



REPOBLIKAN'I MADAGASIKARA
Fitiavana – Tanindrazana – Fandrosoana

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

INSTITUT D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR D'ANTSIRABE – VAKINANKARATRA

Mention :

AUTOMATISME ET INFORMATIQUE

Mémoire de Licence en
AUTOMATISME – ELECTRONIQUE – INFORMATIQUE
INDUSTRIELLE

COMPTEUR ELECTRIQUE PREPAYE

Présenté par : RASAMIMANANA Maholiniaina Jimmy
Soutenu le 19 Mars 2018 à 8 heures

Président du Jury	RAJAONARIVELO Jean André
Encadreur	BOURGEON Andy Marlon
Examineur	RALAHARIJAONA Richard Zandrison
Examineur	RANAIVOSON Mamitiana Lalaonirina Olivette

Année Universitaire : 2016 – 2017



REPOBLIKAN'I MADAGASIKARA
Fitiavana – Tanindrazana – Fandrosoana

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

INSTITUT D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR D'ANTSIRABE – VAKINANKARATRA

Mention :

AUTOMATISME ET INFORMATIQUE

Mémoire de Licence en
AUTOMATISME – ELECTRONIQUE – INFORMATIQUE
INDUSTRIELLE

COMPTEUR ELECTRIQUE PREPAYE

Présenté par : RASAMIMANANA Maholiniaina Jimmy
Soutenu le 19 Mars 2018

Président du Jury	RAJAONARIVELO Jean André
Encadreur	BOURGEON Andy Marlon
Examineur	RALAHARIJAONA Richard Zandrison
Examineur	RANAIVOSON Mamitiana Lalaonirina Olivette

Année Universitaire : 2016 – 2017

Remerciements

Je tiens d'abord à remercier Dieu, le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce travail de mémoire.

Mes plus vifs remerciements s'étendent également à Monsieur RAJAONARISON Eddie Franck, Directeur de l'Institut d'Enseignement Supérieur – Antsirabe Vakinankaratra sans qui ce travail n'aurait sûrement jamais pu commencer.

Je souhaite adresser mes profonds et sincères remerciements à notre chef de mention, RANAIVOSON Mamitiana Lalaonirina Olivette, qui nous a guidés durant la préparation et la réalisation de notre travail.

Je souhaiterai aussi à remercier Monsieur BOURGEON Andy Marlon, notre encadreur, pour l'orientation, la confiance et la patience qui ont constitué un apport considérable à notre travail.

J'adresse aussi mes remerciements à Monsieur RAJAONARIVELO Jean André qui préside cette soutenance, à Monsieur RALAHARIJAONA Richard Zandrison et à Madame RANAIVOSOA Mamitiana Lalaonirina Olivette, membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ces recherches en acceptant d'examiner et juger notre travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à tous les enseignants qui, par leurs compétences et leurs connaissances, nous ont soutenus dans la poursuite de nos études. C'est grâce à leur soutien tout au long du travail que nous avons pu mener à bien ce projet.

Enfin, je tiens également à exprimer ma plus profonde gratitude à ma famille et à toutes les personnes qui m'ont soutenu et qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Liste des tableaux

Tableau 3.1: Branchement des divers composants sur l'Arduino.....	55
---	----

Liste des figures

Figure 1.1 : Distribution monophasée	4
Figure 1.2 : Distribution triphasée.....	5
Figure 1.3 : Compteur « classique » monophasé Heliowatt.	6
Figure 1.4 : Compteur électronique monophasé type « EDF » SAGEM.	7
Figure 1.5 : Compteur monophasé « modulaire » Polier.....	7
Figure 1.6 : Compteur de consommation d'appareillage électrique.	8
Figure 1.7 : Compteur communiquant Linky.....	9
Figure 1.8 : Représentation de fourniture d'énergie.....	15
Figure 1.9 : Représentation de la différence de trois puissances	16
Figure 1.10 : Diagramme des puissances	16
Figure 2.1 : Graphe courant alternatif (intensité)	18
Figure 2.2 : Graphe courant alternatif (Tension)	19
Figure 2.3 : Superposition de trois courants sinusoïdaux	21
Figure 2.4 : Représentation de I totale cas général	22
Figure 2.5 : Représentation de I totale en phase	23
Figure 2.6 : Représentation de I totale en opposition de phase.....	24
Figure 2.7 : Diagramme de Fresnel.....	25
Figure 2.8 : Représentation du Nombre complexe.....	26
Figure 2.9 : Représentation trigonométrique ou polaire.....	27
Figure 2.10 : Représentation complexe	27
Figure 2.11 : Représentation puissance complexe en régime sinusoïdal	31
Figure 2.12 : Carte Arduino Uno et interface de programmation de l'Arduino	36
Figure 2.13 : Carte Arduino uno	37
Figure 2.14 : Détails d'un Arduino Uno.....	38
Figure 2.15 : Représentation de l'interface.....	40
Figure 2.16 : GPS	41
Figure 2.17 : Lecteur RFID 125 Kh	41
Figure 2.18 : Série Bluetooth	41
Figure 2.19 : Lecteur MP3 Série	42

Figure 2.20 : Ecran tactile Couleurs 2.8' TFT	42
Figure 2.21 : Capteur d'empreinte digitale	42
Figure 2.22 : Capteur température et Humidité 12C	42
Figure 2.23 : Capteur de gaz	43
Figure 3.1 : Analyse fonctionnelle d'un compteur électromécanique.....	44
Figure 3.2 : Principe de Ferraris	47
Figure 3.3 : Principe d'un compteur électromagnétique	48
Figure 3.4 : Schéma cinématique d'un afficheur de compteur électromécanique	50
Figure 3.5 : Ecran LCD 16*2 et module I2C	50
Figure 3.6: Clavier 4*4	52
Figure 3.7 : Module relais et représentation schématique	54
Figure 3.8 : Algorithme du mode de fonctionnement du compteur électrique prépayé.....	58
Figure 3.9 : Clavier et écran d'un compteur prépayé de l'UMEME	61
Figure 3.10 : Compteur accroché en hauteur	61
Figure 3.11 : Capteur de débit d'eau	62
Figure 3.12 : Electrovanne 12V	63
Figure 3.13 : Algorithme du mode de fonctionnement du compteur d'eau prépayé	65
Figure 3.14 : Compteur monobloc (Burkinafaso)	66
Figure 3.15 : Compteur slip	67
Figure 3.16 : Aptor (Pologne)	67
Figure 3.17 : Secteur meter (Inde).....	67
Figure 3.18 : Shangai meter (Chine)	68

Liste des abreviations et signes

A : Ampère

AC : Courant Alternatif

CEI : Commission Electrotechnique Internationale

CPL : Courant Porteur en Ligne

DC : Courant Continu

EDF : Electricité de France

GND: Ground (Masse)

GSM: Global System for Mobile Communications

Hz : Hertz

Im/kWh : Impulsion par kilowattheure

kVA : kilovoltampère

kWh : kilowattheure

JIRAMA : Jiro sy Rano Malagasy

LCD : Liquid Crystal Display

r/kWh : tour par kilowattheure

RTC : Real Time Clock

SMS : Short Message Service

V : volt

VCC: Voltage Current Continu

W : watt

Sommaire

Introduction	1
Partie I : LES COMPTEURS ELECTRIQUES	2
Chapitre I-1 : Généralités.....	2
Chapitre I-2 : COMPTEUR ELECTRIQUE.....	4
Chapitre I-3 : PROBLEMES DES COMPTEURS ELECTRIQUES ACTUELS	13
Chapitre I-4 : Solutions.....	17
Partie II : LES THEORIES SUR L'ELECTRICITE ET ARDUINO	18
Chapitre II-1 : Courant alternatif.....	18
Chapitre II-2 : MICROCONTROLEUR : « ARDUINO »	35
Partie III : REALISATION, UTILISATIONS ET COUTS DU PROJET	44
Chapitre III-1 : Réalisation	44
Chapitre III-2 : Utilisations et sécurisation.....	59
Chapitre III-3 : Coûts du projet	66
CONCLUSION	69

Introduction

L'électricité est l'une des énergies plus utilisée dans le monde. Cette énergie n'est pas gratuite, elle a besoin d'être produite. C'est pour cette raison qu'il est devenu nécessaire d'en évaluer le coût, d'où la nécessité de la quantifier. C'est ainsi qu'est née le compteur électrique.

Les compteurs électromécaniques ont été longtemps les seuls utilisés dans l'exploitation des compteurs de l'énergie électrique. Ils ont bien résolu une grande partie des problèmes posés. Mais les progrès de l'électronique et de l'informatique ont permis le développement des ensembles moins encombrants et mieux adaptés à des systèmes beaucoup plus complexes, capables d'améliorer encore la gestion de l'énergie électrique

Cependant, le souci de l'amélioration de la gestion de l'énergie électrique va favoriser la valorisation des compteurs prépayés vers la fin des années 80. Et en début des années 2000, le prépaiement s'étend davantage en Afrique, en raison des problèmes de recouvrement que connaissent les compagnies d'électricité locales.

En effet, le compteur prépayé couramment appelé « Cash – Power », aussi appelé compteur à prépaiement ou simplement le prépaiement, est souvent qualifié d'Outil révolutionnaire pour certains, condensé de technologies sans pareil pour d'autres aux vues de ses possibilités. En général, partout dans le monde, les qualifications pour décrire ou surnommer le compteur prépayé n'en finissent pas, au regard de son caractère innovateur technico socio-économique. Alors dans cette étude nous allons voir en quoi cet outil est pratique, pour cela nous allons voir un aperçu des compteurs électriques, détailler quelques théories et passer à la réalisation d'un compteur prépayé

Partie I : LES COMPTEURS ELECTRIQUES

Chapitre I-1 : Généralités

Section I-1-1 : Historique

Avant l'apparition des compteurs d'énergie électrique les abonnés payaient leurs consommations suivant un système forfaitaire. Le forfait a été principalement utilisé, il comprenait une redevance mensuelle calculée sur le nombre et la puissance des lampes installées. Le coût d'achat important des lampes ainsi que leur durée de vie faible incitait le consommateur à une utilisation économe.

Pour éviter l'installation de lampes supplémentaires ou de puissance non prévu par contrat, les sociétés de distribution d'électricité utilisaient des fusibles calibrés ou des limiteurs de courant dans le genre bilames réglés à la puissance contractuelle.

Le forfait et la redevance : La plus grande imagination était déployée à l'époque en France, les unités de tarification étaient très diverses :

- La lampe-an de 16 bougies-10
- La lampe-an de 10 bougies
- Le Carcel-an-11
- Le Carcel-heure
- La lampe-heure
- La lampe-mois
- Le kilo Wattheure – utilisé de nos jours.

Pourquoi cette diversité ?

- Extrême division du milieu des électriciens – les unités ne sont pas normalisées
- Les premiers « compteurs » apparaissent coûteux et peu fiables.

La lecture en kWh se généralise de plus en plus, la Commission Electrotechnique Internationale (CEI) a adopté cette unité qui sera bientôt imposé (document de la Compagnie Des Compteurs – juin 1939) à partir de la Loi du 2 avril 1919.

Section I-1-2 : Définition en général

Le compteur électrique est un appareil semblable au wattmètre, qui mesure la quantité d'énergie totale consommée par les circuits électriques des particuliers. C'est en fait un genre de wattmètre, dont la bobine mobile a été remplacée par un induit de moteur. L'induit est piloté par un régulateur magnétique et tourne à une vitesse proportionnelle à la quantité d'énergie consommée.

Nous savons qu'un compteur est un appareil servant à mesurer les différentes grandeurs telles que la distance, la vitesse ou encore la consommation d'énergie. Un compteur électrique est un appareil électrotechnique permettant, comme son nom l'indique, de mesurer la consommation électrique d'une installation en kWh, que ce soit au sein d'une habitation ou dans des lieux d'activités professionnelles ou industrielles. Cette consommation dépend de la puissance des appareils utilisés et du temps pendant lequel ils sont utilisés. On peut calculer la puissance dépensée car à chaque tour de disque, une quantité d'énergie est libérée et plus le disque tourne vite, plus le foyer consomme.

Le compteur électrique est utilisé par les fournisseurs d'électricité afin de comptabiliser l'énergie consommée par un client et de facturer ce dernier en conséquence.

À l'origine ces appareils étaient de conception électromécanique et le comptage s'effectuait à partir de cercles chiffrés. Aujourd'hui, dans de nombreux pays, ils sont remplacés par des modèles électroniques. Les nouvelles versions de compteurs électriques sont des compteurs communicants appelés aussi compteurs intelligents.

Chapitre I-2 : COMPTEUR ELECTRIQUE

Section I-2-1 : Définition

Le compteur électrique en physique se définit par soit $x(t)$ une grandeur électrique susceptible de varier avec le temps t . On appelle compteur d'électricité un appareil qui effectue d'une façon continue (ou quasi continue) l'intégration :

$$\int_0^t x(t) dt$$

Formule 1.1

qui donne à chaque instant (ou pratiquement à chaque instant) le résultat actuel de cette intégration soit sous forme convenant à une lecture directe, soit sous toute autre forme adaptée à l'utilisation envisagée.

Section I-2-2 : Compteur monophasé et compteur triphasé

Il existe deux grands types de compteurs :

- Le compteur électrique monophasé : Les réseaux monophasés distribuent l'énergie sur 2 conducteurs : 1 phase et 1 neutre.

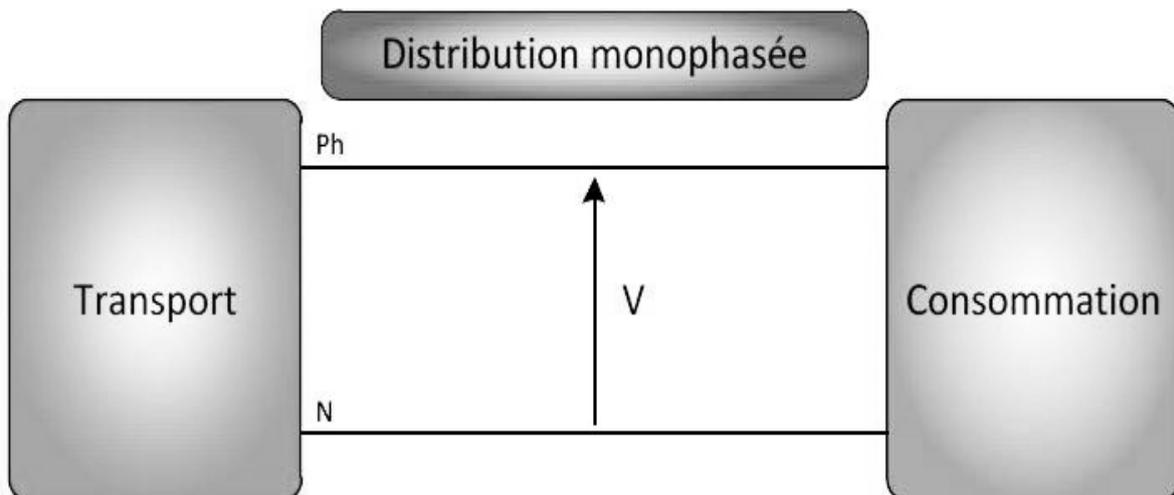


Figure 1.1 : Distribution monophasée

- Le compteur électrique triphasé : Les réseaux triphasés distribuent l'énergie sur conducteurs : 3 phases (ou conducteurs de lignes) et 1 neutre. Dans ce cas, deux tensions sont disponibles : la tension entre chacune des phases appelée tension composée (U_{12} , U_{23} , U_{31}), et la tension entre une phase et le neutre appelée tension simple (V_{1N} , V_{2N} , V_{3N}).

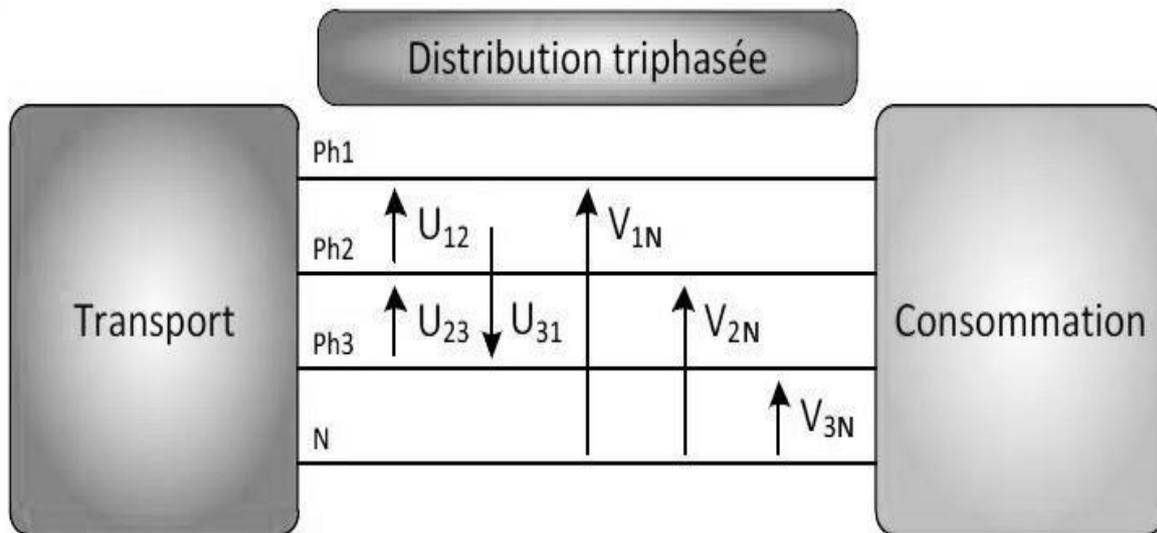


Figure 1.2 : Distribution triphasée

Section I-2-3 : Les différents types de compteurs d'électricité, le type d'affichage et l'indication

Alors qu'il s'agissait auparavant des appareils électromagnétiques, le compteur électrique est maintenant de plus en plus remplacé par des modèles électroniques, appartenant au gestionnaire réseau de distribution d'électricité.

Les compteurs électromagnétiques d'avant étaient spécifiques à chaque tarification tandis que les compteurs électroniques actuels s'adaptent à toute la gamme tarifaire en donnant en plus des informations utiles, une interface simple pour tout connaître de l'abonnement et de la consommation d'énergie. On constate que ce changement a pour but de simplifier autant que possible l'interaction entre le client et le compteur ainsi que la comptabilisation de la facture par le fournisseur.

De ce fait, nous pouvons dire qu'il existe plusieurs types de compteurs électriques :

➤ Compteurs classiques électromécaniques

Les plus anciens sont électromécaniques et reconnaissables par leur roue qui tourne sur leur façade. Leur intérêt est leur grande robustesse et leur facilité d'installation avec trois points d'attache. Les compteurs que l'on trouve principalement sur le marché sont des compteurs rénovés.



Figure 1.3 : Compteur « classique » monophasé Heliowatt.

➤ Compteurs électroniques

Les compteurs électroniques fonctionnent grâce à un shunt. Il s'agit d'un petit dispositif permettant au courant d'un circuit électrique de passer d'un point à un autre avec très peu d'énergie. Ces compteurs sont souvent moins encombrants que les compteurs classiques. La tension mesurée aux bornes du shunt est proportionnelle à l'intensité qui le traverse. Sensibles aux surtensions et plus particulièrement à la foudre, ces compteurs sont à affichage mécanique ou numérique LCD, selon les modèles.



Figure 1.4 : Compteur électronique monophasé type « EDF » SAGEM.

➤ Compteurs modulaires

Les compteurs modulaires utilisent un système de mesure électronique, ont un affichage mécanique ou numérique et s'installent facilement sur le rail DIN. Ils ont pour intérêt d'être peu encombrants.



Figure 1.5 : Compteur monophasé « modulaire » Polier

À l'heure actuelle, des compteurs intelligents et plus performants sont à l'étude. Ils permettront notamment d'avoir un suivi instantané d'une consommation et de mieux la gérer. La dernière génération de compteur, nommée Linky (compteur électrique communicant), est plus pratique. Les relevés, les coupures et les mises en route peuvent se faire à distance. Le passage d'un technicien n'est ainsi plus nécessaire.

Il est aussi possible de classer les compteurs électriques suivant cette typologie :

➤ Compteurs de type « centrale de mesure »

Une centrale de mesure donne généralement plus d'informations qu'un simple compteur électrique. Elle donne généralement la tension, l'intensité mais mesure également les harmoniques. Elle est souvent équipée d'un espace de stockage pour enregistrer ces grandeurs. Elle est également dotée de sorties (RS232, RS485, Ethernet...) qui lui permettent de communiquer.

➤ Compteur de consommation d'appareillage

Le dispositif de comptage d'énergie électrique s'intercale entre la prise et l'appareil dont on souhaite mesurer la consommation. Le système de comptage est électronique.



Figure 1.6 : Compteur de consommation d'appareillage électrique.

➤ Compteur électrique communicant

Les compteurs électriques communicants (parfois appelés compteurs intelligents) sont la dernière génération de compteurs. Les principales caractéristiques de ces compteurs sont la possibilité de pouvoir communiquer et donc de pouvoir être relevés, coupés et remis en route à distance.



Figure 1.7 : Compteur communiquant Linky.

Selon leur affichage on a deux types :

➤ *Affichage mécanique*

L'affichage mécanique est le plus ancien des affichages mais présente l'avantage de pouvoir être lu même lors de coupures de courant. De plus, en cas de détérioration ou de vandalisme, la dernière valeur enregistrée restera affichée, ce qui rend sa lecture toujours possible.

➤ *Affichage LCD (digital)*

Il présente l'avantage de pouvoir afficher différentes informations : tarifs du kilowattheure, watt, tension, etc.

Les indications sur les compteurs

Sur l'étiquetage des compteurs figurent les informations suivantes :

- Le type du compteur (monophasé ou triphasé) ;
- L'unité de mesure qui est généralement le kilowattheure (kWh) ;
- Les intensités nominale et maximale du compteur.

Section I-2-4 : Fonctionnement et rôle

L'unité légale d'énergie est le joule (J). Le watt (W), unité de puissance, correspondant à un flux d'énergie d'un joule transféré en un second. Cependant, l'unité d'énergie habituellement utilisée pour la mesure de la consommation électrique est le kilowattheure (kWh). Un kWh est équivalent à $3,6 \times 10^6$ J.

Ainsi, il existe des heures pleines et des heures dites creuses durant lesquelles la consommation n'est pas la même. De même, pour un même appareil comme une machine à laver par exemple, un lavage à 60° requiert plus de puissance qu'un lavage à 40° de même le cycle de lavage est plus long. Le résultat est que la consommation est plus importante.

Le principe d'un compteur électrique est de mettre en place une politique de gestion de son énergie afin de pouvoir l'économiser. Le compteur va renseigner sur les différents tarifs souscrits (heures creuses / heures pleines), sur la puissance disponible et la puissance absorbée, sur la puissance instantanée, sur l'intensité maximale atteinte et sur les intensités par phase.

Le rôle du compteur électrique est de mesurer la quantité d'énergie électrique consommée par l'utilisateur. Cette énergie est donnée en kWh, bien que l'unité légale soit le joule.

Ce dispositif permet au fournisseur d'électricité d'établir une facture indiquant la consommation d'énergie du client. Le compteur électrique va alors montrer la consommation du client par un affichage mécanique ou numérique, selon le modèle installé.

Ces compteurs a pour rôle d'aider le public à prendre conscience en temps réel de ses consommations, d'informer les producteurs en temps réel et de permettre des factures plus détaillées pour les clients.

Section I-2-5 Mesure et Calcul de la consommation énergétique en général

➤ *Mesure en courant continu*

Thomas Edison, partisan de la distribution du courant continu, utilisa, dans un premier temps, un compteur électrolytique (Cu/CuS et, ensuite, Zn/ZnS), le dépôt métallique étant proportionnel au courant ayant parcouru le circuit (une dérivation du circuit principal). Les électrodes étaient collectées et pesées dans les laboratoires de la société productrice (par

exemple, la Pearl Street Station) une fois par mois. Lawrie-Hall mirent au point une version modifiée utilisable avec du courant alternatif en 1887.

➤ *Mesure en courant alternatif*

Le premier spécimen de compteur d'énergie électrique pour le courant alternatif fut présenté à la foire de Francfort à l'automne 1889 par les Compagnies Ganz sur la base d'un brevet de l'ingénieur hongrois Ottó Bláthy. Il fut commercialisé à la fin de la même année et connu sous le nom de Bláthy-meters.

En 1894, Oliver Shallenberger de la compagnie Westinghouse Electric parvient à utiliser le principe de l'induction jusqu'alors seulement utilisé pour construire des ampère-heure-mètres pour produire un wattheuremètre à l'aide d'un disque dont la vitesse de rotation est proportionnelle à la puissance consommée.

➤ *Comptage électrique en France*

En France, la relève du compteur d'électricité fait partie du domaine régulé. C'est une des missions du transporteur d'électricité et du distributeur d'électricité (Enedis, et sur 5 % du territoire les ELD), conformément à la loi du 10 février 2000 (articles 15 et 19). Une fois par an, le gestionnaire de réseau mandate un technicien afin d'effectuer la relève de l'index du compteur. Cet index est transmis au fournisseur d'électricité afin qu'il puisse facturer son client sur la base de sa consommation réelle.

L'essentiel de l'année, le client est facturé sur la base d'une estimation de sa consommation fondée sur sa consommation des années précédentes. La transmission de l'index donne lieu à une facture de régularisation, qui corrige la différence entre l'estimation et la consommation réelle de l'année écoulée. Pour être facturé sur la base de sa consommation réelle tout au long de l'année, le client a la possibilité de pratiquer une auto-relève de l'index de son compteur et de la transmettre à son fournisseur.

Le remplacement d'un compteur défectueux est gratuit, mais un changement de puissance de compteur ou d'option tarifaire à la demande du client induisant une intervention d'un technicien sera facturé par le gestionnaire de réseau.

Le calcul rapide de la consommation énergétique des locaux s'effectue selon l'expression traditionnelle suivante :

$$C = P \times \text{Durée de Fonctionnement}$$

Formule 1.2

Exemple :

Puissance électrique d'un moteur de ventilateur est de 5 kW

Temps de fonctionnement : 8h/jour 30 jours/mois sur 1an

Ainsi la consommation en une année est :

$$C=5 \times 8 \times 30 \times 12$$

$$C=14400\text{KWh/an}$$

Chapitre I-3 : PROBLEMES DES COMPTEURS ELECTRIQUES ACTUELS

Section I-3-1 : Problèmes sur les compteurs

- Dans un monde se numérisant de plus en plus, l'utilisation d'un compteur à affichage mécanique peut rapidement se montrer désuète. En effet, l'affichage mécanique présente de nombreux inconvénients tels que l'incapacité de mesurer au jour le jour le coût des consommations ou encore l'utilisation de papier afin de prendre note des consommations d'électricité au fil du temps.
- Le compteur utilisé actuellement à Madagascar ne montre au client que sa consommation en KWh. Ce client doit par conséquent avoir constamment recours à l'aide du fournisseur afin de connaître le montant de sa consommation.
- Les tranches des différents tarifs proposés par le fournisseur ne sont pas visibles sur le compteur actuel. De ce fait, il est possible de dépasser sa tranche sans s'en rendre compte, entraînant une augmentation conséquente du montant de la facture.
- Le compteur actuel oblige le fournisseur ainsi que le client à procéder à différents déplacements que ce soit pour le relevé, le paiement de la facture ou pour toute réclamation et/ou réparation.
- Pour le cas de Madagascar, les abonnés ou le client sont obligés de payer leur consommation par mois, alors en cas de déménagement le précédent et le nouveau client doivent chercher une entente pour le paiement de la facture qui pose souvent problème

Section I-3-2 : Problèmes sur la facturation

- *La puissance apparente*

La puissance apparente est la somme (trigonométrique) de la puissance active et réactive. C'est par ailleurs la puissance souscrite (kVA) pour son contrat d'électricité. Elle se calcule comme suit : $S=U.I$

- S = Puissance apparente (VA) (homogène à des Watts)
- U = Tension (V)
- I = Intensité (A)

La puissance apparente est l'hypoténuse du triangle des puissances. On peut obtenir la valeur de cette hypoténuse, grâce au théorème de Pythagore, qui la calcule à partir des deux autres puissances :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Formule 1.3

S = Puissance apparente (VA) (Volt-Ampère)

P = Puissance active (W)

Q = Puissance réactive (VAR)

➤ *La puissance active*

La puissance active est la puissance qui va provoquer un mouvement, on pourrait la qualifier d'"utile". Elle est souvent confondue avec la puissance apparente. Elle représente, en particulier dans les habitations, la majorité de l'énergie consommée.

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$$

Formule 1.4

P = Puissance active (W)

U = Tension (V)

I = Intensité (A)

φ = déphasage (°)

➤ *La puissance réactive*

La puissance réactive est beaucoup moins connue et plus complexe à aborder. En effet, ce n'est pas une puissance à proprement parler puisque l'on ne peut pas entrer un "travail". Cependant, elle est nécessaire dans de nombreux systèmes, notamment dans tous ceux qui sont équipés d'un bobinage. Parmi eux, on peut noter les moteurs tournants évidemment, mais aussi les appareils de froid, certains composants informatiques, etc. Les appareils purement résistifs, dont les convecteurs se rapprochent le plus, sont les seuls à ne pas consommer d'énergie réactive. Cette

puissance réactive peut être compensée par des batteries de condensateurs qui ont la propriété de pouvoir fournir de l'énergie réactive au système en ayant besoin.

$$Q = U.I.\sin\varphi$$

Formule 1.5

Q = Puissance réactive (VAR) (Volt-Ampère Réactif)

U = Tension (V)

I = Intensité (A)

φ = déphasage (°)

➤ Puissance active ou Puissance réactive ou Puissance apparente ?

Nombreux sont les clients d'EDF (ou d'autres fournisseurs d'électricité) qui rencontrent des disjonctions fréquentes après l'installation du compteur Linky et qui doivent ainsi, augmenter la puissance électrique de leur logement et par conséquent, accroître le coût de leur abonnement, pour ne plus subir ces contraintes répétitives.

Les schémas qui sont présentés dans ce document, ont volontairement été simplifiés afin de vulgariser le fonctionnement des compteurs électriques

Enedis (ex eRDF) fournit une puissance électrique exprimée en kVA à chaque habitation, mais les anciens compteurs électriques (électromécaniques ou électroniques) ne connaissent pas cette notion, ils mesurent la puissance en kW.



Figure 1.8 : Représentation de fourniture d'énergie

La puissance électrique fournie au logement est exprimée en kVA, il s'agit d'une puissance nommée Puissance Apparente (en jaune), mais elle se décompose en deux parties :

- la Puissance Active (en vert), mesurée en kW
- la Puissance Réactive (en rouge), mesurée en kVA

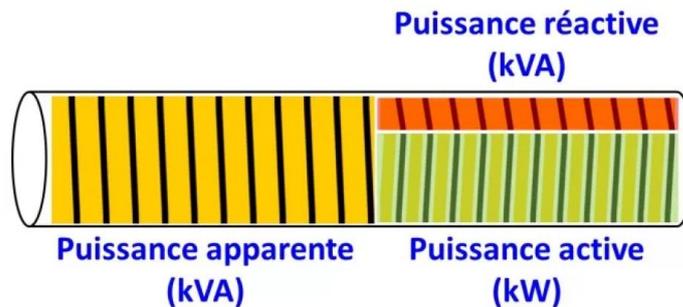


Figure 1.9 : Représentation de la différence de trois puissances

C'est aux alentours de 2010 que les fournisseurs d'énergie ont modifié l'unité de mesure de la puissance électrique sur les factures des abonnés afin de préparer « la transition » avec les futurs compteurs/capteurs communicants. Exemple sur une facture de février 2010 indiquant que la puissance de l'abonnement du logement était de 6 kW.

Sur la facture suivante, en mars 2010, il est désormais indiqué que l'abonnement souscrit est de 6 kVA. Un petit changement sans incidence à l'époque, car les compteurs ne mesuraient que la Puissance Active (celle en vert), la puissance réactive (en rouge), quant à elle, n'était pas mesurée.

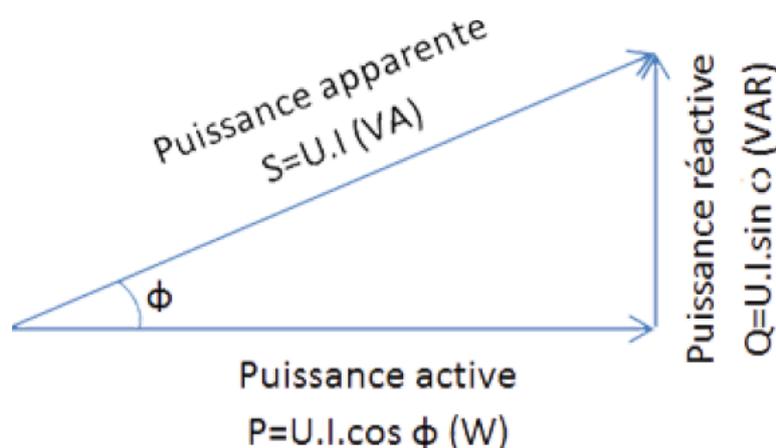


Figure 1.10 : Diagramme des puissances

Chapitre I-4 : Solutions

- L'utilisation de compteur dit « intelligent » permettra de transformer toutes les données du compteur en données numériques présentant non seulement la consommation d'énergie mais aussi la facturation de cette consommation. Cette numérisation permettra aussi de réduire voire même de faire disparaître l'utilisation de papier pour les relevés de consommation électrique.
- La création d'un compteur à tarif prépayé pourrait permettre de limiter la consommation des clients. Cela incitera les clients à moins consommer d'énergie afin de permettre une importante économie d'énergie.
- Les compteurs intelligents permettent également d'effectuer certaines opérations à distance, sans qu'un technicien se déplace et que le client soit présent. En éliminant les tâches manuelles de relève, de coupure ou de remise en service, ces compteurs sont censés à terme permettre une diminution des coûts de distribution de l'énergie et des délais d'intervention.
- Un distributeur qui dispose d'une source d'énergie électrique (exemple l'énergie solaire dans les campagnes) peut facilement contrôler l'électricité qu'il distribue aux alentours.

Chapitre II-1 : Le courant alternatif

Section II-1-1 : Régime Alternatif et Diagramme de Fresnel

- Régime Alternatif

- *Courant alternatif*

On appelle *courant alternatif* un courant électrique dont le sens change de sens plusieurs fois par seconde.

En règle générale, le courant alternatif est de forme sinusoïdale :

$$i(t) = I_0 \cos(\omega t + \varphi)$$

Formule 2.1

I_0 est une constante appelée *amplitude du courant*

ω est appelée *pulsation du courant*. Elle est reliée à la fréquence par la relation $\omega = 2\pi f$. Dans le cas du courant domestique, ω vaut $314 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$

φ est une constante appelée *déphasage* du courant.

Le courant alternatif est souvent abrégé en CA ou AC (*Alternative Current*) par opposition à DC (*Direct Current*).

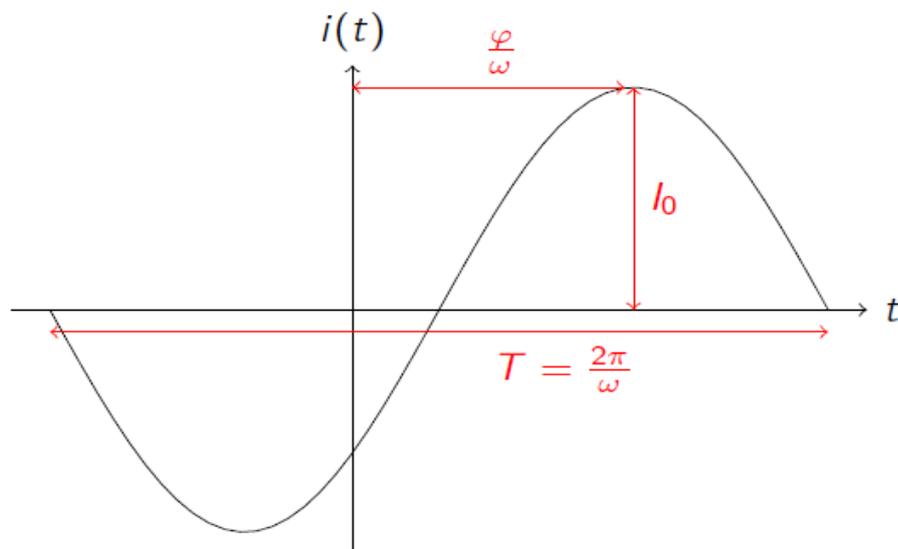


Figure 2.1 : Graphe courant alternatif (intensité)

➤ *Tension alternative*

On appelle *tension alternative* une tension électrique dont le signe change plusieurs fois par seconde.

En règle générale, la tension alternative est de forme sinusoïdale :

$$u(t) = U_0 \cdot \cos(\omega t + \psi)$$

Formule 2.2

U_0 est une constante appelée *amplitude de tension*

ω est appelée *pulsation de la tension*. Dans le cas du réseau domestique, f vaut 50 Hz, ω vaut $314 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$.

ψ est une constante appelée *déphasage* de la tension.

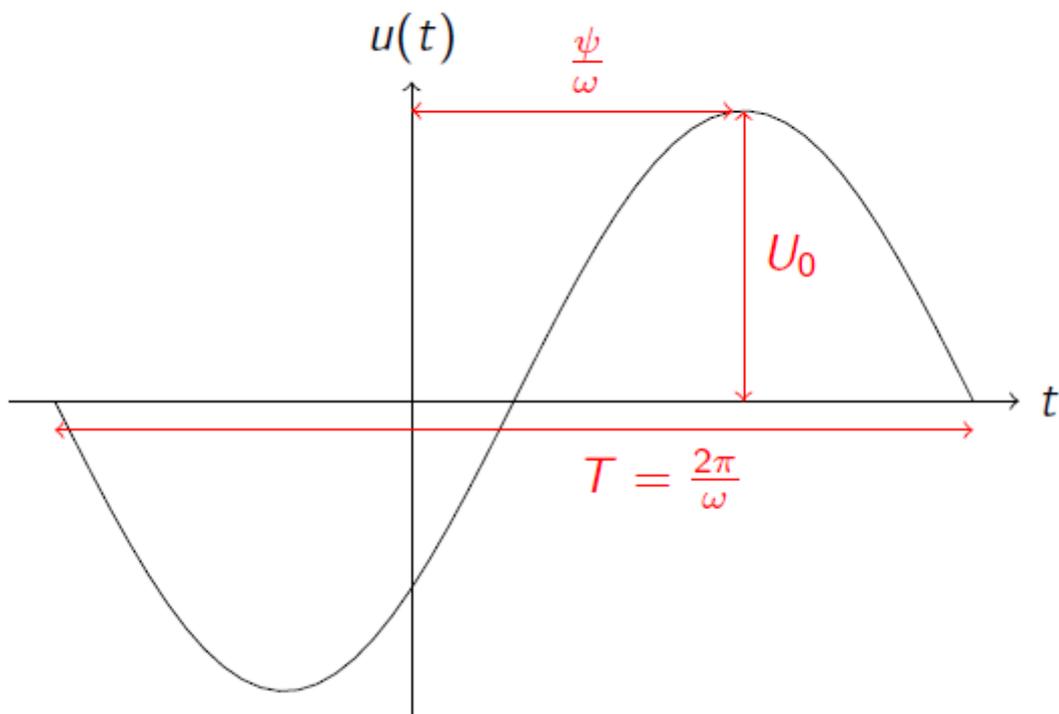


Figure 2.2 : Graphe courant alternatif (Tension)

- Définitions

Période C'est le plus court intervalle de temps qui sépare deux états électriques identiques. Elle est notée T , et s'exprime en secondes ;

Fréquence Notée f , c'est l'inverse de la période :

$$S = \frac{1}{T}$$

Formule 2.3

Elle s'exprime en Hz. Pour une fréquence donnée, la pulsation électrique vaut

$$\omega = 2\pi f$$

Formule 2.4

Alternance également appelée *demi-période*, elle vaut $\frac{T}{2}$ et contient deux changements de signe.

➤ *Valeurs efficaces*

Si l'on souhaite comparer un courant alternatif avec un courant continu, on est amené à définir les notions d'*intensité efficace* et de *tension efficace* :

- Intensité efficace

L'intensité efficace d'un courant alternatif est égale à l'intensité d'un courant continu qui produirait, pour le même temps, dans une même résistance pure, la même quantité de chaleur.

$$\text{Elle vaut } I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$

Formule 2.5

- Tension efficace

La tension efficace d'un courant alternatif est égale à la tension d'un courant continu qui produirait, pour le même temps, dans une même résistance pure, la même quantité de chaleur.

$$\text{Elle vaut } U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$$

Formule 2.6

Remarque : les valeurs indiquées par les appareils de mesure de type voltmètre ou ampèremètre sont toujours des valeurs efficaces.

➤ *Production d'un courant alternatif*

Les alternateurs utilisés dans les centrales électriques produisent un courant alternatif, qui est en général la superposition de trois courants sinusoïdaux. Du fait de la symétrie du système, ces trois courants ont la même amplitude, et sont déphasés d'un angle de 120° ou $\pi/3$ rad.

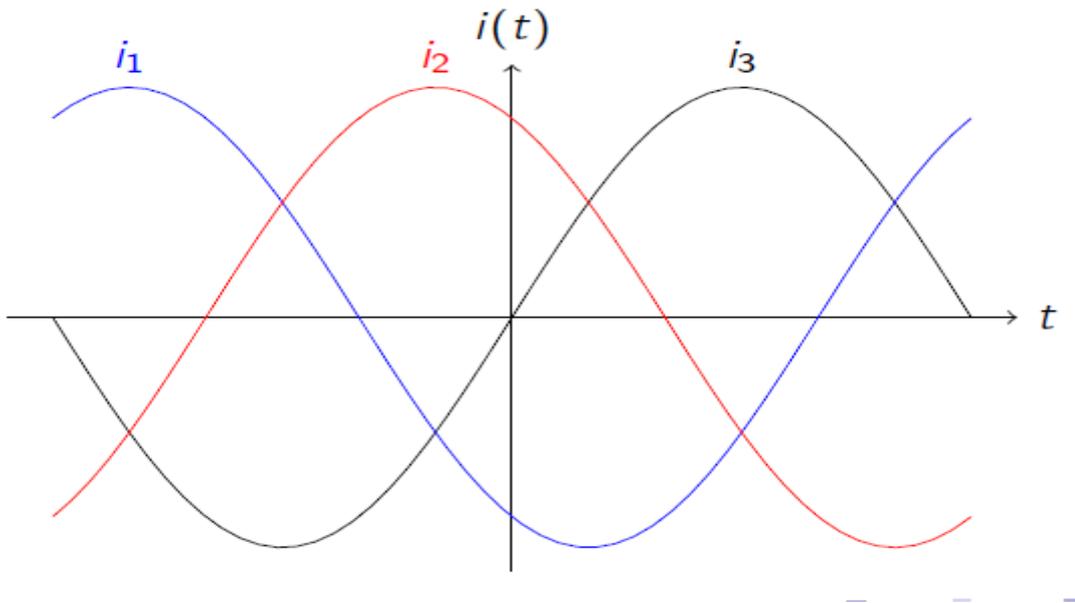


Figure 2.3 : Superposition de trois courants sinusoïdaux

➤ *Transport du courant alternatif*

La puissance dissipée par effet joule dans un conducteur est proportionnelle au carré de l'intensité : $P = RI^2$.

De ce fait, pour transporter de forts courants, il est très intéressant d'utiliser un système dit *triphase*, qui transporte séparément les trois composantes sinusoïdales du courant créé par l'alternateur : en divisant par 3 le courant parcourant chaque fil, on divise par 9 les pertes par effet Joule.

Pour l'utilisateur final, en revanche, plusieurs systèmes de phase sont utilisés.

➤ *Systèmes de phase*

En courant alternatif, on distingue le *fil neutre*, qui sert de référence de tension, et le(s) fil(s) de phase, qui transporte(nt) le courant.

Attention : ne pas confondre le fil de phase et le déphasage.

Il existe différents systèmes de courant alternatif :

Le Monophasé C'est le système le plus utilisé pour les réseaux domestiques. Il utilise deux câbles : la phase et le neutre.

Le Biphasé Ancien système devenu très rare. Utilise deux fils de phase, et pas de fil neutre.

Le Triphasé Principalement utilisé pour le transport et l'utilisation de fortes puissances. Il utilise trois fils de phase et un fil neutre.

➤ *Sommes de signaux de même fréquence : cas général*

Considérons deux courants électriques sinusoïdaux :

$$i_1(t) = I_1 \cdot \cos(\omega t + \varphi_1)$$

Formule 2.7

$$i_2(t) = I_2 \cdot \cos(\omega t + \varphi_2)$$

Formule 2.8

Leur somme vaut :

$$i_{\text{totale}}(t) = I_1 \cdot \cos(\omega t + \varphi_1) + I_2 \cdot \cos(\omega t + \varphi_2)$$

Formule 2.9

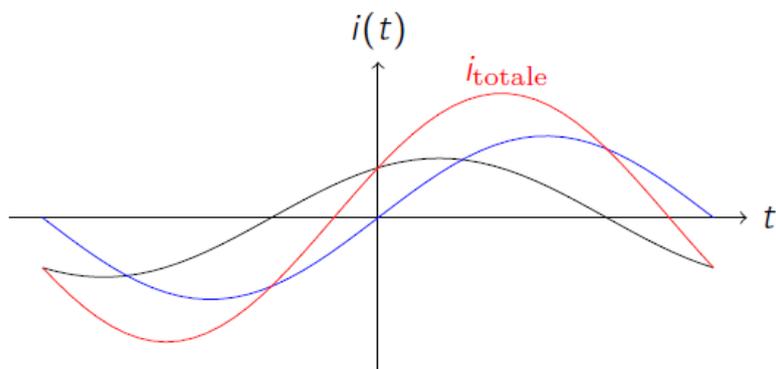


Figure 2.4 : Représentation de I totale cas général

L'amplitude du signal somme n'est pas égale à la somme des amplitudes des signaux.

- *Signaux alternatifs en phase*
- On dit que deux signaux sont *en phase* lorsqu'ils leur déphasage φ est identique. Leur déphasage relatif est alors nul.

$$i_1(t) = I_1 \cdot \cos(\omega t + \varphi)$$

Formule 2.10

$$i_2(t) = I_2 \cdot \cos(\omega t + \varphi)$$

Formule 2.11

$$i_{\text{totale}}(t) = I_1 \cdot \cos(\omega t + \varphi) + I_2 \cdot \cos(\omega t + \varphi) = (I_1 + I_2) \cdot \cos(\omega t + \varphi)$$

Formule 2.12

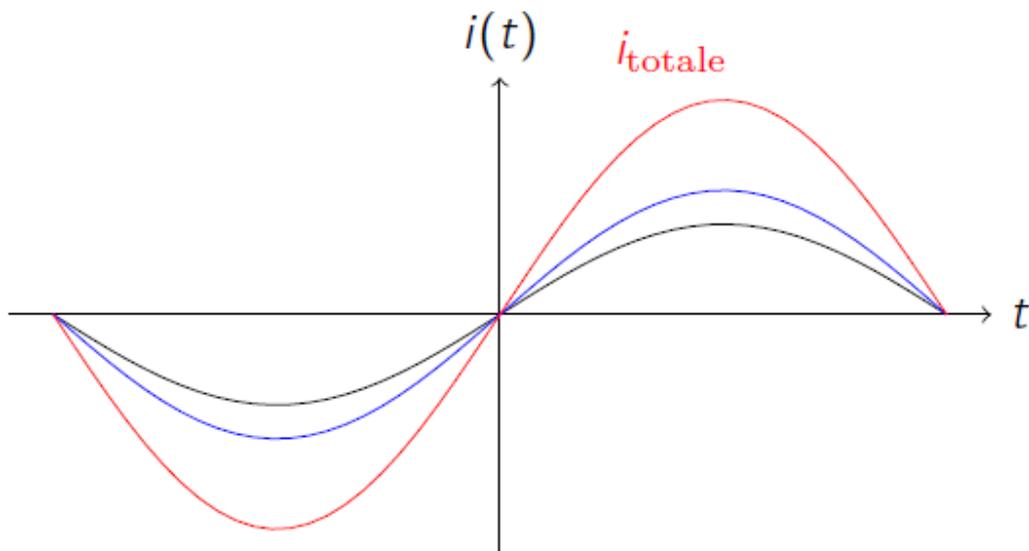


Figure 2.5 : Représentation de I totale en phase

Dans ce cas, et uniquement dans ce cas, l'amplitude du signal somme est égale à la somme des amplitudes des signaux.

➤ *Signaux alternatifs de même amplitude en opposition de phase*

On parle d'opposition de phase lorsque le déphasage relatif des deux signaux vaut π rad ou 180°. Considérons deux signaux de même amplitude :

$$i_1(t) = I_0 \cdot \cos(\omega t + \varphi)$$

Formule 2.13

$$i_2(t) = I_0 \cdot \cos(\omega t + \varphi + \pi)$$

Formule 2.14

Or nous savons que $\cos(a + \pi) = -\cos(a)$. Par conséquent :

$$\begin{aligned} i_{\text{totale}}(t) &= I_0 \cdot \cos(\omega t + \varphi) + I_0 \cdot \cos(\omega t + \varphi + \pi) \\ &= I_0 \cdot \{\cos(\omega t + \varphi) - \cos(\omega t + \varphi)\} \\ &= 0 \end{aligned}$$

Formule 2.15

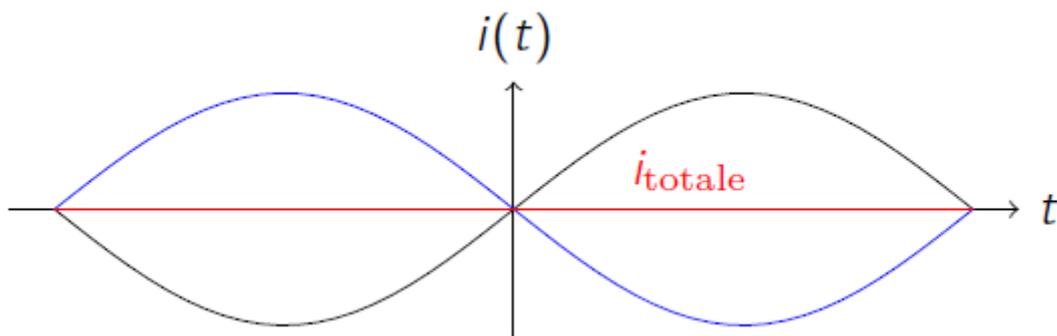


Figure 2.6 : Représentation de I totale en opposition de phase

Dans ce cas, le courant somme est nul.

- Diagramme de Fresnel

- *Représentation vectorielle : diagramme de Fresnel*

Considérons deux vecteurs tournants, \vec{OA} et \vec{OB} d'amplitudes respectives I_0 et U_0 , déphasés de φ , tournant à la même vitesse angulaire ω

Que valent les projections des vecteurs \vec{OA} et \vec{OB} , sur l'axe des abscisses ?

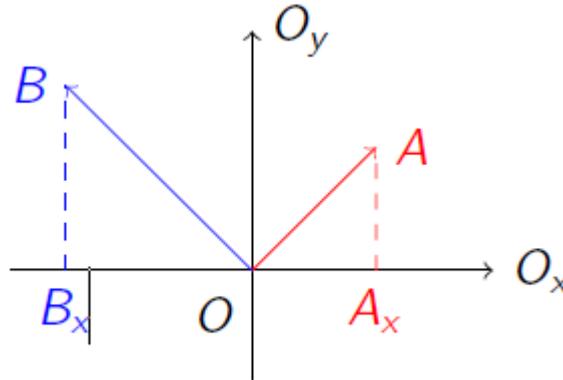


Figure 2.7 : Diagramme de Fresnel

Projection de \vec{OA} sur l'axe Ox : $A_x = I_0 \cos(\omega t)$

Projection de \vec{OB} sur l'axe Ox : $B_x = U_0 \cos(\omega t + \varphi)$

On peut par conséquent établir une *équivalence* entre les courants et tensions alternatifs et les projections de ces vecteurs.

- *Représentation vectorielle : diagramme de Fresnel*

La valeur instantanée d'une grandeur sinusoïdale est la projection sur un axe fixe d'un vecteur tournant à une vitesse angulaire constante.

Si la vitesse angulaire, ω , est la même pour les deux vecteurs \vec{OA} et \vec{OB} , alors l'angle φ est constant au cours du temps.

Dans la représentation de Fresnel, les vecteurs tournants sont proportionnels aux valeurs efficaces I_{eff} et U_{eff} .

Pour additionner deux tensions sinusoïdales $u_1(t)$ et $u_2(t)$, il suffit d'additionner les vecteurs tournants correspondants.

Cette méthode a pour elle sa simplicité. L'inconvénient est qu'il s'agit d'une méthode graphique, nécessitant la construction de diagrammes parfois fastidieux.

C'est pourquoi nous ferons appel à la représentation des courants et tensions alternatifs sous forme de *nombres complexes*.

Section II-1-2 : Rappels sur les nombres complexes et Représentation complexe

- Rappels sur les nombres complexes

Dans la représentation cartésienne, les nombres complexes se présentent sous la forme $\underline{x} = a + bj$, où $j^2 = -1$. On appelle *partie réelle* le nombre a et *partie imaginaire* le nombre b .

Si l'on représente graphiquement \underline{x} sur un plan, il s'agit d'un point du *plan complexe* dont a et b sont les *coordonnées cartésiennes*.

Alors que les réels peuvent se représenter sur une droite, les complexes, eux, forment un plan.

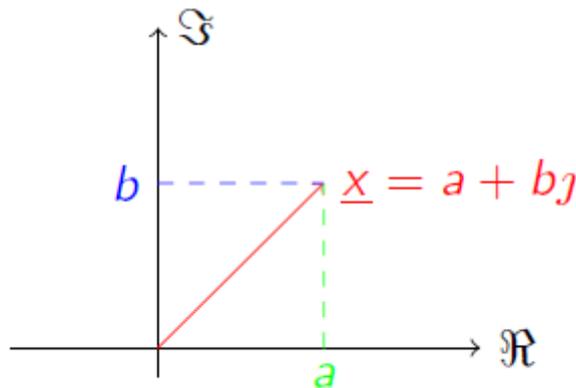


Figure 2.8 : Représentation du Nombre complexe

Les nombres complexes peuvent être assimilés à *des vecteurs du plan*.

➤ *Représentation trigonométrique ou polaire*

Il existe une autre façon de représenter les vecteurs du plan, et par la même occasion, les nombres complexes : on l'appelle *représentation trigonométrique* ou *représentation polaire*. Au lieu de repérer le vecteur par sa projection sur deux axes, on le repère par sa longueur et par l'angle qu'il fait avec un axe.

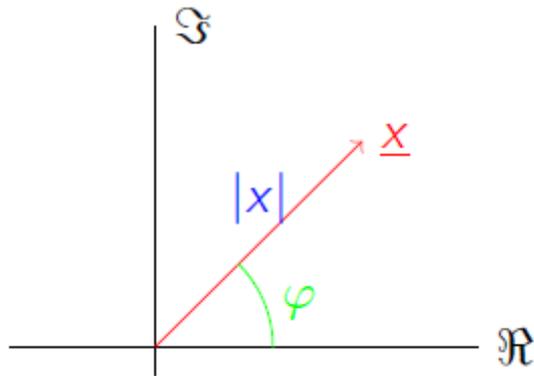


Figure 2.9 : Représentation trigonométrique ou polaire

$|x|$ s'appelle *module* du nombre complexe. Il s'agit de la longueur du vecteur. φ s'appelle *argument* du nombre complexe. Il s'agit de l'angle du vecteur avec l'axe des abscisses.

➤ *Représentation complexe*

Sinus et cercle trigonométrique

On peut remarquer que les fonctions trigonométriques ne sont que les projections du cercle trigonométrique sur les axes réels ou complexes.

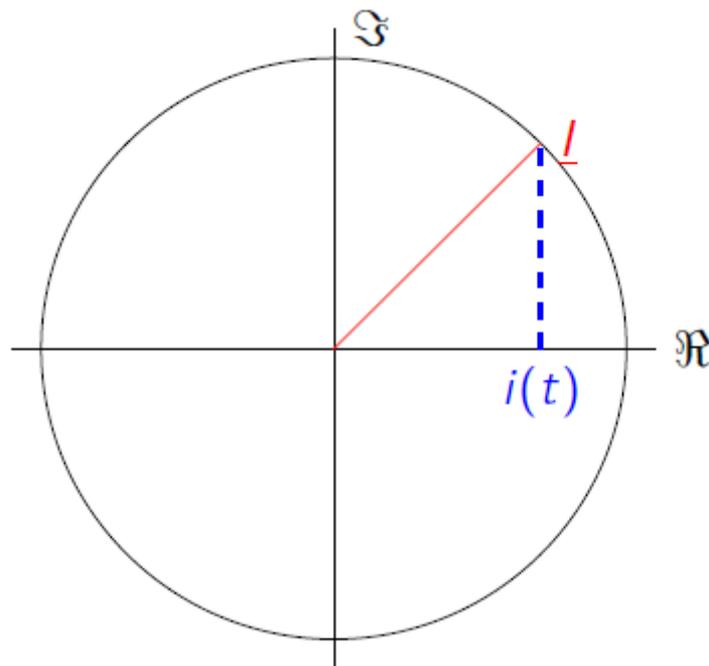


Figure 2.10 : Représentation complexe

Appellons *intensité complexe* le Vecteur \underline{I} .

Lorsque \underline{I} parcourt le cercle trigonométrique, alors la projection de \underline{I} sur l'axe des abscisses décrit l'intensité réelle $i(t)$.

Il sera souvent *plus commode* de manipuler l'intensité complexe,

$$I = I_0 \cdot e^{j(\omega t + \varphi)}$$

Formule 2.16

plutôt que l'intensité réelle

$$I(t) = I_0 \cdot \cos(\omega t + \varphi)$$

Formule 2.17

Intérêt de la notation complexe

Il est extrêmement facile de *dériver* en fonction du temps une tension sinusoïdale écrite sous sa forme complexe.

Soit

$$U = U_0 \cdot e^{j\omega t + \varphi}$$

Formule 2.18

De ce fait, la dérivée de $\underline{u}(t)$ par rapport au temps s'écrit :

$$\frac{dU}{dt} = j\omega U_0 e^{j\omega t + \varphi} = j\omega U$$

Formule 2.19

De plus, les lois applicables en régime continu le sont également aux notations complexes en régime sinusoïdal :

- Lois de Kirchhoff
- Théorème de superpositions
- Théorèmes de Thévenin et de Norton

Notion d'impédance

Il est possible, et souvent préférable, de représenter la tension et le courant alternatifs sous leurs formes complexes \underline{U} et \underline{I} .

On définit également la notion d'*impédance complexe* comme une généralisation de la notion de résistance. La loi d'Ohm en régime alternatif devient :

$$\underline{U} = \underline{Z} \cdot \underline{I}$$

Formule 2.20

$$\text{Si } U = U_0 \cdot e^{j(\omega t + \varphi)}$$

Formule 2.21

$$\text{et si } I = I_0 e^{j(\omega t + \varphi)}$$

Formule 2.22

alors l'impédance vaut :

$$\underline{Z} = \frac{U_0 \cdot e^{j(\omega t + \psi)}}{I_0 \cdot e^{j(\omega t + \varphi)}} = \frac{U_0}{I_0} e^{j(\psi - \varphi)}$$

Formule 2.23

Le *module* de l'impédance est donc égal au rapport des modules de la tension et de l'intensité. Son *argument* ou déphasage est égal à la différence des arguments de la tension et de l'intensité.

Impédance des composants

L'impédance est une généralisation de la notion de résistance. Elle représente la faculté du composant à s'opposer au passage du courant (résistance), mais également à créer un champ magnétique lors du passage d'un courant (inductance) ou à stocker les charges électriques (capacité).

Pour des composants parfaits, \underline{Z} vaut :

Résistance $Z = R$: Dans le cas d'une résistance pure, l'impédance est un nombre réel ;

Bobine

$$Z = j\omega L$$

Formule 2.24

avec L l'inductance de la bobine ;

Condensateur

$$Z = \frac{1}{j\omega C}$$

Formule 2.25

avec C le capacité du condensateur.

Sauf dans le cas d'une résistance pure, on remarque que l'impédance d'un composant dépend de la fréquence du courant électrique injecté.

Section II-1-3 : Puissance en régime alternatif

➤ *Rappels sur la notion de Puissance*

D'une manière générale en physique, la puissance correspond à une quantité d'énergie par unité de temps. Elle s'exprime en Watt : 1W

équivalent à $1J \cdot s^{-1}$, et 1 J équivaut à $1W \cdot s$.

Dans le cas d'un dipôle électrique, la puissance s'écrit sous la forme suivante en régime continu:

$$P = U \cdot I$$

Formule 2.26

En régime variable, on l'écrira ainsi :

$$p(t) = u(t) \cdot i(t)$$

Formule 2.27

avec p en Watt (W), u en Volt (V) et i en Ampère (A).

➤ *Le régime alternatif : un cas particulier*

Dans le cas d'un régime alternatif, les grandeurs électriques (tension, intensité) présentent un caractère *périodique*. La puissance instantanée,

$$p(t) = i(t) \cdot u(t),$$

Formule 2.28

est donc elle aussi variable.

On peut alors définir plusieurs grandeurs physiques, homogènes à une puissance, qu'il importe de bien différencier les unes des autres. Ce sont :

- La puissance complexe
- La puissance active ou réelle
- La puissance apparente
- La puissance réactive

➤ *Puissance complexe en régime sinusoïdal*

La puissance complexe est définie comme le produit de la tension complexe par l'intensité complexe :

$$\underline{S} = \underline{U} \cdot \underline{I}$$

Formule 2.29

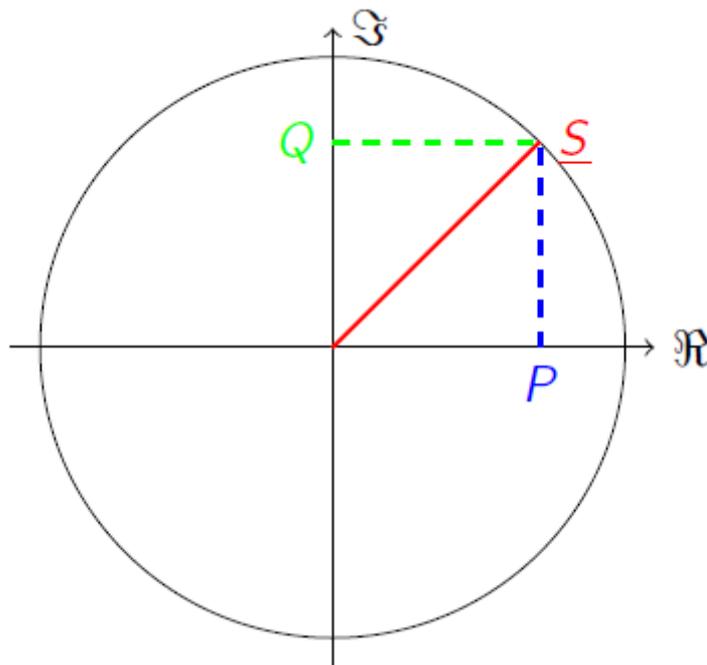


Figure 2.11 : Représentation puissance complexe en régime sinusoïdal

La projection de la puissance complexe sur l'axe réel est appelée *puissance active* ; la projection de la puissance complexe sur l'axe imaginaire est appelée *puissance réactive*.

➤ *Puissance active*

Il s'agit de la puissance moyenne consommée par le système au cours d'un temps donné.

En termes mathématiques, c'est l'intégrale de la puissance instantanée par rapport au temps :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt$$

Formule 2.30

➤ *Puissance apparente*

Il s'agit de la valeur maximale que peut prendre la puissance active, pour une amplitude de tension et d'intensité donnée. Elle est égale au module de la puissance complexe.

Le rapport entre la puissance active et la puissance apparente est appelé « facteur de puissance » ; il est toujours compris entre 0 et 1.

La puissance apparente se note S ; il s'agit également de la puissance nominale indiquée sur les machines.

Elle s'exprime en Voltampère ou

$$V \cdot A : 1V \cdot A = 1 W.$$

La puissance nominale d'une machine est sa puissance apparente.

➤ *Puissance réactive*

En régime sinusoïdal, la puissance réactive est la partie imaginaire de la puissance apparente complexe.

Elle se note Q, est exprimée en voltampère réactif (1 VAr = 1 W) et on a

$$Q = UI \cdot \sin(\varphi)$$

Formule 2.31

En régime sinusoïdal, où φ est le déphasage entre U et I .

Remarque : les dipôles ayant une impédance dont la valeur est un nombre imaginaire pur (capacité ou inductance) ont une puissance active nulle et une puissance réactive égale en valeur absolue à leur puissance apparente.

➤ *Récapitulatif*

La puissance apparente (S) est reliée à la puissance active (P) et à la puissance réactive (Q) par la relation suivante :

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

Formule 2.32

La puissance active est exprimée en W

La puissance apparente est exprimée en V·A

La puissance réactive est exprimée en VAR

Ces trois unités sont homogènes entre elles, mais n'ont pas la même *signification physique*.

➤ *Facteur de puissance*

Il est égal au quotient de la puissance active par la puissance apparente.

C'est une caractéristique du récepteur

Dans le cas d'un dipôle électrique :

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{P}{U_{eff} \cdot I_{eff}}$$

Formule 2.34

Si le courant et la tension sont des fonctions sinusoïdales du temps,

$$\text{avec } U(t) = U_0 \cos(\omega t)$$

Formule 2.35

$$\text{et } I(t) = I_0 \cos(\omega t + \varphi)$$

Formule 2.36

Par conséquent, le facteur de puissance est égal au cosinus du déphasage entre ces deux grandeurs :

$$\lambda = \cos \varphi$$

➤ *Méthode de Boucherot*

Si un circuit contient N composants, absorbant chacun une puissance active P_i et une puissance réactive Q_i , alors la puissance active totale est la somme des puissances actives du circuit :

$$P_{tot} = \sum_{i=1}^N P_i$$

Formule 2.37

$$Q_{tot} = \sum_{i=1}^N Q_i$$

Formule 2.38

La puissance apparente totale peut s'exprimer en fonction des puissances active et réactive :

$$S_{tot} = \sqrt{P_{tot}^2 + Q_{tot}^2}$$

Formule 2.39

En revanche, elle n'est pas égale à la somme des puissances apparentes :

$$S_{tot} \neq \sum_{i=1}^N S_i$$

Formule 2.40

Chapitre II-2 : MICROCONTROLEUR : « ARDUINO »

Section II-2-1 : Définition d'un microcontrôleur et Structure

➤ *Définition*

Un microcontrôleur, est un composant électronique qui rassemble tous les éléments d'un "mini-ordinateur" et qui se présente sous la forme d'un circuit intégré. Un microcontrôleur permet de réaliser des systèmes et montages électroniques programmés. Cela veut dire que l'on pourra, avec le même montage, réaliser des fonctions très différentes qui dépendront du programme qui aura été programmé dans le microprocesseur.

➤ *Structure*

Typiquement, un microprocesseur comporte :

- Une unité arithmétique et logique ALU qui exécute les instructions et manipule les données
- Une mémoire dite vive qui stocke les données transitoires utilisées par le microprocesseur
- Une mémoire dite morte qui stocke de façon permanente les données utilisées par le microprocesseur
- Des modules aux fonctions variées : conversion analogique numérique, compteur / timer
- Des broches d'Entrée / Sortie (broches E/S)

Un microcontrôleur est cadencé par une horloge qui fixe la vitesse d'exécution des instructions de base.

Un microcontrôleur se caractérise enfin par un jeu d'instructions spécifique.

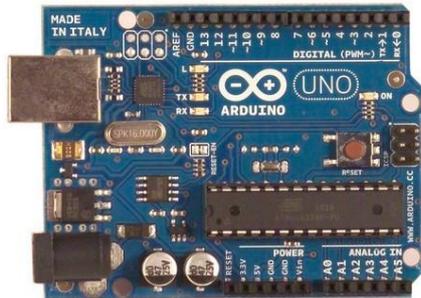
Section II-2-2 : Fonctionnement d'un Arduino

➤ *Définition*

Arduino est une plate-forme de prototypage d'objets interactifs à usage créatif constituée d'une carte électronique et d'un environnement de programmation.

Sans tout connaître ni tout comprendre de l'électronique, cet environnement matériel et logiciel permet à l'utilisateur de formuler ses projets par l'expérimentation directe avec l'aide de nombreuses ressources disponibles en ligne.

Un ARDUINO c'est une carte à microcontrôleur avec un outil de développement rallier à un logiciel et un matériel qui sont open-source, c'est à dire accessible à tous



1 carte à micro-contrôleur



1 communauté active

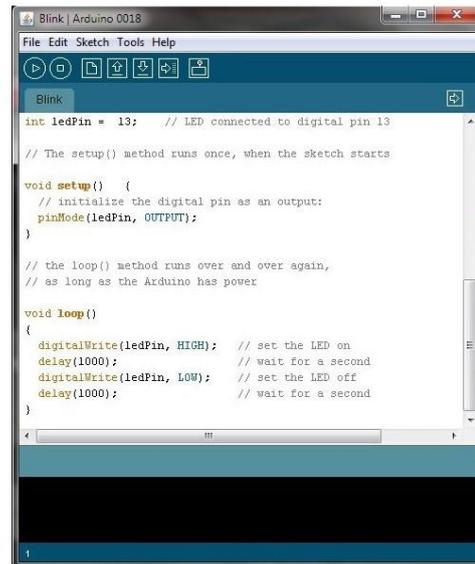


Figure 2.12 : Carte Arduino Uno et interface de programmation de l'Arduino

➤ *La « philosophie »*

L'idée est d'utiliser la carte Arduino comme un macro-composant dans des applications de prototypage électronique. Le concepteur n'a plus qu'à développer des interfaces et programmer le macro-composant pour réaliser son application !

➤ *Les avantages*

- Pas cher !
- Environnement de programmation clair et simple.
- Multiplateforme : tourne sous Windows, Macintosh et Linux.
- Nombreuses bibliothèques disponibles avec diverses fonctions implémentées.
- Permet la facilité pour la conception d'un projet
- Logiciel et matériel open source et extensible.
- Existence de « shield » (boucliers en français) : ce sont des cartes supplémentaires qui se connectent sur le module Arduino pour augmenter les possibilités comme par

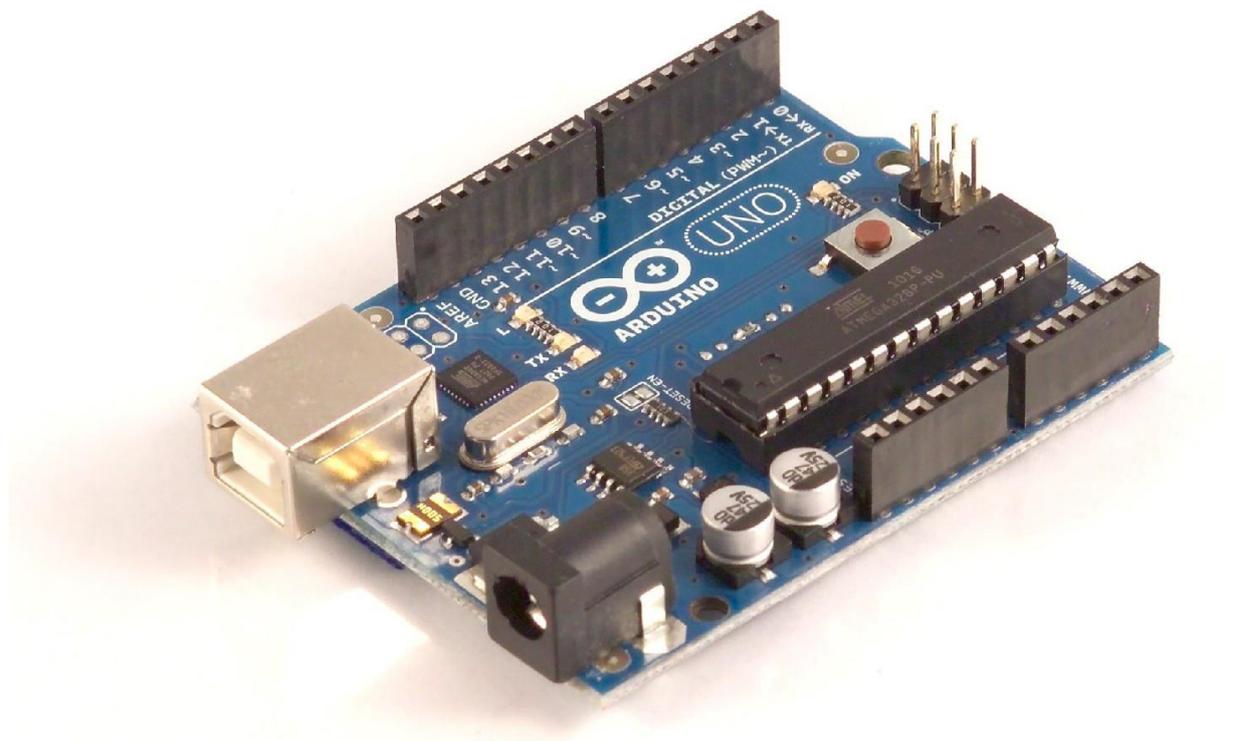
Exemple : afficheur graphique couleur, interface ethernet, GPS, etc...

Par sa simplicité d'utilisation, Arduino est utilisé dans beaucoup d'applications comme l'électronique industrielle et embarquée, le modélisme, la domotique mais aussi dans des domaines différents comme l'art contemporain ou le spectacle !

On constate sur la toile, que par le biais d'Arduino, de nombreux curieux redécouvrent l'électronique !

➤ *La carte Arduino uno*

Il existe plusieurs types de cartes, j'ai commencé avec une carte Arduino uno (carte basique, aux dimensions voisines de celle d'une carte bancaire).



La carte Arduino uno

Figure 2.13 : Carte Arduino uno

➤ *Caractéristiques de la carte Arduino uno :*

- Microcontrôleur : ATmega328
- Tension d'alimentation interne = 5V
- Tension d'alimentation (recommandée)= 7 à 12V, limites =6 à 20 V
- Entrées/sorties numériques : 14 dont 6 sorties PWM

- Entrées analogiques = 6
- Courant max par broches E/S = 40 mA
- Courant max sur sortie 3,3V = 50mA
- Mémoire Flash 32 KB dont 0.5 KB utilisée par le bootloader
- Mémoire SRAM 2 KB
- Mémoire EEPROM 1 KB
- Fréquence horloge = 16 MHz
- Dimensions = 68.6mm x 53.3mm

La carte s'interface au PC par l'intermédiaire de sa prise USB.

- La carte s'alimente par le jack d'alimentation (utilisation autonome) mais peut être alimentée par l'USB (en phase de développement par exemple).

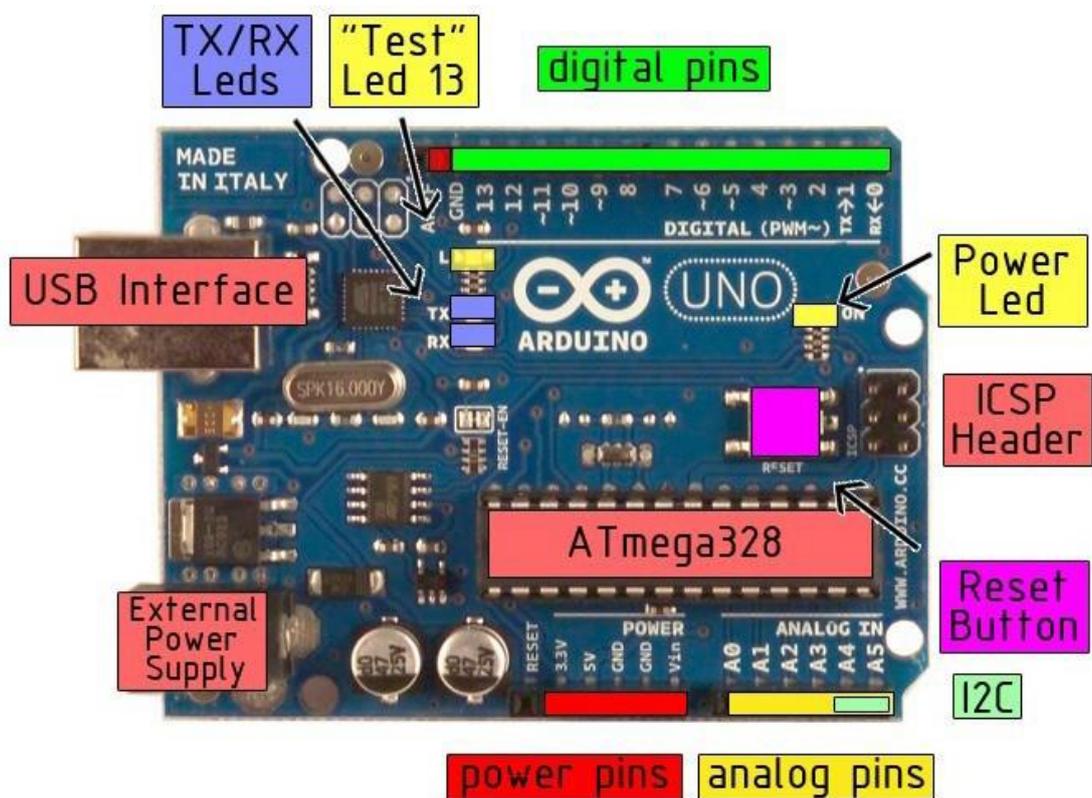


Figure 2.14 : Détails d'un Arduino Uno

- *Développement d'un projet*

Le développement sur Arduino est très simple :

- on code l'application : Le langage Arduino est basé sur les langages C/C++, avec des fonctions et des bibliothèques spécifiques à Arduino (gestions des e/s).

- on relie la carte Arduino au PC et on transfère le programme sur la carte,
- on peut utiliser le circuit !

Le logiciel de programmation des modules Arduino est une application Java multiplateformes (Fonctionnant sur tout système d'exploitation), servant d'éditeur de code et de compilateur, et qui peut transférer le firmware (et le programme) au travers de la liaison série (RS232, Bluetooth ou USB selon le module).

Le logiciel est très simple à prendre en main, il existe de très bons tutoriaux très bien faits avec même des explications en français. De très nombreux exemples sont fournis.

Les fichiers exemples sont vraiment bien documentés et permettent de coder des choses très compliquées sans trop d'efforts. Les bibliothèques fournies permettent d'utiliser des composants complexes très simplement en quelques lignes très claires (afficheur ou liaison SPI etc..).

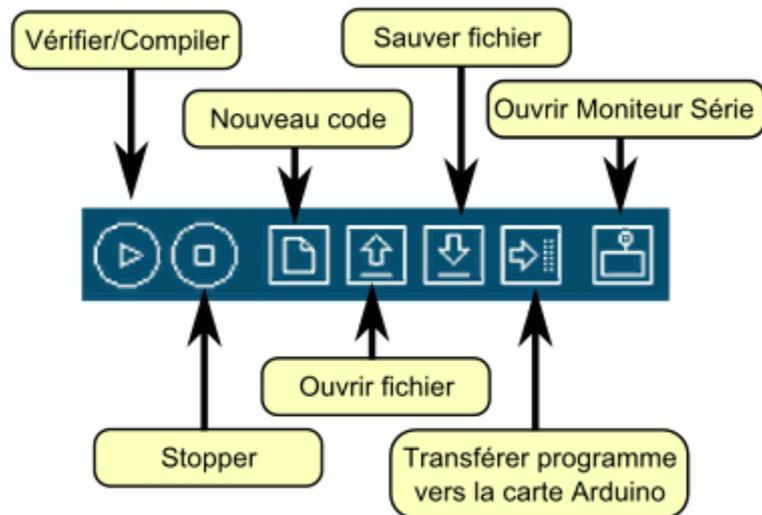
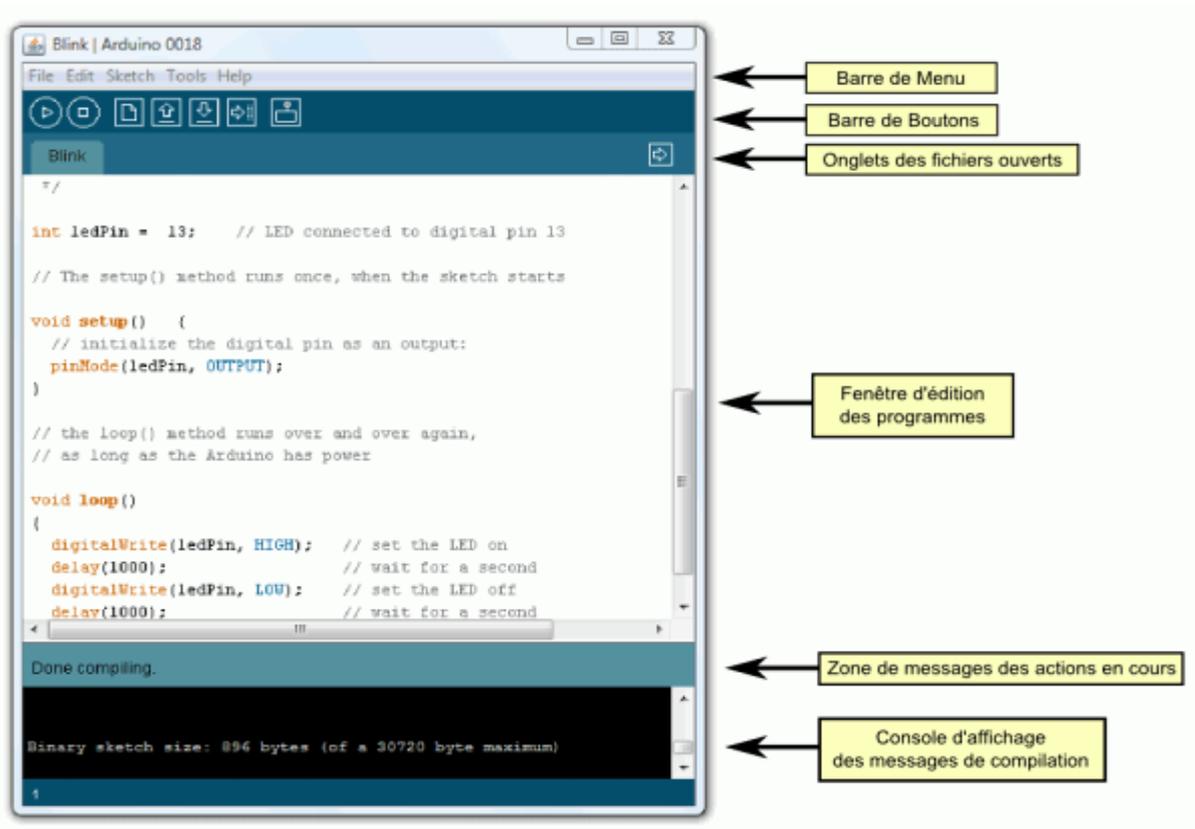


Figure 2.15 : Représentation de l'interface

Voici l'écran principal du logiciel Arduino.

A noter : le logiciel comprend aussi un moniteur série (équivalent à HyperTerminal) qui permet de d'afficher des messages textes émis par la carte Arduino et d'envoyer des caractères vers la carte Arduino (en phase de fonctionnement).

Section II-2-3 : Quelques composants pour Arduino

➤ Les « shields »

Il existe de nombreux shields que l'on traduit parfois dans les documentations par « Boucliers ». Mais le terme « extension » paraîtrait plus approprié. Un « shield » Arduino est une petite carte qui se connecte sur une carte Arduino pour augmenter ses fonctionnalités. En voici quelques exemples de « shields » :



Figure 2.16 : GPS

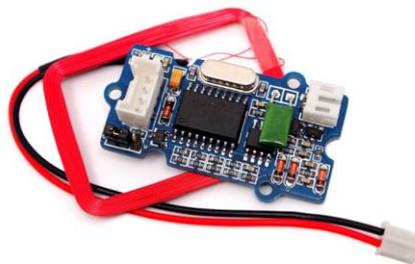


Figure 2.17 : Lecteur RFID 125 Kh

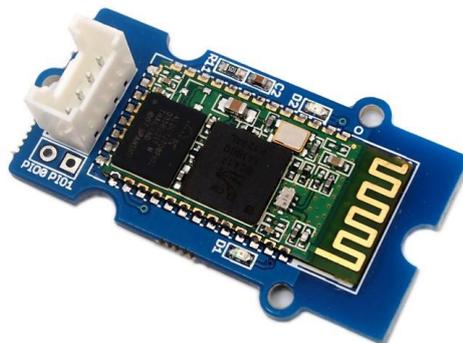


Figure 2.18 : Série Bluetooth



Figure 2.19 : Lecteur MP3 Série



Figure 2.20 : Ecran tactile Couleurs 2.8' TFT



Figure 2.21 : Capteur d'empreinte digitale



Figure 2.22 : Capteur température et Humidité 12C



Figure 2.23 : Capteur de gaz

Partie III : REALISATION, UTILISATIONS ET COUTS DU PROJET

Chapitre III-1 : Réalisation

Section III-1-1 : Choix d'un compteur électromécanique

➤ *Analyse fonctionnelle*

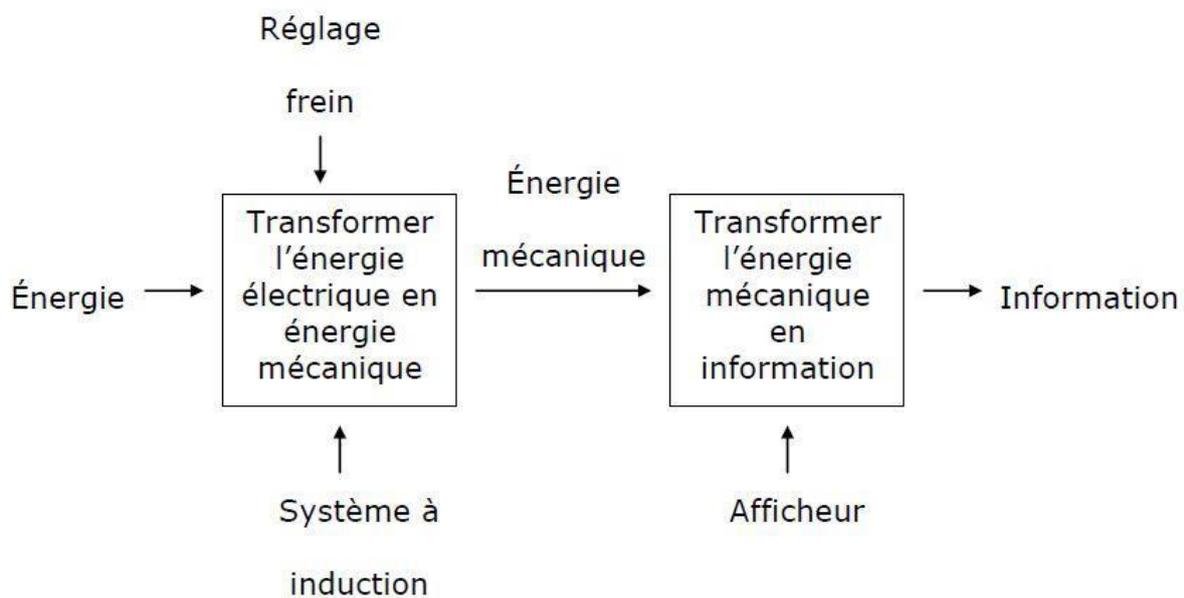


Figure 3.1 : Analyse fonctionnelle d'un compteur électromécanique

➤ *Convertir l'énergie électrique en énergie mécanique*

• Loi de Laplace

Suivant la loi de Laplace, un conducteur rectiligne de longueur l , parcouru par un courant constant I et placé dans un champ magnétique uniforme d'induction B , perpendiculairement à ce champ, est soumis à une force de module :

$$F = BI$$

Formule 3.1

dont la direction est normale au plan déterminé par le conducteur et le champ (règle des trois doigts).

Si l'induction et le courant sont sinusoïdaux et de même pulsation ω , leurs valeurs instantanées sont de la forme :

$$b = B\sqrt{2}\sin(\omega t)$$

Formule 3.2

$$i = I\sqrt{2}\sin(\omega t - \gamma)$$

Formule 3.3

avec B et I : valeurs efficaces de l'induction et du courant,

γ : déphasage de i par rapport à b , compris entre $-\pi$ et π

L'expression de la force devient :

$$f = 2Bil.\sin(\omega t).\sin(\omega t - \gamma)$$

Formule 3.4

et sa valeur moyenne est :

$$F_{moy} = Bil. \cos(\gamma)$$

Formule 3.5

- Loi fondamentale de l'induction électromagnétique

Loi de Faraday :

D'après Faraday, une variation de flux magnétique fait apparaître une force électromotrice d'induction dont le circuit en est le siège

$$\Phi \text{ varie} \longrightarrow \exists f.\text{é.m induit}$$

La force électromotrice d'induction est égale à l'opposé de la dérivée par rapport au temps du flux magnétique inducteur :

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Formule 3.6

Si Z est l'impédance du circuit et E la valeur efficace de e , alors la valeur efficace du courant induit i est :

$$i = \frac{E}{Z}$$

Formule 3.7

Le flux d'un vecteur \vec{B} au travers d'un contour fermé limitant une surface S de normale \vec{n} est :

$$\Phi = (\vec{n}S) \cdot \vec{B}$$

Formule 3.8

Dans le cas d'un entassement de N surface, on a

$$\Phi = N \cdot (\vec{n}S) \cdot \vec{B} = N \cdot S \cdot B \cos(\theta)$$

$$\theta = (\vec{n}, \vec{B})$$

Formule 3.9

Il y a donc variation de flux magnétique lorsqu'il y a variation au moins des grandeurs suivantes : N , S , B , ou .

Loi de Lenz :

D'après Lenz, le sens du courant induit prend un sens tel que les actions qu'il crée s'oppose à l'évènement qui lui a donné naissance.

Courant de Foucault :

Des courants induits prennent naissance dans toute masse conductrice en mouvement dans un champ magnétique ou soumise à un champ magnétique variant dans le temps. Ces courants sont appelés courant de Foucault.

De ce fait, les courants de Foucault produisent un freinage de mouvement des masses métalliques et de production inutile de chaleur.

- Principe de Ferraris

C'est l'Italien *Ferraris* qui a énoncé, en 1884, le principe du moteur à induction à rotor massif sous la forme suivante :

« Pour produire un couple sur un induit (armature) libre de tourner, celui-ci doit être soumis à deux flux alternatifs :

- qui ne sont pas en phase dans le temps l'un avec l'autre ;
- qui sont appliqués à l'induit en deux endroits différents, alignés suivant la direction du mouvement recherché ».

Ce principe est illustré par la figure 2.2 où l'on voit représentés symboliquement deux flux d'induction élémentaires b_1 et b_2 créant des courants élémentaires i_1 et i_2 et donc des forces élémentaires f_1 et f_2 . Il n'y a rotation que si b_1 et b_2 sont déphasés.

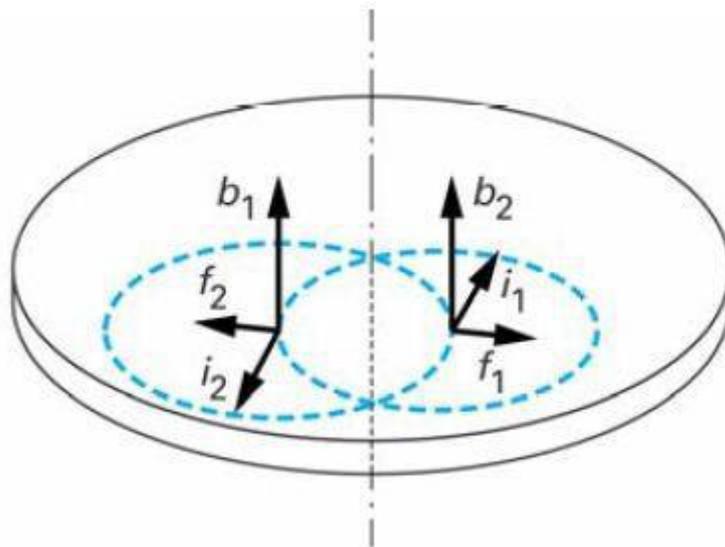


Figure 3.2 : Principe de Ferraris

- Application aux compteurs

L'énergie électrique est composée d'une tension et d'un courant électrique alternatif (dont la fréquence est de 50Hz).

Un compteur électrique est principalement composé d'un disque conducteur (M), qui est mis en rotation à une vitesse proportionnelle à la puissance consommée, et de deux bobines : une bobine de tension et une bobine de courant.

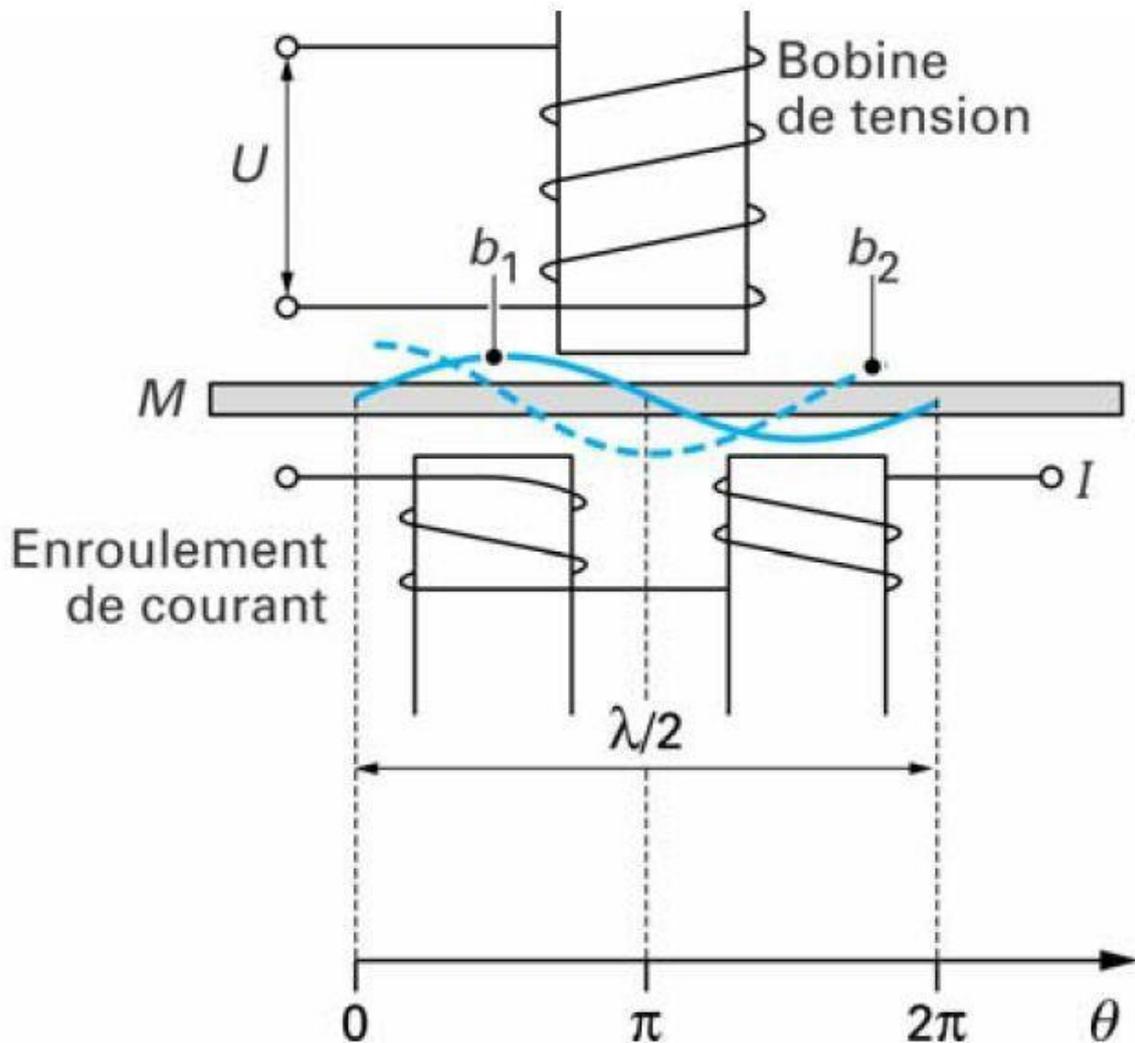


Figure 3.3 : Principe d'un compteur électromagnétique

La première condition à remplir pour réaliser un compteur moteur est de créer un couple moteur proportionnel à la puissance à intégrer. Cela s'obtient en créant l'un des deux champs, d'induction B_2 par exemple, par un enroulement peu résistant et de faible inductance, parcouru par le courant I du circuit d'utilisation, et l'autre champ, B_1 , par un enroulement très résistant et de grande inductance (dans cet enroulement, le courant est proportionnel à la tension d'utilisation U et déphasé d'environ $\pi/2$ par rapport à celle-ci).

Le flux Φ_2 est en retard sur I d'un petit angle β et l'on impose à Φ_1 un déphasage de $(\pi/2) + \beta$ par rapport à U . Le couple moteur ainsi obtenu est proportionnel à la puissance active. En mettant l'enroulement de tension en série avec une grande résistance, on obtient un flux Φ_1

déphasé d'un petit angle β_1 par rapport à U et, si l'on impose à Φ_2 le même déphasage par rapport à I , le couple obtenu sera proportionnel à la puissance réactive.

La rotation du disque dans les flux inducteurs produit des forces électromotrices d'induction et par conséquent des courants, analogues aux courants de Foucault obtenus avec un flux inducteur constant dans le temps. Il en résulte un couple de freinage proportionnel à Ω (vitesse de rotation du disque) et à B^2 (induction magnétique). Ce couple entraîne ainsi un autofreinage du disque. La deuxième condition à remplir est de créer un couple résistant proportionnel à la vitesse de rotation. Le couple d'autofreinage répond à cette condition, mais il est beaucoup trop faible pour que les couples parasites soient négligeables devant lui, et l'on réalise un freinage plus puissant au moyen d'un aimant permanent qui agit sur le disque principal ou sur un disque auxiliaire.

En effet, dans l'entrefer de l'aimant, le flux est constant, et en traversant l'entrefer, le disque coupe les lignes de champ magnétique du frein. Or le mouvement d'un conducteur dans un tel entrefer provoque l'apparition d'une tension induite. Cette tension induite entraîne la circulation de courants électriques qui peuvent être très intenses. Cela explique le fait que l'interaction mécanique née de la circulation des courants s'oppose au mouvement qui lui donne naissance. Ce qui a pour effet de freiner le disque proportionnellement à sa vitesse. Le frein magnétique permet ainsi de calibrer le compteur. Il est doté d'une vis qui permet de modifier les lignes de champ magnétiques exercées dans l'entrefer.

➤ *Convertir l'énergie mécanique en information*

L'énergie mécanique d'entrée est convertie par une série d'engrenages en information directement interprétable par l'utilisateur par l'intermédiaire de l'afficheur. Cette information représente l'énergie consommée sous forme numérique. En effet, une vis sans fin est reliée au disque central qui tourne à sa même vitesse. On obtient alors une rotation de la vis sans fin en rapport direct avec l'énergie électrique consommée qui est l'élément à afficher.

Le schéma suivant explique le fonctionnement de l'afficheur et montre les différents engrenages.

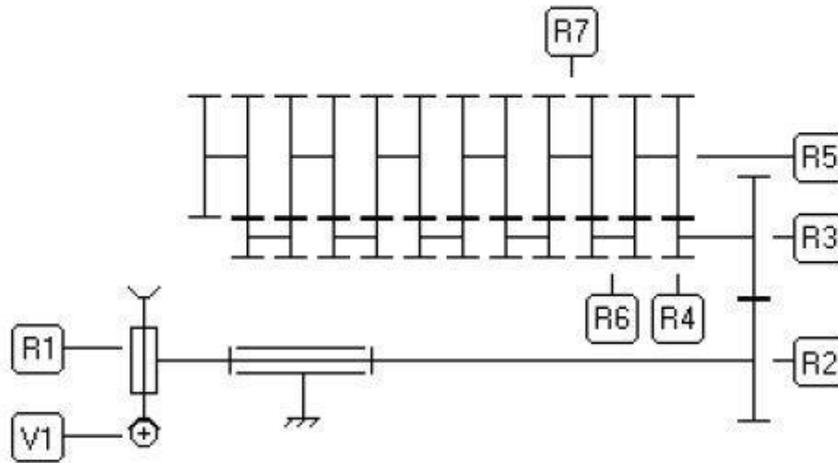


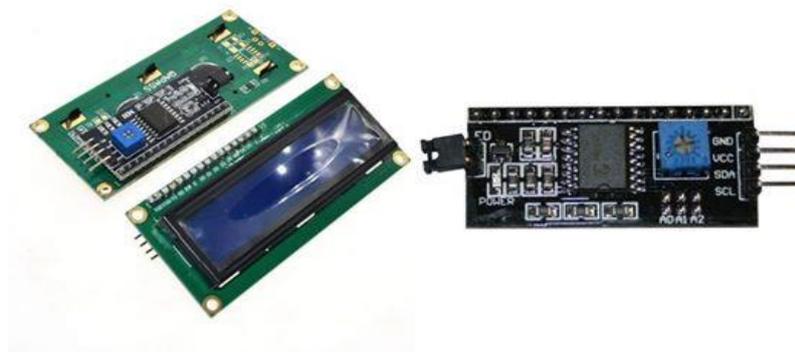
Figure 3.4 : Schéma cinématique d'un afficheur de compteur électromécanique

Le mouvement part de la vis sans fin V1 et est transmis à une roue dentée R1. On arrive alors à un mouvement de rotation qui est transmis par une série d'engrenages jusqu'à la roue R5 qui est le premier chiffre de l'afficheur (le chiffre des unités). Sur cette roue se trouve un ergot qui fait tourner la roue suivante (R7) d'un chiffre (celui des dizaines). Et cela jusqu'au sixième et dernier chiffre de l'afficheur (cas où l'afficheur contient 6 chiffres). Une fois le chiffre 999999 atteint, le compteur revient à zéro.

Section III-1-2 : Les Composants Arduino nécessaires

Au cours de la réalisation de ce projet de création d'un compteur prépayé, nous avons eu recours à l'utilisation des éléments suivants :

- Ecran LCD 16×2 et I2C



*Figure 3.5 : Ecran LCD 16*2 et module I2C*

- Description

Les afficheurs standards HD44780 sont vraiment utiles pour créer des projets autonomes.

Le backpack I2C permet de contrôler facilement un écran LCD en utilisant uniquement deux broches Arduino (A4 et A5 du bus I2C). C'est un outil très appréciable étant donné le nombre de broche très limité sur un Arduino Uno. Si on a déjà connecté plusieurs senseurs sur votre Arduino, il ne nous restera plus assez de broches pour commander un écran LCD, ce breakout I2C sera notre sauveur.

L'avantage du bus I2C, c'est que nous pouvons avoir d'autres périphériques I2C sur le même bus (sans consommer plus de broches). Nous pourrions même utiliser plusieurs écran LCD sur un même Arduino car ce breakout dispose de broches d'adresses (pour changer l'adresse du breakout sur le bus I2C).

Grâce à la bibliothèque LiquidCrystal_I2C Arduino, prendre le contrôle de cet écran est vraiment un jeu d'enfant La bibliothèque prend en charge l'interface I2C 1602.

- Contenu

Pour chaque commande, on a:

- Le contrôleur LCD I2C assemblé (le backpack)
- Un écran LCD 2 lignes de 16 caractères

Détails techniques du backpack :

- Interface : I2C
- Adresse I2C : 0x3F
- Identification des broches Pin : VCC, GND, SDA, SCL

Contrôle d'écran LCD 16 broches à base de contrôleur HD44780 (identique à celui de l'écran 2 Lignes blanc/bleu ou écran 4 lignes)

- Rétro-éclairage
- Tension d'alimentation : 5V
- Ajustement du contraste : avec potentiomètre
- Utilise uniquement deux entrée/sortie.

Détails techniques du LCD

2 lignes de 16 caractères chacune

Texte en Blanc, Fond Bleu

Connecteur avec empattement de 2.54mm qui s'insère dans un breadboard (avec l'utilisation d'un pinHeader)

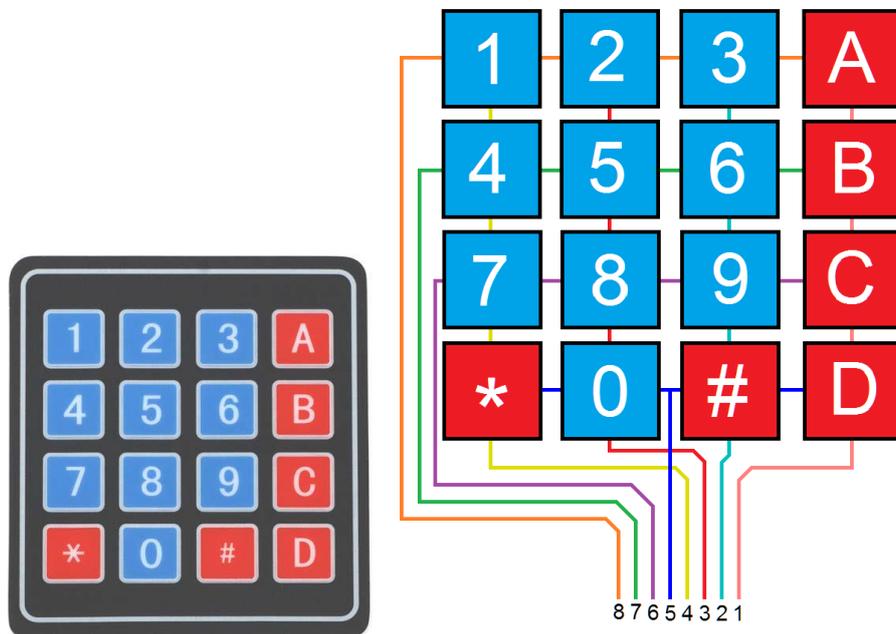
Les broches sont notées à l'arrière de l'afficheur LCD. Cela facilite vraiment le câblage.

Peut être totalement contrôlé à l'aide de 6 broches digitales ! (N'importe quelle broche analogique/digitale de l'Arduino peut être utilisée)

Contient le "character set" permettant de rendre des textes anglais/japonais, voir la datasheet du HD44780 datasheet pour la totalité des "character set" disponibles.

Dispose de 8 caractères extra permettant de créer facilement des Glyphs (mini-images), symboles ou caractères internationaux.

➤ Keypad 4×4



*Figure 3.6: Clavier 4*4*

- Description

Le clavier comporte 16 touches, dont 10 numériques (0-9) et 6 touches marquées # * A B C D.

Il est matriciel : au lieu d'avoir 16 fils (1 par touche) et une masse, le multiplexage n'utilise que 8 sorties : 4 lignes et 4 colonnes.

- Utilisations

- Téléphonie
- Clavier de digicode
- Clavier d'alarme
- Saisie de données numériques dans un programme Arduino (calibrage...)
- Choix de menu...
- Le clavier peut se coller sur un support, il est étanche

- Programmation

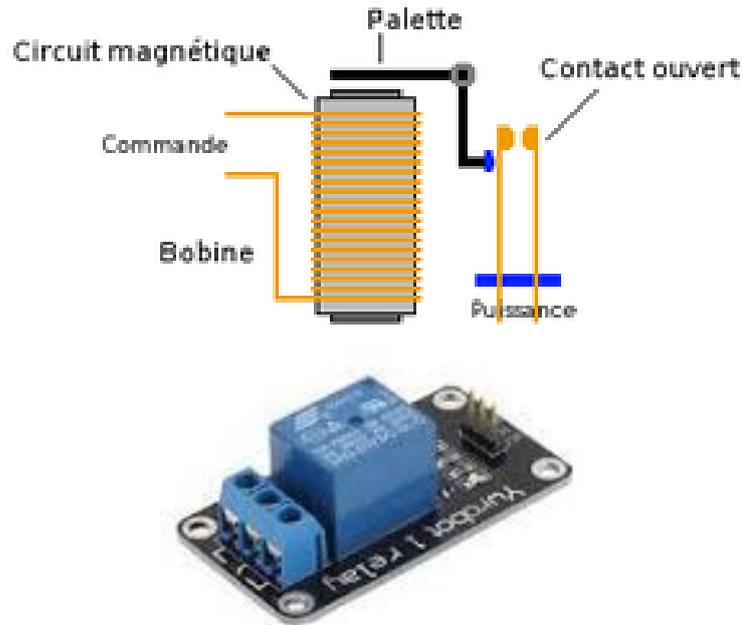
Utilise la librairie Keypad.h

Ce programme crée un objet de type Keypad, puis lit les entrées clavier et affiche sur le serial monitor les entrées.

On peut avec cette librairie :

- lire la touche appuyée : char getKey()
- surveiller l'état du clavier : KeypadState getState()
- définir un délai d'appui pour valider la saisie : setHoldTime(unsigned int time)
- paramétrer une pause anti-rebond : setDebounceTime(unsigned int time)
- créer un événement si le clavier est utilisé : addEventListener(keypadEvent)

➤ Relais



➤ Figure 3.7 : Module relais et représentation schématique

- Description

Les relais sont utilisés très régulièrement, par exemple pour démarrer un moteur, commander une prise, une lumière, réguler le chauffage, ...

Un relais, type électromagnétique, est un organe électrique permettant de dissocier la partie puissance de la partie commande. Il permet l'ouverture/fermeture d'un circuit électrique par un second circuit complètement isolé (isolation galvanique) et pouvant avoir des propriétés différentes.

Un relais est composé principalement d'un électroaimant, qui lorsqu'il est alimenté, transmet une force à un système de commutation électrique : les contacts.

Le Module présent comporte :

- Une LED témoin (allumé quand le contact est établi) ;
- Un Optocoupleur, qui permet l'isolation électrique entre la basse tension et la puissance
- Une diode de roue libre, qui protège la partie puissance des courants induits lors de la coupure de tension dans un bobinage (moteur, self ...).

- Tachymètre
- Description

C'est un module qui permet de mesurer la vitesse de rotation d'un moteur. Ainsi il sert en général de capteur de tour

- capteur infrarouge photoélectrique
- fonctionne sous 3.3v-5v
- Sortie digital

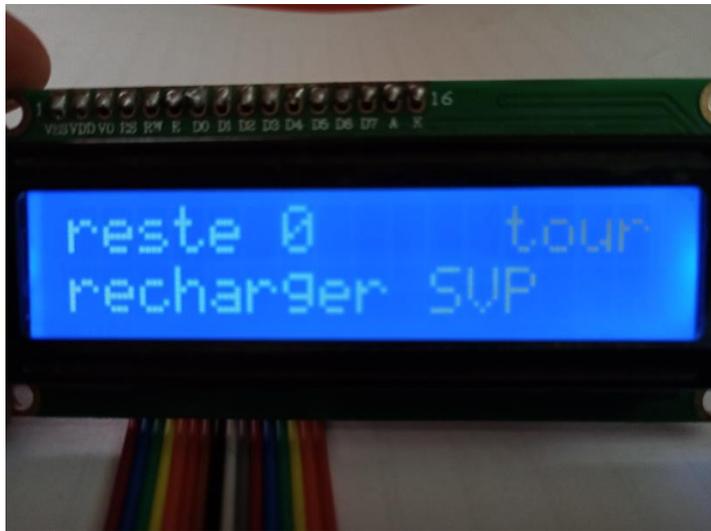
Section III-1-3 : Assemblages et mode de fonctionnement

- Assemblages

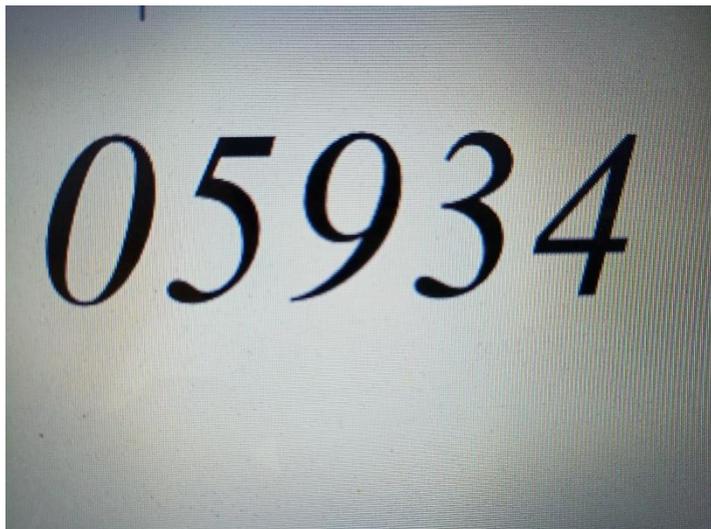
Composant	Bornes du composant	Bornes de l'Arduino
Ecran LCD 20x4 (Sortie Module I2C)	GND	GND
	VCC	5V VCC
	SDA	A4
	SCL	A5
Module Relais	GND	GND
	VCC	5V VCC
	OUT	D13
Keypad 4x4	Chaque pin	Sur un pin digital

Tableau 3.1: Branchement des divers composants sur l'Arduino

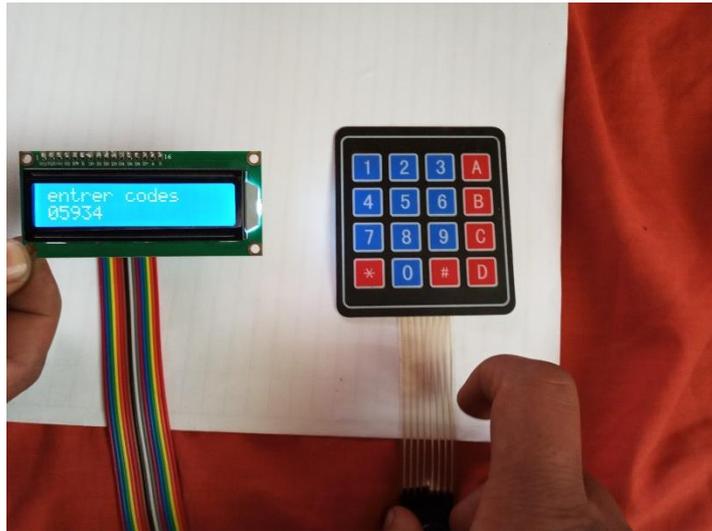
- Etapas de fonctionnement en images et en organigramme



Le crédit est épuisé.



Le client va insérer du crédit à l'aide de ce code.



Une fois le crédit recharge, le client va pouvoir disposer de 5 tours équivalents à x KWh.



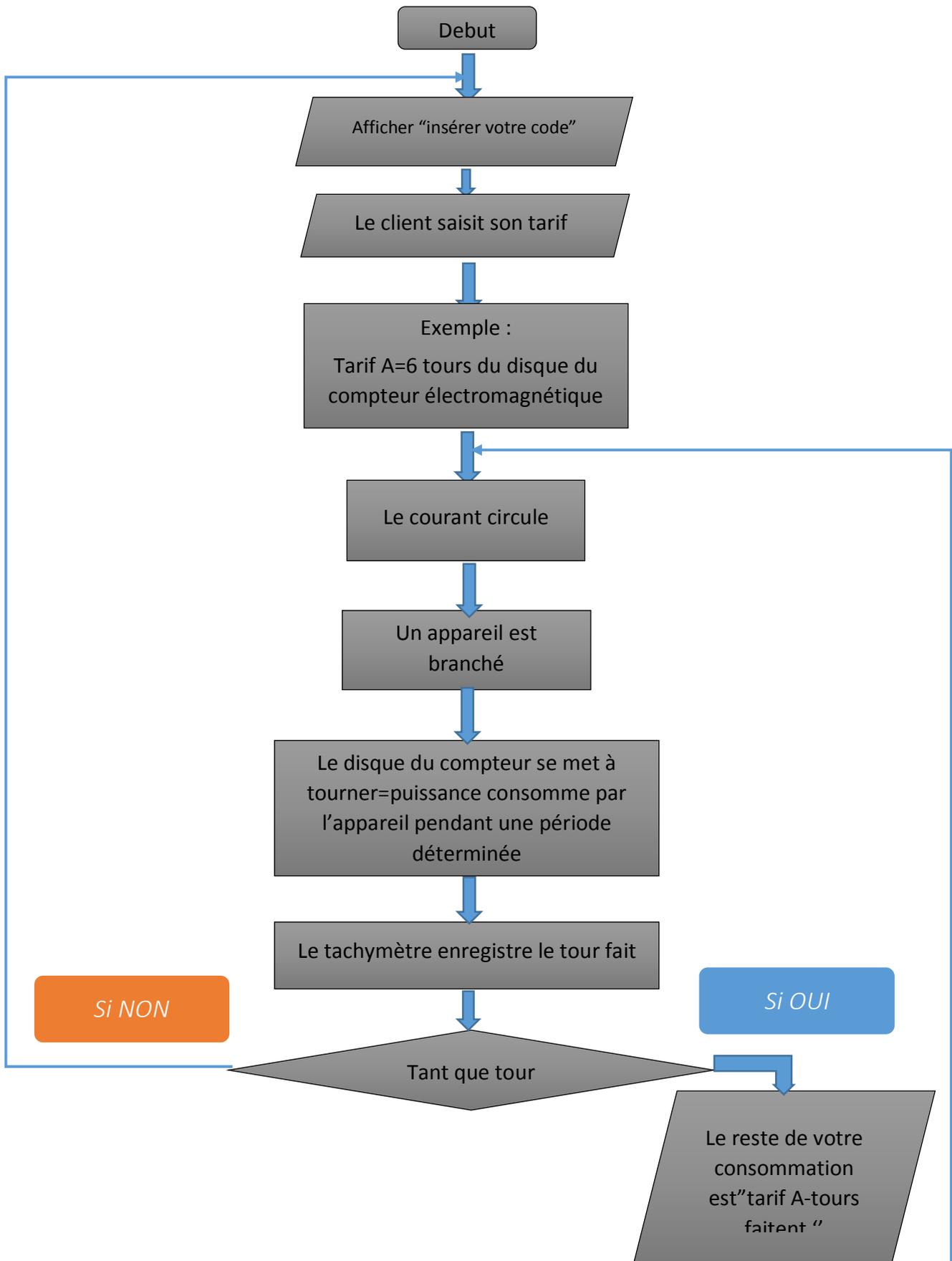


Figure 3.8 : Algorithme du mode de fonctionnement du compteur électrique prépayé

Chapitre III-2 : Utilisations et sécurisation

Section III-2-1 : Mode d'utilisation

Ce manuel de l'utilisateur présente toutes les fonctionnalités importantes du compteur afin que vous puissiez profiter pleinement de tous les avantages de cet outil. Une bonne utilisation de ce compteur nous permet de gérer efficacement votre consommation et d'économiser jusqu'à 30% d'énergie.

Voici ce que l'on peut voir sur

1. Le droit de consommation restant s'affiche sur le compteur
 2. Le clavier du compteur qui nous permet d'entrer notre numéro de recharge
 3. Le numéro du compteur
- La recharge de crédit :

Le compteur prépayé fonctionne comme les téléphones portables. Il faut acheter une recharge de crédit, on donnera un ticket avec un numéro à rentrer dans le compteur.

Tapez le numéro encadré sur le ticket afin de recharger votre crédit.

- Le crédit restant :

Il est important de toujours vérifier combien de crédit il vous reste (comme avec votre téléphone). C'est une manière simple de gérer votre consommation. Lorsque ce crédit tombe à 0 kWh, vous n'avez plus de crédit et le compteur se coupe. Afin d'éviter de tomber en rupture de courant, vérifiez régulièrement ce crédit et venez acheter une recharge avant que celui-ci ne tombe à 0 kWh.

- La puissance instantanée :

La puissance instantanée représente la puissance que vous consommez. Plus cette puissance est élevée, plus vous épuiserez votre crédit rapidement. Si tous vos appareils (lampes, réchauds, climatiseurs, tv, ...) sont éteints, votre puissance instantanée devrait être égale à 0.

Afin de réduire au maximum la puissance instantanée, éteignez les appareils que vous n'utilisez pas. Ne laissez pas votre réchaud allumé après avoir fini de cuisiner, éteignez votre télévision lorsque vous ne la regardez pas, éteignez les lampes lorsque vous n'êtes pas dans la pièce. Si vous faites cela, vous pourrez économiser jusqu'à 30% de crédit.

Section III-2-2 : Les Avantages et les inconvénients

Le compteur électrique prépayé présente plusieurs avantages :

- ⇒ Il se montre plus pratique car le fournisseur n'aurait plus besoin de se déplacer pour faire des relevés.
- ⇒ Le client est toujours informé sur sa consommation électrique et son crédit restant/
- ⇒ Pas de gaspillage de crédit, rien n'est perdu.
- ⇒ On peut limiter sa consommation.
- ⇒ Les Tarifs sont flexibles.

Cependant voici quelques inconvénients de son utilisation :

- ⇒ Par rapport à d'autre compteur prépayé, il est formé par d'un compteur électromécanique et d'un microcontrôleur tandis que certains compteurs formes sont assembles en un seul appareil.
- ⇒ Il limite les interactions humaines entre le fournisseur et le client or que dans le domaine du marketing, ce contact est très sollicité pour permettre de satisfaire le client

Section III-2-3 : Sécurisation et Autres domaines d'utilisations

➤ *Sécurisation*

Actuellement, la programmation est accessible par tout le monde, ainsi on a opté pour la solution suivante :

La mise en hauteur du compteur et le microcontrôleur puis mettre à disposition du client que le Keypad qui lui permet d'insérer les tarifs de son choix et l'écran LCD qui affichera le reste de sa consommation.

Voici une illustration à travers le compteur prépayé de l'UMEME



Figure 3.9 : Clavier et écran d'un compteur prépayé de l'UMEME



Figure 3.10 : Compteur accroché en hauteur

➤ *Autres domaines d'utilisation*

Le compteur électrique prépayé a été conçu pour tous les personnes ou société qui mettent à disposition des tiers de l'énergie électrique qu'ils produisent.

Mais tout ne s'arrête pas là il peut être adapté aussi au compteur d'eau, la méthode de fonctionnement reste les mêmes sauf que :

- le tachymètre sera remplacé par un capteur de débit d'eau qui compte directement l'eau consommée.



Figure 3.11 : Capteur de débit d'eau

Ce capteur de débit est constitué d'un rotor et d'un capteur à effet hall. Lorsque l'eau passe dans le capteur, la rotation du rotor génère des impulsions en fonction du débit. La fréquence de sortie varie en fonction de la vitesse du rotor. Convient pour de l'eau uniquement.

✓ Brochage :

- noir : masse
- rouge : +5 à +24 Vcc
- jaune : signal

Alimentation : 5 à 24 Vcc

Consommation : 15 mA (sous 5 Vcc)

Plage de mesure : 1 à 30 l/min

Pression maximum : 1,2 Mpa

Précision : +/- 3% (entre 1 et 10 l/min)

Formule de conversion : débit (en l/min) = fréquence (en Hz) / 7,5

Dimensions : 63 x 36 x 35 mm

Température d'utilisation : 0 à 80°C

Diamètre du filet : 1/2"

Poids : 43 g

- une électrovanne prendra la place du relais



Figure 3.12 : Electrovanne 12V

Electrovanne NF (normalement fermée) fonctionnant sous 12 Vcc prévue pour l'eau non alimentaire uniquement.

Consommation : 320 mA (sous 12 Vcc)

Pression : 0,02 Mpa à 0,8 Mpa

Durée de vie : 50 millions de cycles

Entrée sortie : filet de 20 mm

Filet : 1/2" plomberie

Position au repos : fermée (NC)

T° de service : 1°C à 75 °C

Dimensions : 85 x 60 x 45 mm

- Algorithme d'un compteur prépayé pour la consommation d'eau

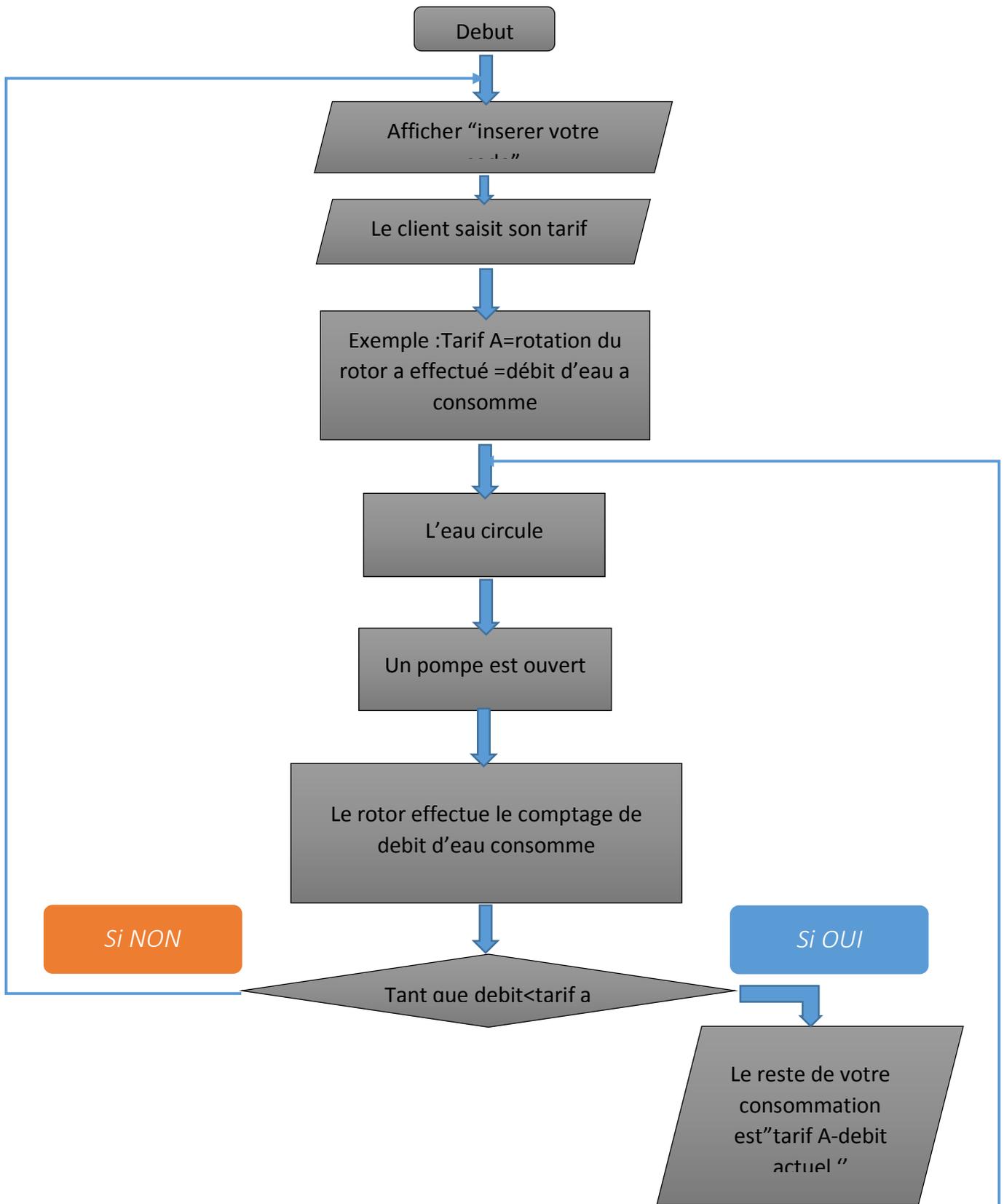


Figure 3.13 : Algorithme du mode de fonctionnement du compteur d'eau prépayé

Chapitre III-3 : Coûts du projet

Section III-3-1 : Le coût de la réalisation en temps et en argent

Ce projet n'est ni facile ni difficile à réaliser. Sa conception prend environ une semaine. La valeur totale des matériels était de :

- Compteur électromagnétique : 30000 Ariary
- Arduino UNO : 50000 Ariary
- Jumper: 9000 Ariary
- Breadboard: 15000 Ariary
- Relais: 10000 Ariary
- Keypad 4*4: 7000 Ariary
- Lcd 16*2 et I2C: 20000 Ariary

Le tout pour un total de 141000 Ariary

Section III-3-2 : Possibilité de commercialisation

Il est sûr de commercialiser ce projet puisqu'il ne coûte pas cher et reste très pratique et adaptable à tous les types de compteurs même ceux déjà installés à domicile car il ne suffit que de mettre les capteurs correspondants.

Section III-3-3 : Les compteurs électriques prépayés existants et leur localisation



Figure 3.14 : Compteur monobloc (Burkinafaso)



Figure 3.15 : Compteur slip



Figure 3.16 : Aptomat (Pologne)



Figure 3.17 : Secteur meter (Inde)



Figure 3.18 : Shanghai meter (Chine)

CONCLUSION

Rappelons-nous qu'un compteur électrique standard présentait des problèmes pour un distributeur d'électricité qu'a son client. Nous avons vu qu'un compteur électrique prépayé est efficace pour la gestion des énergies. Il se montre très pratique car il permet d'éviter les longues attentes de paiement chaque mois comme à la JIRAMA. C'est un appareil qui facilite la tâche à la fois au fournisseur d'énergie et au client et permet d'éviter les déplacements des deux partis

C'est à partir d'un Microcontrôleur nommé Arduino que l'on a pu procéder la réalisation de ce projet. Le choix d'un compteur électrique électromécanique est le plus pertinent puisqu'il s'agit du compteur le plus répandu dans les foyers Malagasy, dans ce cas-ci, il n'est plus nécessaire d'acheter un nouveau compteur, son prix d'acquisition dans le marché et le moins chère et il dispose d'une facilité d'adaptation avec les composants de l'Arduino.

Son assemblage est facile et la programmation ne nécessite pas une étude approfondie de quelconque domaine vu que l'Arduino a été conçu pour les amateurs en Automatisation ou électronique ou informatique. Grâce à la Bibliothèque comprises dans son logiciel, la réalisation de sa programmation devient accessible à tous.

Cependant ce compteur exposé ci-dessus n'est pas à sa totale perfection puisqu'il est totalement indépendant et que le distributeur ne peut avoir aucun contrôle. D'où il serait appréciable de chercher un moyen sur comment un fournisseur d'énergie peut-il surveiller ou dépanner un compteur à distance.

BIBLIOGRAPHIE

- Bibliothèque virtuelle les instruments de mesure des phénomènes électriques.
- Catalogue modules grove.
- Diébril Ouattara. Mémoire pour l'obtention du master spécialisée en génie électrique, énergétique et énergies renouvelables.
- EDC. Manuel de l'utilisateur d'un compteur prépayé.

WEBOGRAPHIE

- Commission électrotechnique internationale ou CEI. <http://www.iec.ch/>
- Effet linky explication de l'augmentation tarifaire. <https://lespiedsalaterre.org/effet-linky-explication-de-laugmentation-tarifaire/>
- Electrovanne .<https://vi.raptor.ebaydesc.com>
- Enedis de France. <http://www.enedis.fr/>
- happ-e by engie. <https://www.happ-e.fr>
- <https://collectifchartresdebretagne.wordpress.com/>
- <https://megedoudeau.free.fr/mege>
- <https://www.louisreynier.com>
- Louis Reynier. C'est quoi arduino ?
- Mathieu Bardoux .Cours d'électricité étude des régimes alternatifs.
- Mémoire de l'électricité du gaz et de l'éclairage public.
- Puissance active,reactive,apparente .https://conseils-thermiques.org/contenu/energie_active_reactive_apparente.php
- Rajaonarivelo Jean André .Cours courant alternatif 2ème année.
- Ranarison Olivier Mickaël .Compteur électriques intelligent.
- Relais.<https://vi.raptor.ebaydesc.com>
- Site officiel de l'arduino. <http://www.arduino.cc>
- Tachymètre .<https://vi.raptor.ebaydesc.com>

ANNEXES

La programmation du projet :

```
#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h> Bibliothèque pour l'écran LCD rattaché à un module I2C

// #include <Password.h> Bibliothèque pour le Code

#include <Keypad.h> Bibliothèque pour le keypad

#include <EEPROM.h> Bibliothèque pour la mémoire

// Configuration du Clavier Numérique ou Keypad

const byte ROWS = 4; // Déclaration du nombre de ligne sur le keypad

const byte COLS = 4; // Déclaration du nombre de colonne sur le keypad

char keys[ROWS][COLS] = {

    {'1', '2', '3', 'A'},

    {'4', '5', '6', 'B'},

    {'7', '8', '9', 'C'},

    {'*', '0', '#', 'D'}

};

// Connect keypad ROW0, ROW1, ROW2 and ROW3 to these Arduino pins.

byte colPins[COLS] = { 5, 4, 3, 2 }; Pins correspondent aux colonnes

byte rowPins[ROWS] = { 9, 8, 7, 6 }; Pins correspondent aux lignes

Keypad keypad = Keypad( makeKeymap(keys), rowPins, colPins, ROWS, COLS );

// Configuration de l'écran LCD

LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F,20,4);
```

```

//Code credit

char cred1[] = "0000";

char cred2[] = "1111";

char cred3[] = "2222";

char cred4[] = "3333";

int cred1adress=10;

int cred2adress=20;

int cred3adress=30;

int cred4adress=50;

//Autres

int eeAddress = 0; //Adresse EEPROM contenant la variable tour

unsigned long tour; //impulsion pour compteur électronique

char reponse[100];

int etatCapteurTour;

    int a = 0; //Nécessaire pour le comptage de tour ou impulsion

    unsigned long limTour; //limKWH*tourParKWH

    int capteurTour = 10;

int relai = 11;

/*-----
-----*/

void setup(){

    pinMode(relai,OUTPUT);

    pinMode(capteurTour,INPUT);

    digitalWrite(relai,HIGH);// Lumiere OFF

```

```

Serial.begin(9600);

lcd.init();

lcd.backlight();

lcd.clear();

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print("DEMARRAGE...");

delay(3000);

//LIRE eeprom

/*****/

// EEPROM.put(cred1adress, cred1);

//EEPROM.put(cred2adress, cred2);

/*****/

EEPROM.get(cred1adress, cred1);

EEPROM.get(cred2adress, cred2);

Serial.print("cred1=");

Serial.print(cred1);

Serial.print("cred2=");

Serial.print(cred2);

EEPROM.get(eeAddress, tour); //initialisation de la variable tour

if(tour==0){

//veuillez recharger

digitalWrite(relai,HIGH);//Lumiere OFF

lcd.clear();

```

```

    lcd.setCursor(0,0);

    lcd.print("reste");

    lcd.setCursor(6,0);

    lcd.print(tour);

    lcd.setCursor(12,0);

    lcd.print("tour");

    lcd.setCursor(0,1);

    lcd.print("recharger SVP");

}

else{

    digitalWrite(relai,LOW);//Lumiere ON

    lcd.clear();

    lcd.setCursor(0,0);

    lcd.print("TOUR restant");

    lcd.setCursor(0,1);

    lcd.print(tour);

    lcd.setCursor(12,1);

    lcd.print("tour");

}

}

/*-----*/

void loop(){

    //RECHARGE

```

```

char key = keypad.getKey();

if (key== 'A'){

//RECHARGER COMPTE

lcd.clear();

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print("entrer codes");

delay(2000);

//lcd.clear();

int i=0;

int a=1;

uint8_t x=0;

memset(reponse, '\0', 100);

delay(100);

while(key != 'D' && a == 1){

char key = keypad.getKey();

if(key == 'D'){

a = 0;

}

if(key && a == 1){

lcd.setCursor(i,1);

i++;

lcd.print(key);

reponse[x] = key;

```

```

        x++;

    }

}

    checkPassword();

}

//COMPTEUR

etatCapteurTour = digitalRead(capteurTour); // Etat du capteur Wh

if(tour==0){

    digitalWrite(relai,HIGH);

}

if (etatCapteurTour==0 && tour!=0)

{

    if (a==0){

        if(tour==0){

            //Lumiere OFF

            digitalWrite(relai,HIGH);

            lcd.clear();

            lcd.setCursor(0,0);

            lcd.print("reste");

            lcd.setCursor(6,0);

            lcd.print(tour);

            lcd.setCursor(12,0);

            lcd.print("tour");

```

```

    lcd.setCursor(0,1);

    lcd.print("recharger SVP");
}

tour=tour-1;

    EEPROM.put(eeAddress, tour); //Enregistré dans EEPROM

    a = 1;

    lcd.clear();

    lcd.setCursor(0,0);

    lcd.print("TOUR restant");

    lcd.setCursor(0,1);

    lcd.print(tour);

    lcd.setCursor(12,1);

    lcd.print("tour");

}

}

else{

    a = 0;

}

}

void checkPassword(){

    /*Serial.print("rep=");

    Serial.print(reponse);

    Serial.println("!");

```

```

Serial.print("cred1=");

Serial.print(cred1);

Serial.print("!");//strcmp(,)*

if (strcmp(reponse,cred1)==0 || strcmp(reponse,cred2)==0){

    lcd.clear();

    lcd.setCursor(0,0);

    lcd.print("CODE OK");

    tour=tour+5;

    if (strcmp(reponse,cred1)==0){

        memset(cred1, 'mmm', 4);

        EEPROM.put(cred1 adress, cred1);

        delay(100);

    }

    if (strcmp(reponse,cred2)==0){

        memset(cred2, 'mmm', 4);

        EEPROM.put(cred2adress, cred2);

        delay(100);

    }

    EEPROM.put(eeAddress, tour); //Enregistré dans EEPROM

    EEPROM.get(eeAddress, tour); //initialisation de la variable tour

    lcd.setCursor(0,1);

    lcd.print(tour);

    lcd.setCursor(12,1);

```

```
    lcd.print("tour");  
digitalWrite(relai,LOW);//Lumiere ON  
  
}  
else{  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(0,0);  
    lcd.print("CODE ERROR");  
}  
delay(2000);  
}
```

Remerciements	I
Liste des tableaux	II
Liste des figures	III
Liste des abréviations et signes	V
Sommaire	VI
Introduction	1
Partie I : LES COMPTEURS ELECTRIQUES	2
Chapitre I-1 : Généralités	2
Section I-1-1 : Historique	2
Section I-1-2 : Définition en général	3
Chapitre I-2 : COMPTEUR ELECTRIQUE	4
Section I-2-1 : Définition	4
Section I-2-2 : Compteur monophasé et compteur triphasé	4
Section I-2-3 : Les différents types de compteurs d'électricité, le type d'affichage et l'indication	5
Section I-2-4 : Fonctionnement et rôle	10
Chapitre I-3 : PROBLEMES DES COMPTEURS ELECTRIQUES ACTUELS	13
Section I-3-1 : Problèmes sur les compteurs	13
Section I-3-2 : Problèmes sur la facturation	13
Chapitre I-4 : Solutions	17
Partie II : LES THEORIES SUR L'ELECTRICITE ET ARDUINO	18
Chapitre II-1 : Le courant alternatif	18
Section II-1-1 : Régime Alternatif et Diagramme de Fresnel	18
Section II-1-2 : Rappels sur les nombres complexes et Représentation complexe	26
Section II-1-3 : Puissance en régime alternatif	30
Chapitre II-2 : MICROCONTROLEUR : « ARDUINO »	35
Section II-2-1 : Définition d'un microcontrôleur et Structure	35
Section II-2-2 : Fonctionnement d'un Arduino	35
Section II-2-3 : Quelques composants pour Arduino	41
Partie III : REALISATION, UTILISATIONS ET COUTS DU PROJET	44
Chapitre III-1 : Réalisation	44

Section III-1-1 : Choix d'un compteur électromécanique	44
Section III-1-2 : Les Composants Arduino nécessaires	50
Section III-1-3 : Assemblages et mode de fonctionnement	55
Chapitre III-2 : Utilisations et sécurisation.....	59
Section III-2-1 : Mode d'utilisation	59
Section III-2-2 : Les Avantages et les inconvénients	60
Section III-2-3 : Sécurisation et Autres domaines d'utilisations.....	60
Chapitre III-3 : Coûts du projet	66
Section III-3-1 : Le coût de la réalisation en temps et en argent.....	66
Section III-3-2 : Possibilité de commercialisation	66
Section III-3-3 : Les compteurs électriques prépayés existants et leur localisation	66
CONCLUSION	69
BIBLIOGRAPHIE	VII
WEBOGRAPHIE	VII
ANNEXES	VIII

PAGE DE RENSEIGNEMENTS

Auteur : RASAMIMANANA Maholiniaina Jimmy

Parcours : Automatisation – Electronique – Informatique Industrielle

Titre du Mémoire : Compteur prépayé

Contact : +261 34 91 809 47/+261 33 73 832 24

E-mail : jimmyrasamimanana@gmail.com

Encadreur : Bourgeon Andy Marlon

Contact : +261 34 39 644 17

E-mail : Andymarlonium@gmail.com



RESUME

Tout d'abord ce projet a été réalisé dans le but de l'obtention d'un diplôme de licence en AUTOMATISME-ELECTRONIQUE-INFORMATIQUE-INDUSTRIELLE.

Puis c'est une idée pour rénover notre vie, puisque de nos jours l'homme ne cesse de faire des recherches pour améliorer son quotidien. Le problème c'est que la curiosité de l'humanité est infinie tandis que les ressources qu'il dispose est très rare.

C'est ainsi que le compteur prépayé a été conçu, pour éviter le fournisseur d'énergie à faire contrôle mensuel sur la consommation de son client. Et grâce à cette innovation le consommateur peut désormais limiter lui-même l'énergie qu'il utilise.

Ce modèle de compteur dans ce projet est créé à partir d'un Arduino et d'un simple compteur électromécanique pour montre que l'on peut juste modifier un vieux modèle avec la nouvelle technologie. En plus avec des bonnes ressources même un compteur de consommation d'eau peut être innové de la même manière

Mots clés : compteur, électromécanique, consommation, énergie, prépayé.

ABSTRACT

In aim to get my license certificate, I realized this project, inside the field of AUTOMATISM-ELECTRONIC-INDUSTIAL INFORMATIC.

Then this idea came from the fact to renovate our life, because nowadays mankind will not stop seeking improvement for his daily life. As we know human curiosity has no limit but the resource he uses are in scarce.

This is why the prepaid counter was for, it will prevent the energy supplier to do a monthly control of the power that his client consumes. With this innovation consumer can now limit the power that he uses as he wants.

This model of counter in this project was created from an Arduino and an electromechanic counter, in aim to show that we can combine new and old technology. And with good materials we can even adapt it to water counter

Keywords: counter, electromechanic, consumption, power, prepaid.