

UNIVERSITE LIBRE DES PAYS DES GRANDS LACS
FACULTE DE SCIENCES ET TECHNOLOGIES
APPLIQUEES

DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE ET INFORMATIQUE



BP. 368 GOMA

www.ulpgl.net

CONCEPTION ET REALISATION D'UN SYSTEME A BASE
D'ARDUINO POUR LA GESTION OPTIMALE DE LA
CONSOMMATION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE :
Application à un ménage standard.

Par : YUNASI Nsekuye Emmanuel

Travail présenté en vue de l'obtention du Diplôme de
Gradué en Sciences et Technologies Appliquées

Option : Génie Electrique et Informatique

Directeur : MPhil. Ir. Raoul IRENGE BAGUMA

Encadreur : Msc. Ir. Dieudonné MUSONGYA

ANNEE ACADEMIQUE 2021 - 2022

EPIGRAPHE

« Les personnes qui utilisent le temps sagement le consacrent aux activités qui font progresser leur but global dans la vie. »

John C. Maxwell

DEDICACES

A tous mes collègues de G3 Génie Electrique et Informatique.

YUNASI Nsekuye Emmanuel

REMERCIEMENTS

A l'Eternel Dieu tout puissant pour nous avoir comblés de sa grâce par le don de vie et des capacités d'arriver jusqu'ici à la fin de notre premier cycle universitaire.

Les plus sincères au Master Ingénieur Raoul IRENGE BAGUMA et à l'Ingénieur Dieudonné MUSONGYA BISIMWA qui en dépit de leurs multiples occupations ont accepté de diriger ce travail.

A tout le cadre professoral et administratif de la Faculté des Sciences et Technologies Appliquées en particulier et à toute l'Université Libre des Pays des Grands Lacs en général.

De manière particulière à nos Parents NSEKUYE Daniel et MAPENDO Lugano pour leurs efforts consentis afin que nous devenions utiles pour la société.

Le sentiment de gratitude s'adresse à mon grand-père KYANGWI MURAIRI Prosper et à mon Oncle Emmanuel BARAKA pour toute leur affection et sagesse qui nous ont permis d'évoluer sans beaucoup des peines durant ce premier cycle universitaire.

Nos gratitude s'adressent à tous nos collègues de G3 et compagnons de lutte pour leurs encouragements, amitié et soutiens durant ce parcours.

Nous ne saurons finir ces paragraphes sans avoir exprimé nos remerciements envers toutes les personnes qui ont contribués de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

SOMMAIRE

EPIGRAPHE.....	i
DEDICACES	ii
REMERCIEMENTS	iii
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	x
SIGLES ET ABREVIATIONS	xi
RESUME.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCTION GENERALE.....	1
1. PROBLEMATIQUE DU TRAVAIL.....	1
2. HYPOTHESES DU TRAVAIL	2
3. CHOIX ET INTERET DU SUJET	3
4. OBJECTIFS DU TRAVAIL	3
5. METHODOLOGIE DU TRAVAIL.....	4
6. SUBDIVISION DU TRAVAIL	4
CHAPITRE I.....	5
GENERALITES SUR L'INSTALLATION ELECTRIQUE DOMESTIQUE	5
I.1. INTRODUCTION	5
I.2. APERÇU SUR LA CONFORMITE DES INSTALLATIONS ELECTRIQUES.....	5
I.2.1. Norme NF C 15-100	5
I.2.2. Règles générales d'installation.....	6
I.3. STRUCTURE DES INSTALLATIONS ELECTRIQUES	8
I.3.1. ALIMENTATIONS	8

I.3.2. CIRCUIT ELECTRIQUE	8
I.3.3. LES CABLES	8
I.3.4. LA MISE A LA TERRE	10
I.3.5. POINTS D'UTILISATION	12
I.3.6. DIVISION D'UNE INSTALLATION	14
I.3.7. PROTECTION DES CIRCUITS	14
I.3.8. PROTECTION DES PERSONNES	14
I.4. L'INSTALLATION ELECTRIQUE ET LES MATERIELS.....	15
I.4.1. LE COMPTEUR ELECTRIQUE	15
I.4.2. LE DISJONCTEUR DE BRANCHEMENT	16
I.4.3. LE TABLEAU DE REPARTITION	16
I.4.4. LA GAINTE TECHNIQUE DE LOGEMENT.....	18
I.5. CONCLUSION PARTIELLE	19
CHAPITRE II.....	20
DESCRIPTION DE NOTRE MENAGE STANDARD ET APERCU SUR LES SYSTEMES DE GESTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE	20
II.1. INTRODUCTION	20
II. 2. DESCRIPTION DE NOTRE MENAGE STANDARD.....	20
II.3. CARACTERISTIQUES DES APPAREILS ELECTROMENAGERS DE NOTRE MENAGE STANDARD	21
II.3.1. UN REFRIGERATEUR	22
II.3.2. UN CONGELATEUR	22
II.3.3. UNE CUISINIERE ELECTRIQUE	23
II.3.4. UN RECHAUD ELECTRIQUE	24
II.3.5. UN THERMOPLONGEUR ELECTRIQUE	25

II.3.6. UNE BOUILLLOIRE ELECTRIQUE	25
II.3.7. UN FER A REPASSER	26
II.4. APERCU SUR LES SYSTEMES DE GESTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE	26
II.4.1. AVANTAGES D'UN SYSTEME DE GESTION DE L'ENERGIE	27
II.4.2. EXEMPLE DES QUELQUES SYTEMES DE GESTION DE L'ENERGIE EXISTANTS	27
II.4.3. LES MICROCONTROLEURS	28
II.5. CONCLUSION PARTIELLE	31
CHAPITRE III.	32
CONCEPTION, DIMENSIONNEMENT ET SIMULATION DU SYSTEME DE GESTION OPTIMALE DE L'ENERGIE ELECTRIQUE.....	32
III.1. INTRODUCTION.....	32
III.2. PRESENTATION DU CAHIER DE CHARGE DU SYSTEME.....	32
III.3. SCHEMA BLOC DU SYSTEME.....	33
III.4. ANALYSE ET DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS DE CHAQUE BLOC DU SYSTEME.....	34
III.4.1. UNITE DE TRAITEMENT	34
III.4.2. BLOC DES CAPTEURS	36
III.4.3. BLOC D'INTERFACE COMMANDE-PUISSANCE	40
III.4.4. BLOC DES BOUTONS DE PARAMETRE	43
III.4.5. BLOC DE VISUALISATION	44
III.4.6. BLOC DE SIGNALISATION	47
III.5. PRESENTATION DU SYSTEME	48
III.5.1. SCHEMA DE PUISSANCE DU SYSTEME DE GESTION DE LA CONSOMMATION L'ENERGIE ELECTRIQUE	48
III.5.2. FONCTIONNEMENT DU SYSTEME (Schéma bloc).....	50

III.6. PRESENTATION DES RESULTATS	51
III.7. SCHEMA GENERAL DU SYSTEME DE GESTION OPTIMALE DE LA CONSOMMATION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE	Erreur ! Signet non défini.
CONCLUSION GENERALE	54
BIBLIOGRAPHIE	55

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Dispositifs différentiels pour la protection contre les chocs électriques	7
Figure I.2 : Dispositifs pour la protection contre les surintensités	7
Figure I.3 : le câble du type U1000RO2V	9
Figure I.4 : Une moulure en plastique et une gaine électrique	10
Figure I.5 : Le principe de la mise à la terre	11
Figure I.6 : Mise à la terre par boucle à fond de fouille et par piquet de terre	12
Figure I.7 : La chaîne d'équipements (ou matériels) du réseau jusqu'à l'utilisation ou consommation	15
Figure I.8 : Les panneaux de comptage	16
Figure I.9 : Exemple d'un tableau de répartition	17
Figure I.10 : Gaine Technique de Logement	18
Figure II.11. Un réfrigérateur	22
Figure II.12 : Un congélateur	22
Figure II.13 : Une cuisinière électrique	23
Figure II.14 : Un réchaud électrique à un seul foyer et à deux foyers	24
Figure II.15 : Un thermoplongeur électrique	25
Figure II.16 : Une bouilloire électrique	25
Figure II.17 : Un fer à repasser	26
Figure II.18 : Les éléments clés d'un microcontrôleur	29
Figure II.19 : Constitution d'un système à microcontrôleur avec différents bus	31
Figure III.20 : Schéma bloc du système	33
Figure III.21 : Présentation de la carte Arduino UNO	34
Figure III.22 : Quelques capteurs	37
Figure III.23 : Schéma de brochage d'un capteur de courant ACS712	37
Figure III.24 : Forme de branchement d'un capteur de courant	38
Figure III.25 : Diagramme Tension – Courant d'un capteur de courant	39
Figure III.26 : Montage d'un pont diviseur de tension avec filtrage	40
Figure III.27 : Relais électromécanique	41
Figure III.28 : Constitution du relais électromécanique	41
Figure III.29 : Schéma d'un transistor et dimensionnement de sa résistance de Base	42

Figure III.30 : Schéma de branchement d'un bouton.....	43
Figure III.31 : Branchement des LEDS d'un Afficheur 7 segments	44
Figure III.32 : Représentation du boîtier de l'Afficheur 7 segments	45
Figure III.33 : Décodeur BCD 7 segments.....	46
Figure III.34 : Signalisation par LED.....	48
Figure III.35 : Schéma partie puissance du système de gestion de l'énergie.....	49
Figure III.36 : Schéma de fonctionnement du système.....	50
Figure III.37 : Schéma général du système du SGOCE.....	53

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Section théorique des conducteurs sans tenir compte de la longueur et du cheminement	10
Tableau I.2 : Le nombre maximal de points d'utilisation par circuit ainsi que la section des conducteurs	13
Tableau II.3 : Caractéristiques d'une cuisinière électrique de référence OCEACE5060W	24
Tableau III.4 : Caractéristiques techniques Arduino UNO	36
Tableau III.5 : Valeur binaires des quelques chiffres	46

SIGLES ET ABBREVIATIONS

AC : Alternating Current

CPU: Central Processing Unit

CVC : Chauffage Ventilation Climatisation

DC: Direct Current

EMS : Energy Management System

EPROM: Erasable Programmable Read Only Memory

LED: Light-Emitting Diode

nF: nanoFarad

RAM : Random Access Memory

SGOCE : Système de Gestion Optimale de la Consommation de l'Energie Electrique

SRAM: Static Random-Access Memory

uF: microfarad

UHF: Ultra High Frequencies

USB: Universal Serial Bus

VHF: Very High Frequencies

RESUME

De nos jours, des nombreux travaux de recherche à travers le monde portent sur le contrôle ou la gestion de l'énergie. La gestion optimale de l'énergie électrique nécessite le déploiement des solutions technologiques innovantes mettant en œuvre des systèmes électroniques capables de fonctionner d'une façon le plus autonome possible. Cependant malgré les nombreuses recherches dans ce domaine, la gestion optimale de l'énergie par un microcontrôleur reste un défi. C'est pour cela que les matériels électroniques doivent être équipés de toutes les données nécessaires pour la réalisation de nombreuses fonctions telles que : indépendance de la présence humaine, rapidité du fonctionnement, possibilité d'arrêt automatique du système dès qu'il y a une charge qui consomme au-delà des limites préétablies.

Nous proposons un système de gestion optimale de l'énergie électrique avec l'utilisation du côté commande, une carte Arduino et du côté puissance, les capteurs de courant, capteur de tension et les relais électromécaniques ; tous intégrant différents sous-systèmes.

Dans le système proposé, toutes les opérations ou processus de traitement d'information sont effectuées par le microcontrôleur (Arduino) ainsi que la logique de gestion optimale. Les données envoyées par les capteurs sont prises en compte par le même microcontrôleur (Arduino) et par la suite il exécute les différentes tâches en donnant des ordres aux actionnaires (Relais électromécaniques). Pratiquement notre système est une multiprise électrique programmable qui contient 4 prises commandées. L'utilisateur devra interagir avec le système au travers deux boutons prévus pour les paramètres ; l'une pour la sélection de la prise et l'autre pour le choix de l'énergie seuille à consommer affectée à la prise en question. Il y a aussi un afficheur 7 segments et des LEDS respectivement pour la visualisation et la signalisation.

Dans son fonctionnement, le système doit gérer la consommation de la charge en mesurant l'énergie consommée à chaque seconde et la comparer au seuil préétablit, une fois le seuil d'énergie affecté à la prise est atteint, il coupe l'alimentation pour la rétablir une fois la charge est déconnectée.

Mots clés : Gestion optimale, Arduino UNO, Capteur ACS712-20A, microcontrôleur (ATMEGA328P), maison standard.

ABSTRACT

Nowadays, numerous researches work throughout the world relate to the control or energy management. The optimal management of electrical energy requires the deployment of innovative technological solutions implementing electronic systems capable of operating as independently as possible. However, despite the many researches in this field, the optimal management of energy by a microcontroller remains a challenge. This is why electronic equipment must be equipped with all the data necessary for the performance of many functions such as independence of human presence, speed of operation, possibility of automatic shutdown of the system as soon as there is a load who consumes beyond the pre-established limits. We propose a system for optimal management of electrical energy with the use of the control side, an Arduino card and the power side, current sensors, voltage sensor and electromechanical relays; all integrating different subsystems.

In the proposed system, all operations or information processing processes are carried out by the microcontroller (Arduino) as well as the optimal management logic. The data sent by the sensors are taken into account by the same microcontroller (Arduino) and the next it executes the various tasks by giving orders to the shareholders (Electromechanical relays). Practically our system is a programmable electrical power strip which contains 4 controlled sockets. The user will have to interact with the system through two buttons provided for the parameters, one for the selection of the outlet and the other for the choice of threshold energy to consume assigned to the outlet in question. There is also a 7-segment display and LEDS respectively for visualization and signaling. In its operation, the system must manage the consumption of the load by measuring the energy consumed each second and comparing it to the pre-established threshold, once the energy threshold assigned to the socket is reached, it cuts off the power supply for the restore once the load is disconnected.

Key Word: Optimal management, Arduino UNO, ACS712-20A sensor, microcontroller (ATMEGA328P), Maison standard.

INTRODUCTION GENERALE

1. PROBLEMATIQUE DU TRAVAIL

Les technologies de contrôle et gestion de l'énergie électrique sont en perpétuelle évolution. Actuellement avec l'arrivée du nouveau millénaire, les débats sur l'avenir énergétique de la planète se sont intensifiés compte tenu des besoins sans cesse croissants dans le domaine et les conséquences que cela peut engendrer à moyen terme. En effet, l'évolution démographique et le développement de certaines zones géographiques, laissent présager une augmentation considérable de la consommation en énergie. Une première piste à cette crise annoncée est la diminution de la consommation énergétique. C'est ainsi que sont apparus sur le marché, ces dernières années, des appareils de faible consommation (réfrigérateurs, lampes économiques, fer à repasser basse consommation, télévision, ...) [1].

En République Démocratique du Congo le taux d'électrification est encore à moins de 20% en générale et à moins de 5% en province. Dans la ville de Goma, sur une demande estimée entre 50 MW à 80 MW seulement moins de 14 MW en moyenne sont desservis par les opérateurs locaux (Virunga énergies et Socodee : 8MW ; Nuru : 1,2MW ; SNEL : 4 MW). Moins de 30% de la population (17,5% dans le scénario de 80 MW et 28% dans le scénario de 50MW) ont accès à l'électricité [2].

De ce qui précède, nous comprenons que la ville de Goma est jusqu'à présent en déficit énergétique, alors une bonne gestion de la consommation de l'énergie électrique est donc d'une grande utilité pour répondre tant soit peu à ce besoin grandissant. Cependant, pour ramener les consommateurs à la gestion efficace de l'énergie disponible, les compteurs sont imposés aux clients par les sociétés de distribution de l'énergie électrique. Par ailleurs, la gestion manuelle n'est pas souvent aisée et pénalisent financièrement les clients. Et pourtant une gestion automatique de l'énergie électrique serait d'une grande aide.

Ces systèmes ont généralement pour mission de :

- Contrôler la situation d'un élément dans le module électronique en utilisant des capteurs ou des relais à maxima ou à minima d'intensité (pour effectivement contrôler la charge et la décharge des batteries, grand ou faible courant absorbé pour certains appareils) ;
- Contrôler l'état présent et décider de la suite du fonctionnement du système (gestion des priorités des deux sources) : cas des systèmes intelligents programmables ; etc.

- Couper l'alimentation pour un appareil dépassant un seuil d'énergie consommée en temps réel et la rétablir une fois la charge débranchée du réseau.

Pour mener nos recherches nous nous sommes posé les questions suivantes :

- ✚ Est-il utopique de penser qu'un module électronique de contrôle et de gestion optimale de l'énergie électrique puisse remplacer totalement la présence humaine lors du fonctionnement de système énergétique ou bien lors de sa mise en œuvre ?
- ✚ Pourrions-nous réaliser localement et à moindre coût un module électronique de contrôle et de gestion optimale de l'énergie capable de répondre à toutes les préoccupations citées ci-haut ?
- ✚ Les systèmes intégrant les capteurs, détecteurs, microcontrôleurs seraient-ils incontournables ?

C'est sur base de ces différents questionnements que nous abordons notre travail.

2. HYPOTHESES DU TRAVAIL

Etant donné que les hypothèses sont des réponses anticipées aux questions spécifiques d'une recherche, voici donc quelques pistes de solutions que nous allons exploiter et analyser tout au long de notre travail.

- ✓ Il ne serait pas utopique de penser qu'un module électronique de contrôle et de gestion optimale de l'énergie électrique puisse remplacer totalement la présence humaine lors du fonctionnement du système énergétique ou bien lors de sa mise en œuvre.
- ✓ Il serait effectivement possible de réaliser localement et à moindre coût un module électronique de contrôle et de gestion optimale de l'énergie capable de répondre à toutes les préoccupations citées ci-haut. Le système devrait être le plus simple possible afin de permettre à chaque utilisateur de comprendre et bien interpréter ses différents feedbacks. Le système intégrant les capteurs, détecteurs, microcontrôleurs serait le moyen le mieux adapté pour la réalisation de ce travail. Ce système serait facilement accessible (coût ou prix de vente des composants électroniques sur le marché) et ne demanderait pas des grandes connaissances pour leur fonctionnement.

3. CHOIX ET INTERET DU SUJET

Notre choix s'est orienté dans le domaine de gestion optimale de l'énergie électrique, un domaine qui, sans doute, contient une multiplicité et une variété des champs d'applications. Parmi ces applications on peut citer : La surveillance d'alimentations des installations électriques, le contrôle des grandeurs électriques des installations électriques importantes, la protection des appareils lors des coupures brusques de l'électricité, l'économie de l'énergie c'est-à-dire la baisse des factures d'électricité, etc. En menant aussi nos recherches dans ce domaine, nous voulons apporter notre contribution à ce défi qu'est la gestion de l'énergie électrique. Néanmoins, l'intérêt poursuivi est triple :

- ✓ **Sur le plan personnel** : Ce travail nous permettra d'avoir une connaissance sur les systèmes de contrôle et de gestion de l'énergie électrique. Il permettra également de nous familiariser avec l'utilisation des laboratoires virtuels tels que PROTEUS, ARDUINO, etc.
- ✓ **Sur le plan scientifique** : Ce travail nous permettra de nous familiariser avec les composants électroniques utilisés dans notre système. Ensuite, à l'issue de ce travail, d'autres chercheurs en la matière peuvent l'utiliser comme une base de source et référence dans leurs travaux scientifiques.
- ✓ **Sur le plan de la société** : Ce travail va apporter une contribution à la solution au problème de gestion de la consommation de l'énergie électrique, chose qui est parfois difficile dans certaines maisons (ménages) ayant plusieurs appareils électroménagers ou habitées par plusieurs personnes.

4. OBJECTIFS DU TRAVAIL

Ce présent travail poursuit des objectifs présentés sous deux niveaux suivants :

1) OBJECTIF GLOBAL

Pratiquement, ce travail a pour objectif global de concevoir un système pouvant prendre en charge le contrôle et la gestion optimale de l'énergie. Avec ce système nous serons capables de suivre la consommation d'un appareil en énergie, comparer cette consommation à un seuil quelconque prédéfini d'avance et ainsi décider si l'appareil doit rester branché à la source d'alimentation ou débranché.

2) OBJECTIFS SPECIFIQUES

- Faire une étude sur l'installation électrique domestique,
- Décrire notre ménage standard et présenter les appareils électroménagers qu'on peut y trouver en donnant leurs caractéristiques techniques essentielles.
- Faire le choix des composants et modules électroniques de notre système en étudiant leurs propriétés,
- Dimensionner notre système sur base des composants sélectionnés,
- Réaliser et simuler notre système.

5. METHODOLOGIE DU TRAVAIL

Pour atteindre nos objectifs, nous envisageons utiliser des méthodes et techniques telles que :

- ✚ La **méthode d'observation** : cette méthode va nous aider à avoir une vue d'ensemble sur les divers systèmes de contrôle et de gestion de l'énergie qui existent déjà. Et elle va nous donner des idées générales sur notre système, le système que nous devons mettre en place.
- ✚ La **technique documentaire** qui nous permet d'approfondir nos connaissances en fréquentant les bibliothèques pour la lecture des livres, des travaux de nos prédécesseurs et en consultant la documentation sur internet afin de voir ce qui existe déjà et ce qui a déjà été fait en rapport avec le sujet.
- ✚ La **technique expérimentale** qui nous a permis grâce aux logiciels de simulation de vérifier par différents tests si le prototype de notre système fonctionne et s'il répond à nos attentes.

6. SUBDIVISION DU TRAVAIL

Hormis l'introduction et la conclusion, notre travail s'étend sur trois chapitres dont :

- ✚ Le premier qui se focalise sur les généralités de l'installation électrique domestique.
- ✚ Le deuxième qui donne une description de notre ménage standard et un aperçu sur les systèmes de gestion de l'énergie électrique.
- ✚ Le troisième qui se base sur la conception, simulation et dimensionnement du système de gestion optimale de l'énergie électrique.

CHAPITRE I.

GENERALITES SUR L'INSTALLATION ELECTRIQUE DOMESTIQUE

I.1. INTRODUCTION

Une installation électrique est un ensemble cohérent de circuits électriques, d'appareillages électriques. Elle peut se situer dans un bâtiment ou un ensemble de bâtiments à usage d'habitation, industriel, commercial, ou de bureaux. Le dimensionnement d'une installation électrique consiste à faire le choix optimal des sections de câbles et des protections pour garantir un fonctionnement normal des équipements sans dégradation ou échauffement [3].

L'étude et le dimensionnement de l'installation électrique se fait par un architecte et/ou un bureau d'étude en techniques spéciales et/ou l'entreprise d'électricité. La réalisation de l'installation électrique se fait par une entreprise d'électricité ou un électricien. Mais avant de commencer les différents montages existant dans une installation électrique il faut tout d'abord commencer par réaliser un schéma électrique. Un schéma électrique représente à l'aide de symboles graphiques, les différentes parties d'un réseau, d'une installation ou d'un équipement qui sont reliées et connectées fonctionnellement [4]. Ainsi dans ce chapitre nous serons entrain de parcourir les généralités sur l'installation électrique domestique.

I.2. APERÇU SUR LA CONFORMITE DES INSTALLATIONS ELECTRIQUES

I.2.1. Norme NF C 15-100

✓ Historique

La nécessité de réglementer les installations s'est très tôt fait sentir. Dès 1911, la publication 137 déterminait les instructions concernant les installations électriques de première catégorie dans les immeubles. En 1930 naquit la NF C 11 qui fut transformée en USE 11 en 1946. Elle prenait en compte les règles d'exécution des installations électriques et l'introduction des conducteurs en matière synthétique en remplacement des isolants en tissu. En 1956 apparut la première NF C 15-100 qui sera refondue régulièrement tous les dix ans environ, jusqu'à la dernière en date de 2002. Applicable depuis juin 2003, la norme NF C 15-100 évolue en vue d'une harmonisation européenne et internationale. Des règles beaucoup plus strictes sur la sécurité ont été définies. [5].

✓ **En quoi consiste cette norme ?**

La norme NF C 15-100 fixe les règles de conception, de réalisation et d'entretien des installations électriques basse tension en France. Elle veut ainsi offrir aux occupants une sécurité optimale et une garantie de bon fonctionnement. Elle est régulièrement mise à jour pour prendre en compte les évolutions des technologies et des exigences de sécurité. Cette norme met à la disposition de tous quelques réglementations, notamment **l'amendement 5**, applicable depuis le 27 novembre 2015, et **les deux arrêtés du 03 aout 2016** sur la réglementation des installations électriques et sur les exigences techniques du réseau de communication dans les bâtiments d'habitation, applicables depuis le 1^{er} septembre 2016 [6].

✓ **Réalité sur terrain dans la ville de Goma**

Parlant des normes d'installations électriques domestiques, nous devons souligner d'abord que dans notre pays la RDC c'est la Norme Française C 15-100 qui est en application [4]. Toutefois, dans la réalité sur terrain, principalement à Goma, nous avons constaté que jusqu'à présent dans la majorité des réalisations d'installations électriques domestiques, la grande partie des dispositions définies par cette norme ne sont pas respectées. Cela est d'une part dû au manque de suivi des autorités compétentes affectées à ce domaine et d'autre part à la non qualification des personnes effectuant ces installations.

I.2.2. Règles générales d'installation

L'installation électrique d'un local à usage d'habitation doit être en conformité avec la norme NF-C 15-100. Une installation électrique doit assurer la protection des personnes, des animaux et des biens contre :

a) Les risques d'électrocution

Il faut assurer la protection des personnes et des animaux contre tous les risques de contact direct ou indirect avec le courant électrique. Toutes les parties sous tension doivent être isolées et les masses métalliques reliées à la terre. La protection contre les chocs électriques est réalisée en utilisant un dispositif différentiel comme montré à la Figure I.1 [5].



Figure I.1 : Dispositifs différentiels pour la protection contre les chocs électriques [5]

b) Les risques d'incendie [5]

Le passage du courant ne doit pas produire un échauffement tel qu'il y ait risque de brûlure ou d'incendie.

c) Les surintensités [5]

Une surintensité se produit lorsque le courant circulant dans le circuit est supérieur à celui prévu initialement pour l'installation. Elle peut être due à :

- Une surcharge (trop d'appareils raccordés sur un même circuit, l'intensité absorbé est alors supérieure à l'intensité nominale)
- Un court-circuit (Mise en contact accidentellement de deux conducteurs de polarités différentes)
- La protection contre les surintensités est réalisée en utilisant des cartouches fusibles ou des disjoncteurs divisionnaires, la Figure I.2 nous montre l'image de ces derniers.



Figure I.2 : Dispositifs pour la protection contre les surintensités [5]

d) Le risque de surtension

La foudre, en tombant sur une ligne aérienne, peut provoquer des surtensions capables d'endommager gravement les installations électriques. Il convient donc de s'en protéger à l'aide d'un parafoudre [7].

e) Les autres risques

Outre les protections évoquées, il faut pouvoir procéder à la mise hors tension d'un circuit lorsque survient un défaut, pour cela il faut avoir :

- ✚ Un dispositif de sectionnement pour pouvoir isoler une partie de l'installation (porte fusible bipolaire ouvert ou disjoncteur divisionnaire).
- ✚ Un dispositif de coupure d'urgence (fonction assurée par le disjoncteur de branchement).
- ✚ L'indépendance entre l'installation électrique et les autres installations comme les canalisations d'eau, réseaux téléphoniques, etc.
- ✚ L'accessibilité aux matériels électriques pour l'entretien et le nettoyage.
- ✚ L'alimentation du matériel sous la tension normale pour laquelle il a été conçu.

I.3. STRUCTURE DES INSTALLATIONS ELECTRIQUES

I.3.1. ALIMENTATIONS

a. Nature de la tension

La tension fournie peut être de 2 types [3] :

- ❖ La tension continue, fournie par les piles, les batteries, les alimentations continues (faibles puissances).

Symbole : DC

- ❖ La tension alternative de fréquence 50 Hz en Europe et 60 Hz en Grande-Bretagne et aux USA.

Symbole : AC

b. Types de réseaux

Un réseau électrique est caractérisé par le nombre de conducteurs actifs (phase). On distingue le monophasé (une phase + un neutre) et le triphasé (trois phases + un neutre).

I.3.2. CIRCUIT ELECTRIQUE

Un circuit électrique est un ensemble de matériels électriques (conducteurs, appareillage) protégés contre les surintensités par le même disjoncteur ou le même fusible [4].

I.3.3. LES CABLES

Les câbles sont considérés comme les piliers d'une installation électrique, en outre un surdimensionnement engendre des surcoûts dans la réalisation du projet, par contre un sous dimensionnement peut engendrer des échauffements et causer un dysfonctionnement de l'installation électrique, d'où la nécessité d'un dimensionnement optimal.

Le dimensionnement optimal des câbles doit tenir compte des conditions suivantes :

- Le mode de pose et la nature des milieux traversés

- La température extrême du milieu ambiant
- La tension et la nature du courant
- L'intensité à transporter
- La longueur de la liaison
- La chute de tension admissible
- La valeur du courant de court-circuit et le temps de coupure sur défaut.

Les couleurs des conducteurs ont une fonction déterminée : Rouge ou noir pour le conducteur actif : phase. Bleu pour le conducteur neutre. Vert-jaune pour le conducteur de protection : la terre. Marron, violet, orange : sont les couleurs utilisées pour les conducteurs retours lampes et navettes pour les va et vient [3].

Le choix du câble est très important avant l'achat car une fois dans la gaine il est rarement possible d'en rajouter un autre. Le nombre de conducteur et la section est fonction de l'installation à créer. Il existe des câbles de différentes sortes, le câble du type U1000RO2V montré à la Figure I.3 est un câble qui convient pour tout type d'installation, la tension d'utilisation maximale est 1000 Volts. Pour une installation réalisée dans les règles de l'art il convient de passer le câble dans une gaine [3].

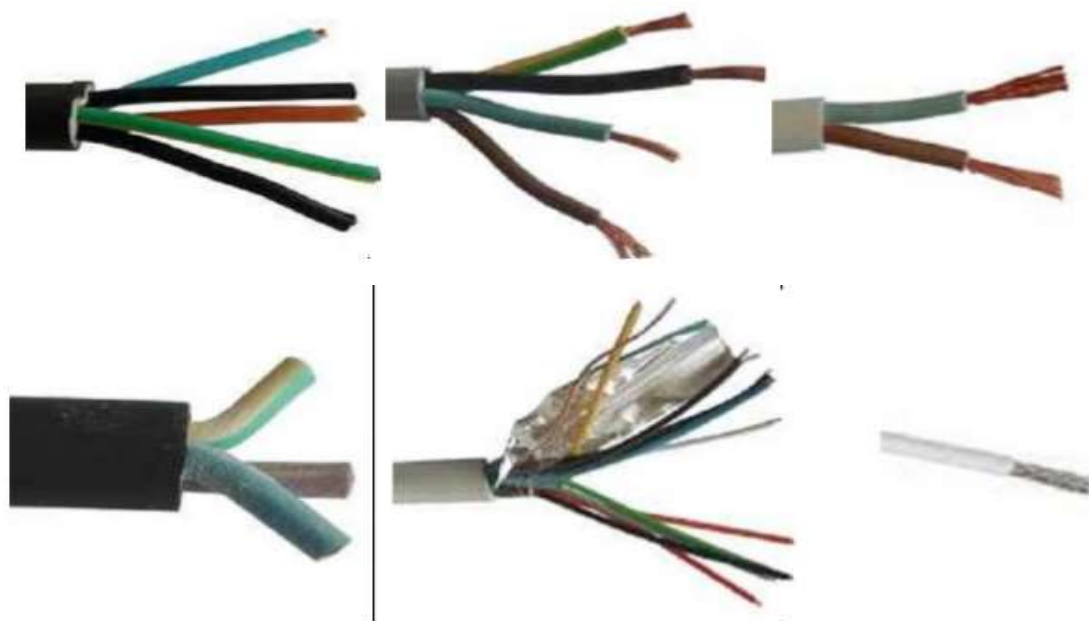


Figure I.3 : le câble du type U1000RO2V [3]

a) La section des conducteurs

Les sections des conducteurs pour l'alimentation des différents circuits sont présentées dans le Tableau I.1 ci-dessous [3] :

Tableau I.1 : Section théorique des conducteurs sans tenir compte de la longueur et du cheminement [3].

10A = 1,5 mm ²	16A = 2,5 mm ²	20A = 4 mm ²	32A = 6 mm ²
40A = 10 mm ²	63A = 16 mm ²	80A = 25 mm ²	100A = 35 mm ²

b) Les gaines

Dans les logements la gaine la plus utilisée est la gaine de type ICO (Isolant Cintrable Ordinaire) avec un tire fil, elle est destinée pour des saignées réalisées dans des murs ou des cloisons. Pour les installations en saillies il faut utiliser des moulures en plastique ou du tube de type IRO (isolant rigide ordinaire.) La fixation de la moulure est réalisée avec des chevilles et des vis, elle peut être collée mais à la longue cela finit toujours par se défaire. Le tube est fixé au mur avec des attaches ou colliers. Les attaches doivent être au plus espacées de 50 cm en partie horizontale et 60 cm en partie verticale [3]. La Figure I.4 nous montre l'image d'une moulure en plastique et d'une gaine électrique

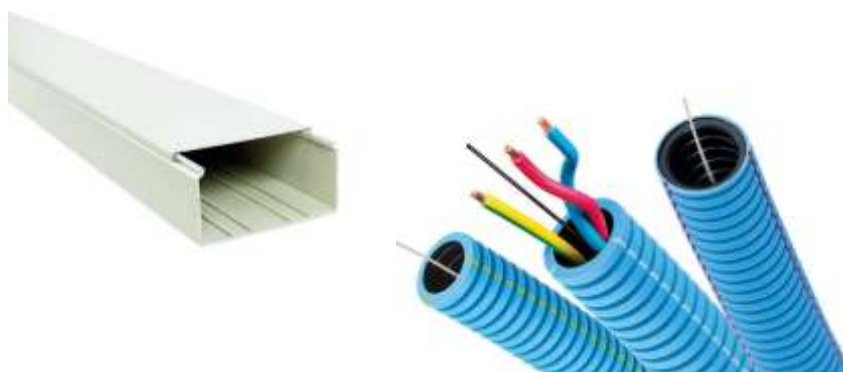


Figure I.4 : Une moulure en plastique et une gaine électrique [3].

I.3.4. LA MISE A LA TERRE

a) Son rôle

La prise de terre est obligatoire pour toutes les installations électriques domestiques. Toutes les prises de courant et tous les points d'éclairage doivent être équipés d'un conducteur de protection.

Il doit être acheminé y compris vers les appareils qui ne nécessitent pas de raccordement à la terre, comme les équipements de classe II. La prise de terre est un élément essentiel de sécurité. Elle permet, en cas de contact indirect, tel que montré à la Figure I.5, d'évacuer l'électricité vers le sol sans que celle-ci ne traverse le corps. C'est la prise de terre qui permet aux appareils de sécurité de se déclencher et de couper automatiquement l'alimentation électrique en cas d'incident [5].

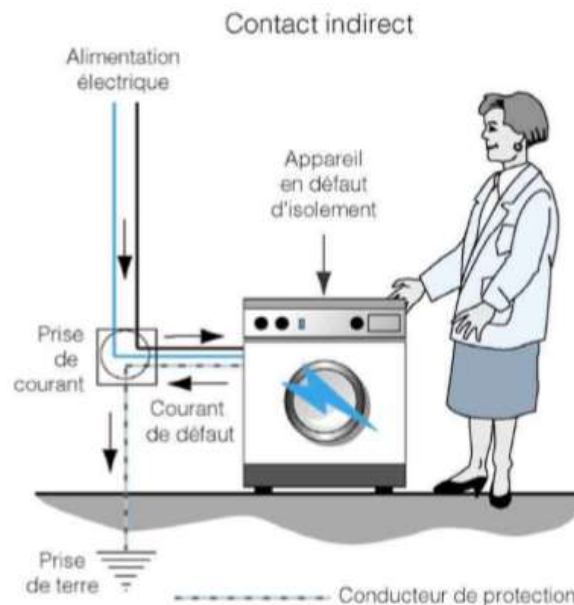


Figure I.5 : Le principe de la mise à la terre [5]

b) Raccordement d'une prise de terre [5]

Toutes les masses métalliques d'un bâtiment doivent être mises à la terre (liaison équipotentielle principale) en les raccordant à un conducteur de protection (ou conducteur de terre) de couleur vert-jaune. Deux méthodes ou solutions principales sont possibles pour réaliser une prise de terre tel que montré à la *Figure I.6*. Des conducteurs peuvent être enfouis horizontalement ou un piquet planté verticalement.

La première méthode consiste à utiliser des conducteurs enfouis en boucle à fond de fouille. La boucle à fond de fouille est la solution la plus performante, cependant elle n'est pas applicable dans l'existant. Elle consiste à réaliser un ceinturage à fond de fouille dans le béton de propreté des fondations de la maison. Elle consiste à enterrer un conducteur à une profondeur comprise entre 1 m et 1,60 m. Les conducteurs utilisables sont massifs ou câblés en cuivre nu ou recouverts d'une gaine de plomb. La section minimale est de 25mm².

La seconde méthode consiste à planter un ou plusieurs piquets de terre en acier galvanisé et d'un diamètre de 25 mm et d'une longueur de 1.5 m. Il est également possible d'utiliser des barres d'au moins 15mm de diamètre, en cuivre ou en acier recouvert de cuivre, ou encore des barres d'acier galvanisé d'au moins 60 mm de cotés. Les piquets sont installés de préférence dans le sous-sol afin de ne pas dépendre des conditions climatiques qui influencent la valeur de la prise de terre. La connexion entre le conducteur de terre et le piquet doit également être protégée contre la corrosion, par exemple avec de la graisse.

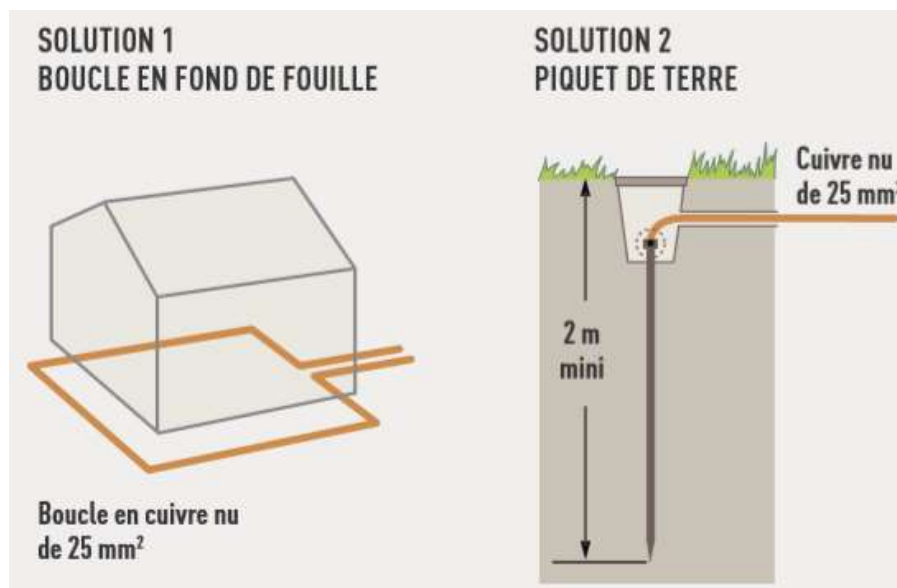


Figure I.6 : Mise à la terre par boucle à fond de fouille et par piquet de terre [7].

I.3.5. POINTS D'UTILISATION

Les circuits d'une installation électrique sont spécialisés par fonction : éclairage, prises de courants, circuit spécialisé (lave-linge, réfrigérateur, four, cuisinière, etc.), ils peuvent alimenter un ou plusieurs points d'utilisation [5].

a) L'éclairage

L'éclairage est un élément important d'une installation d'un point de vue esthétique et décoratif. Il permet de mettre en valeur un intérieur et d'avoir un confort visuel de qualité s'il est bien étudié.

Il existe différents modes d'éclairage :

- L'éclairage direct : Le flux lumineux est dirigé directement sur la surface à éclairer. Il permet de mettre en valeur un objet (table, statue, ...) ou d'éclairer une surface de travail (lampe de bureau). Il correspond à l'éclairage procuré par les spots, les plafonniers à réflecteur non translucide.

- L'éclairage indirect : Le flux lumineux est dirigé vers le plafond qui réfléchit la lumière (plus le plafond est clair, meilleur est le résultat). On trouve dans le commerce de nombreuses appliques qui procurent ce type d'éclairage.
- L'éclairage diffus : Le luminaire diffuse sur 180 ou 360 degrés. Il permet d'éclairer toute la pièce. L'ampoule est généralement placée dans une verrerie ou laissée apparente si elle est décorative. C'est le cas du lustre ou de la réglette fluorescente.
- L'éclairage mixte : Il réunit les trois autres modes d'éclairage dans un même luminaire. C'est le cas de la lampe de chevet ou de table.

Toutes ces possibilités permettent de choisir un style d'éclairage. Les emplacements seront choisis soit en plafonnier, soit en applique avec le mode d'éclairage désiré. La norme NF C 15-100 prévoit toutes les dispositions relatives à l'éclairage pour une maison d'habitation [5].

b) Les prises électriques [5]

Toutes les prises de courant doivent obligatoirement posséder une borne de terre et un système d'obturation automatique des alvéoles. Les prises de courant à fixateur à griffes sont interdites depuis le 1^{er} juin 2014. Les prises de courants sont très importantes. La norme impose un nombre minimal de prises en fonction des pièces. L'installation des prises de courant dans certains pièces (salles de bains, cuisines) est très réglementée. Il faut prévoir une ligne spécialisée pour chaque gros appareil électroménager (lave-linge, four, plaques de cuisson, cuisinière et congélateur). Le Tableau I.2 nous donne le nombre maximal des points d'utilisation par circuit ainsi que la section des conducteurs selon les normes préétablies.

Tableau I.2 : Le nombre maximal de points d'utilisation par circuit ainsi que la section des conducteurs [5].

Fonction	Nombre maximal de points d'utilisation par circuit		Section (mm ²) des conducteurs (Ph, N, T) (cuivre)
	Norme NF C 15-100	Label Promotelec	
Eclairage et prises de courant commandées	8	5	1.5
Prises de courant	8	5	2.5
Machine à laver	1	1	2.5
Cuisinière (four + plaques) ou plaques de cuisson	1	1	6
Four seul	1	1	2.5

Plaque deux feux studio	1	1	2.5
Chauffe-eau à accumulation	1	1	2.5
Chauffage : convecteurs, panneaux radiants	5	5	1.5 à 6

I.3.6. DIVISION D'UNE INSTALLATION

La subdivision des installations en plusieurs circuits permet de limiter les conséquences d'un défaut en ne coupant que le circuit défectueux. Cette façon d'opérer facilite aussi les vérifications et les recherches de défauts [7].

Les règles générales pour la division des circuits sont :

- L'éclairage est réparti de préférence entre plusieurs circuits, de même pour les prises de courant.
- Les circuits sont spécialisés en fonction des appareils qu'ils desservent et ces circuits ont chacun une protection distincte. (Exemples : prise de courant, chauffe-eau, machine à laver, ...).
- Le nombre de points lumineux ou de socles de prises de courant 16 A sur un même circuit ne doit pas dépasser 8 (ou 5 pour Promotelec).
- Les circuits de prise de courant, ainsi que le circuit d'alimentation d'éclairage de la salle de bain doivent être protégés au départ par un dispositif différentiel haute-sensibilité (30 mA).

I.3.7. PROTECTION DES CIRCUITS

Un circuit doit comporter, à son origine, sur la phase, un dispositif de protection contre les surintensités. On emploie, pour cela, soit un disjoncteur divisionnaire ou soit une cartouche fusible tel que montré à la Figure I.2. Le courant assigné maximal, ou calibre, du fusible, ou du disjoncteur doit figurer sur l'appareil, ou la cartouche. Ce dispositif a pour rôle de couper l'alimentation en cas de court-circuit ou de surconsommation sur le circuit qu'il alimente. Il permet de couper la phase et le neutre. Ces appareils doivent comporter le sectionnement du neutre, et l'identification ou le repérage du circuit qu'il alimente [5].

I.3.8. PROTECTION DES PERSONNES

En plus de la protection contre les surcharges et les courts-circuits, on doit protéger les personnes contre les risques de contacts indirects, à l'aide de dispositifs différentiels à haute sensibilité 30

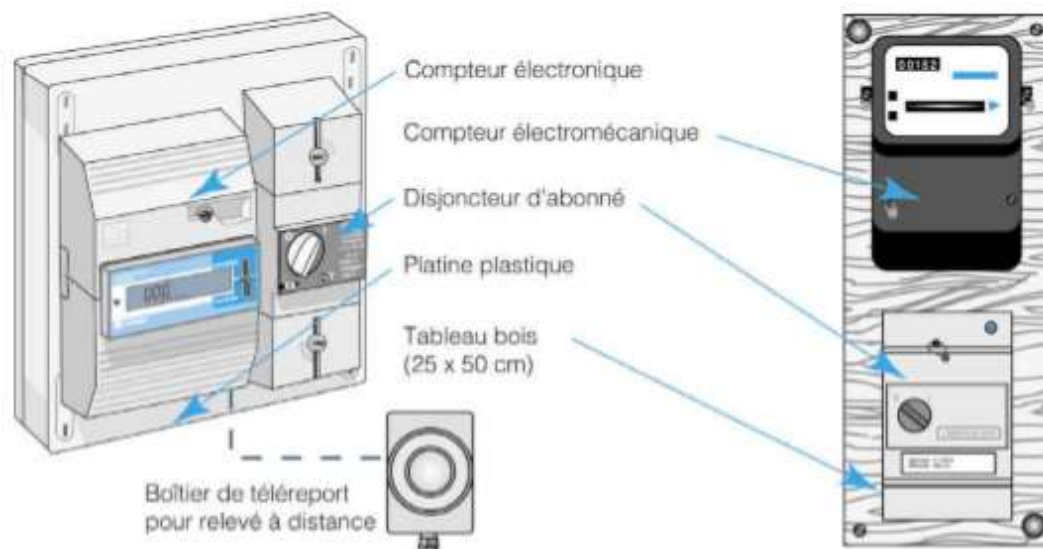


Figure I.8 : Les panneaux de comptage [7]

I.4.2. LE DISJONCTEUR DE BRANCHEMENT

Un disjoncteur général assure la commande et la protection générale de toute l'installation. Le disjoncteur d'abonné (ou de branchement), placé en tête d'installation, il coupe le courant dans le cas d'une consommation supérieure à celle souscrite dans l'abonnement (15, 30, 45, 60 ou 90 A). Il est différentiel (500mA) afin de protéger également les personnes contre les contacts indirects et prévient des risques d'incendie en surveillant les défauts d'isolement. De type S il permet d'assurer une sélectivité totale avec les interrupteurs différentiels installés en aval, afin que seul le départ ayant le défaut d'isolement soit mis hors tension. C'est aussi un interrupteur général qui permet une coupure manuelle d'urgence en cas de problème. Le disjoncteur d'abonnés doit être installé par un professionnel, et doit être plombé par le fournisseur d'électricité après réglage du calibre limitant la puissance au contrat souscrit [7].

I.4.3. LE TABLEAU DE REPARTITION

Le tableau électrique de distribution terminale ou de répartition est situé juste en dessous du disjoncteur général, il assure [7] :

- La séparation des différents circuits
- La protection de chaque circuit contre les surintensités et courts-circuits (Coupe circuit fusible – Disjoncteur divisionnaire)
- La protection des personnes (Dispositif différentiel)
- La protection contre les surtensions (Parafoudre secteur)

- Des fonctions annexes de commande et de régulation

Comme montré à la Figure I.9, un tableau de répartition est constitué par :

- Un répartiteur de phase
- Un répartiteur de neutre
- Les interrupteurs ou disjoncteurs différentiels haute sensibilité (30 mA)
- Des barres de pontage (peigne isolé) de phase et de neutre
- Les dispositifs de protection contre les surintensités des circuits (disjoncteurs divisionnaires ou coupe-circuits à cartouches)
- Les dispositifs de protection contre les surtensions (parafoudre)
- Un répartiteur de terre
- Des appareils modulaires tels que télérupteurs, contacteurs, relais heures creuses pour chauffe-eau à accumulation, délesteur, transformateur de sonnerie, programmeur, gestionnaire...

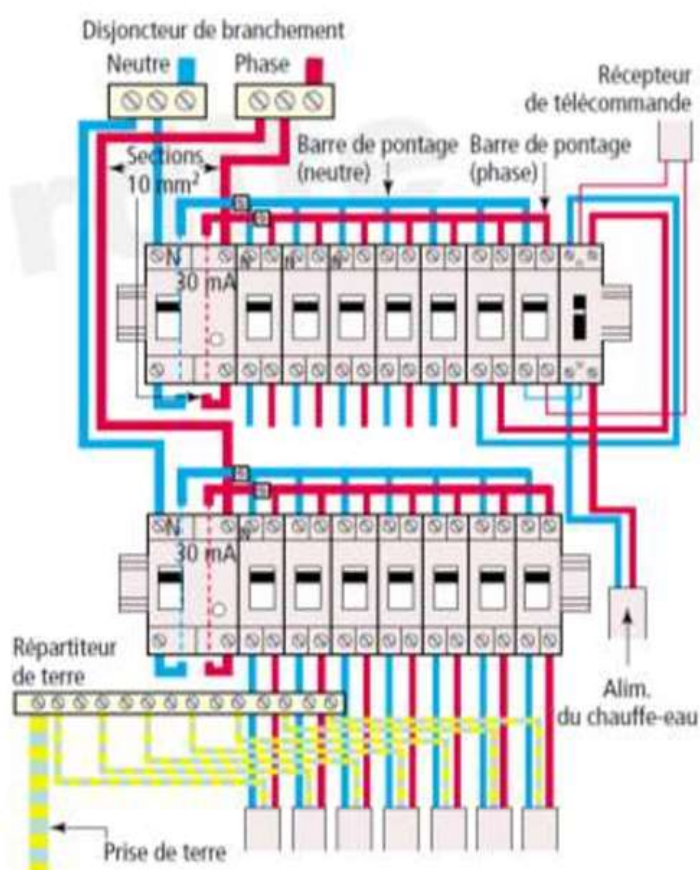


Figure I.9 : Exemple d'un tableau de répartition [7]

I.4.4. LA GAINTE TECHNIQUE DE LOGEMENT

Dans une construction neuve, le tableau électrique doit être installé dans la " Gaine Technique de Logement ". Il s'agit d'un volume de 0,45 ou 0,60 m x 0,20 m, du sol au plafond, strictement réservé aux courants électriques (tableau d'abonné, téléphone, alarmes, communications, TV...) à l'intérieur du logement ou dans un local annexe directement accessible ; par exemple un garage communicant directement avec la maison. En rénovation, lorsque la règle ci-dessus est irréalisable, il faut toutefois éviter d'installer le tableau dans un endroit humide ou à proximité de tuyaux d'eau et de gaz. En plus du tableau électrique, depuis le 1er janvier 2008, dans les installations neuves, il est obligatoire d'installer un coffret communicant ou coffret V.D.I. (Voie Données Images). Ce coffret, installé à proximité de l'armoire électrique, doit permettre la distribution des signaux tels que la télévision, le téléphone, les données informatiques, l'ensemble pouvant être connecté en réseau par l'intermédiaire de ce tableau. L'ensemble des prises d'antenne (VHF/UHF et satellite), RJ45 et RJ11 doivent donc être reliées à ce tableau V.D.I. (tout comme les prises électriques le sont au tableau électrique) [7]. La *Figure I.10* nous montre une image de la gaine technique de logement.



Figure I.10 : Gaine Technique de Logement [7]

I.5. CONCLUSION PARTIELLE

Au cours de ce chapitre il était question de donner quelques généralités sur l'installation électrique domestique. Nous avons vu combien cette dernière ne se fait pas au hasard mais qu'elle est réglementée par des normes définissant les conditions de sa mise en œuvre. Aussi vu le caractère dangereux que revêt l'électricité, nous avons vu comment effectuer toute forme de protections pour non seulement le circuit électrique à lui-même mais aussi la protection des personnes qui seront appelées à utiliser cette électricité via des appareils électroménagers.

CHAPITRE II.

DESCRIPTION DE NOTRE MENAGE STANDARD ET APERCU SUR LES SYSTEMES DE GESTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE

II.1. INTRODUCTION

Actuellement, le marché mondial est rempli de beaucoup des sortes d'appareils électroménagers, c'est ainsi que beaucoup des tâches ménagères sont d'emblée effectuées par des machines (appareils). L'augmentation des usages d'éclairage et l'élargissement des parcs d'appareils électroménagers et électroniques sont donc à l'origine d'une croissance régulière de la consommation d'électricité spécifique des ménages. En l'absence de politiques volontaristes et malgré une saturation prévisible en termes des taux d'équipements de certains appareils (réfrigérateurs, machines à laver, téléviseur, cuisinières, ...), la croissance de la consommation d'électricité des ménages se poursuivra en raison de l'apparition de nouveaux besoins (micro-ondes, sèche-linge, etc.) [8]. Voilà pourquoi il est plus que nécessaire d'avoir des solutions efficaces pour la gestion de cette consommation en énergie électrique grandissante.

Dans ce chapitre nous décrivons notre ménage standard en considérant les appareils électroménagers qui y sont présents mais aussi nous faisons un aperçu sur les systèmes de gestion de l'énergie électrique qui existent, considérer comment ils sont mis au point.

II. 2. DESCRIPTION DE NOTRE MENAGE STANDARD

Un ménage étant un ensemble de tout ce qui concerne la vie domestique, l'organisation matérielle du foyer [9]. Tout au long de ce travail, en parlant du mot « ménage » nous faisons référence à une maison ainsi que les appareils ménagers s'y trouvant. Notre travail étant déjà contextualisé à la situation socioéconomique de notre pays la RDC et plus particulièrement notre ville de Goma, nous allons constater que dans la majorité des ménages il n'y a pas jusque-là utilisation d'une grande diversité d'appareils électroménagers. Cette situation est expliquée par deux choses :

- L'ignorance et le manque d'intérêt face à l'usage de ces appareils diversifiés comme le four de cuisine, le micro-ondes, lave-vaisselle, sèche-linge, ... Cela pousse plusieurs personnes

à ne pas acheter ces appareils car cela ne les intéresse pas sous prétexte que c'est inutile ou c'est cher.

- L'accès à l'électricité est encore difficile dans la ville de Goma car le taux d'électrification est moins de 20% (voir l'introduction générale). Cela fait à ce que la partie de la population qui a accès à l'électricité paye un peu cher comparativement aux réalités vécues sous d'autres cieux. Eu égard à cette situation, le souci de la gestion de la consommation de l'énergie électrique devient de plus en plus pressant au point de faire à ce que plusieurs se réservent d'avoir une diversité d'appareils électroménagers.

Tenant compte de cette réalité vécue dans la ville de Goma, notre ménage standard sera considéré contenir juste les appareils électroménagers retrouvés dans la plupart des ménages ici dans la ville en général. De ce fait nous allons considérer que dans notre ménage standard on pourra trouver : Un congélateur ou un réfrigérateur, une cuisinière électrique ou un réchaud électrique, un thermoplongeur électrique, une bouilloire électrique et un fer à repasser. Nous remarquons que la majorité de ces appareils sont souvent installés et utilisés à la cuisine.

II.3. CARACTERISTIQUES DES APPAREILS ELECTROMENAGERS DE NOTRE MENAGE STANDARD

Dans cette partie nous allons considérer chacun de ces appareils cités ci-haut d'une façon particulière, en les présentant et en donnant leur puissance nominale. Néanmoins, nous pouvons constater que l'énergie étant calculée en fonction du temps, quelle que soit la grandeur de la puissance d'un appareil, sa consommation en énergie dépendra du temps pendant lequel il a été connecté au secteur, c'est comme par exemple, les fers à repasser ont des puissances de raccordement élevées; or, leurs durées d'utilisation étant généralement courtes, leur consommation d'énergie est faible par rapport aux autres gros appareils électroménagers, à moins qu'après l'avoir utilisé on oublie de le débranché du secteur.

II.3.1. UN REFRIGERATEUR [10]

1. Présentation

A la *Figure II.11* nous voyons l'image d'un réfrigérateur qu'on peut retrouver dans un ménage.



Figure II.11. Un réfrigérateur [10]

2. Les caractéristiques techniques

Les caractéristiques techniques essentielles sont :

- Puissance d'alimentation : varie entre 100W et 350W, ceci dépend du volume de l'appareil en général.
- Tension : 220 - 240 V~ 50 Hz

II.3.2. UN CONGELATEUR [10]

1. Présentation

A la *Figure II.12* nous voyons l'image d'un congélateur qu'on peut retrouver dans un ménage.



Figure II.12 : Un congélateur [10]

2. Les caractéristiques techniques [10]

Les caractéristiques techniques essentielles sont :

- Puissance d'alimentation : La puissance d'un congélateur varie en fonction de son volume. Les prototypes de 35 à 180 litres ont une puissance de 75 à 250W. Et ce sont les plus utilisés dans les ménages.
- Tension : 220 - 240 V~ 50 Hz

II.3.3. UNE CUISINIÈRE ÉLECTRIQUE [11]

1. Présentation

A la Figure II.13 nous voyons l'image d'une cuisinière électrique qu'on peut retrouver dans un ménage.



Figure II.13 : Une cuisinière électrique [11]

2. Les caractéristiques techniques

Les caractéristiques techniques essentielles sont :

- Puissance de l'appareil : elle varie entre 7000W et 10000W selon le modèle. Il sied de souligner que cette puissance est totale et difficilement atteinte car la cuisinière n'est pas toujours utilisée au maximum donc toutes les plaques ainsi que le four ne sont pas toujours utilisés au même moment ; voilà pourquoi la puissance varie selon l'utilisation. Illustrons cela par un exemple d'une cuisinière de référence OCEACE5060W.

Exemple [11] :

Tableau II.3 : Caractéristiques d'une cuisinière électrique de référence OCEACE5060W [11]

Référence	OCEACE5060W
Modèle	20MME4HEL00109
Alimentation Electrique	220 - 240 V~ 50-60 Hz
Puissance totale	7600W
Puissance électrique du four	2600W
Puissance électrique de la table de cuisson : <ul style="list-style-type: none"> • Plaque avant gauche diam. 145mm • Plaque arrière gauche diam. 180mm • Plaque arrière droite diam. 145mm • Plaque avant droite diam. 180mm 	1000W 1500W 1000W 1500W
Câble électrique	Non fourni

- Tension : 220 - 240 V~ 50-60 Hz

II.3.4. UN RECHAUD ELECTRIQUE [12]

1. Présentation

A la Figure II.14 nous voyons l'image d'un réchaud électrique à un seul foyer et à deux foyers qu'on peut retrouver dans un ménage.



Figure II.14 : Un réchaud électrique à un seul foyer et à deux foyers [12]

2. Les caractéristiques techniques

Les caractéristiques techniques essentielles sont :

- La puissance d'alimentation : pour la première catégorie la puissance varie de 200W à 1500W et pour la seconde catégorie la puissance totale varie de 600W à 2500W.
- Tension : 220 - 240 V~ 50-60 Hz

II.3.5. UN THERMOPLONGEUR ELECTRIQUE [12]

1. Présentation

A la Figure II.15 nous voyons l'image d'un thermoplongeur électrique qu'on peut retrouver dans un ménage.



Figure II.15 : Un thermoplongeur électrique [12]

2. Les caractéristiques techniques

Les caractéristiques techniques essentielles sont :

- Puissance : elle présente généralement une puissance qui varie de 150W à 500W selon le modèle.
- Tension : 220 - 240 V~ 50-60 Hz

II.3.6. UNE BOUILLOIRE ELECTRIQUE [12]

1. Présentation

A la Figure II.16 nous voyons l'image d'une bouilloire électrique qu'on peut retrouver dans un ménage.



Figure II.16 : Une bouilloire électrique [12]

2. Les caractéristiques techniques

Les caractéristiques techniques essentielles sont :

- Puissance : elle présente généralement une puissance qui varie de 200W à 800W selon le modèle.
- Tension : 220 - 240 V~ 50 Hz

II.3.7. UN FER A REPASSER [12]

1. Présentation

A la *Figure II.17* nous voyons l'image d'un fer à repasser qu'on peut retrouver dans un ménage.



Figure II.17 : Un fer à repasser [12]

2. Les caractéristiques techniques

Les caractéristiques techniques essentielles sont :

- Puissance électrique nominale : varie entre 750W et 2000W
- Tension : 220 - 240 V~ 50 Hz

II.4. APERCU SUR LES SYSTEMES DE GESTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE [13]

Un système de gestion de l'énergie (EMS) est un logiciel qui vous permet de contrôler et de surveiller vos services publics d'électricité et vos appareils consommateurs d'électricité. L'EMS vous donne un aperçu de la consommation d'énergie afin que vous puissiez réduire votre consommation et vos coûts d'utilité tout en maximisant la fonctionnalité et le confort. Un EMS implique généralement trois composants en plus de l'interface EMS : des capteurs de mesure qui mesurent la consommation d'énergie, un système de contrôle qui transmet les commandes de l'interface EMS et les dispositifs contrôlés réels, tels que les unités de climatisation, les ventilateurs ou les lumières et d'autres appareils électroménagers en général.

II.4.1. AVANTAGES D'UN SYSTEME DE GESTION DE L'ENERGIE [13]

L'utilisation d'un système de gestion de l'énergie peut apporter plusieurs avantages intéressants au ménage, tels qu'une consommation d'énergie réduite, des coûts d'exploitation réduits et des opérations plus efficaces. Un tel système peut également débloquent des informations que vous ne pourriez pas obtenir sans un système en place qui surveille en détail votre consommation d'énergie. Examinons chaque avantage et comment un système de gestion de l'énergie peut vous aider à atteindre vos objectifs opérationnels.

- ✓ **Consommation d'énergie réduite** : En termes simples, un système de gestion de l'énergie peut vous aider à utiliser moins d'énergie. Une fois que vous pouvez surveiller votre consommation d'énergie, vous pouvez identifier les zones d'opportunité pour désactiver certains systèmes ou réduire la consommation à certains moments de la journée.
- ✓ **Réduction des coûts d'exploitation** : comme votre ménage utilise moins d'énergie, vos coûts d'exploitation diminueront naturellement aussi. Mais vous n'économiserez pas seulement de l'argent sur votre facture d'électricité ; lorsque vos équipements fonctionnent plus efficacement, ils subiront moins d'usure et vous pourrez prolonger leur durée de vie utile. De cette façon, vous dépenserez moins en frais de remplacement et d'entretien.
- ✓ **Facilité d'utilisation** : Il est certainement possible de faire fonctionner vos systèmes de construction manuellement, mais ce n'est pas la manière la plus efficace de les faire fonctionner. Un système de gestion de l'énergie vous offre une interface centrale pour contrôler tous vos systèmes. De cette façon, vous n'avez pas besoin de passer de votre système de climatisation à votre système d'éclairage extérieur au système qui contrôle les ventilateurs d'extraction dans la cuisine. Vous pouvez tout faire à partir d'un seul endroit, ce qui rend les opérations quotidiennes plus rapides et plus faciles.
- ✓ **Puissance analytique** : Un système de gestion de l'énergie ajoute un niveau de transparence à votre consommation d'énergie que vous ne pouvez pas facilement obtenir en contrôlant directement vos systèmes individuels.

II.4.2. EXEMPLE DES QUELQUES SYTEMES DE GESTION DE L'ENERGIE EXISTANTS [13]

- a. Verdant Energy Management Solutions

Verdant est un chef de file de l'industrie des solutions commerciales de gestion de l'énergie. Leur thermostat VX et leur service de gestion de l'énergie Verdant EI permettent d'importantes économies d'énergie sans compromettre le confort des clients.

b. Telkonet

Le système EcoSmart de Telkonet propose plusieurs options pour les thermostats à installer dans les chambres, allant d'un thermostat à bouton-poussoir standard à des prises intelligentes et des capteurs de fenêtre. Ces capteurs dans la chambre se connectent à la plate-forme basée sur le cloud d'EcoSmart, qui dispose d'une interface intuitive à laquelle vous pouvez accéder sur ordinateur de bureau et affiche la consommation d'énergie en temps réel par chambre d'hôtel et espace public.

c. SensorFlow

SensorFlow est un système de gestion de l'énergie électrique qui utilise des capteurs sans fil pour détecter l'occupation de la chambre, qui contrôlent ensuite le système CVC dans la chambre en fonction d'une variété d'entrées. Si le système détecte que la chambre est vacante, le système s'éteint ou passe à des paramètres plus économes en énergie, et lorsque l'invité rentre dans la pièce, le système revient aux paramètres précédents afin que l'invité reste confortable. Depuis l'interface numérique, vous pouvez configurer des paramètres tels que les heures d'automatisation, les seuils et les modes d'économies d'énergie.

En général, les systèmes de gestion de l'énergie électrique sont constitués de différents composants électroniques notamment les capteurs, les relais, les afficheurs ou écran, des boutons, etc. Toutefois le composant de base reste le **microcontrôleur** ; celui-ci peut être considéré comme le cerveau de tout système de gestion de l'énergie électrique.

II.4.3. LES MICROCONTROLEURS [1]

Un microcontrôleur est un système qui ressemble à un ordinateur : il a une mémoire, un processeur, des interfaces avec le monde extérieur. Les microcontrôleurs ont des performances réduites, mais sont de faible taille et consomment peu d'énergie, les rendant indispensables dans toute solution d'électronique embarquée. Le microcontrôleur est une unité de traitement de l'information de type microprocesseur à laquelle on a ajouté un interfaçage avec le monde extérieur sans nécessiter l'ajout des composants à jeu d'instructions réduits. Ils se caractérisent essentiellement par un plus haut degré d'intégration, une plus faible consommation électrique, une vitesse de fonctionnement plus faible (de quelques mégahertz jusqu'à plus d'un gigahertz) et un coût réduit par rapport aux microprocesseurs polyvalents utilisés dans les ordinateurs personnels. Un microcontrôleur est un

circuit intégré qui rassemble les éléments essentiels d'un ordinateur dont : processeur (CPU), mémoires (mémoire morte pour le programme, mémoire vive pour les données), unités périphériques et interfaces d'entrées-sorties. La Figure II.18 nous montre l'image qui nous donne les éléments clés d'un microcontrôleur sous forme d'un schéma bloc.

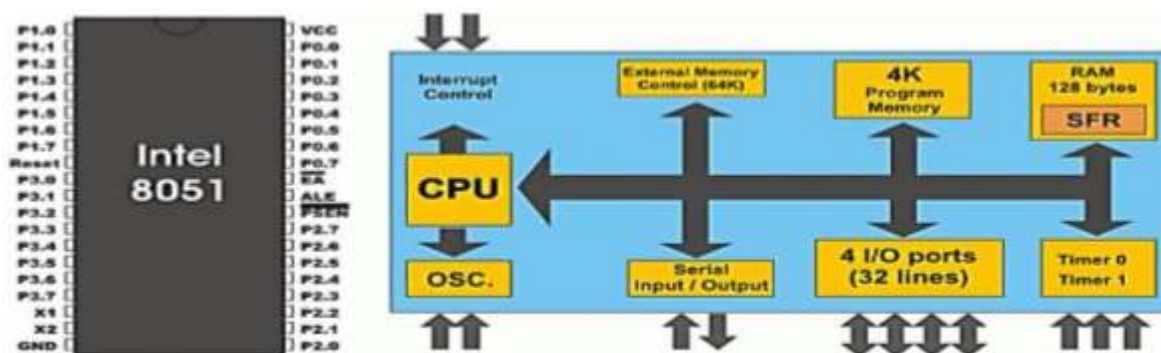


Figure II.18 : Les éléments clés d'un microcontrôleur [1]

Par rapport à des systèmes électroniques à base de microprocesseurs et autres composants séparés, les microcontrôleurs permettent de diminuer la taille, la consommation électrique et le coût des produits. Ils ont ainsi permis de démocratiser l'utilisation de l'informatique dans un grand nombre de produits et de procédés.

1) CARACTERISTIQUES ESSENTIELLES DES MICROCONTROLEURS [1]

Le microcontrôleur est plus adapté aux applications embarquées, par contre il est généralement moins puissant en termes de rapidité ou de taille de mémoire adressable et le plus souvent cantonné aux données de 8 ou 16 bits, mais il existe des microcontrôleurs 32 bits pour certaines applications qui le nécessitent. Les microcontrôleurs sont fréquemment utilisés dans les systèmes embarqués, comme les contrôleurs des moteurs automobiles, les télécommandes, les appareils de bureau, l'électroménager, les jouets, la téléphonie mobile, etc. Les microcontrôleurs 32 bits présentent les avantages suivants faces au microcontrôleur 8 bits. On peut citer entre autres :

- Puissance et vitesse de calcul supérieures
- Convient pour l'utilisation d'un système d'exploitation. En effet les performances de la CPU et la taille de la mémoire sont suffisantes.
- Espace d'adressage plus grand, etc.

Ces avantages donnent un grand champ d'application aux microcontrôleurs 32 bits.

2) ARCHITECTURE DES MICROCONTROLEURS [1]

Les microcontrôleurs comme les microprocesseurs sont formés des modules suivants :

- ❖ **Les bus** : Ils assurent la communication (série ou parallèle) du microcontrôleur avec les autres composants. Il s'agit de :
 - **Bus d'adresse** permettant au microprocesseur de choisir la case mémoire ou le périphérique auquel il veut accéder pour lire ou écrire une information (instruction ou donnée) ;
 - **Bus de données** permettant le transfert des informations entre les différents éléments ;
 - **Bus de contrôle** indiquant la nature de l'opération en cours ou si un périphérique nécessite une interruption envoyer une information au processeur, ...
- ❖ **L'unité centrale** (CPU) exécute les instructions et décide du fonctionnement du programme
- ❖ **Les mémoires** (EPROM et RAM) conservent les instructions ainsi que les données ;
- ❖ **Les entrées /sorties (E/S)** servent d'interface de communication entre le processeur et les périphériques.

Selon leurs architectures internes on distinguera les microcontrôleurs à architecture Harvard de ceux à architecture Von-Neumann. Mentionnons, tout de même que la quasi-totalité des microcontrôleurs actuels à l'instar des processeurs d'ordinateurs utilisent, en interne, la deuxième architecture. L'architecture Von-Neumann admet une mémoire de programme renfermant les instructions et données. Ici, on dispose que du bus de données véhiculant tour à tour les codes des instructions et qui ne sont que des données. L'architecture Von-Neumann pose problème en cas de fonctionnement rapide. La Figure II.19 nous montre l'image sous forme d'un schéma bloc qui donne la constitution d'un système à microcontrôleur avec différents bus.

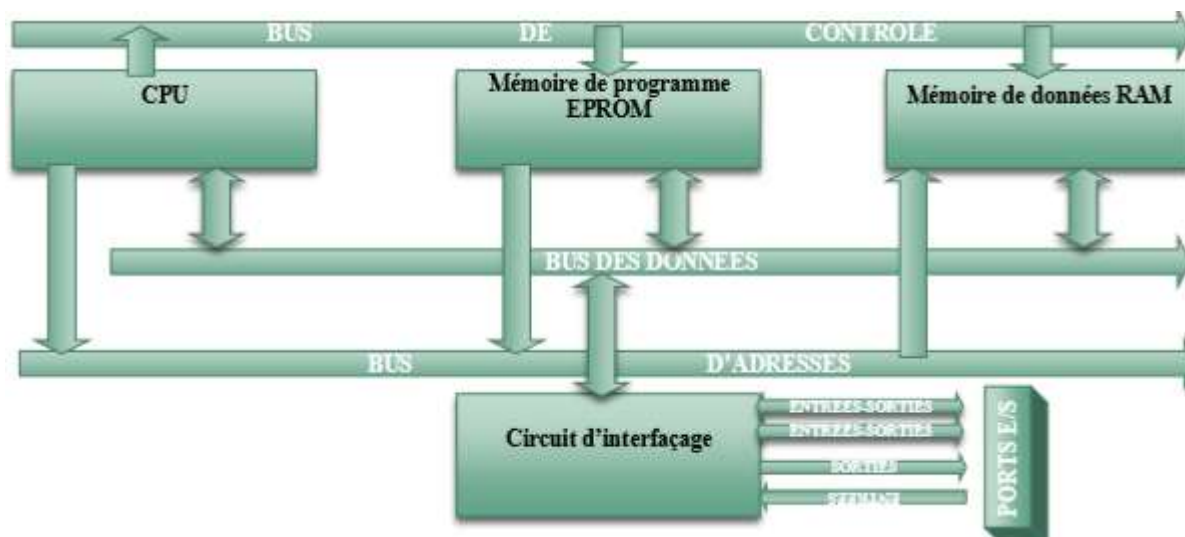


Figure II.19 : Constitution d'un système à microcontrôleur avec différents bus [1]

II.5. CONCLUSION PARTIELLE

Au cours de ce chapitre, il a été question de faire une description du ménage que nous qualifions de standard tout en donnant les caractéristiques essentielles des appareils électroménagers qu'on peut y trouver. Le ménage standard décrit ici se rapproche plus de la réalité vécue dans la ville de Goma. Parlant des appareils présentés ici, il sied de souligner que leur présence (et utilisation) est vraiment répandue dans la plupart des ménages à Goma. Nous avons considéré dans ce chapitre que les plus grands consommateurs de l'énergie dans le ménage sont des appareils électroménagers de cuisson (cuisinières électriques, réchauds électriques, etc.), de chauffage (Thermoplongeurs électriques, bouilloires électriques, etc.), de chauffage à usages particuliers (fer à repasser, sèche-cheveux, etc.). Nous avons eu aussi un aperçu global sur les systèmes de gestion de l'énergie électrique qui existent. Ensuite nous avons remarqué que ces systèmes sont importants, généralement, pour faire l'économie d'énergie et en fin, nous avons vu que le microcontrôleur est le composant électronique de base pour mettre en œuvre un EMS.

CHAPITRE III.

CONCEPTION, DIMENSIONNEMENT ET SIMULATION DU SYSTEME DE GESTION OPTIMALE DE L'ENERGIE ELECTRIQUE

III.1. INTRODUCTION

Ce chapitre tel qu'intitulé, sera constitué de trois parties essentielles. D'abord nous allons faire la conception générale du système en menant une étude et un choix des composants ainsi que les méthodologies dont nous ferons usage pour rendre automatique le système qui a pour objectif global la gestion optimale de l'énergie. Ensuite nous allons faire le dimensionnement et présenter les différents blocs du schéma global, poursuivrons par des dessins électriques avec PROTEUS pour atterrir aux simulations dans ce même logiciel ; ce qui nous amènera en fin à la présentation des résultats.

Le système de gestion que nous sommes en train de vouloir mettre au point ne sera pas destiné à gérer toutes les charges électriques du ménage mais sera entrain de gérer les charges ou appareils qu'on peut brancher sur une prise électrique et spécialement nous visons les appareils avec une grande puissance nominale. C'est pourquoi pratiquement ce système de gestion optimale de l'énergie électrique sera une *multiprise électrique programmable* (on peut l'assimiler à ce qu'on appellerait couramment rallonge électrique) qui sera destinée à gérer la consommation en énergie d'un appareil branché à une de ses prises.

III.2. PRESENTATION DU CAHIER DE CHARGE DU SYSTEME

Notre système devra être branché sur un secteur de 220V alternatif et son fonctionnement en interne se passera sous une tension non seulement très réduite mais aussi continue. Le système devra assurer les fonctions suivantes :

- ✓ Avoir des prises qui devront disponibiliser une tension de 220V pour recevoir une charge qu'il devra gérer la consommation.
- ✓ Être capable de mesurer le courant appelé par la charge branchée, pour ensuite calculer l'énergie consommée, cela en fonction du temps.

- ✓ Avoir deux boutons de paramètre pour l'interaction avec l'utilisateur. Le premier bouton servira pour le choix ou la sélection de la prise à paramétrer, et le deuxième servira pour la sélection de l'énergie seuil à ne pas dépasser lors de La consommation.
- ✓ Avoir des LEDS pour la signalisation, au minimum trois. Chaque LED devra représenter un niveau seuil d'énergie pour la consommation. Donc au moment où l'utilisateur sera en train de sélectionner un niveau quelconque, cela se manifestera par une LED allumée ou éteinte.
- ✓ Être capable de couper l'alimentation premièrement si le courant appelé par la charge est grand que le courant seuil prédéfini à l'usine et la rétablir si la charge est débranchée ; deuxièmement si après un temps quelconque de consommation l'énergie seuil est atteinte.

III.3. SCHEMA BLOC DU SYSTEME

Notre schéma bloc tel que présenté à la Figure III.20, est constitué d'abord par une unité de traitement, qui est comme le cœur ou le composant de base de notre système, ensuite viennent le bloc des capteurs, le bloc d'interface commande-puissance, le bloc des boutons de paramètre, le bloc de visualisation via un afficheur 7 segments et en fin le bloc de signalisation par LEDS.

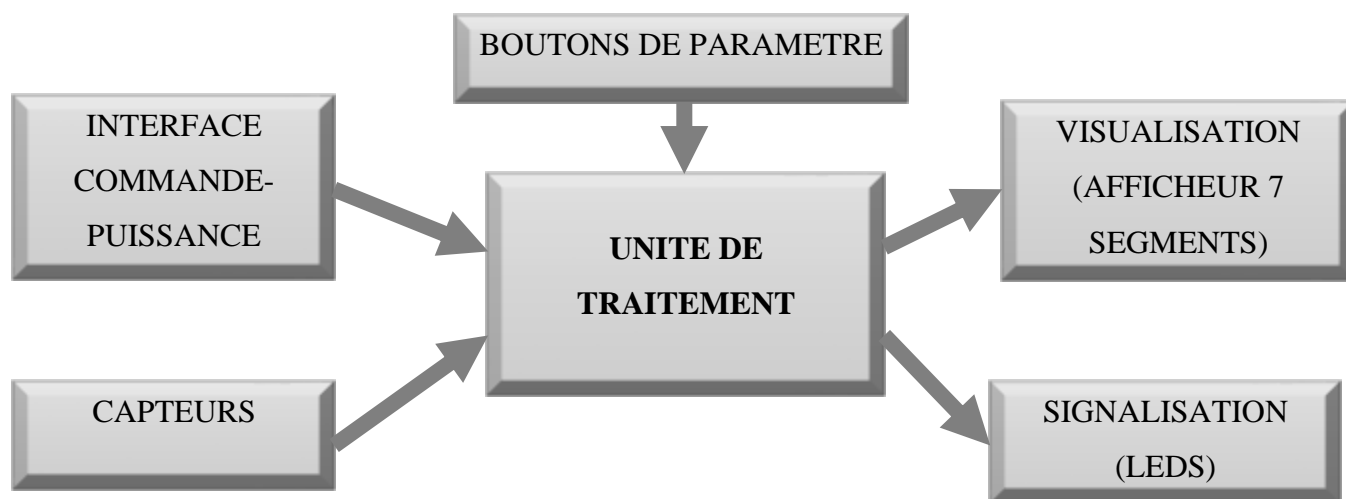


Figure III.20 : Schéma bloc du système

III.4. ANALYSE ET DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS DE CHAQUE BLOC DU SYSTEME

III.4.1. UNITE DE TRAITEMENT

C'est l'élément central de notre système. Il a pour rôle de recueillir les données venant de l'extérieur grâce aux capteurs, les traite et envoie des ordres aux actionneurs.

Elle est principalement constituée du microcontrôleur Arduino qui gère toutes les opérations du système. Arduino désigne un ensemble de choses. Il peut s'agir de la carte Arduino- le matériel- ou de l'environnement Arduino : c'est-à-dire, un logiciel qui tourne sur un ordinateur ou encore Arduino en tant que sujet de recherche. La carte Arduino est un circuit imprimé, spécialement conçu pour héberger un microcontrôleur (d'architecture Atmel AVR comme l'Atmega328p, et d'architecture ARM comme le cortex-M3 pour Arduino Due) et donner accès à toutes ses entrées et sorties [14].

Il faut noter que le choix de la carte Arduino est justifié par ses différentes caractéristiques notamment son nombre de broches d'entrées/sorties, son bon marché avec un prix abordable, une adaptation parfaite à tous ceux qui veulent faire leurs premières aventures avec un microcontrôleur et pour débiter la programmation Arduino.

Comme dans ce travail, nous nous convenons d'utiliser une carte Arduino UNO, nous nous limitons à la présentation de celle-ci. L'Arduino UNO est une carte électronique basée autour d'un microcontrôleur Atmega328P du fabricant Atmel. La Figure III.21 nous donne la présentation d'une carte Arduino UNO, en rouge sont les points les plus importants de cette carte :

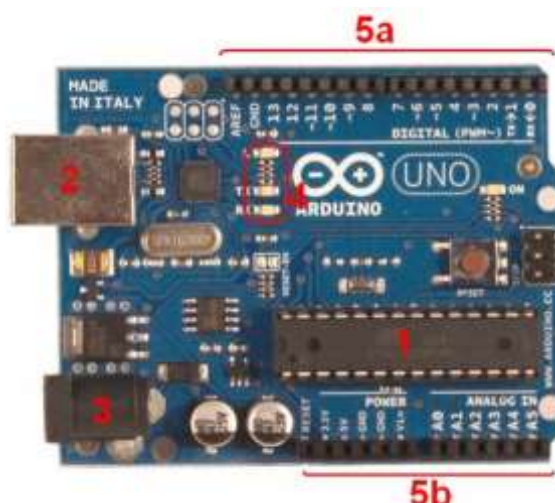


Figure III.21 : Présentation de la carte Arduino UNO [15]

Constitution de la carte [14] :

a. Le microcontrôleur

Voilà le cerveau de notre carte (en **1**). C'est lui qui va recevoir le programme et qui va le stocker dans sa mémoire puis l'exécuter.

b. Alimentation

Pour fonctionner, la carte a besoin d'une alimentation. Le microcontrôleur fonctionnant sous 5V, la carte peut être alimentée en 5V par le port USB (en **2**) ou bien par une alimentation externe (en **3**) qui est comprise entre 7V et 12V. Cette tension doit être continue et peut par exemple être fournie par une pile 9V. Un régulateur se charge ensuite de réduire la tension à 5V pour le bon fonctionnement de la carte. Pas de danger de tout griller, il faut respecter l'intervalle de 7V à 15V (même si le régulateur peut supporter plus, pas la peine de le retrancher dans ses limites).

c. Visualisation

Les trois "points blancs" entourés en rouge (**4**) sont en fait des LED dont la taille est de l'ordre du millimètre. Ces LED servent à deux choses :

- ✓ Celle tout en haut du cadre : elle est connectée à une broche du microcontrôleur et va servir pour tester le matériel.

Nota : Quand on branche la carte au PC, elle clignote quelques secondes.

- ✓ Les deux LED du bas du cadre : servent à visualiser l'activité sur la voie série (une pour l'émission et l'autre pour la réception). Le téléchargement du programme dans le microcontrôleur se faisant par cette voie, on peut les voir clignoter lors du chargement.

d. La connectique

La carte Arduino ne possédant pas de composants qui peuvent être utilisés pour un programme, mis à part la LED connectée à la broche 13 du microcontrôleur, il est nécessaire de les rajouter. Mais pour ce faire, il faut les connecter à la carte. C'est là qu'intervient la connectique de la carte (en **5a** et **5b**). C'est avec cette connectique que la carte est "extensible", car l'on peut y brancher tous types de montages et modules.

Les caractéristiques de la carte Arduino UNO peuvent se résumer dans le tableau suivant :

Tableau III.4 : Caractéristiques techniques Arduino UNO [14]

Microcontrôleur	Atmega328
Fréquence horloge	16Mhz
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'alimentation(limite)	7-12V
Tension d'alimentation(recommandé)	6-20V
Broches E/S numériques	14
Broches d'entrée analogiques	6(Utilisables en broches E/S numériques)
Intensité maximale disponible par broches	40mA
Intensité maximale disponible pour la sortie 3.3V	50mA
Intensité maximale disponible pour la sortie 5V	500mA max sur port USB
Mémoire programme flash	32KB(Atmega328)
Mémoire SRAM	1KB(Atmega328)
Mémoire EORAM	2KB(Atmega328)
Interface	USB (permet d'alimenter la carte et de transférer les programmes vers la carte)
Alimentation externe	Jack
Dimension	6.86cm × 5.3 cm

III.4.2. BLOC DES CAPTEURS

Remarquons que pour parvenir à gérer le fonctionnement d'un système comme le nôtre nous sommes censés utiliser des capteurs. Pour réaliser notre système, nous avons besoin de deux types de capteurs qui sont les capteurs de courant et de tension.

Un capteur est un dispositif pouvant détecter l'état d'une grandeur physique observée et la transformer en une grandeur mesurable ou appréciable. Les capteurs constituent les éléments de base des systèmes d'acquisition des données [1].

Il existe une multitude des capteurs se regroupant en deux grandes familles : les **capteurs passifs** dont l'alimentation en énergie électrique leur est indispensable pour qu'ils fonctionnent et les **capteurs actifs** qui transforment la grandeur à mesurer en énergie électrique directement.

Nous allons utiliser, dans notre système les capteurs passifs pour le contrôle de la consommation en énergie électrique. La Figure III.22 nous donne l'image de quelques capteurs qui existent.



Figure III.22 : Quelques capteurs [1]

1) CAPTEURS DE COURANTS

Les capteurs de courants sont vraiment importants pour notre système pour nous aider à avoir l'idée sur l'énergie consommée. Sachant que l'intensité du courant est l'une des variables nécessaires pour mesurer l'énergie. La Figure III.23 nous montre un schéma de brochage du capteur de courant ACS712 [1].

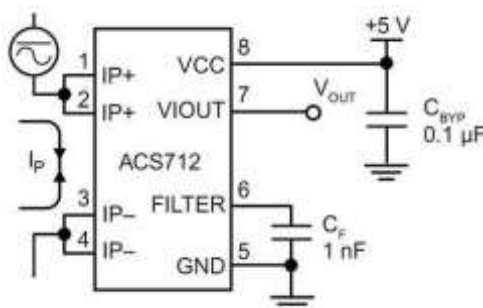


Figure III.23 : Schéma de brochage d'un capteur de courant ACS712 [1]

a. Principe de fonctionnement du capteur de courant

Il existe de nombreux capteurs de courant. Ils exploitent divers principes physiques et technologies (loi d'Ohm, effet Hall, magnétorésistance...). Nous retiendrons que si les performances de mesure (linéarité, précision, insensibilité à la température...) dépendent intrinsèquement de ces principes, deux autres importants leviers permettent de les optimiser : l'architecture des dispositifs (par exemple l'association de capteurs dans un pont de Wheatstone...) et l'électronique de conditionnement (amplification, filtrage des signaux, boucle de rétroaction...). Ce sont naturellement les contraintes imposées par l'application visée (précision, dynamique de mesure,

encombrement, nécessité ou non de mesurer des signaux continus et/ou variables, coût, facilité de mise en œuvre) qui déterminent le choix d'une technologie de capteur plutôt qu'une autre. Pour ce projet nous avons opté pour un capteur de courant qui exploite le principe de l'effet Hall, ACS712-20A car il peut détecter avec précision les signaux de courant alternatif ou courant continu. Voici à la Figure III.24 ci-dessous une forme de branchement du capteur de courant ACS712 [1] :

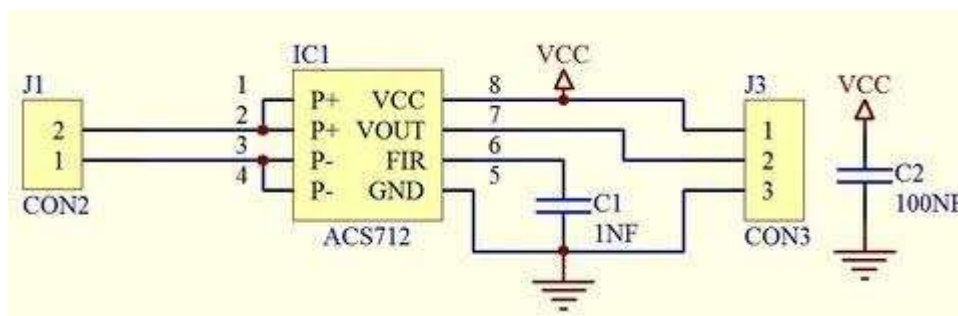


Figure III.24 : Forme de branchement d'un capteur de courant [1]

Ce senseur se branche en série avec la charge et permet de mesurer le courant qui le traverse. Le courant maximal qui peut être détecté par le ACS712-20A peut atteindre 20A et le signal de courant actuel peut être lu via un port analogue. Ce senseur utilise le champ magnétique généré par le courant I_p à mesurer qui le traverse (effet hall). Il produit en sortie une tension V_s continue proportionnelle au courant à raison de 100mV/Ampère pour un courant I_p de $\pm 20A$. C'est cette tension qui est lue sur l'entrée analogique de la carte Arduino. La courbe de la Figure III.25 illustre la variation de la tension à la sortie du circuit en fonction du courant mesuré I_p qui le traverse. On remarque que la variation de la température ambiante n'a pas une grande influence sur cette caractéristique. On remarque sur cette courbe qu'à un courant nul correspond une valeur de la tension de 2,5V. Comme la courbe caractéristique est une droite, elle peut être définie par la relation suivante [1] :

$$V_s = k * I_p + 2.5 \quad \text{Équation 1}$$

Avec $k=100\text{mV/A}$

Le circuit est alimenté sous 5V à la borne VCC. Deux condensateurs sont utilisés pour filtrer les parasites comme illustré sur la Figure III.25 ci-dessus. Notons que ce senseur est sensible au champ magnétique extérieur qui pourrait fausser les lectures [1].

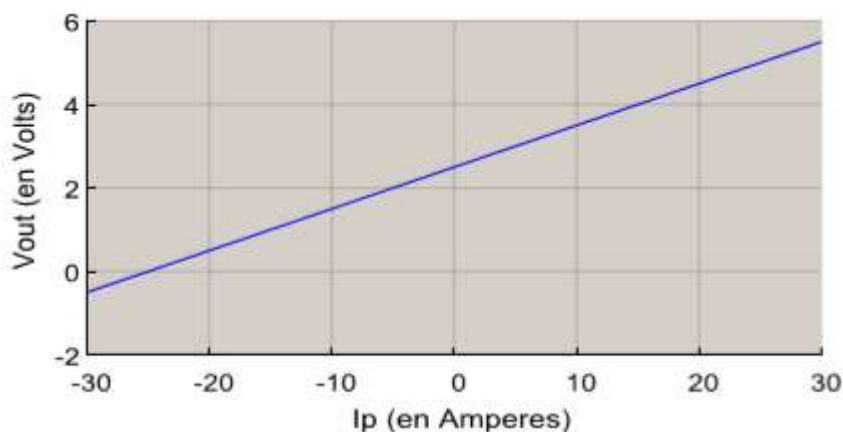


Figure III.25 : Diagramme Tension – Courant d'un capteur de courant [14]

b. Caractéristiques essentielles du capteur de courant ACS712-20A

- ❖ Alimentation : 5 Vcc
- ❖ Plage de mesure : $\pm 20A$
- ❖ Sortie analogique : 66 mA/V
- ❖ Réponse rapide et haute sensibilité
- ❖ Sensibilité : 100 mV par ampère
- ❖ Tension logique : 4.5V - 5.5V
- ❖ Consommation : 10mA
- ❖ Isolation 2.1kV
- ❖ Délai de répercussion sur la sortie : 5 μ S
- ❖ Erreur : 1.5% à 25°C
- ❖ Résistance interne de conduction : 1.2 milli Ohms
- ❖ Tension de sortie stable
- ❖ Presque pas d'hystérésis magnétique
- ❖ Poids : ~2gr
- ❖ Bruit sur l'ACS712 - environ 130mA avec la capacité de filtrage de 10nF. Le bruit peut être significativement réduit en utilisant une capacité de 470nf

2) CAPTEUR DE TENSION [16]

Le capteur de tension est un pont diviseur de tension comme illustré sur la Figure III.26. La carte Arduino qui constitue l'unité de commande et de traitement du système de gestion, ne supporte qu'une tension maximale de 5V à son entrée. Cela fait à ce que le pont diviseur de tension doit

réduire la valeur de la tension à mesurer d'une certaine échelle dépendant des valeurs des résistances du pont diviseur. Une diode Zener (1N4733A) est aussi branchée en parallèle avec la sortie du pont diviseur afin de limiter cette tension à 4,7V pour la protection d'Arduino. Un condensateur de filtrage est branché en parallèle de la sortie du pont afin de filtrer les tensions parasites.

Soit une tension V_e à mesurer, la valeur réduite qui va être lue à l'entrée analogique de la carte Arduino est donnée par la relation d'un pont diviseur de tension :

$$V_s = \frac{R_4}{R_4 + R_3} V_e \quad \text{Équation 2}$$

Sachant que la tension V_s de notre pont est la tension d'entrée pour notre carte Arduino et la tension V_e du pont correspond à la tension du secteur (220V).

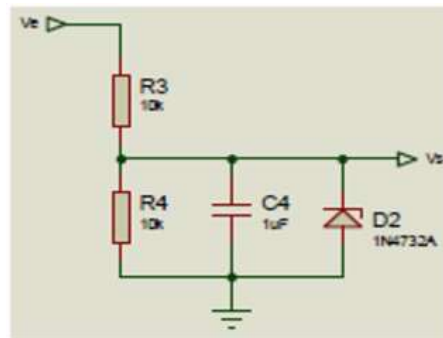


Figure III.26 : Montage d'un pont diviseur de tension avec filtrage

III.4.3. BLOC D'INTERFACE COMMANDE-PUISSANCE

Pour ce bloc nous avons un relais électromécanique qui est composé de deux parties essentielles : la partie commande et la partie puissance. La première partie est reliée à un transistor qui fonctionne en commutation et la deuxième est reliée au capteur de courant et à une borne positive de la prise. Ce relais électromécanique va nous permettre de relier les deux parties essentielles de notre système dont la commande et l'utilisation, cet élément joue le rôle de pont entre la carte de commande et les signaux de sortie du système de gestion de l'énergie électrique. Un relais électromécanique permet l'ouverture et la fermeture d'un circuit électrique par un second circuit complètement isolé (isolation galvanique) et pouvant avoir des propriétés différentes. La Figure III.27 nous donne une image du relais électromécanique.



Figure III.27 : Relais électromécanique [1]

Comme montré à la Figure III.28, le relais électromécanique est constitué :

- ✚ Principalement par un électroaimant qui lorsqu'il est alimenté transmet une force à un système de commutation électrique qui sont les contacts ; l'électroaimant peut être, suivant les spécifications et les besoins alimenté en très basse tension (moins de 12, 24 et 48V), continu ou alternatif ou en basse tension (110, 230 et 400V).
- ✚ Par le système de commutation qui peut être composé d'un ou de plusieurs interrupteurs simple effet appelés contact normalement ouvert NO (Normally Open) et normalement fermé NC (Normally Closed) ; d'un ou plusieurs inverseurs (contacts Repos-Travail). Ces commutateurs sont adaptés aux courants et à la gamme de tension à transmettre à la partie puissance.

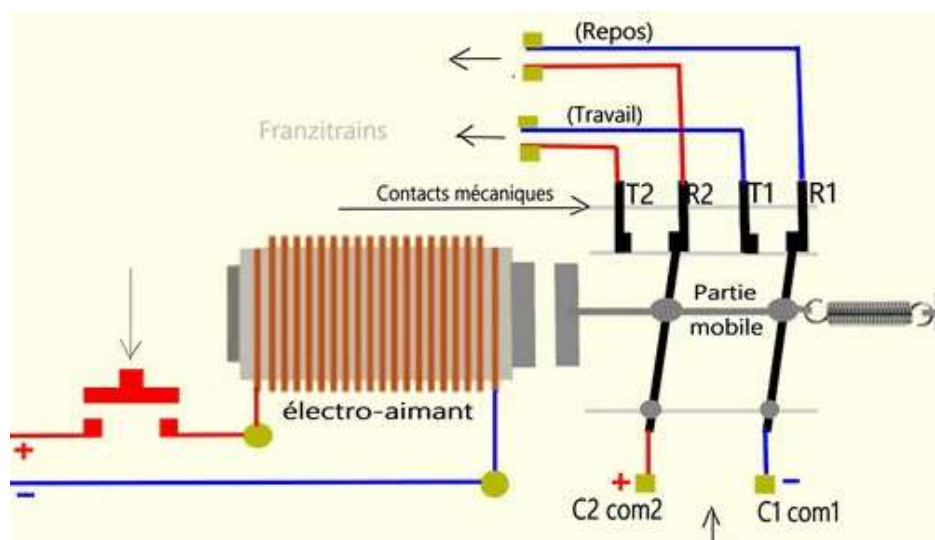


Figure III.28 : Constitution du relais électromécanique [1]

Dans le système mettant en œuvre une certaine puissance, on appelle les relais des contacteurs. Divers systèmes électroniques, mécaniques ou pneumatiques peuvent créer un retard à l'enclenchement (temporisation travail) ou au relâchement (temporisation repos).

Nous allons aussi utiliser les transistors dans notre système, voyons son schéma de branchement à la Figure III.29 ci-dessous. La diode à gauche de chaque circuit comportant un transistor s'appelle diode de roue libre joue le rôle d'empêcher à ce que le courant d'induction ne puisse perturber le circuit.

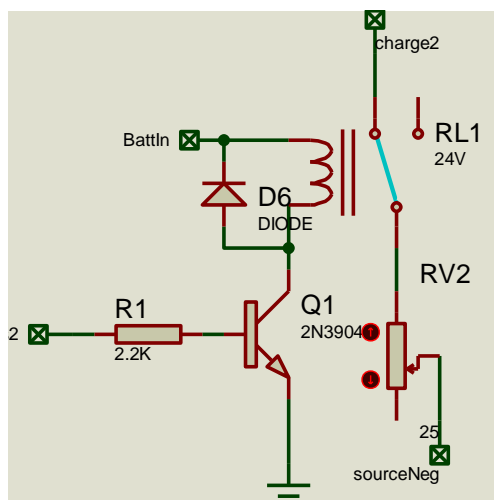


Figure III.29 : Schéma d'un transistor et dimensionnement de sa résistance de Base

Dans le circuit de puissance, Les contacts des relais permettent d'interrompre le circuit. Si la charge à gérer consomme plus de courant que le courant seuil à consommer prédéfini, les relais doivent interrompre le circuit et une fois la charge débranchée, rétablir le circuit. Ces relais seront commandés par la carte Arduino à travers un transistor qui fonctionne en commutation ; c'est-à-dire qu'il y a un courant traversant la base, la tension VCE est approximativement nulle et la jonction Base-Collecteur est passante d'où l'excitation de la bobine du relais et ce dernier ferme ou coupe le circuit de puissance par l'intermédiaire de ses contacts de puissance. Pour le choix de valeur de la résistance, par exemple R2, nous devons connaître la tension appliquée à l'entrée de R2. Connaissant également la tension $V_{BE} \cong 0.7V$, par la loi de maille nous pouvons connaître la valeur du courant traversant R2, la jonction VBE et le retour à la masse qui est un circuit fermé. Prenons un exemple, la figure ci-dessus nous présente au mieux comment dimensionner R2. Nous avons :

- Un transistor 2N3904 qui a $\beta = 200$, $V_{BE} = 0.7V$, $V_{CEsat} \cong 0V$ [17]
- Tension à l'entrée de R2 = 5 V ;

$$R = \frac{5V - 0.7V}{IB}$$

Équation 3

Sachant que $IC = \frac{VCC}{RL}$ et $IB = \frac{IC}{\beta}$ avec $VCC = 5V$ et RL la résistance de la bobine du relais.

$RL = 12 \text{ Ohms}$, $IC = 0,416A$.

Alors $IB = \frac{0,416A}{200} = 0,00208A$ Et ainsi $R = \frac{5V-0.7V}{0,00208A} = 2067,3\text{Ohms}$. Nous prenons la valeur

normalisée la plus proche qui est **$R2 = 2200 \text{ Ohms}$** .

Dans le schéma de simulation, nous voyons comment les capteurs de courant « contrôlent et gèrent » les récepteurs branchés sur leurs broches (broches des capteurs). Chaque appareil possède sur sa plaque signalétique de caractéristiques telles que tension, courant max absorbé, et la puissance absorbée. D'après la loi d'Ohm :

$$P = \frac{U^2}{R} \quad \text{ou} \quad I = \frac{P}{U} \quad \text{Équation 4}$$

Avec

- ✓ P : la puissance consommée par l'appareil,
- ✓ I : l'intensité absorbée par l'appareil
- ✓ U : la tension a la quelle est branché l'appareil ;

Nous avons par exemple un appareil avec les caractéristiques suivantes :

$$1100W, 220 - 240V; 50 - 60Hz ;$$

Cet appareil absorbe un courant : $I = \frac{1100W}{240V} = 4,5A$

A une certaine valeur de courant bien définie dans le programme, le capteur doit envoyer des informations au microcontrôleur et ce dernier va agir en conséquence c'est-à-dire va interrompre l'alimentation de la même prise de courant.

III.4.4. BLOC DES BOUTONS DE PARAMETRE

Pour notre cas nous avons utilisé le bouton poussoir normalement ouvert, qui ne laisse passer le courant que lorsque on appuie dessus, la Figure III.30 nous montre l'image de son branchement.

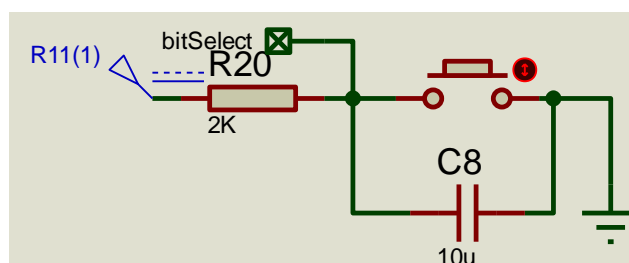


Figure III.30 : Schéma de branchement d'un bouton

Comme nous le voyons sur ce schéma, il y a une résistance placée en série avec le bouton pour tirer le potentiel vers le haut et d'avoir un signal clair sur la broche de sortie connectée à la carte Arduino. Nous utilisons aussi une capacité qui servira ici "d'amortisseur" qui absorbera les rebonds. Le condensateur, initialement chargé, va se décharger lors de l'appui sur le bouton. S'il y a des rebonds, ils seront encaissés par le condensateur durant cette décharge. Il se passera le phénomène inverse (charge du condensateur) lors du relâchement du bouton.

Pour notre système nous avons deux boutons de paramètre, l'un pour sélectionner la prise à paramétrer et l'autre pour affecter un niveau d'énergie à la prise sélectionnée. Concrètement les boutons agissent sur la carte Arduino ; et comme leurs sorties sont connectées aux entrées numériques de la carte, donc ils ne peuvent envoyer que deux états, HAUT et BAS, donc 5V ou 0V. Ainsi le microcontrôleur pourra traiter cette information pour allumer ou éteindre une LED, ladite LED correspondant à un niveau d'énergie quelconque.

III.4.5. BLOC DE VISUALISATION

Pour la visualisation, nous avons utilisé les afficheurs sept segments.

1) AFFICHEUR 7 SEGMENTS [14]

Comme son nom l'indique, l'afficheur 7 segments possède 7 segments. Un segment c'est une portion de l'afficheur, qui est allumée ou éteinte pour réaliser l'affichage. Cette portion n'est en fait rien d'autre qu'une LED qui au lieu d'être ronde comme d'habitude est plate et encastré dans un boîtier. Voici un schéma présentant un modèle d'afficheur à la Figure III.31, Les interrupteurs a, b, c, d, e, f, g représentent les signaux pilotant chaque segment.

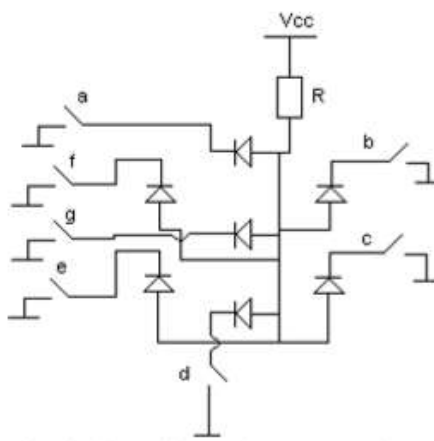


Figure III.31 : Branchement des LED d'un Afficheur 7 segments [14]

Comme nous le voyons sur ce schéma, toutes les LED possèdent une broche commune, reliée entre elles. Selon que cette broche est la cathode ou l'anode on parlera d'afficheur à cathode commune ou... anode commune. Dans l'absolu, ils fonctionnent de la même façon, seule la manière de les brancher diffère (actif sur état bas ou sur état haut). Si nous sommes dans le cas d'une anode commune, les anodes de toutes les LED sont reliées entre elles en un seul point qui sera connecté à l'alimentation. Les cathodes elles seront reliées une par une aux broches de signal. En mettant une broche de signal à 0, le courant passera et le segment en question s'allumera. Si la broche de signal est à l'état haut, le potentiel est le même de chaque côté de la LED, donc elle est bloquée et ne s'allume pas. Que l'afficheur soit à anode ou à cathode commune, on doit toujours prendre en compte qu'il faut ajouter une résistance de limitation de courant entre la broche isolée et la broche de signal, on prendra une résistance de 330 ohms pour une tension de 5V [14].

La Figure III.32 nous donne la représentation du boîtier de l'afficheur 7 segments

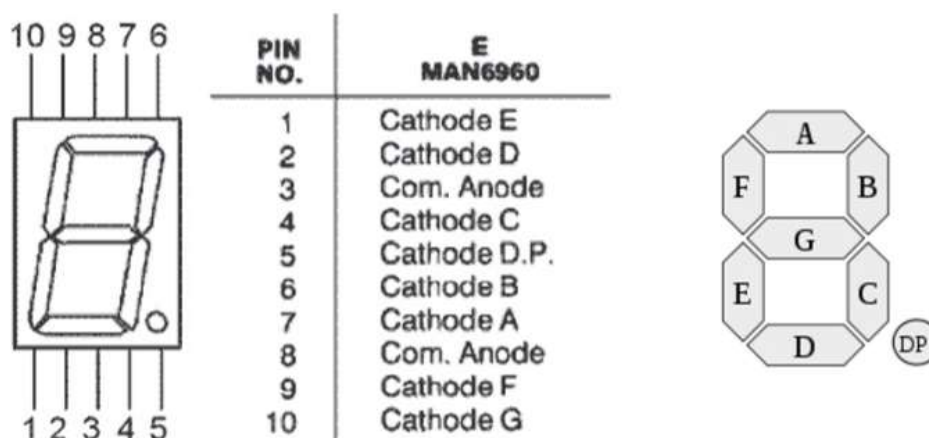


Figure III.32 : Représentation du boîtier de l'Afficheur 7 segments [14]

Voici la signification des différentes broches :

1. LED de la cathode E
2. LED de la cathode D
3. Anode commune des LED
4. LED de la cathode C
5. (Facultatif) le point décimal.
6. LED de la cathode B
7. LED de la cathode A
8. Anode commune des LED

9. LED de la cathode F

10. LED de la cathode G

Pour connecter cet afficheur 7 segments à la carte Arduino, nous avons utilisé un décodeur binaire codé décimal, qui nous a permis de diminuer le nombre des broches (de la carte Arduino) à utiliser, vu que le nombre des broches de la carte Arduino UNO est très limité.

2) DECODEUR BCD 7 SEGMENTS [14]

Le décodeur BCD 7 segments permet de commander un afficheur à 7 segments. Il dispose de 7 sorties, notées a, b, c, d, e, f, g correspondant chacune à un des 7 segments de l'afficheur également notés a, b, c, d, e, f, g. Le rôle du décodeur BCD est de convertir du binaire codé sur 4 bits vers un "code" utilisé pour afficher les chiffres. Sur un afficheur 7 segments, on peut représenter aisément les chiffres de 0 à 9 (et en insistant un peu les lettres de A à F). En informatique, pour représenter ces chiffres, il nous faut au maximum 4 bits. Pour faire 9 par exemple on utilisera les bits 1001. En partant de ce constat, des ingénieurs ont inventés un composant au nom de "décodeur" ou "driver" 7 segments. Il reçoit sur 4 broches les 4 bits de la valeur à afficher, et sur 7 autres broches ils pilotent les segments pour afficher ladite valeur. Ajouter à cela une broche d'alimentation et une broche de masse on obtient 13 broches.

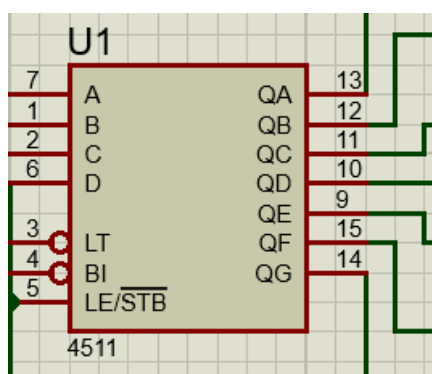


Figure III.33 : Décodeur BCD 7 segments dans Proteus

Le code gérant l'affichage réside sur les valeurs binaires des chiffres. Le Tableau III.5 nous donne les valeurs binaires des chiffres que peut afficher *l'afficheur 7 segments* :

Tableau III.5 : Valeur binaires des quelques chiffres [14]

Chiffre	DCBA
1	(0000) ₂
2	(0001) ₂

3	(0010) ₂
4	(0011) ₂
5	(0100) ₂
6	(0101) ₂
7	(0110) ₂
8	(0111) ₂
9	(1000) ₂

D'après ce tableau, si on veut le chiffre 8, on doit allumer le segment D, car 8 s'écrit (1000)₂ ayant pour segment respectif DCBA. Soit D=1, C=0, B=0 et A=0. En suivant cette logique, on arrive à déterminer les entrées du décodeur qui sont à mettre à l'état HAUT ou BAS.

III.4.6. BLOC DE SIGNALISATION

En plus de ce qui a déjà été cité, le système comprend également des diodes électroluminescentes ayant pour rôle la signalisation. En effet, ces LED sont branchées en série avec une résistance ayant pour rôle de limiter leur courant. La valeur de la résistance branchée en série avec une LED est choisie en fonction des caractéristiques des LED qui sont la tension d'utilisation, la chute de tension aux bornes de la LED et enfin le courant max qui doit traverser la diode sans que celle-ci soit claquée. Par exemple :

Nous avons une tension $VDD = 5V$ (qui est la tension fournie par le niveau haut d'une broche de la carte Arduino) et une LED avec les caractéristiques suivantes : $U_{led} = 1.2V$ et $I_{max} = 20mA$ [18]; le choix de la résistance R va se faire comme suit :

$$R = \frac{VDD - U_{led}}{I_{max}} \quad \text{Équation 5}$$

Par calculs on a : $R = \frac{5V - 1.2V}{0,02A} = 190 \text{ ohms}$, nous choisissons la valeur la plus proche parmi les valeurs normalisées des résistances c'est-à-dire 220 Ohms. Ainsi on aura bien protégé la LED dans le circuit électronique. Aussi nous devons savoir que les LED n'ont pas toutes les mêmes caractéristiques cela est due par exemple à leur couleur (il y a des LED de couleur jaune, verte, rouge, etc.) une LED de couleur Verte consomme moins de courant qu'une LED de couleur rouge. Voici à la Figure III.34 ci-dessous le schéma justifiant le branchement de la diode.

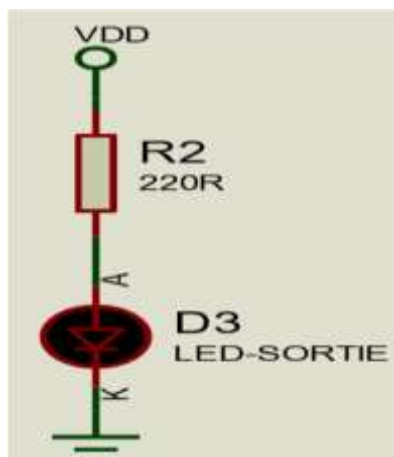


Figure III.34 : Signalisation par LED

III.5. PRESENTATION DU SYSTEME

III.5.1. SCHEMA DE PUISSANCE DU SYSTEME DE GESTION DE LA CONSOMMATION L'ENERGIE ELECTRIQUE

Notre système étant composé des 4 prises commandées, la partie des prises fonctionne comme le montre le schéma ci-dessous à la Figure III.35. Ici le schéma s'explique de sorte que ce sont les relais qui permettent la mise sous tension des différentes prises et tout cela par le biais du microcontrôleur (Arduino UNO) qui donne les informations nécessaires à l'alimentation des bobines des relais. Il sied de souligner que les prises en question sont monophasées.

Les capteurs que nous disposons ont chacun 6 broches qui sont branchées comme suit : les broches IP+ et IP- sont connectées respectivement à la phase du secteur (nommé dans le schéma *sourcePos* et à la broche d'entrée du relais. Les broches 7 et 6 vont respectivement sur le microcontrôleur et le condensateur de 1uF pour absorber les parasites dans le circuit et ainsi augmenter la sensibilité et la précision du capteur. Et les deux dernières broches 5 et 8 sont essentiellement pour l'alimentation du capteur de courant. Notons également que les capteurs ACS712-20A de courant ici présents, sont bidirectionnels, c'est-à-dire qu'ils fonctionnent aussi bien en courant continu qu'en alternatif. Notre charge sera branchée sur la borne de sortie du relais et le neutre du secteur (nommé dans le montage *sourceNeg*).

Lorsqu'une prise est alimentée nous prévoyons un **potentiomètre** qui joue le rôle de la charge (une charge variable), ainsi donc RV1, RV2, RV3 et RV4 représentent les différentes charges branchées sur les prises.

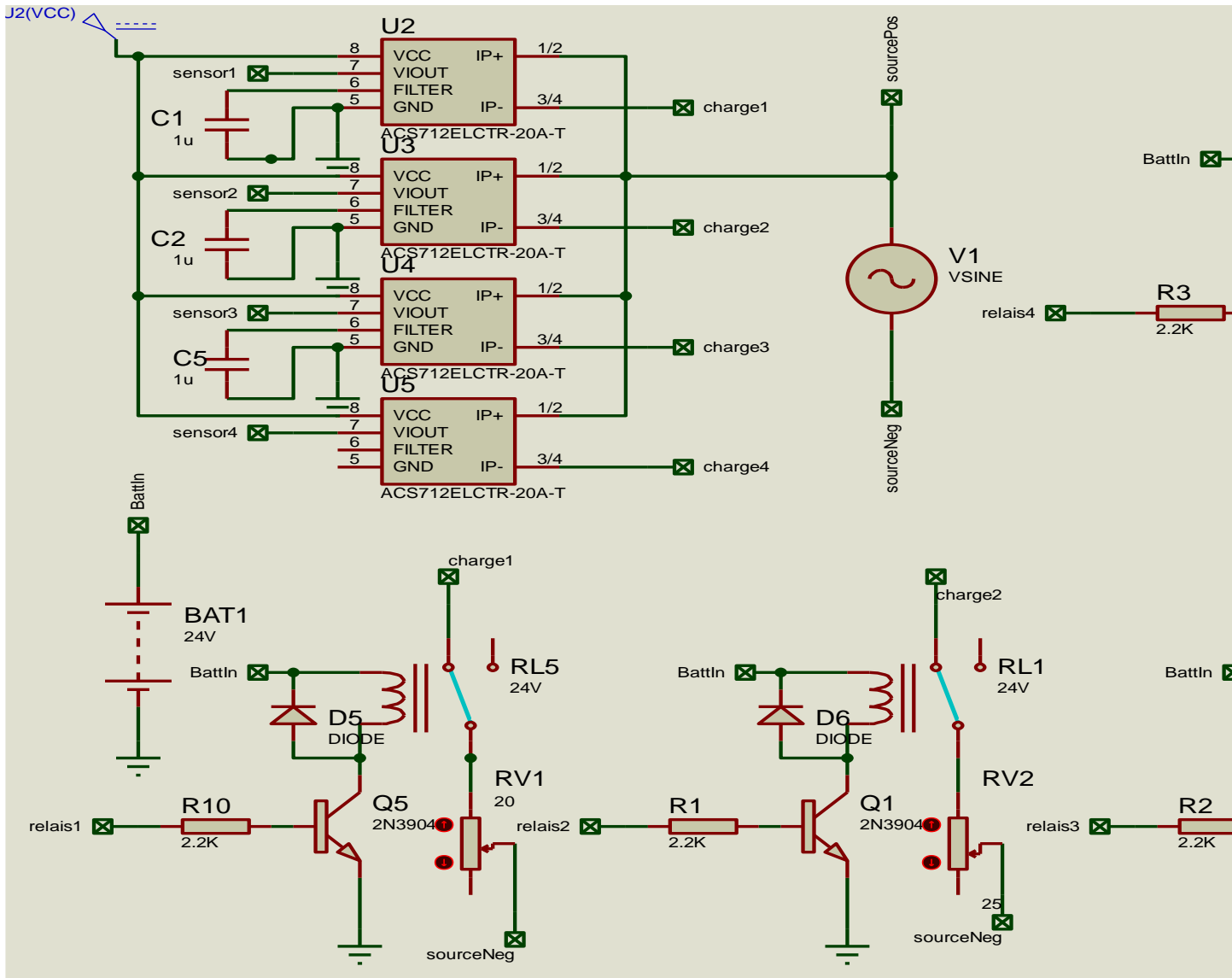


Figure III.35 : Schéma partie puissance du système de gestion de l'énergie.

III.5.2. FONCTIONNEMENT DU SYSTEME (Schéma bloc)

Comme nous allons le constater, la figure ci-dessous représente le fonctionnement de notre système. Au centre se trouve le Système de Gestion Optimale de la Consommation de l'Energie Electrique (SGOCE), ce système qui est pratiquement une multiprise électrique programmable. La *Figure III.36* nous montre comment le fonctionnement du système se passera.

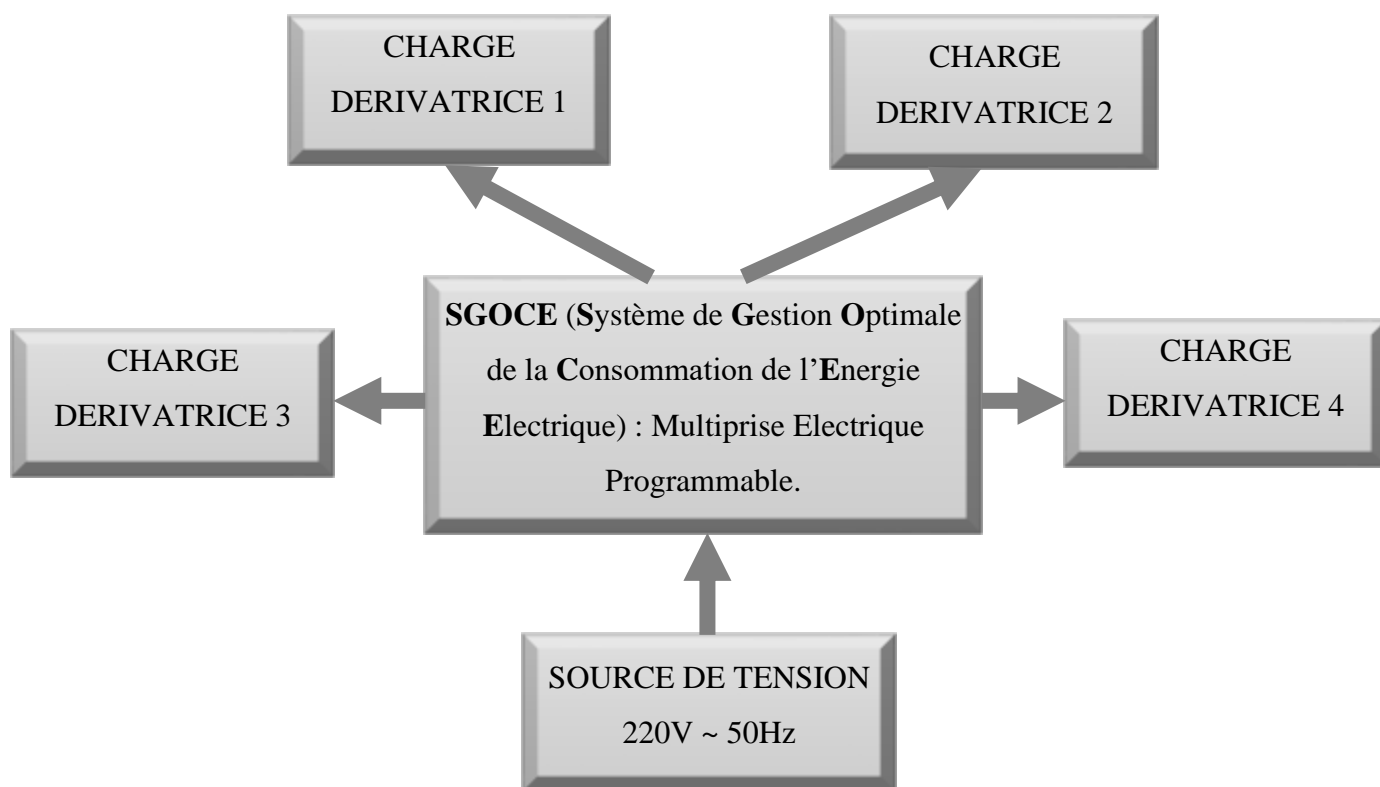


Figure III.36 : Schéma de fonctionnement du système

Le système étant déjà connecté au secteur, le fonctionnement commence par deux étapes importantes qui devront être effectuées par l'utilisateur. Les deux étapes consistent à paramétrer le système au travers les deux boutons prévus. Premièrement il faudra sélectionner la prise à paramétrer car il y en aura quatre ; deuxièmement il faudra affecter un niveau d'énergie maximale à consommer par la prise. Une fois cela effectuer, nous pourrons brancher la charge sur la prise. Il sied de souligner que pour notre système il y aura trois niveaux d'énergie maximale à consommer :

- 1^{er} Niveau : 0,5 KW
- 2^{ème} Niveau : 1 KW
- 3^{ème} Niveau : 2 KW

Ces niveaux d'énergie, sont choisies par rapport aux appareils électroménagers se trouvant dans notre ménage standard, et sont définies d'avance dans notre système à l'usine. Pratiquement chaque niveau d'énergie est manifesté par l'allumage d'une LED, donc il y a une LED affectée à chaque niveau d'énergie et chaque prise a la possibilité d'avoir au minimum un niveau d'énergie et au maximum trois niveaux d'énergie. Une fois la charge branchée, le système doit mesurer le courant appelé et le comparer avec le courant seuil définit dans notre système. Comme pour notre système le courant seuil = 20A pour chaque prise, donc la charge que doit supporter notre système, sur une prise donnée, doit appeler un courant inférieur à 20A. Si le courant est égal ou supérieur à 20A, le système au travers le relais doit couper l'alimentation pour la prise en question et la rétablir une fois la charge déconnectée.

La charge est contrôlée et gérée par le système durant sa consommation d'énergie. L'énergie consommée est comptabilisée par le système et comparée au niveau d'énergie affecté à la prise où elle est branchée. Une fois la charge aura consommé l'énergie maximale affectée, l'alimentation sera coupée automatiquement par le système, et pour cette fois c'est l'utilisateur qui viendra redéfinir le(s) niveau(x) d'énergie pour la prise.

III.6. PRESENTATION DES RESULTATS

Ici nous présentons les résultats que nous avons obtenus après simulation du système dans le logiciel PROTEUS.

1. En lançant la simulation, le système fonctionne selon les termes présentés dans la partie précédente.
2. L'utilisateur est appelé à paramétrer le système en affectant un niveau d'énergie à chacune de quatre prises.
3. Les trois LEDS représentent les trois niveau d'énergie et l'Afficheur 7 segment montre le numéro des prises (1, 2, 3 et 4).
4. Pour notre simulation, nous avons utilisé des potentiomètres pour représenter les charges. Une fois la charge branchée, le système compare le courant appelé par celle-ci au courant seuil (20A). Si la charge appelle un courant supérieur au seuil, son alimentation est coupée et le système vérifie si elle est déconnectée de la prise ou pas pour savoir s'il va rétablir l'alimentation ou pas. La consommation en énergie de chaque charge est calculée à chaque seconde, ce qui permet de la gérer d'une manière optimale.

5. Une fois la charge termine le niveau d'énergie affecté à sa consommation, le système coupe directement l'alimentation pour celle-ci.
6. Pour alimenter encore la charge il faut répéter le même processus de paramètre et consommation.

Le schéma présenté à la *Figure III.37* a été confectionné dans PROTEUS. Il nous donne le schéma général du Système de Gestion Optimale de la Consommation de l'Energie Electrique (SGOCE).



**A LA PAGE
SUIVANTE**

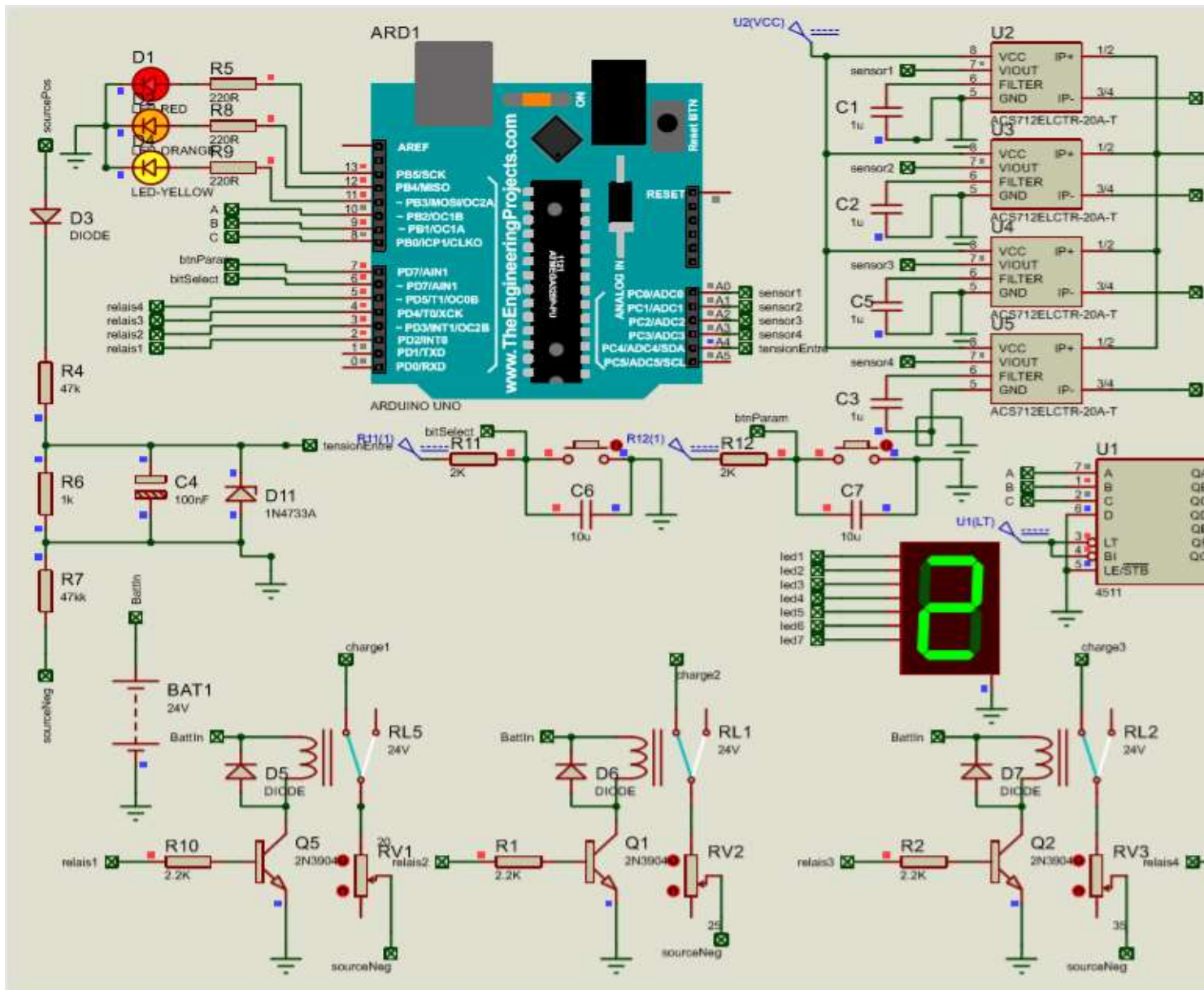


Figure III.37 : Schéma général du système SGOCE

CONCLUSION GENERALE

Ce travail a consisté en la conception et la réalisation d'un système à base d'Arduino pour la gestion optimale de la consommation de l'énergie électrique, et nous avons considéré le cas d'un ménage standard défini sur base des appareils électroménagers qu'on peut y trouver. Pour bien aborder notre sujet, nous avons au chapitre premier donné les généralités sur l'installation électrique domestique, vu que notre système sera connecté au circuit électrique domestique il était nécessaire d'avoir un aperçu général sur comment cette installation se fait selon une conformité bien établit. C'est ainsi que nous avons vu les éléments constitutifs d'une installation électriques, notamment sa structure, les matériels utilisés et les différentes méthodes utilisées pour la protection non seulement de ces matériels mais aussi des personnes appelées à interagir avec cette installation. Au deuxième chapitre nous avons fait la description du ménage que nous avons qualifié de standard en donnant les caractéristiques essentielles des appareils électroménagers qu'on peut y trouver mais aussi nous avons eu un aperçu sur les systèmes de gestion de l'énergie électrique.

De ces deux chapitres nous avons tiré des éléments nécessaires pour aborder le troisième chapitre de notre travail dans lequel nous avons fait la conception, le dimensionnement, la mise en place du schéma pour la simulation ainsi que la réalisation du système. Au niveau de la conception nous avons fait le choix et l'étude de composants du système et puis nous les avons dimensionnés et en fin nous avons eu un schéma Proteus à simuler. Ce travail avait pour objectif général la gestion optimale de la consommation de l'énergie. Avec ce système nous avons été donc capable de gérer l'alimentation des charges qui y sont connectées et ainsi faire l'économie de l'énergie en évitant le gaspillage. Les hypothèses que nous avons évoquées ont été confirmées lors des différentes simulations du projet. Certains aspects n'ont pas été abordés dans la réalisation de ce travail comme la gestion de toutes les charges présentes dans les ménages allant de l'éclairage, au froid ou au chauffage jusqu'à toutes les consommations paraissant faibles, la gestion à distance du système au travers une application mobile, ... C'est pourquoi à tout autre chercheur intéressé par le sujet de bien vouloir le compléter en vue de l'améliorer.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] K.-B. MUSEKWA, Conception et réalisation d'un système de contrôle et de gestion optimale de l'énergie : cas des systèmes énergétiques hybrides photovoltaïque - groupe électrogène, Goma: Memoire de fin d'études FSTA - ULPGL, 2018 - 2019.
- [2] N. NYIRABIHOGO, «Quand l'arrivée des concurrents de la société d'électricité de la RDC devient source d'accès fiable des habitants et des commerces à l'électricité.,» *Global Press Journal*, vol. 1, n° %11, p. 3, 2022.
- [3] M. H. Bedoui, Cours Installation Électrique, Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Ksar-Hellal , 2009 – 2010.
- [4] B. Mushagasha, Initiation aux schémas électriques, Goma: ULPGL - Faculté des Sciences et Technologies Appliquées, 2022.
- [5] T. ., & F. D. Gallauziaux, L'Installation électrique comme un pro, Paris, 2004 - 2006.
- [6] legrand, NORME NF C 15-100 POINTS CLES & SOLUTIONS LEGRAND, France: legrand, 2020.
- [7] T. ., & F. D. Gallauziaux, LE GRAND LIVRE DE L'ELECTRICITE, 2008.
- [8] P. Menanteau, L'étiquetage énergétique pour les appareils électroménagers, Agence de l'Efficacité Energétique du Québec (AEE).
- [9] L. ., & H. F. KAROUBI, LAROUSSE, France: Maury-Manchecourt, 2009.
- [10] M. Dutille, «LES DENICHEURS,» Starty Media, 24 mars 2022. [En ligne]. Available: lesdenicheurs.net. [Accès le 12 février 2023].
- [11] oceanic.eu, Cuisinière électrique: Mode d'emploi, Bordeaux: Oceanic.
- [12] C. MULUMEODER, Technologie électrique, Bukavu: ITA, 2015-2016.
- [13] J. Hollander, «HotelTechReport,» 16 février 2023. [En ligne]. Available: <https://hoteltechreport.com/fr/>. [Accès le 04 mars 2023].
- [14] E. & o. Astalaseven, Arduino pour bien commencer en électronique et en programmation, www.siteduzero.com, 2012.
- [15] F. & D. J.-P. Genevey, Arduino à l'école, <https://arduino.education>, 2018.
- [16] I.-R. BAGUMA, Cours d'Analyse des Circuits électriques, Goma: FSTA-ULPGL, 2021.

- [17] Philips, DATASHEET, Philips semiconductor, 1997.
- [18] AVAGO, Datasheet LED Lamps, AVAGO technologies, 2015.
- [19] A. e. t. i. d. l. l. française, «Trésor de la langue française informatisé,» INaLF, 1990. [En ligne]. Available: atilf.atilf.fr. [Accès le 12 janvier 2023].
- [20] A. Mauric, Les Appareils ménagers, Presses Universitaires de France, 1981.

ANNEXES

EXTRAIT DU CODE MICROCONTROLEUR (ATMEGA328P)

```
#define seuilDiode 0.7
#define SEUIL_HAUT_CURRENT 19//Le courant maximal à ne pas dépasser dans le système
#define NUMBER_PLUG 4// Nombre des prises
float valueRead; // Valeur de la tension lue
float currentValue1Read;
float currentValue2Read;
float currentValue3Read;
float currentValue4Read;

int essaiLect =0;
float value;
float valueMoy;
float voltageValue;
float currentValue1;
float currentValue2;
float currentValue3;
float currentValue4;
float power1;
float power2;
float power3;
float power4;
float calibreCurrent=100.0;
float tempsAffichage;
int btnParamState;
int btnParamMemo;
int btnFixTimeState;
int btnFixTimeMemo;
char chiffre;
//led affichage
const int led1 = 13;
```

```
const int led2 =12;
const int led3=11;
//bits afficheur 7Segment
const int bit_A =10;
const int bit_B =9;
const int bit_C =8;
//sortie digital relais
const int relais1 =2;
const int relais2=3;
const int relais3=4;
const int relais4=5;
//Bouton d'entree
const int btnParam =7; //permet de selectionner la prise pour laquelle on veut definir les parametres
const int btnFixTime=6; //permet de choisir l'energie à consommer
//Sensor of current and voltage
const int sensorCurrent1 =0; //stocke la valeur du courant pour la première prise
const int sensorCurrent2 =1;
const int sensorCurrent3 =2;
const int sensorCurrent4 =3;
const int tensionEntree =4; //stocke la valeur de la tension
float tabParam[] = {0.03667 , 0.0734, 0.11 }; //stocke niveau de coupure de l'energie
//energy structure
struct EnergyMes{
    float energyParam = tabParam[0];
    float puissance;
    float tension;
    float current;
    float energyCons;
    float tempsMesureEnergy;
    int level=1;
};
```

```
//creation des prises
EnergyMes prise1;
EnergyMes prise2;
EnergyMes prise3;
EnergyMes prise4;
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
pinMode(led1,OUTPUT);
pinMode(led2,OUTPUT);
pinMode(led3,OUTPUT);
digitalWrite(led1,LOW);
digitalWrite(led2,LOW);
digitalWrite(led3,LOW);
pinMode(tensionEntree,OUTPUT);
pinMode(relais1,OUTPUT);
pinMode(relais2,OUTPUT);
pinMode(relais3,OUTPUT);
pinMode(relais4,OUTPUT);
digitalWrite(relais1,HIGH);
digitalWrite(relais2,HIGH);
digitalWrite(relais3,HIGH);
digitalWrite(relais4,HIGH);
pinMode(btnParam,INPUT);
pinMode(btnFixTime,INPUT);

tempsAffichage = millis();
btnParamState = HIGH;
btnParamMemo = HIGH;
btnFixTimeState = HIGH;
btnFixTimeMemo =HIGH;
chiffre =1;
```

```

prise1.tempsMesureEnergy = millis();
prise2.tempsMesureEnergy = millis();
prise3.tempsMesureEnergy = millis();
prise4.tempsMesureEnergy = millis();
}

```

```

void loop() {

```

```

// put your main code here, to run repeatedly:

```

```

    valueRead =0;

```

```

    currentValue1Read=0;

```

```

    currentValue2Read=0;

```

```

    currentValue3Read=0;

```

```

    currentValue4Read=0;

```

```

    for(int i=0; i < 100 ; i++){

```

```

        valueRead = (valueRead > analogRead(tensionEntree)) ? valueRead :
analogRead(tensionEntree);

```

```

        delayMicroseconds(200);

```

```

    }

```

```

    for(int i=0; i < 100; i++){

```

```

        currentValue1Read = (currentValue1Read > analogRead(sensorCurrent1)) ?
currentValue1Read : analogRead(sensorCurrent1);

```

```

        currentValue2Read = (currentValue2Read > analogRead(sensorCurrent2)) ?
currentValue2Read : analogRead(sensorCurrent2);

```

```

        currentValue3Read = (currentValue3Read > analogRead(sensorCurrent3)) ?
currentValue3Read : analogRead(sensorCurrent3);

```

```

        currentValue4Read = (currentValue4Read > analogRead(sensorCurrent4)) ?
currentValue4Read : analogRead(sensorCurrent4);

```

```

        delayMicroseconds(200);

```

```

    }

```

```

    btnParamState = digitalRead(btnParam);

```

```

    if( (btnParamState != btnParamMemo)&& (btnParamState == LOW)){

```

```
    chiffre++;
    if(chiffre > NUMBER_PLUG){
        chiffre =1;
    }
}
btnParamMemo = btnParamState;
afficheDeco();
voltageValue = ((95*(map(valueRead,0,1024,0,5000))/1000.0)+seuilDiode)/sqrt(2);
btnFixTimeState = digitalRead(btnFixTime);
if((btnFixTimeState != btnFixTimeMemo) && (btnFixTimeState ==LOW) ){
    switch(chiffre){
        case 1:
            setLevel(&prise1);
            afficheLed(prise1.level);
            break;
        case 2:
            setLevel(&prise2);
            afficheLed(prise2.level);
            break;
        case 3:
            setLevel(&prise3);
            afficheLed(prise3.level);
            break;
        case 4:
            setLevel(&prise4);
            afficheLed(prise4.level);
            break;
    }
}
btnFixTimeMemo = btnFixTimeState ;
```

```
prise1.current          =          (((map(currentValue1Read,0,1024,0,5000)-
2500))/sqrt(2))/calibreCurrent)*1.151;
prise1.puissance = voltageValue * prise1.current;
energyCompt(&prise1);
verifierValeur(&prise1,relais1);
//
prise2.current          =          (((map(currentValue2Read,0,1024,0,5000)-
2500))/sqrt(2))/calibreCurrent)*1.151;
prise2.puissance = voltageValue * prise2.current;
energyCompt(&prise2);
verifierValeur(&prise2,relais2);
//
prise3.current          =          (((map(currentValue3Read,0,1024,0,5000)-
2500))/sqrt(2))/calibreCurrent)*1.151;
prise3.puissance = voltageValue * prise3.current;
energyCompt(&prise3);
verifierValeur(&prise3,relais3);
//
prise4.current          =          (((map(currentValue4Read,0,1024,0,5000)-
2500))/sqrt(2))/calibreCurrent)*1.151;
prise4.puissance = voltageValue * prise4.current;
energyCompt(&prise4);
verifierValeur(&prise4,relais4);
//
//  if(millis() - tempsAffichage > 1000){
//    Serial.println("\n prise numero 1");
//    Serial.print("current");
//    Serial.println(prise1.current);
//    Serial.print("power :");
//    Serial.println(prise1.puissance);
//    Serial.print("energy consomee : ");
```

```
// Serial.println(prise1.energyCons);
// Serial.println("\n");
// Serial.println("\n prise numero 2");
// Serial.print("current");
// Serial.println(prise2.current);
// Serial.print("power ");
// Serial.println(prise2.puissance);
// Serial.print("energy consomee : ");
// Serial.println(prise2.energyCons);
// Serial.println("\n");
// Serial.println("\n prise numero 3");
// Serial.print("current");
// Serial.println(prise3.current);
// Serial.print("power ");
// Serial.println(prise3.puissance);
// Serial.print("energy consomee : ");
// Serial.println(prise3.energyCons);
// tempsAffichage = millis();
// }
}

void afficheLed(int levelPrise){
  switch(levelPrise){
    case 0:
      digitalWrite(led1,LOW);
      digitalWrite(led2,LOW);
      digitalWrite(led3,LOW);
      break;
    case 1:
      digitalWrite(led1,HIGH);
      digitalWrite(led2,LOW);
      digitalWrite(led3,LOW);
```

```
    break;
case 2:
    digitalWrite(led1,HIGH);
    digitalWrite(led2,HIGH);
    digitalWrite(led3,LOW);
    break;
case 3:
    digitalWrite(led1,HIGH);
    digitalWrite(led2,HIGH);
    digitalWrite(led3,HIGH);
    break;
}
}
void setLevel(struct EnergyMes *priseLevel){
    priseLevel->level++;
    if(priseLevel->level >3){
        priseLevel->level =1;
    }
    priseLevel->energyParam = tabParam[priseLevel->level -1];
}
void afficheDeco(){
    switch(chiffre){
    case 1:
        digitalWrite(bit_A,HIGH);
        digitalWrite(bit_B,LOW);
        digitalWrite(bit_C,LOW);
        afficheLed(prise1.level);
        break;
    case 2:
        digitalWrite(bit_A,LOW);
        digitalWrite(bit_B,HIGH);
```

```
digitalWrite(bit_C,LOW);
afficheLed(prise2.level);
break;
case 3:
digitalWrite(bit_A,HIGH);
digitalWrite(bit_B,HIGH);
digitalWrite(bit_C,LOW);
afficheLed(prise3.level);
break;
case 4:
digitalWrite(bit_A,LOW);
digitalWrite(bit_B,LOW);
digitalWrite(bit_C,HIGH);
afficheLed(prise4.level);
break;
}
}
void verifierValeur(struct EnergyMes *prise, int borne){
if (prise->current >= SEUIL_HAUT_CURRENT){
digitalWrite(borne,LOW); // si on depasse un courant du seuil haut on coupe la charge
// Serial.println("borne ou il y'a depart du courant");
// Serial.println(borne);
return;
}
if(((prise->energyParam - prise->energyCons) <= 0) || (prise->level == 0)){
digitalWrite(borne,LOW); // si l'energie consomee equivaut a l'energie programmee on coupe la
charge
// Serial.println("have set to zero");
prise->level =0;
return;
}
```

```
digitalWrite(borne,HIGH);
}
void energyCompt(struct EnergyMes *priseEnergy){
// cette fonction calcule l'énergie consommée chaque seconde et la convertie en Kwh
    if(priseEnergy->level == 0){
        priseEnergy->energyCons =0;
        return;
    }
    if((millis() - priseEnergy->tempsMesureEnergy) >= 1000){
        if(priseEnergy->puissance > 0){
            priseEnergy->energyCons += (priseEnergy->puissance/1000)*(1.0/3600.0); //calcule de
l'energie en kwh avec 1 seconde -> 1/3600 h
        }
        priseEnergy->tempsMesureEnergy = millis();
    }
}
```