de vouloir réduire ses tâches. L'indépendance énergétique est aussi devenue le choix de tous.

Notre travail consiste à concevoir et réaliser un système électronique pour l'automatisation de la commande de la clochette selon les instructions de l'horaire et dimensionner une source autonome photovoltaïque pour l'alimentation de la clochette ainsi que le système qui l'automatise.

A cet effet, le présent mémoire est reparti en quatre chapitres décrivant les volets principaux.

- Le premier chapitre sera dédié aux généralités sur les systèmes automatisés ayant pour but d'augmenter les performances, la précision et diminuer l'utilisation des efforts physiques de l'homme.
- Le deuxième chapitre sera consacré aux généralités sur les systèmes photovoltaïques, de la lumière solaire au courant électrique.
- Le troisième chapitre sera objet de la présentation du milieu d'étude dont la présentation du Collège UFUNDI, sa situation actuelle, son historique et les difficultés vécues à son sein ; la présentation des matériels utilisés pour la réalisation du système et en fin les méthodes appliquées.
- Le quatrième chapitre portera sur la réalisation du système notamment la réalisation du circuit suivie de la programmation ; le dimensionnement de la source autonome photovoltaïque et l'évaluation du budget.

CHAPITRE I. GENERALITES SUR LES SYSTEMES AUTOMATISES

I.1. Introduction

Depuis la nuit des temps, l'homme est en quête de réduire ses tâches. Cela le pousse à une réflexion qui rejoint la notion de besoin et parait bien rapprochée à l'ingénierie, qui est à la base des évolutions technologiques en général et de l'automatisation en particulier.

L'homme a commencé par penser à la conception et à la réalisation lorsqu'il a fallu produire en grand nombre. L'automation des tâches est alors apparue pour remplacer l'homme dans des actions pénibles, délicates et répétitives.

Le développement des connaissances et des outils mathématiques a par la suite conduit à un formidable essor des systèmes automatisés, et des systèmes asservis, et voici aujourd'hui des multiples évolutions dans le domaine de l'automatisation.

Pour cela, dans ce premier chapitre, nous allons faire un aperçu général sur les systèmes automatisés, dont la définition, le but, la classification et un bref aperçu sur le capteur.

I.2. Définition et buts d'un système automatisé

Système : Toute structure dont la fonction globale est de conférer une valeur ajoutée à un ensemble de matières d'œuvre, dans un contexte donné.

Un système automatisé ou automatique est un système réalisant des opérations et pour lequel l'homme n'intervient que dans la programmation du système et dans son réglage.

Les buts d'un système
réaliser des tâches
dangereuses pour
des tâches pénibles ou
de gagner en efficacité

La figure ci-après
capsuleuse Ravoux qui
système automatisé
répétitive et effectuée à



automatisé sont de
complexes ou
l'homme, d'effectuer
répétitives ou encore
et en précision.

représente une
est un exemple d'un
dont la tâche est
Cadence élevée.

Figure 1. Capsuleuse Ravoux [1]

I.3. Classification des systèmes automatisés

A chaque chaîne fonctionnelle d'un système correspond une chaîne d'information et une chaîne d'énergie. L'automatique s'intéresse à la chaîne d'information. Les systèmes automatisés vont alors être classés en fonction de la nature de l'information de commande ou de mesure, et également en fonction de la logique de traitement de cette information [1][2].

I.3.1. Différentes Natures d'informations

On distingue deux types d'informations : Analogique et Discrète (logique).

I.3.1.1. Information (signal) analogique

Elle est une information qui peut prendre toutes les valeurs possibles dans un intervalle donné. Les grandeurs physiques, comme la température, la vitesse, la pression, la tension, ... sont des informations analogiques.

La figure ci-après montre la courbe représentative d'une information analogique [2].

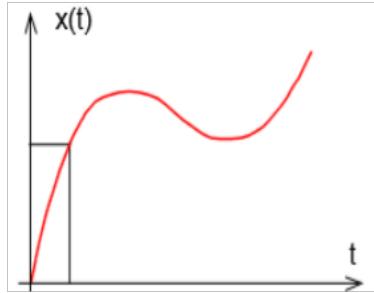


Figure 2. Information analogique [1]

I.3.1.2. Information (signal) discrète.

Elle est constituée d'un ensemble fini de valeurs. On distingue :

- Une Information binaire : 0 ou 1, vrai/faux, noir/blanc, Tout ou Rien (TOR).

La figure ci-dessous montre la courbe représentative d'une information binaire (TOR).

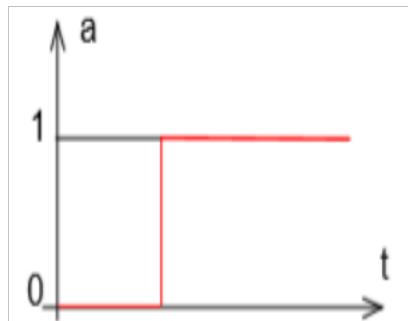


Figure 3. Information binaire [1]

- Une Information numérique : sous la forme d'un mot binaire, elle est constituée de plusieurs variables binaires. Une information numérique est généralement issue d'un traitement d'une information analogique (échantillonnage, codage, ...) [2].

La figure ci-dessous montre la courbe représentative d'une information numérique.

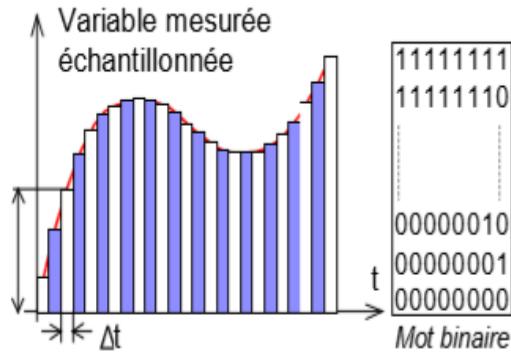


Figure 4. Information numérique [1]

I.3.2. Logique de traitement des informations

I.3.2.1. Variables logiques - Systèmes automatisés à logique combinatoire

Pour un tel système, les sorties dépendent exclusivement d'une combinaison des entrées, sans prendre en compte "l'histoire" du système. A un état d'entrées correspond un et un seul état en sortie. Aucune mémoire des états précédents des entrées et des sorties n'est conservée. L'information logique est traitée de manière instantanée. Les grandeurs y sont manipulées sous formes d'états binaires, ce qui justifie l'utilisation de l'algèbre de BOOLE, et des notions liées au codage de l'information [2].

Exemple : Afficheur sept segments

L'information, chiffre compris entre 0 et 9, est fournie par un nombre binaire sur 4 bits, soit pour notre afficheur quatre entrées (E_0, E_1, E_2 et E_3) et en sortie les segments seront allumés ou éteints. Pour chaque combinaison des quatre entrées, doit correspondre un et un seul état des sorties, correspondant à l'affichage correct de l'information.

La figure ci-après représente le système d'afficheur sept segments qui est un système automatisé à logique combinatoire.

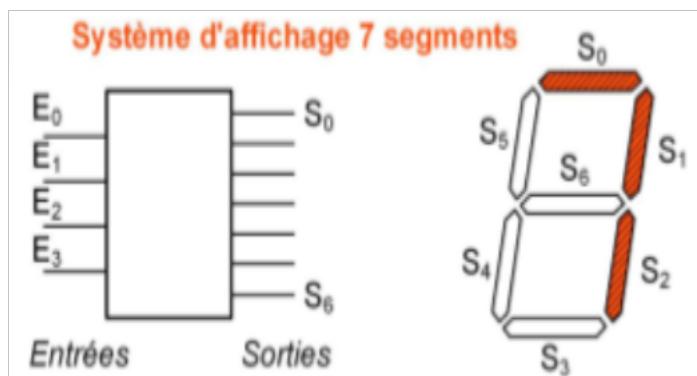


Figure 5. Afficheur 7 segments [1]

I.3.2.2. Variables logiques - Systèmes automatisés à logique séquentielle

Qualifié de système à mémoire généralisée, les sorties du système sont élaborées à partir d'un ensemble de signaux logiques, mais dépendent aussi de la chronologie des événements logiques. "L'histoire" du système est prise en compte. En effet, les états précédents des entrées et des sorties sont mémorisés, et influent sur l'évolution du système. A une combinaison d'entrées, peuvent correspondre plusieurs combinaisons des sorties [2].

Exemple : Ligne de production industrielle de chocolats

Le système est une ligne de production industrielle de sujets creux en chocolat (petits et grands sujets ; par exemple Père Noël, lapin, œufs, ...). Le processus d'injection (réalisé par une doseuse) fait l'objet d'une commande séquentielle.

I.3.2.3. Variables analogiques ou numériques - Systèmes automatisés continus

Les signaux traités sont analogiques ou numériques, et leurs valeurs ne peuvent être prédéterminées. Les sorties (asservies ou non) sont des grandeurs continues pour un processus donné [2].

I.3.2.4. Systèmes asservis

Pour ce qui est de ces systèmes, une mesure de la sortie est réalisée en permanence et sa valeur comparée à l'entrée puis corrigée. Ces systèmes permettent d'obtenir toutes les caractéristiques nécessaires aujourd'hui dans beaucoup de systèmes pluri-techniques [Rapidité, Précision, Stabilité].

Les asservissements sont classés en deux familles : les systèmes à chaîne directe et les systèmes à retour d'information [2].

I.3.2.4.1. Systèmes à chaîne directe

Un système bien conçu et non perturbé peut donner entière satisfaction. La sortie obtenue est

conforme à la sortie souhaitée, à partir d'une consigne donnée. La figure ci-dessous schématise la Commande d'un système en chaîne directe.

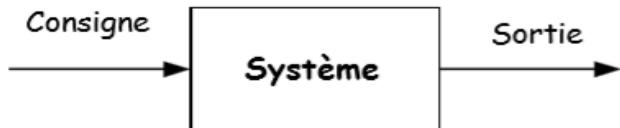


Figure 6. Commande d'un système en chaîne directe

Exemple : La commande de la température d'une salle schématisée par la figure 7

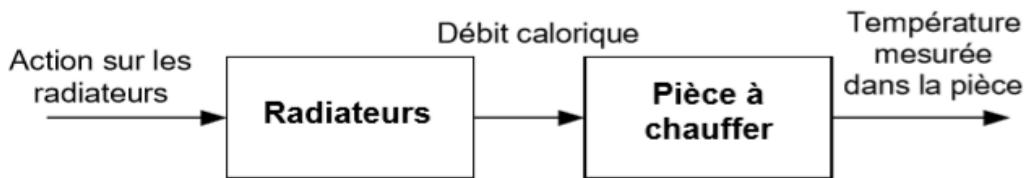


Figure 7. Commande de la température d'une salle

Cet exemple est dit d'un système à chaîne directe. Il n'y a pas de retour d'information de la grandeur de sortie.

Cependant lorsqu'une perturbation extérieure intervient sur le système, la valeur obtenue en sortie devient différente de la valeur souhaitée. C'est le défaut même de la commande à chaîne directe.

La figure ci-après schématise la Commande d'un système en chaîne directe perturbée

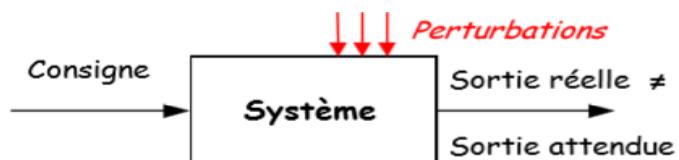


Figure 8. Commande d'un système à chaîne directe avec perturbation

Exemple :

Commande de la température dans un four : s'il y a échange avec l'extérieur, la température interne ne sera pas celle désirée.

I.3.2.4.2. Systèmes à Retour d'information ou à boucle fermée

Afin d'automatiser le système (supprimer l'action humaine), on introduit une boucle de retour (ou rétroaction). Le système est alors appelé système à retour ou système bouclé. La boucle de retour est constituée de capteurs et permet d'évaluer la situation à l'instant t et transmet l'état de la sortie à la partie commande. Cet état de la sortie est analysé et comparé à la consigne. La partie commande dispose alors des éléments pour élaborer un signal qui permet de commander la partie opérative afin de corriger l'écart observé. La figure ci-après schématise la Commande d'un système à boucle fermée

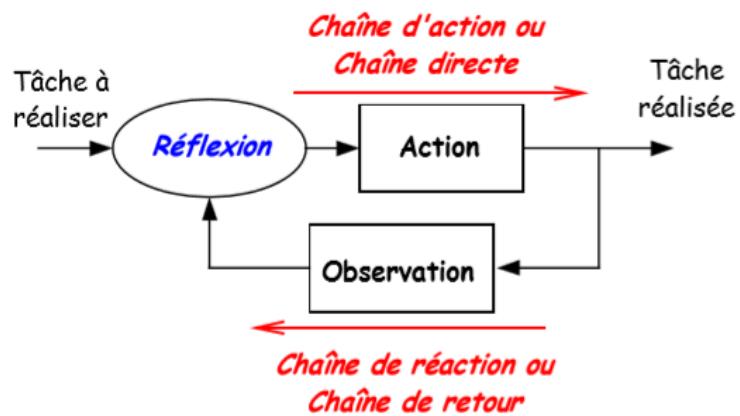


Figure 9. Système boucle fermée

Exemple : Régulation de température d'une salle schématisée par la figure 10

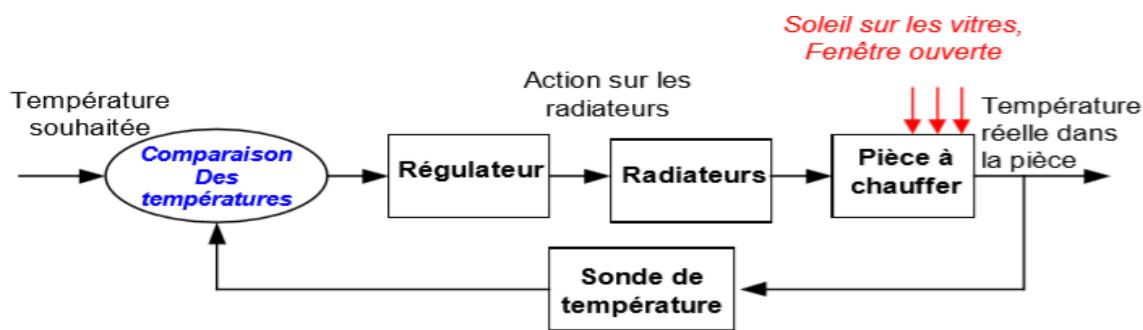


Figure 10. Régulation de température d'une salle

La consigne est comparée à la valeur mesurée par la sonde de température (thermocouple). Le régulateur déclenche alors une action correctrice, dont le sens et l'intensité dépendent de l'écart observé entre la valeur de température souhaitée et la température mesurée dans la

pièce.

I.4. Capteur

Un capteur est un instrument d'automatisme dont le rôle est de capter avec ou sans contact une information sous forme de grandeur physique sur la partie opérative et la retransmettre sous forme électrique à la partie commande.

Les capteurs sont classés selon la nature du signal de sortie. On a alors:

- Les capteurs tout ou rien (TOR) : le signal de sortie est soit 0, soit 1 ;
- Les capteurs analogiques : la sortie peut prendre une infinité des valeurs ;
- Les capteurs numériques : le signal de sortie est un mot binaire.

La figure ci-dessous représente le schéma fonctionnel d'un capteur.

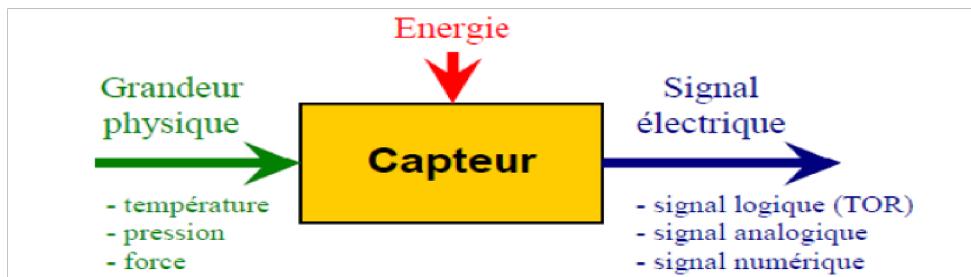


Figure 11. Schéma fonctionnel d'un capteur [3]

I.5. Conclusion partielle

Dans ce chapitre on a fait une généralité sur les Systèmes automatisés ; où l'on a défini un système automatisé, on a parlé de ses buts, ses classifications, et un bref aperçu sur le capteur. L'automatisation continue d'être une arme de valeur dans la quête de diminution des tâches de l'homme et la rapidité de production.

CHAPITRE II. SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE

II.1. Introduction

Tous les jours, le soleil fournit de l'énergie à la Terre. Cette énergie gratuite est utilisée par le monde grâce à un système ou technologie appelée photovoltaïque, qui transforme l'énergie solaire en électricité.

Pour cela, dans ce chapitre nous parlerons sur le système photovoltaïque, en commençant par l'énergie solaire et la lumière, puis les types des systèmes photovoltaïques, les composants d'un système photovoltaïque et le rôle de chaque composant.

II.2. Energie Solaire

Elle est la fraction de l'énergie électromagnétique qui provient du soleil, traverse l'atmosphère qui en absorbe une partie pour enfin atteindre la surface de la terre.

II.2.1. Faisceau lumineux (lumière)

Un faisceau lumineux est un déplacement des photons (petites particules de la lumière), comme l'a signalé Einstein en 1905, pour expliquer l'effet photovoltaïque.

Depuis l'équivalence onde-corpuscule mise en évidence par Louis de Broglie 1924, la lumière est également décrite comme une onde électromagnétique pour ces oscillations qui d'énergie directement liée à sa longueur d'onde [9].

II.2.2. Rayonnement solaire

Le soleil est un réacteur à fusion thermonucléaire qui fonctionne depuis 5 milliards d'années. Par un processus de transformation d'hydrogène en hélium, il émet ainsi d'énormes quantités d'énergie dans l'espace (sa puissance est estimée à 63 500 kW/m²). Ses radiations s'échappent dans toutes les directions et voyagent à travers l'espace à la vitesse constante C = 300000 km/s dont elles prennent 8 minutes pour atteindre la Terre. Après avoir parcouru une distance de 150 millions de kilomètres environ, l'irradiation solaire arrive à l'extérieur de l'atmosphère de la Terre avec une puissance d'environ 1,4 kW/m² (la constante solaire) [11].

Une portion de ce rayonnement peut être utilisée pour produire directement de l'électricité (l'énergie solaire photovoltaïque). Ce mode de production ne nécessite pas nécessairement de réseau de distribution. On peut donc produire et consommer au même endroit.

Il est nécessaire de connaître le spectre du rayonnement solaire reçu sur sol, afin de quantifier l'énergie développée par le générateur photovoltaïque dans une application donnée. Quatre types de rayonnements sont répertoriés :

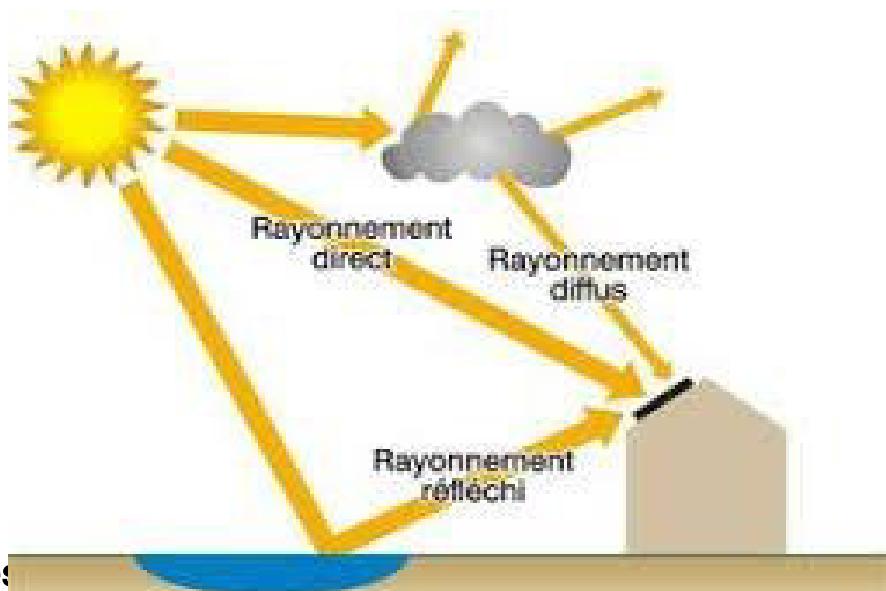
- Le Rayonnement direct : il est ce flux solaire qui provient directement du soleil sans avoir été dispersé par l'atmosphère
- Le Rayonnement diffus : il est cette portion du rayonnement solaire qui subit plusieurs

dispersions dans l'atmosphère avant d'atteindre la destination.

- Le rayonnement réfléchi : il est ce rayonnement qui est réfléchi par la surface de la terre lors qu'elle est réfléchissante.
- Le rayonnement global : Il est la somme du rayonnement direct, diffus et réfléchi.

L'irradiation ou éclairement est l'intensité du rayonnement solaire reçu sur un plan quelconque à un moment donné. Il s'exprime en w/m^2 . La valeur du rayonnement reçu par la surface du module photovoltaïque varie selon la position de ce dernier.

Le rayonnement solaire atteint son intensité maximale lorsque le plan du module photovoltaïque est perpendiculaire aux rayons. La Figure 12 illustre l'effet de l'inclinaison des modules photovoltaïque sur l'intensité de l'éclairement reçu sur leur surface, du lever au coucher du soleil.



II.3. Types des

II.3.1. Système autonome

Les systèmes autonomes sont complètement indépendants d'autres sources d'énergie. Ils servent habituellement à alimenter les maisons ou les camps dans les régions éloignées ainsi qu'à des applications comme la surveillance à distance et le pompage de l'eau. Dans la majorité des cas, un système autonome exigera des batteries d'accumulateurs pour stocker l'énergie [7].

De tels systèmes sont particulièrement utiles et rentables lorsque l'accès à un endroit est difficile ou coûteux ou lorsque les besoins en entretien doivent être réduits au minimum. La figure ci-dessous illustre un système autonome.

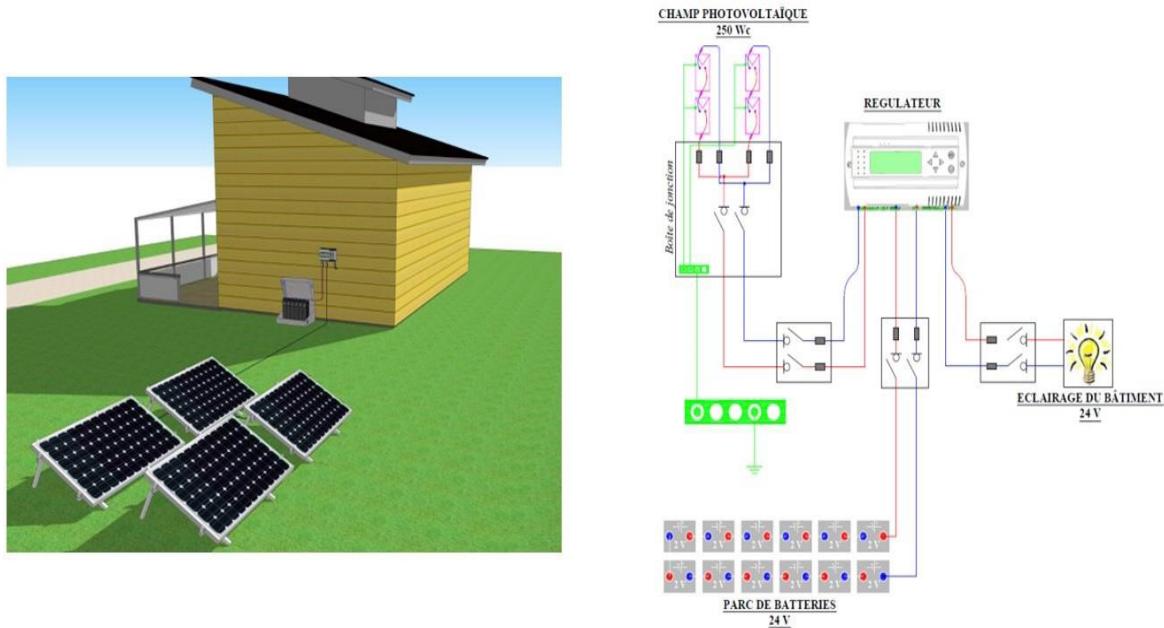


Figure 13. Système autonome [6]

II.3.2. Système hybride

Les systèmes hybrides reçoivent une partie de leur énergie d'une ou plusieurs sources supplémentaires, qui sont également indépendants des réseaux de distribution d'électricité. En pratique le générateur photovoltaïque est combiné à une éolienne ou à un groupe électrogène à combustible ou aux deux à la fois avec des accumulateurs de stockage de l'énergie.

Un tel système s'avère un bon choix pour les applications qui nécessitent une alimentation continue d'une puissance assez élevée.

La figure ci-dessous illustre un système hybride.

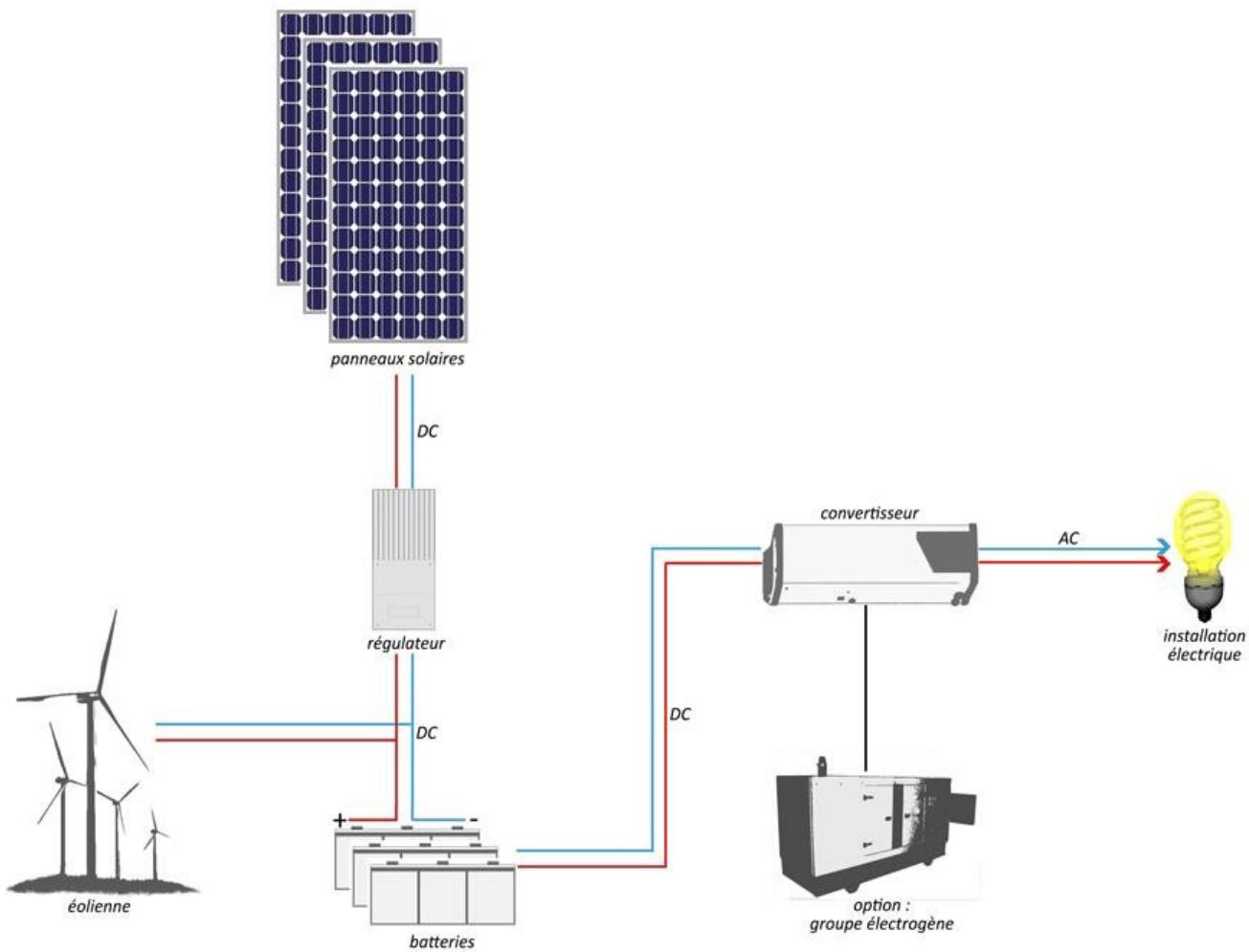


Figure 14. Système hybride [6]

II.3.3. Système raccordé au réseau

Les systèmes raccordés au réseau permettent de réduire la consommation d'électricité provenant du service public et, dans certains cas, de lui renvoyer l'énergie excédentaire. Dans certains cas, le service public pourrait vous créditer l'énergie retornée au réseau.

Étant donné que l'énergie est normalement emmagasinée dans le réseau même, les accumulateurs ne sont pas nécessaires à moins que vous ne vouliez une forme autonome d'énergie pendant les pannes d'électricité.

Ces systèmes sont utilisés dans les immeubles, les domiciles déjà reliés au réseau électrique.

La figure ci-dessous illustre un système raccordé au réseau.

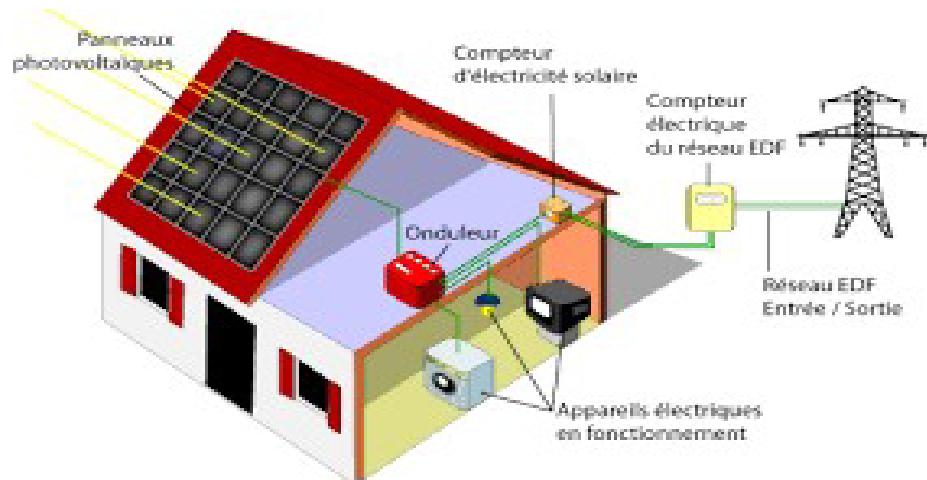


Figure 15. Système PV raccordée au réseau [6]

II.4. Eléments d'un système solaire photovoltaïque

II.4.1. Générateur photovoltaïque

II.4.1.1. Energie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque utilise le soleil comme une source de lumière. Cette énergie peut être captée et transformée en électricité grâce à des panneaux solaires installés sur les façades ou les toits des bâtiments. Cette transformation est appelée « effet photovoltaïque ». Elle a été découverte en 1839 par Antoine-César Becquerel [8].

Elle consiste à produire un courant lorsque la surface des panneaux est exposée à la lumière. Le mot « Photovoltaïque » est la combinaison de deux mots : « photo », mot d'origine grecque qui signifie lumière et « voltaïque », mot dérivé du physicien italien Alessandro Volta, qui vient de « volt » et qui représente l'unité utilisée pour mesurer le potentiel électrique. L'élément le plus important d'un système photovoltaïque est la cellule, élément de base de l'unité qui collecte la lumière du soleil.

II.4.1.2. Cellule solaire photovoltaïque

Une cellule solaire photovoltaïque est l'élément fondamental de la conversion photovoltaïque. En effet, cette cellule qui est exposée à la lumière (photons), transforme directement l'énergie lumineuse en énergie électrique grâce à l'effet photovoltaïque. La tension obtenue est fonction

de la lumière incidente.

II.4.1.3. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Le fonctionnement de la cellule photovoltaïque est fondé sur les propriétés de semi-conducteurs qui, percutés par les photons, mettent en mouvement un flux d'électrons. Les photons sont des particules élémentaires qui transportent l'énergie solaire à 300 000 km/s et qu'Albert Einstein appelait dans les années 1920 les « grains de lumière ». Lorsqu'ils frappent un élément semi-conducteur comme le silicium, ils arrachent des électrons à ses atomes. Ces électrons se mettent en mouvement, de façon désordonnée, à la recherche d'autres « trous » où se repositionner [8].

Mais pour qu'il y ait un courant électrique, il faut que ces mouvements d'électrons aillent tous dans le même sens. Pour les y aider, on va associer deux types de silicium. La face exposée au soleil est « dopée » avec des atomes de phosphore qui comportent plus d'électrons que le silicium, l'autre face est dopée avec des atomes de bore qui comportent moins d'électrons. Cette double face devient une sorte de pile : le côté très chargé en électrons devient la borne négative (N), le côté avec moins d'électrons devient la borne positive (P). Entre les deux, il se crée un champ électrique [8].

Quand les photons viennent exciter les électrons, ceux-ci vont migrer vers la zone N grâce au champ électrique, tandis que les « trous » vont vers la zone P. Ils sont récupérés par des contacts électriques déposés à la surface des deux zones avant d'aller dans le circuit extérieur sous forme d'énergie électrique. Un courant continu se créé. Une couche anti-reflet permet d'éviter que trop de photons se perdent en étant réfléchis par la surface [8].

La figure ci-après illustre le principe d'une cellule photovoltaïque.

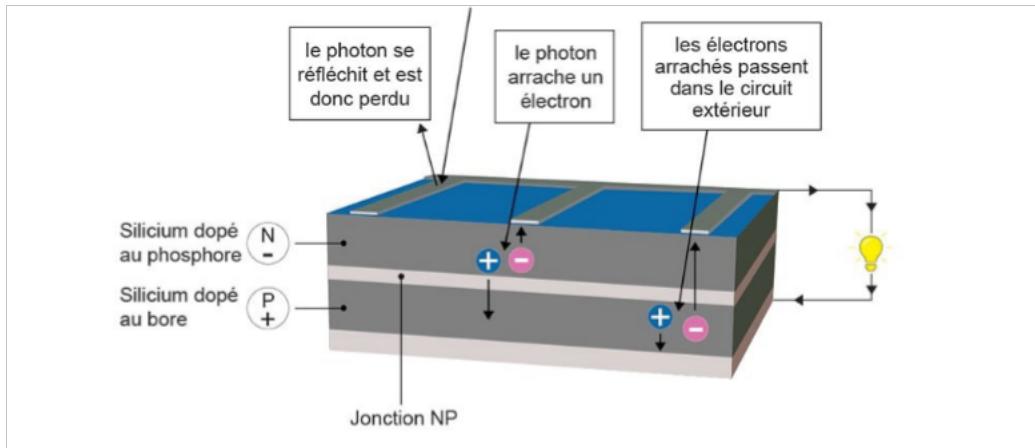


Figure 16. Principe d'une cellule photovoltaïque [8]

II.4.1.4. Rendement d'une cellule photovoltaïque

Le rendement est le rapport entre la puissance électrique produite et la puissance lumineuse qui tombe sur la cellule. Pour définir celui-ci, les cellules, rassemblées en modules puis en panneaux, sont étalonnées en étant placées face à un simulateur solaire, qui reproduit les conditions optimales: un ensoleillement de 1 000 W de lumière par mètre carré, une température ambiante de 25° C. La puissance électrique créée, dite puissance crête, est un pourcentage de la puissance solaire reçue. Si un panneau d'1 m² produit une puissance électrique de 200 W, son rendement sera de 20 %. Le rendement de ce type de cellules ne peut pas dépasser une limite théorique d'environ 33%, appelé « limite de Shockley-Queisser » [8].

II.4.1.5. Types des cellules photovoltaïques

- La cellule photovoltaïque en silicium monocristallin

Ce type de cellule photovoltaïque est l'une des plus répandues. Elle est obtenue à partir de silicium monocristallin, appliqué en une tranche simple. Elle permet de composer des panneaux solaires qui vont produire de l'électricité servant à alimenter une habitation ou le réseau public, par exemple.

Le silicium monocristallin est le résultat du refroidissement du silicium fondu. Une fois solidifié, il se transforme en un cristal uniforme qui est découpé en tranches fines afin de former la cellule photovoltaïque [5].

La figure ci-dessous représente les cellules monocristallines.



Figure 17. Cellules monocristallines [6]

- La cellule photovoltaïque en silicium Polycristallin

Facilement reconnaissable grâce à ses cristaux bleus, cette cellule photovoltaïque se compose d'une seule tranche de silicium. Elle est de forme carrée. On la trouve souvent dans les installations domestiques, agricoles ou industrielles.

Pour obtenir du silicium polycristallin, on fait fondre le silicium dans un moule métallique carré et allongé, appelé lingotière. Le coloris de ce type de cellule est bleu et parsemé de motifs laissés par les cristaux. Cette particularité nous permet de reconnaître facilement cette cellule photovoltaïque [5].

La figure ci-dessous représente les cellules polycristallines.

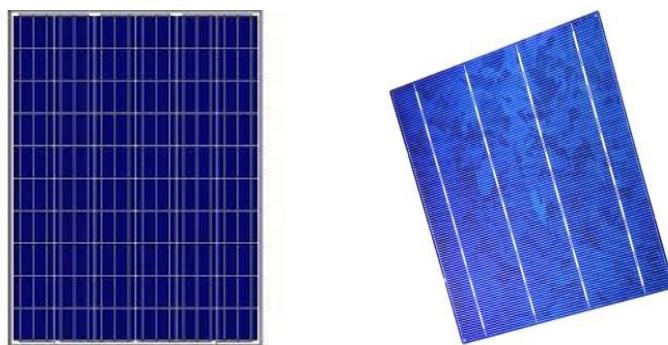


Figure 18. Cellules Polycristallines [6]

- La cellule au silicium Amorphe

La cellule photovoltaïque au silicium amorphe est composée d'une couche fine de silicium, bien plus fine que les monocristallines ou les polycristallines. On la trouve essentiellement

pour alimenter les appareils de faible puissance, comme les montres solaires, les éclairages de jardin ou encore les calculatrices solaires. Le silicium amorphe est obtenu à partir de gaz de silicium. Ce gaz est vaporisé sur un support, en verre, en plastique souple ou en métal, grâce à un procédé de projection sous vide. Ces cellules photovoltaïques sont grises foncées [5].

La figure ci-après représente les cellules photovoltaïques amorphes.

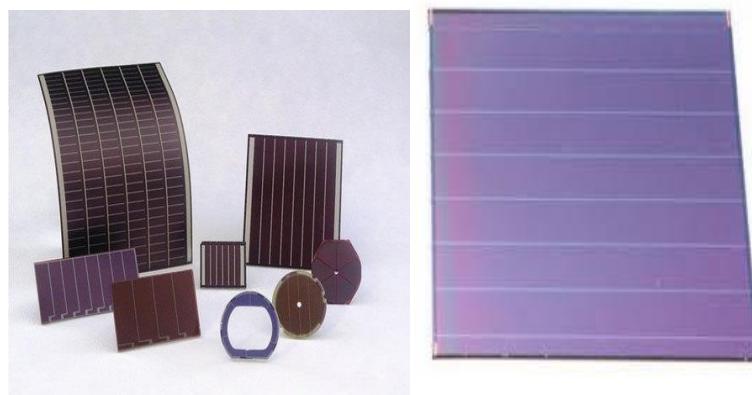


Figure 19. Cellules Photovoltaïques amorphes [6]

II.4.1.6. Avantages et Inconvénients de chaque cellule

- La cellule photovoltaïque en silicium monocristallin

Cette cellule photovoltaïque offre un rendement d'environ 25 %, l'un des meilleurs sur le marché. La durée de vie des panneaux solaires composés de cellules en silicium monocristallin avoisine les 30 ans, ce qui est très rentable, malgré le coût élevé à l'achat. L'inconvénient de ce type de cellule solaire est qu'elle offre un rendement très faible lorsqu'il n'y a pas assez de soleil. Elle convient donc mieux aux régions les plus ensoleillées [12].

- La cellule photovoltaïque en silicium polycristallin

La fabrication de ce type de cellule photovoltaïque est plus simple que la version en silicium monocristallin. Son coût est donc moindre.

Côté rendement du panneau solaire, on peut espérer entre 10 et 15 %, ce qui est nettement inférieur aux cellules monocristallines. Elle a cependant l'avantage de pouvoir être utilisée par temps nuageux, ceci grâce à sa flexibilité d'irradiation [12].

- La cellule au silicium amorphe

Cette cellule solaire présente de nombreux avantages. Elle est tout d'abord peu chère à fabriquer. Elle peut aussi être intégrée sur tout type de support, flexible ou rigide. Un autre point positif est qu'elle capte les rayons solaires même par temps nuageux.

Son principal inconvénient est qu'elle offre un faible rendement, environ 7 % au maximum. Pour être rentable, il faut donc que la surface du panneau solaire soit conséquente. De même, ses performances diminuent dans le temps [12].

II.4.1.7. Association des cellules photovoltaïques

L'association de plusieurs cellules PV en série/parallèle donne lieu à un générateur (ou module) PV. Si les cellules sont connectées en série, les tensions de chaque cellule s'additionnent, augmentant la tension totale. Et si les cellules sont connectées en parallèle, c'est la Puissance qui augmente.

De la même façon les modules PV ou Panneaux solaires peuvent être associés en série ou en parallèle selon qu'on veut avoir une grande tension sous la puissance d'un module ou une grande puissance sous la tension d'un module.

Les figures ci-après illustrent le groupement des modules PV en Série (Figure 20) et le groupement des modules PV en parallèle (Figure 21).

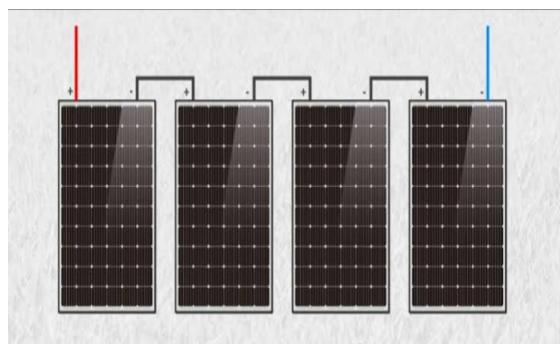


Figure 20. Groupement des Modules PV en Série [6]

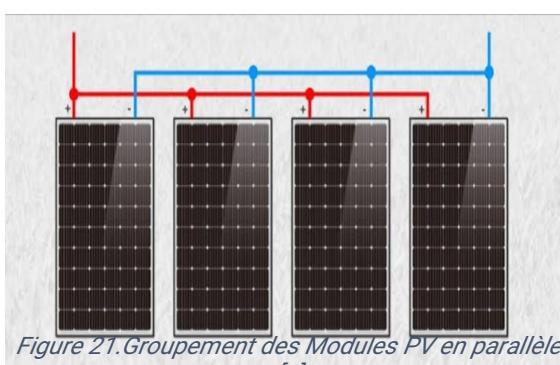


Figure 21. Groupement des Modules PV en parallèle

II.4.2. Régulateur

Le régulateur est considéré comme l'élément central d'un système photovoltaïque autonome par le fait qu'en contrôlant la charge comme la décharge de la batterie, il la protège contre les surcharges, les décharges profondes, etc.

Les nouvelles générations de régulateurs, quant à eux, sont de plus en plus perfectionnées et proposent des fonctionnalités plus nombreuses et de plus en plus évoluées

II.4.2.1. Types des régulateurs

- Le Régulateur MPPT

Actuellement, le régulateur de charge solaire le plus utilisé est celui basé sur l'algorithme MPPT. Il est plus développé, plus cher et présente de nombreux avantages par rapport au contrôleur de charge PWM. Il a une efficacité de 30 à 40% à basse température.

Il ajuste sa tension d'entrée pour obtenir le maximum de puissance des panneaux solaires, puis convertir cette énergie pour répondre aux différentes exigences de tension de la batterie et de la charge. Ces types de régulateurs offrent un rendement variant entre 92 et 97%.

La figure ci-après montre l'image d'un régulateur MPPT.



Figure 22. Le régulateur MPPT [6]

- Le régulateur PWM

Ces régulateurs réalisent une commande PWM, le rapport cyclique variant selon l'énergie à fournir à la batterie afin de réaliser une charge à tension constante. Les régulateurs solaires traditionnels intégrant la technologie PWM relient les panneaux solaires au banc de batteries.

Dans cette utilisation directe, la tension de sortie des panneaux est réduite à la tension nominale des batteries. La figure ci-après illustre l'image d'un régulateur PWM.



Figure 23. Le régulateur PWM [6]

II.4.3. Onduleur

Un Onduleur est un convertisseur statique continu-alternatif, permettant de produire une tension alternative à partir d'une source de tension continue. La figure ci-après symbolise un onduleur.

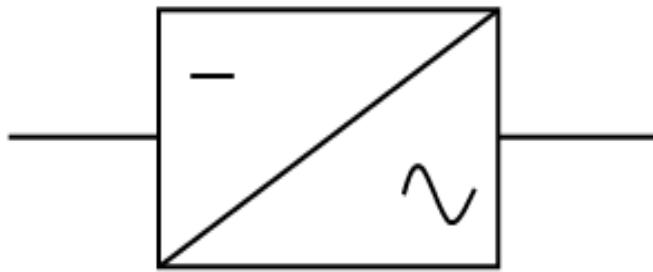


Figure 24. Symbole d'un Onduleur

Un Onduleur est dit assisté, lorsqu'il ne permet de fixer ni la fréquence, ni la valeur efficace de la tension du réseau alternatif dans lequel il débite. Mais lorsqu'il fixe la fréquence et la valeur efficace de la tension du réseau, il est dit Onduleur autonome.

II.4.4. Batterie

Les accumulateurs électrochimiques (Batteries) sont des générateurs réversibles, c'est-à-dire pouvant stocker de l'énergie électrique sous forme chimique puis la restituer à tout moment sur demande grâce à sa réversibilité.

La figure ci-après représente une Batterie.



Figure 25. Accumulateur Electrochimique(Batterie) [6]

II.4.4.1. Principe de fonctionnement d'une Batterie

Une batterie ou un accumulateur se caractérise par deux couples « oxydant-réducteur » (par exemple Plomb/Oxyde de plomb, carbone/Oxyde de cobalt, lithium ou Carbone/Phosphate de

fer lithié, ...) échangeant des électrons. L'association de deux plaques (ou de deux matériaux d'insertion pour la batterie li-ion) constitue l'entité primaire d'une batterie.

Les deux électrodes baignent dans une solution électrolytique, liquide ou sous forme de gel. C'est la réaction entre la solution et les électrodes qui est à l'origine du déplacement des électrons et des ions dans la solution. L'électrolyte a pour fonction d'assurer la conduction ionique et plus généralement, de participer à la réaction chimique. Un isolant poreux (ou séparateur) permet de séparer les deux électrodes tout en autorisant le passage des ions. La figure ci-dessous illustre le fonctionnement d'une batterie.

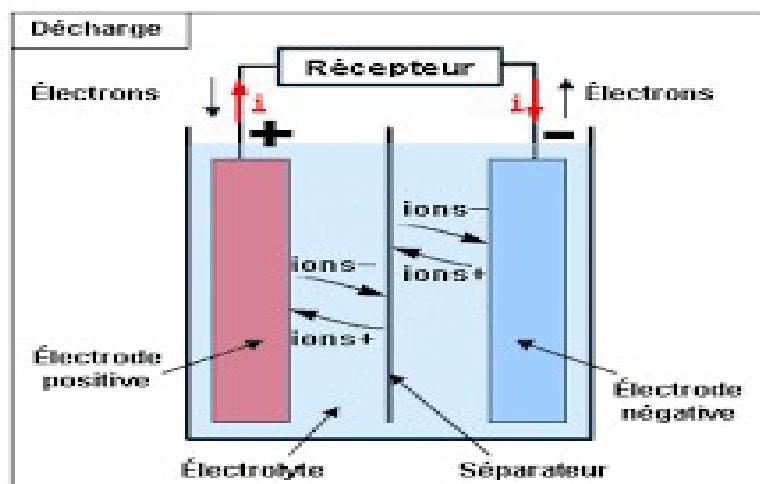


Figure 26. Principe de fonctionnement d'une batterie [6]

Il y a plusieurs types de batteries qui diffèrent par leurs constitutions, ce qui dicte aussi le prix, la durée de vie, le nombre de cycles de charge et décharge, ...

On peut citer la Batterie Plomb-acide, la Batterie Gel, La Batterie Lithium-ion, ...

II.4.4.2. Couplage des batteries

Les batteries peuvent être couplées en série ou en parallèle.

- **Couplage série** : Ce couplage consiste en la multiplication de la tension d'une batterie fois autant des batteries tout en conservant la capacité.

La figure ci-après illustre le couplage en série des batteries.

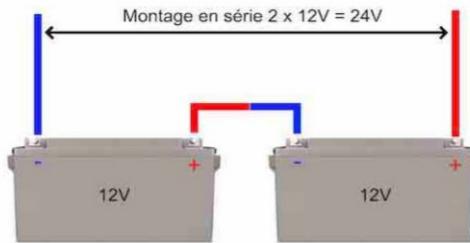


Figure 27. Couplage Série des accumulateurs [6]

- **Couplage parallèle**: Ce couplage consiste en la multiplication de la capacité d'une batterie fois autant de batteries tout en conservant la tension. La figure ci-dessous illustre le couplage parallèle des batteries.

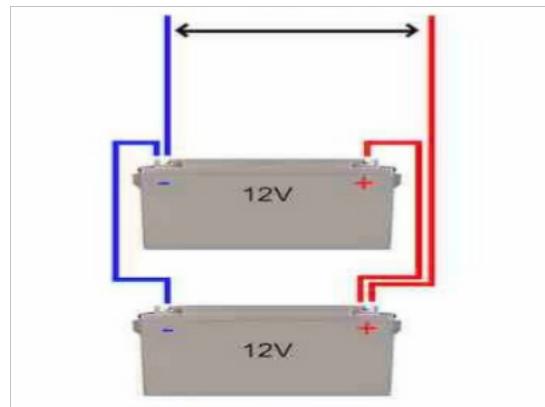


Figure 28. Couplage parallèle des accumulateurs [6]

Il arrive de même à coupler en parallèle autant des branches en série ou coupler en série autant de branches en parallèle selon les caractéristiques que l'on veut avoir. On parle alors de couplage Mixte.

II.5. Conclusion partielle

Dans ce chapitre, nous avons fait un aperçu général sur les systèmes Photovoltaïques en commençant par l'énergie solaire et la lumière, puis les types des systèmes photovoltaïques, les composants d'un système photovoltaïque et le rôle de chaque composant.

Les systèmes photovoltaïques permettant d'exploiter l'énergie du soleil à diverses fins. Ils sont très fiables et constituent une source non polluante d'électricité qui peut convenir à toute une gamme d'applications, seulement que son rendement est faible.

CHAPITRE III. PRESENTATION DU COLLEGE, MATERIELS ET METHODES

III.1. Introduction

Ce troisième chapitre est consacré à la présentation générale du collège UFUNDI notamment son historique, son objectif, sa vision, sa localisation, son système actuel de sonorisation et les difficultés vécues au sein du collège, la présentation de différents matériels qui interviennent dans la réalisation de notre système et les méthodes de recherche adoptées.

III.2. Présentation du collège UFUNDI

III.2.1. Présentation, Historique, Objectif et Vision du Collège

Le collège UFUNDI est une école privée agréée créée sous l'initiative de monsieur Prince USENI UFUNDI et sa famille dans l'objectif de contribuer à l'éducation dans la province du Haut-Katanga en offrant aux élèves un bon cadre d'apprentissage.

La cérémonie d'ouverture du Collège fut un certain dimanche 29 aout 2019 où le collège fut présenté, et les activités débutèrent le jour suivant (Lundi, 30 aout 2022).

Le collège organise trois sections notamment la section maternelle, la section primaire et la section secondaire avec comme devise « Discipline - Qualité - Rigueur ». La mission du collège est d'organiser les enseignements autrement en mettant plus l'accent sur la pratique.

III.2.2. Localisation du Collège

Le collège UFUNDI est situé sur Kilwa 7832B, LIDO Golf, Commune Annexe, Ville de Lubumbashi.

La figure ci-après montre la localisation du Collège Ufundi.



Figure 29. Localisation du Collège Ufundi (8FP7+5V4, Lubumbashi)

III.2.3. Présentation du système de sonorisation actuel

Le signal de début du cours, la fin d'une heure et le début de l'autre et la fin du cours, est fait par une grosse clochette électrique composée de quatre petites ; chacune de 1.5A/220V/114dB, dont la commande est manuelle à partir d'un bouton poussoir.

III.2.4. Difficultés

Etant un Collège moderne, les Barrières sont motorisées ; les classes climatisées ; Les ordinateurs doivent fonctionner, ...

Le courant électrique est d'une importance capitale pour faire fonctionner tous ces éléments mais hélas, ce sont des coupures intempestives qui sont observées d'habitude, ce qui ne permet pas au collège de fonctionner dans des conditions normales.

Un groupe électrogène de 100 kVA a été mis à la disposition du collège pour son alimentation en cas de coupure de la SNEL, mais malheureusement sa consommation de 5.5 litres de carburant par heure devient encore un grand poids pour le collège.

III.3. MATERIELS

Afin de réaliser notre système d'automatisation de la clochette, nous allons utiliser une carte Arduino UNO, un module RTC DS1302, un module Relais et un Afficheur LCD.

III.3.1. Carte Arduino UNO

Arduino est la marque d'une plateforme de prototypage open-source qui permet aux utilisateurs de créer des objets électroniques interactifs à partir de cartes électroniques matériellement libres sur lesquelles se trouve un microcontrôleur (d'architecture Atmel AVR comme l'Atmega328p, et d'architecture ARM comme le Cortex-M3 pour l'Arduino Due). Les schémas de ces cartes électroniques sont publiés en licence libre. Cependant, certaines composantes, comme le microcontrôleur par exemple, ne le sont pas.

Le microcontrôleur peut être programmé pour analyser et produire des signaux électriques, de manière à effectuer des tâches très diverses comme la domotique (le contrôle des appareils domestiques , éclairage, chauffage...), le pilotage d'un robot, de l'informatique embarquée, etc. Le cœur de l'équipe des développeurs du projet Arduino est composé de Massimo Banzi (Italie), David Cuartielles (Espagne), Tom Igoe (États-Unis), Gianluca Martino (Italie), David Mellis (États-Unis) et Nicholas Zambetti (Italie).

L'Arduino emprunte son nom au *Bar di Re Arduino* (en français « bar du roi Arduin »), lieu de réunion des concepteurs de la carte, à Ivrea en Italie du Nord [13].

Le système Arduino, nous donne la possibilité d'allier les performances de la programmation à celles de l'électronique. Plus précisément, programmer des systèmes électroniques. 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.

Actuellement vingt versions des cartes du type Arduino ont été produites et mises au marché, notamment la carte Arduino UNO dont la figure ci-dessous structure et identifie les différentes parties.

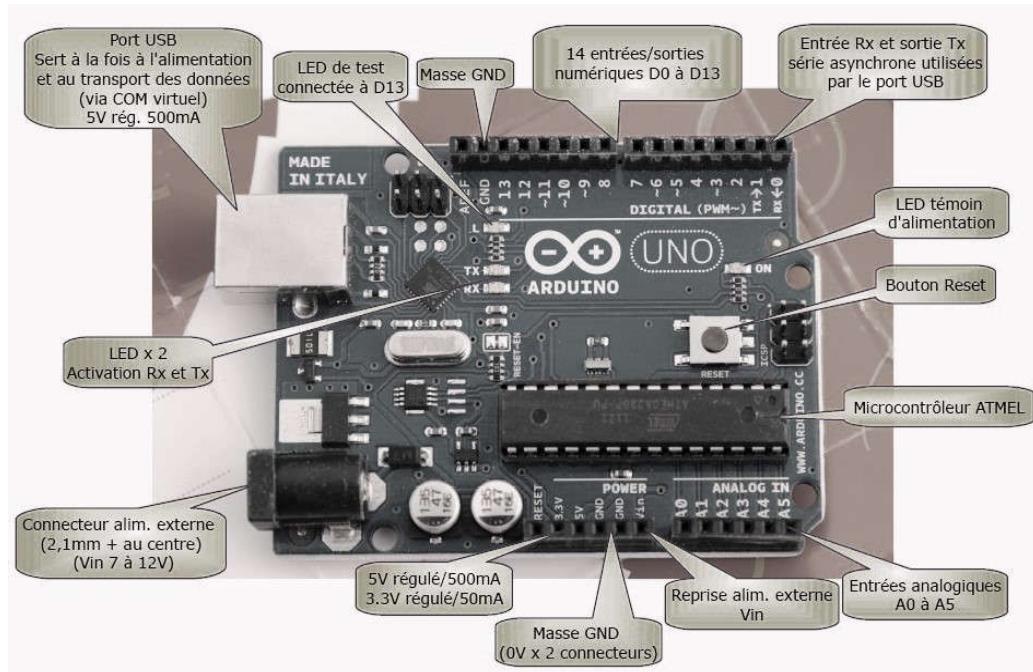


Figure 30. La carte Arduino UNO [14]

Caractéristiques techniques de la carte Arduino UNO:

Microcontrôleur	ATmega328
Alimentation via USB	5V DC/38mA
Alimentation via connecteur alim. externe	7-12V
E / S numériques Pins	14 (dont 6 fournissent la sortie PWM*)
PWM numérique E / S Pins	6
Pins d'entrée analogique	6
DC Courant par I O Pin /	20 mA
DC Courant pour 3.3V Pin	50 mA
Mémoire flash	32 KB (ATmega328)
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM ***	1 KB (ATmega328)
Vitesse de l'horloge	16 MHz

Entrées et sorties

Chacune des 14 broches numériques sur la carte Uno peut être utilisée comme une entrée ou

une sortie, en utilisant les fonctions `pinMode` , `digitalWrite` , et `digitalRead` .

Elles fonctionnent à 5 volts. Chaque broche peut fournir ou recevoir 20 mA en état de fonctionnement recommandé et a une résistance de pull-up interne (déconnecté par défaut) de 20-50 k Ω . Un maximum de 40mA est la valeur qui ne doit pas être dépassée sur toutes les broches d'Entrée/Sorties pour éviter des dommages continus du microcontrôleur [14].

Certaines broches ont des fonctions spécialisées :

- Série : 0 (RX) et 1 (TX), permet de recevoir (RX) et transmettre (TX) TTL données série. Ces pins sont connectés aux pins correspondants de l'USB-TTL puce Serial ATmega8U2 [14].
- LED : 13, Elle est équipée d'un conduit par la broche numérique 13 ; Lorsque la broche est à la valeur HIGH, la LED est allumée, lorsque la broche est à la valeur faible, elle est éteinte.

La carte UNO dispose de 6 entrées analogiques, A0 à A5, dont chacune fournit 10 bits de résolution (ou 1024 valeurs différentes). Par défaut, la tension est de 5 volts. Il est pourtant possible de changer la limite supérieure de la gamme en utilisant la broche AREF et la fonction analogue [14].

Autres broches de la carte :

- AREF. Tension de référence pour les entrées analogiques [14].

Communication

Arduino UNO a un certain nombre de moyens pour communiquer avec un ordinateur, une autre carte Arduino, ou autres microcontrôleurs.

L'ATmega328 fournit UART TTL (5V) en communication série, disponible sur les broches numériques 0 (RX) et 1 (TX) [14].

* PWM : en numérique, les signaux ont toujours une valeur LOW ou HIGH (0 ou 1). Le principe est de construire un signal alternativement LOW ou HIGH et de répéter cette alternance. La DEL est donc alternativement allumée et éteinte mais le cycle est tellement rapide que la persistance rétinienne nous donne l'illusion d'une DEL allumée en permanence.

** Bootloader : il s'agit de la racine du système, à la manière du bios sous Windows, où l'on peut installer un recovery alternatif, un kernel, une image d'Android, parmi d'autres choses... après l'avoir ouvert.

*** EEPROM : mémoire dont les valeurs sont conservées lorsque la carte est éteinte (comme un petit disque dur).

III.3.2. Modules

L'Arduino produit également des modules qui jouent les rôles supplémentaires selon la nature et la complexité du projet. Dans le cadre de notre travail, nous aurons besoin de trois modules dont :

- Le module RTC DS1302
- Le module Relais
- L'afficheur LCD

III.3.2.1. Module RTC DS1302

Le RTC DS1302 est une horloge à temps réel qui implémente un système compté par la fréquence d'horloge à quartz et permet de prendre en compte à la fois le calendrier et la mise à jour en temps réel et un système de stockage des informations dans la mémoire statique intégrée composée de 31 octets.

La mémoire prend en compte et stocke toutes les informations relatives au décompte des secondes, minutes, heures, jour, date, mois et année.

Les adresses et les données sont transférées en série par un bus bidirectionnel I2C.

La date de fin du mois est automatiquement ajustée pour les mois de moins de 31 jours y compris la correction pour l'année Bissextile.

La montre fonctionne à la fois au format de 24 et 12 AM/PM.

En plus d'être alimenté à partir de la carte, une pile CR2032 permet d'alimenter le module et d'assurer un fonctionnement prolongé même en cas de coupure d'alimentation [15].

La figure ci-dessous représente le module RTC DS1302.

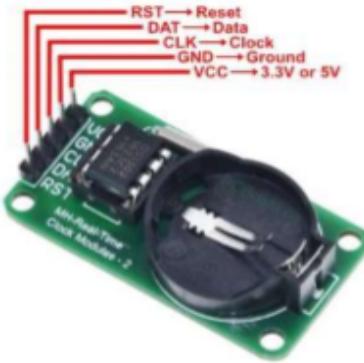


Figure 31. Le module RTC DS1302

Caractéristiques du module RTC DS1302

Capacité mémoire : 31 octets de RAM non volatile

Type interface : E/S série

Plage de tension de fonctionnement : 2.0 à 5.5V

Courant de fonctionnement : Moins de 300 nA à 5Vcc

Température de fonctionnement : 0 à 70°C

III.3.2.2. Module RELAIS

Ce module est typiquement utilisé pour actionner les accessoires des tensions et courants élevés en alternatif comme en continu.

Il a 3 broches (extrême droit de la figure) qui lui servent d'alimentation et commande et 3 autres (extrême gauche de la figure) au bornier à vis qui sont les contacts « de puissance » du relais dont un Normalement ouvert(NO) et un Normalement fermé(NC). La figure ci-après représente le module Relais.



Figure 32. Le module RELAIS

Caractéristiques d'un module Relais

Alimentation : 5V DC/80mA

Courant Max AC :10A à 250V

Courant Max DC :10A à 30V

Dimensions : 47*28*18 mm

III.3.2.3. Afficheur à cristaux liquides

Les afficheurs à cristaux liquides LCD (Liquid Crystal Display) sont des modules compacts intelligents et qui nécessitent peu de composants externes pour un bon fonctionnement.

Ils demandent un petit courant de l'ordre de 1 à 5 mA et sont caractérisés par le nombre des caractères affichables et le nombre de lignes disponibles. Dans notre travail, l'afficheur possède seize caractères sur deux lignes. La figure ci-dessous représente un Afficheur LCD 16*2.



*Figure 33.Afficheur LCD 16*2 [14]*

L'afficheur LCD possède 16 Broches comme répertoriées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1 : Broches d'un afficheur LCD [14]

Les broches	Nom	Rôle
1	VSS	Masse
2	VDD	+5V
3	V0	Réglage du contraste
4	RS	Sélection du registre (commande ou donnée)
5	R/W	Lecture ou écriture
6	E	Entrée de validation
7 à 14	D0 à D7	Bits de données
15	A	Anode du rétroéclairage (+5V)
16	K	Cathode du rétroéclairage (masse)

Le Branchement de l'Afficheur à cristaux liquides peut se faire en connectant directement ses broches à la carte ou par l'intermédiaire d'un Module I2C (Inter-Integrated Circuit) qui est un bus informatique conçu par Philips pour les applications de domotique et électronique domestique et qui permet de relier facilement un microprocesseur avec différents circuits tout en réduisant le nombre de lignes nécessaires à seulement deux lignes : SDA (Serial DAta) et SCL (Serial CLock) [16].

La figure ci-après représente le module I2C.

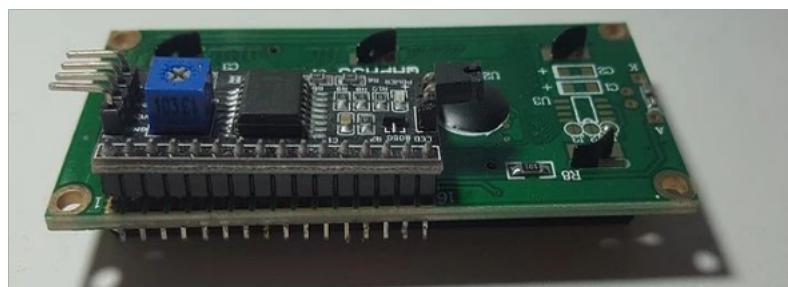


Figure 34. Le module I2C [16]

III.3.3. Logiciel Arduino (IDE)

Arduino offre à ses utilisateurs un Environnement de Développement intégré (IDE) pour la programmation.

L'IDE Arduino fonctionne sur Windows, Mac et Linux. Ce logiciel nous permet de créer, tester et envoyer les programmes sur la Carte. Il a une simple interface composée de quatre principaux blocs tel que montré par la figure ci-dessous.

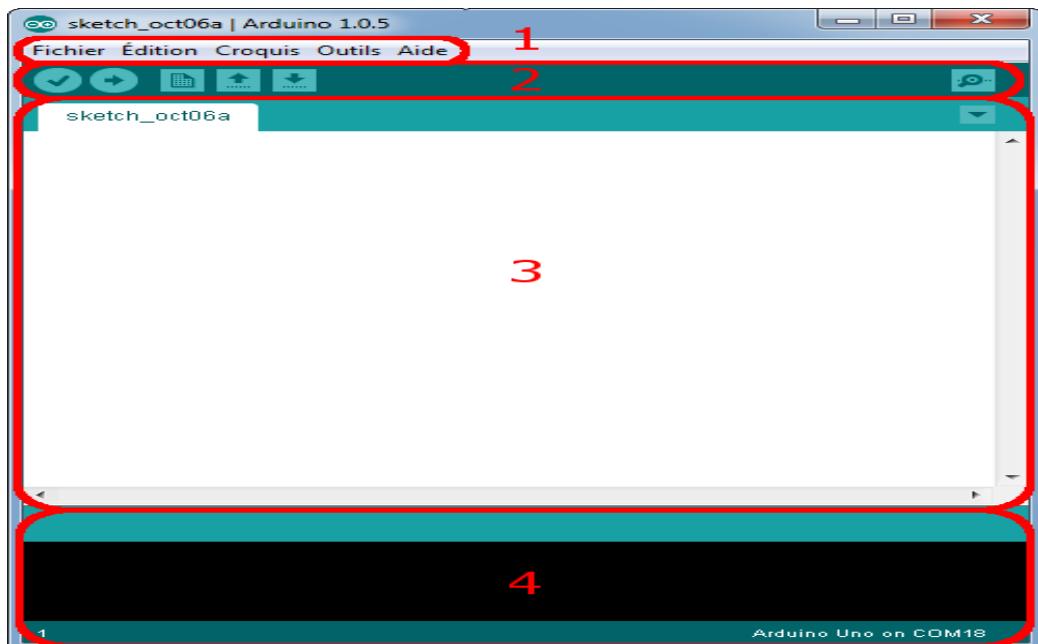


Figure 35. Interface du logiciel IDE

1. *Menu:*

Les différents éléments du menu permettent de créer de nouveaux sketchs (Programmes), de les sauvegarder, et de gérer les préférences du logiciel et les paramètres de communication avec la carte Arduino.

Le menu comprend :

- *Fichier* : pour créer, sauvegarder en spécifiant la destination, appeler un programme, etc.
- *Édition* : Pour couper, copier, coller, supprimer, sélectionner, etc.

- *Croquis* : regroupe les fichiers réalisés.
- *Outils* : pour spécifier le type de la carte, le port série, formater, recharger et réparer l'encodage, graver la séquence d'initialisation, de la carte branchée sur l'ordinateur, etc.

2. *Les Boutons:*

La figure ci-dessous représente les boutons d'action de l'interface IDE

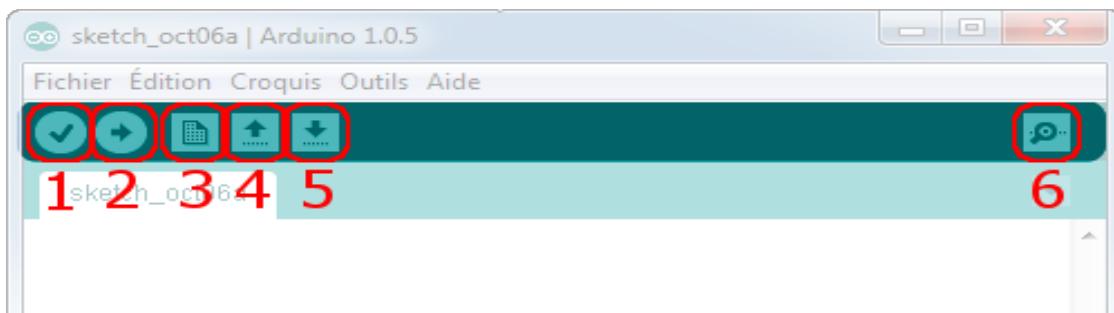


Figure 36. Les boutons d'action

- *Bouton 1* : Ce bouton permet de vérifier le programme.
- *Bouton 2* : Charge (téléverse) le programme dans la carte Arduino.
- *Bouton 3* : Crée un nouveau fichier.
- *Bouton 4* : Ouvre un fichier.
- *Bouton 5* : Enregistre le fichier.
- *Bouton 6* : Ouvre le moniteur série.

Une fois le programme tapé ou modifié au clavier et compilé, il est chargé dans la carte à travers d'un câble USB qui en même temps alimente la carte en énergie. Le programme est mémorisé dans la carte et ne fait que tourner en boucle chaque fois que la carte est alimentée.

III.4. METHODES

Pour atteindre les objectifs assignés à ce travail, les méthodes suivantes ont été poursuivies :

III.4.1. Méthode d'observation Directe

La méthode d'observation directe consistant en l'observation personnelle des faits par le chercheur, nous avons effectué des décentes au sein du collège, lesquelles décentes nous ont

permis d'observer directement les situations en ce qui concerne la sonorisation.

Nous avons alors observé que malgré la présence d'une clochette électrique pouvant signaler le début du cours, les successions des heures et la fin du cours, l'utilisation d'un sifflet continue d'être d'application dans le collège.

III.4.2. Méthode d'interview

La méthode d'interview consistant à poser des questions en rapport avec le problème. Nous avons discuté avec le préfet ainsi que l'électronicien du collège, qui nous ont parlé du collège, nous ont donné les caractéristiques de la clochette et nous ont fait comprendre notre observation en nous montrant en long les situations vécues dans le collège, notamment :

- Les coupures intempestives du courant électrique qui ne laissent pas le choix que le recours au sifflet pour signaler les évènements.
- L'imprudence de la personne humaine chargée d'actionner la clochette qui occasionne parfois un certain retard.

III.4.3. Méthode de documentation

La documentation nous a permis de recueillir beaucoup plus des matières qui cadrent avec notre sujet, lesquelles matières nous ont permis d'avancer jusqu'à l'atteinte de notre objectif.

III.5. Conclusion partielle

Dans ce chapitre il a été question de la présentation de notre milieu d'étude le collège Ufundi. Nous avons parlé de son historique, son objectif, sa vision, sa localisation, son système actuel de sonorisation et les difficultés vécues au sein du collège ; la présentation des matériels qui interviendront dans la réalisation de notre système ainsi que des méthodes appliquées pour l'atteinte de notre objectif.

CHAPITRE IV. REALISATION DU SYSTEME ET DIMENSIONNEMENT DE LA SOURCE

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, il va s'agir de la réalisation du système d'automatisation de la clochette dont la réalisation du circuit ainsi que le programme ; ensuite va suivre le dimensionnement de la source autonome photovoltaïque pouvant alimenter l'ensemble dont l'évaluation du besoin en électricité, le calcul de la puissance crête du champ photovoltaïque, le choix du panneau, le dimensionnement des batteries, le dimensionnement de l'onduleur et du régulateur, le dimensionnement des câbles et le devis.

IV.2. REALISATION DU SYSTEME D'AUTOMATISATION DE LA CLOCHETTE

IV.2.1. Objectif de l'automatisation de la Clochette

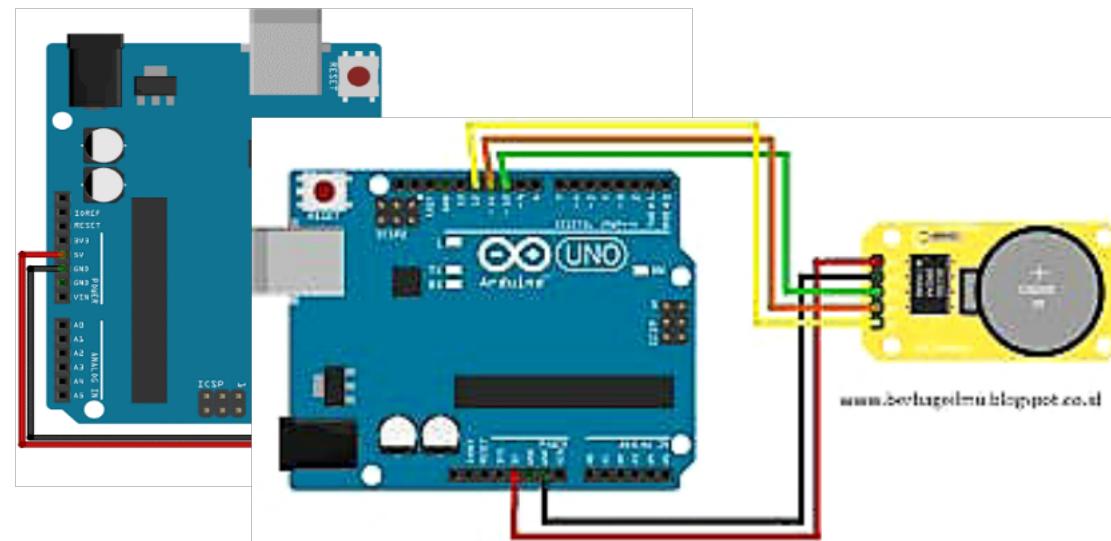
L'objectif de l'automatisation de la Clochette est la gestion automatique de la sonorisation au sein de l'établissement pour éviter toute perturbation possible allant à l'encontre de l'horaire.

IV.2.2. Rôles des matériels

Pour le fonctionnement du système d'automatisation de notre clochette, chaque matériel a un rôle spécifique :

- **Le module RTC Ds1302** : Il est le module qui fournit les informations d'horloge et calendrier. Une fois monté à la carte il est programmé en premier pour sa mise à jour, dont le réglage de l'heure et la date. La figure ci-dessous illustre la connexion du module Ds1302 sur la carte Arduino UNO.

Figure 37. Connexion du module Ds1302 sur la carte Arduino UNO



Figure

module Relais sur la carte Arduino UNO

Relais

38. Connexion du

- **L'Afficheur LCD** : Il est l'afficheur à cristaux liquides qui reçoit les informations de l'heure, la date et l'état du relais à la carte Arduino pour les afficher. Il a 8 entrées des données ; on peut les utiliser toutes soit 4, selon l'information que l'on veut afficher. Dans le cadre de notre travail on en utilisera 4 dont D4, D5, D6 et D7. La figure ci-après illustre la connexion de l'Afficheur LCD sur la carte Arduino UNO.

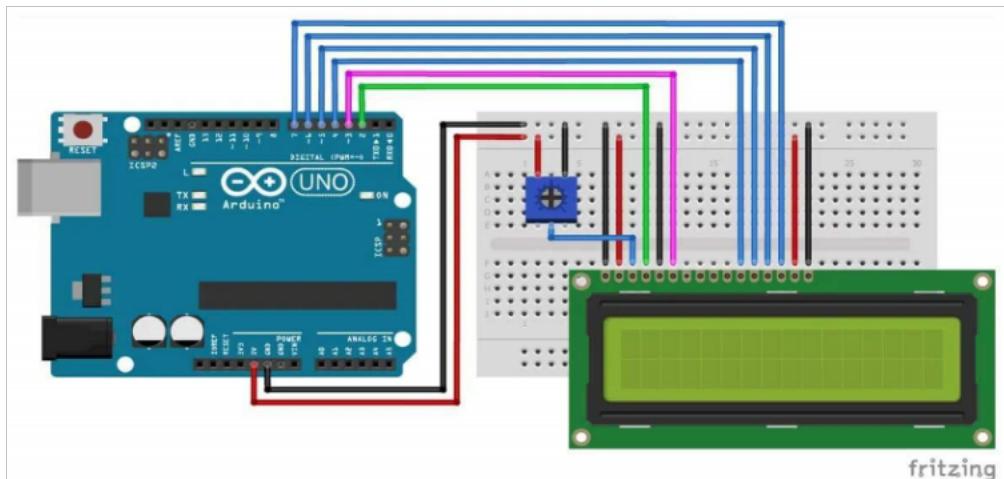


Figure 39. Connexion de l'Afficheur LCD sur la carte Arduino UNO

- **La carte Arduino UNO** :

Le programme est exécuté par son microcontrôleur, qui fournit ensuite des commandes selon les instructions du programme.

Une fois programmée, la carte reçoit les informations d'Horloge et calendrier au module RTC ds1302 et les transmet à l'afficheur LCD.

Selon l'instruction du jours, heure, minute et seconde dans le programme, la carte commande le module Relais et transmet l'état du relais (qui est l'état de la clochette) à l'afficheur LCD. La carte est le cœur du système.

La figure 40 illustre le schéma synoptique du système et la figure 41 le circuit d'automatisation de la clochette.

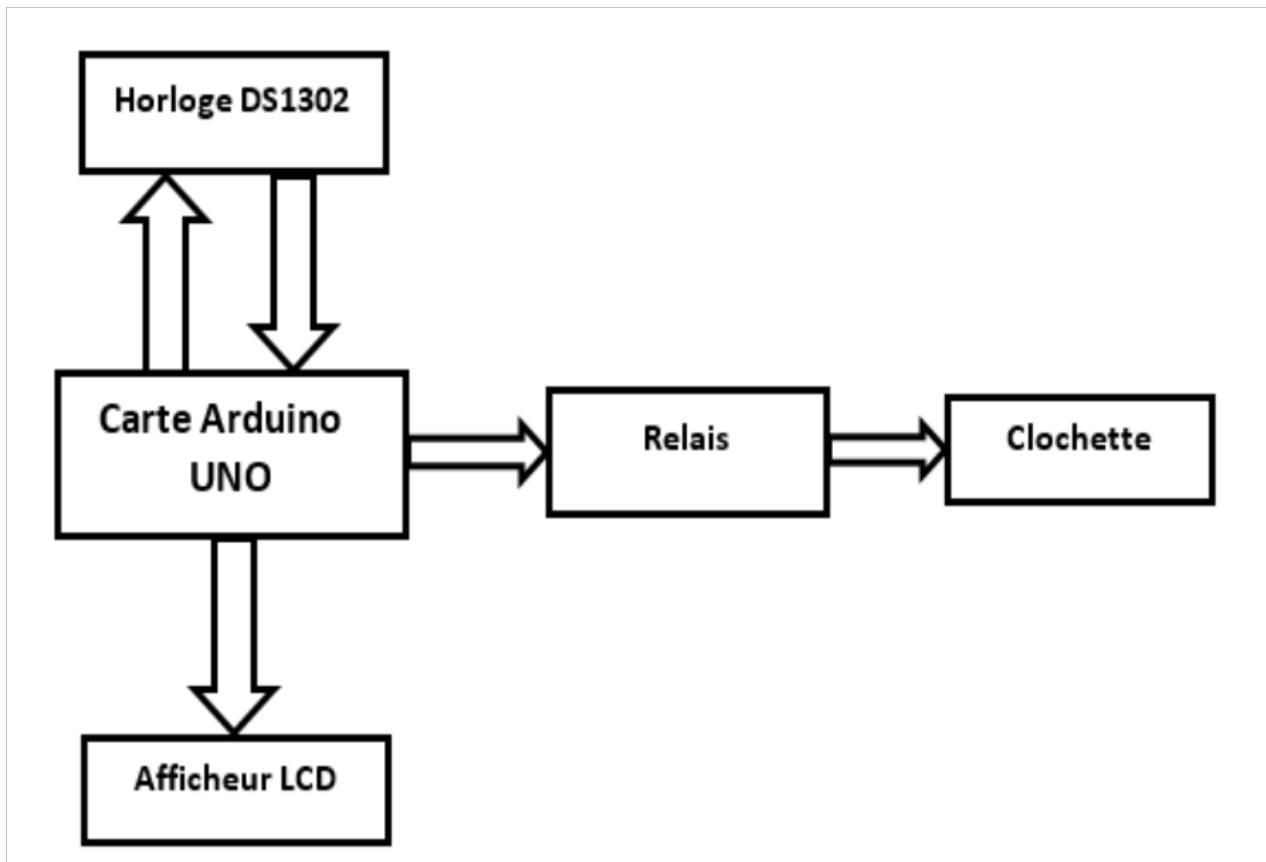


Figure 40. Schéma synoptique du système

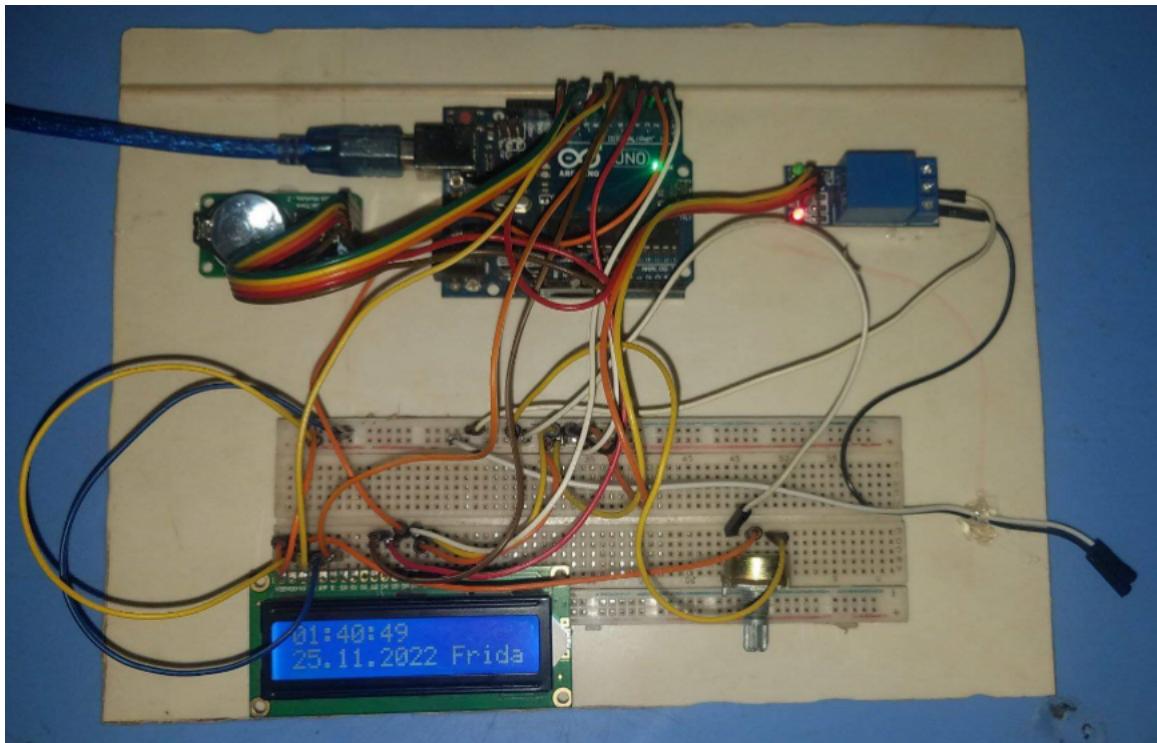


Figure 41. Circuit d'automatisation de la Clochette

IV.2.3. Programmation

Notre programme est tapé sur l'interface de l'Environnement de Développement intégré (IDE) de l'Arduino. Le même logiciel nous permet de vérifier le programme et de le téléverser sur la Carte, précisément dans le microcontrôleur où il pourra tourner.

Comme tout programme Arduino, notre programme a 3 parties dont :

1. La Partie déclaration des variables (optionnelle) : Elle contient les déclarations des différentes variables du programme.
2. La partie initialisation et configuration des E/S : Elle consiste en l'initialisation et contient différentes configurations des entrées et sorties du programme. Elle est introduite par la fonction `setup()`
3. La partie Principale : Elle contient les instructions du programme qui tourne en boucle. Ici on trouve toutes les structures de contrôle du programme.

Elle est introduite par la fonction `Loop()`

La figure 42 illustre l'organigramme de déroulement d'un programme sur l'IDE Arduino.

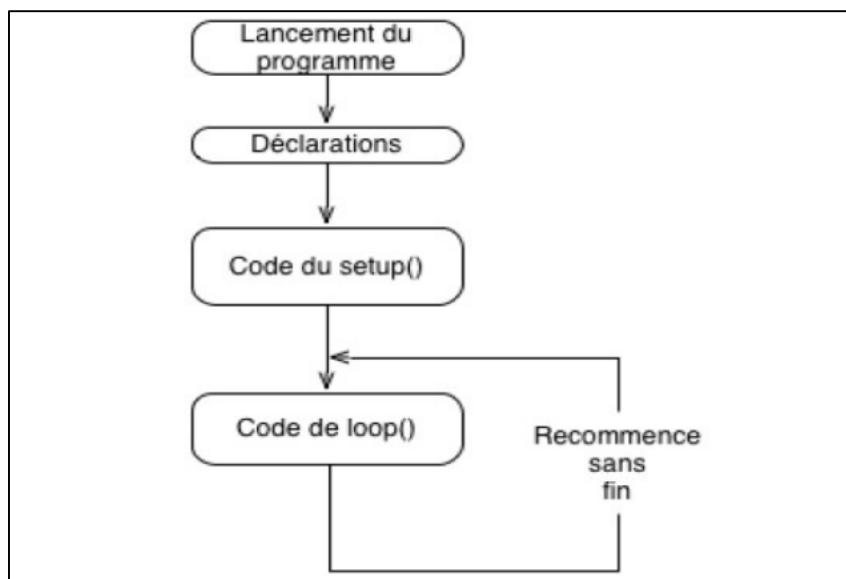


Figure 42. Organigramme de déroulement d'un programme sur l'IDE Arduino

Notre programmation est fonction de l'horaire du COLLEGE UFUNDI (du Lundi au Vendredi) présenté dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2 : Horaire du COLLEGE UFUNDI (du Lundi au Vendredi)

Heure	Debut Retentissement	Fin Retentissement	Observation
7:15	7:15:00	7:15:10	Début mot du matin
7:30	7:30:00	7:30:08	Début première heure
8:15	8:15:00	8:15:08	Début deuxième heure
9:00	9:00:00	9:00:08	Début troisième heure
9:45	9:45:00	9:45:08	Début quatrième heure
10:30	10:30:00	10:30:08	1 ^{er} cout de clochette de but recréation
10:30	10:30:11	10:30:19	2 ^e cout de clochette de but recréation
10:45	10:45:00	10:45:10	Début cinquième heure
11:30	11:30:00	11:30:08	Début sixième heure
12:15	12:15:00	12:15:08	Début septième heure
13:00	13:00:00	13:00:08	1 ^{er} cout de clochette de Fin du cours
13:00	13:00:11	13:00:19	2 ^e cout de clochette de Fin du cours

--	--	--	--

La mise à jour ou paramétrage de l'heure et la date du module Horloge Ds1302 est faite en premier, au travers des 3 lignes ci-dessous de sa librairie :

```
rtc.setDOW(TUESDAY);    // Set Day-of-Week to TUESDAY
rtc.setTime(12, 0, 0);  // Set the time to 12:00:00 (24hr format)
rtc.setDate(15, 11, 2022); // Set the date to november 15th, 2022
```

Le programme principal contient alors la librairie du module LCD pour l'affichage, celle du module horloge pour l'apport des informations d'horloge et calendrier avec les 3 lignes de paramétrage en commentaire et une suite d'instructions pour la commande du relais selon l'heure de début du retentissement de la clochette et l'heure de sa fin.

Le déroulement de notre programme est régi suivant l'organigramme de la figure ci-dessous

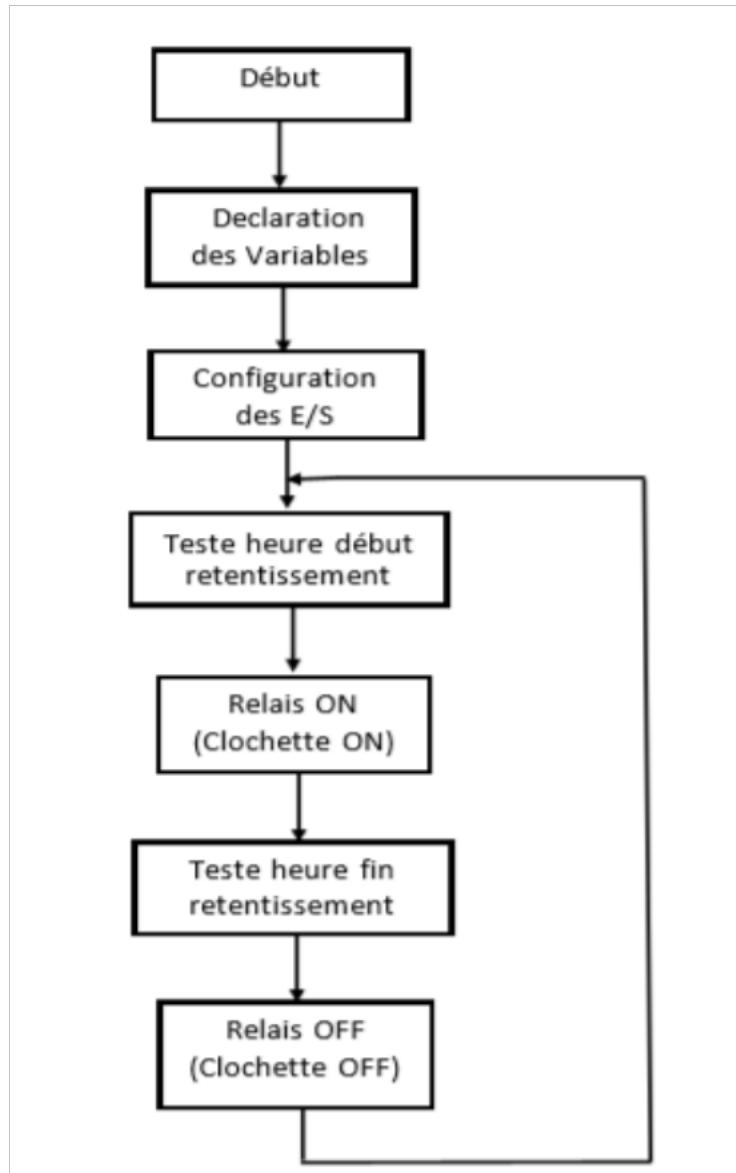


Figure 43. Organigramme de déroulement du programme

NB : En annexe le code complet de notre programme.

IV.2.4. Fonctionnement du système

Le Fonctionnement de notre système est dicté par le programme televersé dans le système et qui est fonction de l'horaire de l'établissement. A chaque étape de l'horaire, le système commande la clochette automatiquement et à l'heure précise autant de fois et pendant autant de secondes selon qu'il s'agit de la succession d'heures, de la recréation ou de la sortie.

IV.3. DIMENSIONNEMENT DE LA SOURCE AUTONOME PHOTOVOLTAIQUE

Le dimensionnement de la source PV autonome nous permet de déterminer l'optimum technico-économique entre la puissance crête du panneau solaire et la capacité de la batterie associée à partir du besoin électrique de la charge d'une part et des données d'ensoleillement du site d'autre part. La détermination de la taille de chaque composant de notre système PV permet de garantir une fourniture d'énergie tout au long d'une certaine période.

IV.3.1. Etapes du dimensionnement

Il y a six étapes dans le dimensionnement d'une source photovoltaïque autonome :

- 1) Evaluation du besoin en électricité
- 2) Calcul de la puissance crête du champ photovoltaïque
- 3) Le choix du panneau
- 4) Dimensionnement des batteries
- 5) Dimensionnement de l'onduleur et du régulateur
- 6) Dimensionnement des câbles

IV.3.1.1. Evaluation du besoin en électricité

Ici, nous évaluons le besoin journalier, c'est-à-dire la consommation de notre charge pendant une journée.

L'énergie totale consommée journalierement vaut la somme des produits de la puissance de chaque appareil par son temps de fonctionnement comme illustre par la formule ci-après.

$$E_c = P_1 \times t_1 + P_2 \times t_2 + P_3 \times t_3 + \dots + P_n \times t_n = \sum_{i=1}^n P_i \times t_i \quad (\text{IV.1})$$

Avec :

- E_c : l'énergie consommée par jour (Wh/j)
- P_i : la puissance unitaire d'un appareil quelconque
- t_i : la durée d'utilisation de cet appareil dans une journée

Le tableau ci-dessous illustre le besoin en énergie de chaque composant de notre charge ainsi que l'énergie totale consommée par l'ensemble.

Tableau 3: Besoin Energétique

Appareil électrique	Puissance Unitaire (w)	Quantité	Durée d'utilisation (h/j)	Consommation journalier (wh/j)
Horloge DS1302	0.0000015	1	24	0.000036
Relais	0.4	1	0.041	0.016
Afficheur LCD	0.025	1	24	0.6
Carte UNO	0.19	1	24	4.56
Clochette	968	1	0.041	40.26
				E_c =45.44 Wh/j

III.3.1.2. Calcul de la puissance crête P_c

Pour une charge qui consomme journalierement une Energie E_c, la puissance crête du champs photovoltaïque est fonction d'un coefficient correcteur ou rendement du système PV et d'une valeur d'irradiation journalière moyenne qui dépend du milieu. La valeur d'irradiation journalière moyenne est d'environ 5 kWh/m².j dans la ville de Lubumbashi par le fait qu'elle est située dans l'hémisphère sud. L'inclinaison optimale des panneaux est alors entre 10 et 25° [17].

La puissance crête vaut alors :

$$P_c = \frac{E_c}{K * I_{r.moy}} \quad (IV.2)$$

$$P_c = \frac{45.44}{0.65 * 5} = 13.98 \text{ Wc}$$

Avec

- P_c : puissance crête du champ photovoltaïque (Wc)
- E_c : l'énergie consommée par jour (Wh/j)
- K : Coefficient correcteur ou constante de perte d'énergie
[$K \in [0.55; 0.75]$] on prend comme valeur de $K=0.65$ [6]
- $I_{r,moy}$: l'irradiation journalière moyenne ou les heures crête h_c (kWh/m².j)

IV.3.1.2.1. Tension de fonctionnement du système

La tension d'un système PV dépend de la puissance crête comme le montre le tableau ci-dessous.

Tableau 4 : Le choix de tension de système [6]

V système	12 v	24 v	48 v
Pc (wc)	$P_c < 500$ wc	$500 < P_c < 2Kwc$	$P_v \geq 2$ Kwc

Notre puissance crête étant inférieure à 500 Wc, le système est donc de 12V.

IV.3.1.3. Choix du panneau

Le choix d'un Panneau est directement fonction de la puissance crête et la tension du système. Avec 13.98 Wc comme puissance crête voulue, nous choisissons un panneau d'une valeur standard de 15 Wc, du type monocristallin pour son rendement et d'une tension de 12V DC dont voici la fiche technique :

Panneau Monocristallin

$P_c=15$ W_c

$U_{oc}=21.96$ V Tension à vide (circuit ouvert)

$U_{mpp}=17.82$ V Tension au point de puissance maximale

$I_{cc}=0.94\text{ A}$ Courant de court-circuit

$I_{mpp}=0.84\text{ A}$ Courant au point de puissance maximale

IV.3.1.4. Dimensionnement de la batterie

La capacité de la batterie d'un système PV est fonction de l'énergie journalierement consommée par le système, l'autonomie souhaitée, la profondeur de décharge ainsi que la tension du système.

Dans le but de s'assurer sur une meilleure production de notre source autonome PV quelle que soit la perturbation atmosphérique, nous prendrons une autonomie de 72 heures soit 3 jours.

Comme indiqué dans le deuxième chapitre, Il y a plusieurs types des Batteries sur le marché, qui diffèrent par leurs constitutions et modes de fabrication, ce qui dicte aussi le prix, la durée de vie, le nombre des cycles de charge et décharge, ...

Prenons le cas d'une Batterie Gel comme accumulateur pour notre projet.

Pour une bonne sécurité de ce genre de batterie, la profondeur de décharge admissible est de 80%.

La capacité de notre Batterie vaudra :

$$C = \frac{E_c * N}{D * U_{sys}} \quad (\text{IV.3})$$

$$C = \frac{45.44 * 3}{0.8 * 12} = 14.2\text{ Ah}$$

Avec :

- C : capacité de stockage (Ah).
- E_c : L'énergie consommée par jour (Wh/j).
- D : décharge maximale de la batterie ou PDD (profondeur de décharge).
- U_{sys} : La tension du système.
- N : Le nombre des jours d'autonomie.

Soit une Batterie d'une capacité standard de 20Ah et une tension de 12V

IV.3.1.5. Dimensionnement de l'onduleur et du régulateur

IV.3.1.5.1. Choix de l'onduleur

La conversion du courant continu de la batterie en courant alternatif pour l'alimentation de notre charge AC nécessite un onduleur.

Dans notre cas, seule la clochette fonctionne sous une tension alternative. La puissance de notre charge est donc la puissance de la clochette qui vaut $P_{ch} = 968W$.

Le choix de l'onduleur (pour un système autonome) tient compte de deux paramètres :

- **La compatibilité de la puissance**

Pour une bonne protection de l'onduleur, sa puissance (P_{ond}) doit être supérieure à la puissance totale de la charge qui marche avec le courant alternatif (P_{ch}), Soit une marge sécuritaire d'au moins 25% [6].

La puissance de notre onduleur vaudra :

$$P_{ond} = 1.25 P_{ch} \quad (IV.4)$$

$$P_{ond} = 1.25 * 968W = 1210W$$

Les onduleurs étant appelés par leur puissance apparente, pour le facteur de puissance de 0.85 (cos φ de la clochette), nous aurons :

$$S_{ond} = \frac{P_{ond}}{\cos \varphi} \quad (IV.5)$$

$$S_{ond} = \frac{1210W}{0.85} = 1423.5 \text{ VA}$$

- **La compatibilité de la tension**

La tension du système doit être aussi égale à la tension d'entrée de l'onduleur ou appartenir à la plage de sa tension d'entrée.

Soit un onduleur d'une puissance standard de 1500 VA et fonctionnant sous 12V ou sous 12 et 24V.

IV.3.1.5.2. Choix du régulateur

Pour le contrôle de la charge et la décharge de notre batterie, un régulateur est d'une importance capitale. Le choix du régulateur dépend de la tension du système et de la puissance du panneau solaire.

L'ampérage du régulateur vaut le quotient de la puissance du panneau sur la tension du système avec une marge sécuritaire de 20% [19].

$$I_{\text{régl}} = \frac{P_c}{U_{\text{sys}}} * 1.20 \quad (\text{IV.6}) \quad I_{\text{régl}} = \frac{15}{12} * 1.20 = 1,5A$$

Soit un régulateur d'un ampérage standard de 5A et fonctionnant dans une plage de tension de 12V à 24V DC.

IV.3.1.6. Dimensionnement des câbles

Le dimensionnement des câbles nous permet de déterminer la section du câble à utiliser à chaque endroit, notamment entre le panneau et le régulateur, le régulateur et la batterie et enfin entre la batterie et l'onduleur afin d'éviter les conséquences qui peuvent survenir à un choix de section par tâtonnement.

Selon la loi de POUILLET, la section d'un conducteur est dépendante de la résistivité du matériau le composant, de la longueur du conducteur et de sa résistance comme le montre la formule ci-dessous.

$$S = \rho * \frac{L}{R} \quad (\text{IV.7})$$

Avec ; - S : section du conducteur (en m^2)

- L : longueur du conducteur (en m)
- R : résistance du conducteur (en Ω)
- ρ : résistivité du matériau (en Ωm)

et la chute de tension dans un conducteur dépend directement de sa résistance et du courant le traversant.

$$\Delta U = R * I \quad (\text{IV.8})$$

Avec ; - ΔU : chute de tension dans les conducteur (en V)

- I : courant dans le conducteur (en A)

- R : résistance du conducteur (en Ω)

La section du conducteur est alors trouvée par la formule :

$$S = \rho * \frac{L * I}{\Delta U} \quad (\text{IV.9})$$

La norme NF C15-100 fixe à 3% la chute de tension dans les câbles pour les installations PV de basse consommation [18].

$$\Delta U = \frac{U * 3}{100} \quad (\text{IV.10})$$

La figure ci-après montre la disposition des appareils de notre système et les longueurs des fils de cuivre ($\rho = 17.10^9 \Omega \cdot \text{m}$) qui les connectent.

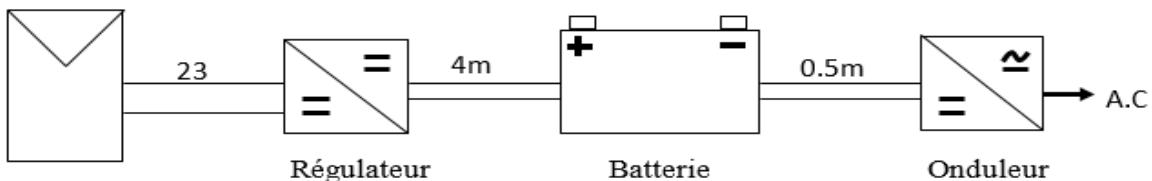


Figure 44. Disposition des appareils du système PV

IV.3.1.6.1. Calcul de la section des conducteurs entre le panneau et le régulateur

$$\Delta U = \frac{U_{\text{mpp}} * 3}{100} = \frac{17.82 * 3}{100} = 0.5346 \text{ V}$$

$$S = \rho * \frac{L * I_{\text{mpp}}}{\Delta U}$$

$$S = 0.000000017 * \frac{23 * 2 * 0.84}{0.5346} = 0.000001228 \text{ m}^2 = 1.22 \text{ mm}^2$$

Soit une section de 1.5 mm²

IV.3.1.6.2. Calcul de la section des conducteurs entre le régulateur et la batterie

$$\Delta U = \frac{U_{sys} * 3}{100} = \frac{12 * 3}{100} = 0.36 \text{ V}$$

$$S = 0.000000017 * \frac{4 * 2 * 0.84}{0.36} = 0.000000317 \text{ m}^2 = 0.317 \text{ mm}^2$$

Soit une section de 0.5 mm²

IV.3.1.6.3. Calcul de la section des conducteurs entre la batterie et l'onduleur

$$\Delta U = \frac{U_{sys} * 3}{100} = \frac{12 * 3}{100} = 0.36 \text{ V}$$

$$S = 0.000000017 * \frac{0.5 * 2 * \frac{1500 \text{ VA}}{12}}{0.36} = 0.0000059 \text{ m}^2 = 5.9 \text{ mm}^2$$

Soit une section de 6 mm²

IV.4. Devis

La réalisation du système d'automatisation de la clochette et la source autonome photovoltaïque nécessite les éléments énumérés dans le tableau ci-dessous avec leurs prix respectifs et la main d'œuvre.

Tableau 5: Devis du Projet

Désignations	Quantité	Unité	Prix Unitaire (\$)	Prix Total (\$)
Carte Arduino Uno	1	Pièce	20	20
Module DS 1302	1	Pièce	6	6
Ecran LCD	1	Pièce	10	10
Relais	1	Pièce	6	6
Connecteurs Arduino	50	Pièce	0.1	5
Potensiometre 10kΩ	1	Pièce	1	1
Peneau solaire 15Wc	1	Pièce	20	20
Batterie Gel 20Ah	1	Pièce	40	40
Inverter 1500VA	1	Pièce	98	140
Régulateur 5A/12V	1	Pièce	10	10
Carcasse(Boitier)	1	Pièce	25	25
Fil 1.5mm ²	23	Mètre	0.75	17.25
Fil 0.5mm ²	4	Mètre	0.4	1.6
Fil 6mm ²	0.5	Mètre	3	1.5
Total				303.35 \$
Main d'oeuvre				151.675 \$
Total general				455.025 \$

IV.5. Conclusion partielle

Dans ce chapitre, il a été question de la réalisation du système d'automatisation de la clochette, qui fait un aperçu sur l'apport de chaque composant ainsi que sa connectivité et la programmation de l'ensemble en fonction de l'horaire du collège ; le dimensionnement de la source autonome photovoltaïque notamment le dimensionnement de tout élément nécessaire pour l'alimentation de la clochette ainsi que du système de son automatisation et enfin la présentation du devis.

CONCLUSION GENERALE

A l'occasion de ce travail, elle a été mise en valeur , l'idée de la conception d'un système électronique programmable pour l'automatisation de la commande de la clochette du collège UFUNDI qui est une solution au premier problème lié à l'imperfection de la personne humaine qui conduisait au non-respect du timing dicté par l'horaire de l'établissement ainsi que l'idée du dimensionnement d'une source autonome photovoltaïque pour l'alimentation de la clochette et son système de commande , qui est une solution au second problème lié à l'instabilité de l'alimentation SNEL qui reconduisait à la non-performante méthode de sonorisation par sifflet.

L'objectif de ce travail étant l'automatisation de la commande de la clochette qui est la suppression de l'intervention humaine pour le respect de l'horaire et l'autonomisation de l'ensemble dont le dimensionnement d'une source autonome photovoltaïque pour le rendre indépendant énergétique, nous sommes passé en revu du système embarqué intégrant le logiciel et le matériel qui nous a conduit à l'atteinte de la première moitié de notre objectif en nous servant des matériels d'Arduino.

Nous nous sommes en suite orienté à l'énergie renouvelable du photovoltaïque et nous sommes parvenu à dimensionner une source autonome photovoltaïque pour l'alimentation de la clochette ainsi que son nouveau système de commande.

Nous espérons que notre travail est une solution au problème posé par l'imperfection de l'homme dans la commande de la clochette et celui posé par les coupures intempestives qui reconduisait au sifflet.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] : Renard Follereau (2018-2019), Présentation des systèmes automatisés
- [2] : http://oasis.ac-aix-marseille.fr/upload/docs/application/pdf/2015-02/classification_systemes_automatises.pdf
- [3] : Les électroniciens (2019) COURS thème 1 Acquisition des grandeurs physiques (Capteurs)
- [5] : <https://total.direct-energie.com/>
- [6] : ZAIRI Soufiane & BOUBIADA Slimane (2019-2020), Etude et Dimensionnement d'un centrale Photovoltaïque
- [7] : <https://www.habiter-autrement.org/12.energies/contributions-12/Introduction-aux-systemes-photovoltaïques>
- [8] : Planète Energies (2019), La cellule photovoltaïque – Principe de fonctionnement
- [9] : <https://www.photovoltaque.info>
- [10]: <https://energieplus-lesite.be/theories/climat8/ensoleillement-d8/>
- [11]: <https://www.schoolmouv.fr/cours/le-rayonnement>
- [12]: <https://www.guide-panneaux-photovoltaiques.be>
- [13]: <https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Arduino>
- [14] : DERBOUZ Mahdjouba Asma &Amara Mohammed (2017-2018), Réalisation d'une carte de commande d'une station de pompage à base d'arduino
- [15] : [https://openclassrooms.com/arduino, \(page consulté le 02 juin 2020\)](https://openclassrooms.com/arduino, (page consulté le 02 juin 2020))
- [16] : https://www.tutoriel-arduino.com/lcd_i2c_arduino/
- [17] : <http://www.ohm-easy.com/blog/sources-alimentation/20140321-calculer-taille-dun-panneau-solaire-petite-installation/>
- [18] : <https://www.photovoltaque.info/fr/realiser-une-installation/choix-du-materiel/architecture-electrique-dune-installation-photovoltaique/points-cles-pour-une-installation-plus-performante/>
- [19] : <https://flashmode.tn/magazine/comment>

ANNEXE

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include <DS1302.h>
int Relay = 8;
DS1302 rtc(10, 11, 12);
LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2);
Time t;
void setup() {
  rtc.halt(false);
  rtc.writeProtect(false);
  lcd.begin(16, 2);
  pinMode(Relay, OUTPUT);
  digitalWrite(Relay,HIGH);

  // rtc.setDOW(FRIDAY);      // Set Day-of-Week to FRIDAY
  // rtc.setTime(12, 0, 0);    // Set the time to 12:00:00 (24hr format)
  // rtc.setDate(6, 8, 2010);  // Set the date to August 6th, 2010
}

void loop()
{
  t = rtc.getTime();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(rtc.getTimeStr());
  // Display abbreviated Day-of-Week in the lower left corner
  lcd.setCursor(11, 1);
  lcd.print(rtc.getDOWStr(FORMAT_SHORT));
  // Display date in the lower right corner
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(rtc.getDateStr());
  lcd.setCursor(9, 0);
}
```

```

Serial.print(rtc.getDOWStr());
Serial.print(" ");
Serial.print(t.hour);
Serial.print(":");
Serial.print(t.min);
Serial.print(":");
Serial.print(t.sec);
Serial.println(":");
Serial.println("*****");

if(t.dow == MONDAY || TUESDAY || WEDNESDAY || THURSDAY || FRIDAY){
if (t.hour == 7 && t.min == 15 && t.sec == 00) { // Debut mot du matin
    digitalWrite(Relay,HIGH);
    Serial.println("LIGHT ON");
    lcd.print("Clo:ON");
}

else if(t.hour == 7 && t.min == 15 && t.sec == 10 ) {
    digitalWrite(Relay,LOW);
    Serial.println("LIGHT OFF");
    lcd.print("Clo:OFF");
}

if (t.hour == 7 && t.min == 30 && t.sec == 00) { //Debut premiere heure
    digitalWrite(Relay,HIGH);
    Serial.println("LIGHT ON");
    lcd.print("Clo:ON");
}

else if(t.hour == 7 && t.min == 30 && t.sec == 8) {
    digitalWrite(Relay,LOW);
    Serial.println("LIGHT OFF");
    lcd.print("Clo:OFF");
}
}

```

```

if (t.hour == 8 && t.min == 15 && t.sec == 00)  {// Début deuxième heure
  digitalWrite(Relay,HIGH);
  Serial.println("LIGHT ON");
  lcd.print("Clo:ON");}
else if(t.hour == 8 && t.min == 15 && t.sec == 8) {
  digitalWrite(Relay,LOW);
  Serial.println("LIGHT OFF");
  lcd.print("Clo:OFF");}
if (t.hour == 9 && t.min == 00 && t.sec == 00)  {// Début troisième heure
  digitalWrite(Relay,HIGH);
  Serial.println("LIGHT ON");
  lcd.print("Clo:ON");}
else if(t.hour == 9 && t.min == 00 && t.sec == 8) {
  digitalWrite(Relay,LOW);
  Serial.println("LIGHT OFF");
  lcd.print("Clo:OFF");}
if (t.hour == 9 && t.min == 45 && t.sec == 00)  {// Début quatrième heure
  digitalWrite(Relay,HIGH);
  Serial.println("LIGHT ON");
  lcd.print("Clo:ON");}
else if(t.hour == 9 && t.min == 45 && t.sec == 8) {
  digitalWrite(Relay,LOW);
  Serial.println("LIGHT OFF");
  lcd.print("Clo:OFF");}
if (t.hour == 10 && t.min == 30 && t.sec == 00)  {//1er cout de clochette de but recréation
  digitalWrite(Relay,HIGH);
  Serial.println("LIGHT ON");
  lcd.print("Clo:ON");}
else if(t.hour == 10 && t.min == 30 && t.sec == 8) {
  digitalWrite(Relay,LOW);
  Serial.println("LIGHT OFF");}

```

```

lcd.print("Clo:OFF");

if (t.hour == 10 && t.min == 30 && t.sec == 11)  {//2e cout de clochette de but recréation
digitalWrite(Relay,HIGH);
Serial.println("LIGHT ON");
lcd.print("Clo:ON");

else if(t.hour == 10 && t.min == 30 && t.sec == 19) {

digitalWrite(Relay,LOW);
Serial.println("LIGHT OFF");
lcd.print("Clo:OFF");

if (t.hour == 10 && t.min == 45 && t.sec == 00)  // Début cinquième heure
digitalWrite(Relay,HIGH);
Serial.println("LIGHT ON");
lcd.print("Clo:ON");

else if(t.hour == 10 && t.min == 45 && t.sec == 10) {

digitalWrite(Relay,LOW);
Serial.println("LIGHT OFF");
lcd.print("Clo:OFF");

if (t.hour == 11 && t.min == 30 && t.sec == 00)  // Début sixième heure
digitalWrite(Relay,HIGH);
Serial.println("LIGHT ON");
lcd.print("Clo:ON");

else if(t.hour == 11 && t.min == 30 && t.sec == 8) {

digitalWrite(Relay,LOW);
Serial.println("LIGHT OFF");
lcd.print("Clo:OFF");

if (t.hour == 12 && t.min == 15 && t.sec == 00)  // Début septième heure
digitalWrite(Relay,HIGH);
Serial.println("LIGHT ON");
lcd.print("Clo:ON");

else if(t.hour == 12 && t.min == 15 && t.sec == 8) {

```

```

digitalWrite(Relay,LOW);
Serial.println("LIGHT OFF");
lcd.print("Clo:OFF");

if (t.hour == 13 && t.min == 00 && t.sec == 00) { //1er cout de clochette de Fin du cours
  digitalWrite(Relay,HIGH);
  Serial.println("LIGHT ON");
  lcd.print("Clo:ON");

else if(t.hour == 13 && t.min == 00 && t.sec == 8) {
  digitalWrite(Relay,LOW);
  Serial.println("LIGHT OFF");
  lcd.print("Clo:OFF");

if (t.hour == 13 && t.min == 00 && t.sec == 11) { //2e cout de clochette de Fin du cours
  digitalWrite(Relay,HIGH);
  Serial.println("LIGHT ON");
  lcd.print("Clo:ON"); }

else if(t.hour == 13 && t.min == 00 && t.sec == 19) {
  digitalWrite(Relay,LOW);
  Serial.println("LIGHT OFF");
  lcd.print("Clo:OFF");}

if (t.dow == SATURDAY) {
  digitalWrite(Relay,LOW);
  Serial.println("CLO OFF");
  lcd.print("CLO:OFF");}

if (t.dow == SUNDAY){
  digitalWrite(Relay,LOW);
  Serial.println("LIGHT OFF");
  lcd.print("Clo:OFF");
  lcd.print("CLO:OFF");}
  delay(1000);

```

}