

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

Paix – Travail – Patrie

UNIVERSITE DE YAOUNDE I
ECOLE NORMALE SUPERIEUR
D'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE
D'EBOLOWA
DEPARTEMENT DE GENIE
ELECTRIQUE



REPUBLIC OF CAMEROUN

Peace – Work – Fatherland

UNIVERSITY OF YAOUNDE I
HIGHER TECHNICAL TEACHER
TRAINING COLLEGE OF
EBOLOWA
DEPARTMENT OF ELECTRICAL
ENGINEERING

**Filière
Electrotechnique (ET)**

**ConCeption et réalisation d'un prototype
de fontaine musicale**

Mémoire de fin d'étude
En vue de l'obtention du Diplôme de Professeur d'Enseignement
Technique et
Professionnel de 2e grade (DIPET II)

Par : ZENEMANG Jean Fabrice

Sous la direction de
Mme. NGO BISSE Jacque Thérèse
Dr à l'ENSET D'EBOLOWA
M. ABESOLO ONDOUA Grégoire
Dr Université de Douala

Année Académique : 2019 - 2020





DEDICACE

A la regrettée MEDJO MEDJO Anastasie



REMERCIEMENTS

Je rends grâce à DIEU, pour tout ce qu'il m'a donné d'apprendre de faire tout au long de ma vie et surtout pour les surprises qu'il me réserve encore. Ce travail n'aurait pas été possible sans son amour infini envers notre modeste personne. Je tiens à remercier aussi tous ceux de près ou de loin ont rendu possible ce modeste travail, c'est pourquoi j'adresse mes plus vifs remerciements à :

- ✓ Pr ELE Pierre président du jury ;
- ✓ Dr ONANENA examinateur ;
- ✓ Dr NGO BISSE Jacquie Thérèse rapporteur ;
- ✓ Mme le Directeur de l'ENSET d'Ebolowa Pr NDJAKOMO ESSIANE Salomé ; chef de département Génie électrique, pour sa rigueur professionnelle ;
- ✓ Dr NGO BISSE Jacquie Thérèse pour l'encadrement, son soutien et sur tout sa disponibilité, sa bienveillance qui nous ont permis de réaliser ce travail ;
- ✓ Mme FOUDA régime charge d'étude à l'ENSET d'Ebolowa pour son soutien et ses conseils ;
- ✓ Mon encadreur Dr ABOSSOLO ONDOA Grégoire ;
- ✓ Toute la grande famille NKOUM ESSONO Boniface ;
- ✓ Mes parents pour tous ce qu'ils ont dans ma vie jusqu'à ce jour ;
- ✓ M. ESSONO NKOUM Joel ;
- ✓ M. ABOMO ESSONO Salomon mon grand frère ;
- ✓ Mme. AYOMO Lucie né NSE'E NKOUM Lucie pour ce qu'elle a fait pour nous afin que nous soyons là ;
- ✓ M. OSSOMEYANG Jean Bertrand pour l'encadrement et son soutien moral, spirituel et financier ;
- ✓ Mes frères et sœurs ;
- ✓ Mes amis particulièrement KENMOE MEULA Martine, ASSEMBE fidèle, MEYE Audrey, ANDZE Olive et autres.
- ✓ M. NYATTE Samson Steve pour le temps et l'expertise qu'il bien voulu nous accorder dans le cadre de ce travail ;
- ✓ Tous mes camarades de promotion.

SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	i
LISTE DES FIGURES.....	ii
LISTE DES TABLEAUX.....	iv
LISTE DES ABREVIATIONS.....	v
RESUME.....	vii
ABSTRACT.....	vii
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES FONTAINES DANSANTES ET ETAT DE L'ART	3
I-/ HISTORIQUE DES FONTAINES MUSICALES.....	3
II-/ EVOLUTION DES FONTAINES.....	3
III-/ TYPES DE FONTAINES MUSICALES.....	5
III.1-/ fontaines sèches et ludiques.....	6
III.2-/ fontaines flottantes.....	6
III.3-/ les rideaux d'eau.....	7
III.4-/ fontaines à flamme.....	8
III.5-/ fontaine musicale classique.....	8
IV-/ QUELQUES EXEMPLES DE SYSTEMES DE CONTROLE/COMMANDE DES FONTAINES MUSICALES.....	9
IV.1-/ système de contrôle/commande utilisant des automates programmables.....	9
IV.2-/ système de contrôle/commande utilisant deux microcontrôleurs (raspberry pi raspi-hk et raspberry raspi-tdx) et une carte FPGA.....	10
IV.3-/système de contrôle/commande utilisant un microcontrôleur et les relais.....	11
IV.4-/ système de contrôle/commande utilisant un microcontrôleur et un capteur sonore.....	12
IV.5-/ système de contrôle/commande utilisant le microcontrôleur pic, un décodeur, un module RAM, un écran LCD et un lecteur d cartes.....	14
CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES.....	16
I-/ MATERIELS.....	16
I.1-/ PROTEUS.....	16
I.2-/ ARDUINO.....	19
I.2-/ outils physiques.....	22
I.2.1-/ carte Arduino UNO.....	22
I.2.2-/ La motopompe (moteur à courant continu).....	23
I.2.3-/ le transistor bipolaire.....	24
I.2.4-/ Diode roue libre.....	25
I.2.5-/ Ruban à LEDS.....	26
II-/ METHODES.....	27
II.1-/ Présentation des motopompes : partie du moteur à courant continu.....	28

Conception et réalisation d'un prototype de fontaine musicale

II.1.2-/ Description d'un moteur à courant continu	28
II.1.3-/ Constitution d'un moteur à courant continu	28
II.1.4-/ Type de moteur à courant continu	28
II.2-/ Modulation en largeur d'impulsion	30
II.2.2-/ Principes de la commande MLI	31
II.3-/ Technique utilisée	32
II.3.1-/ Schéma synoptique	32
II.3.2-/ Nature du signal à la sortie d'un appareil de musique ou entrée d'un haut-parleur	33
II.3.2-/ algorithme du fonctionnement de notre prototype de fontaine dansante.....	36
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	37
I-/PRESENTATION DU SCHEMA DU SYSTEME DE CONTROLE/COMMANDE	37
I.1-/ Mesure de la tension de sortie de l'amplificateur et d'entrée d'haut-parleur.....	37
II. DESCRIPTION DU SCHEMA COMPLET DU SYSTEME DE CONTROLE/COMMANDE	39
II.1-/ Schéma de montage : partie jeux de lumières.....	39
II.2-/ Schéma de montage partie variation des motopompes	40
II.3-/ Schéma électrique du circuit imprimé	41
III-/ ETAPES DE LA REALISATION.....	41
III.1-/ Réalisation du montage sur la plaque à essai	41
III.2-/ Réalisation du circuit imprimé et soudure des composants.....	42
III.3-/ Préparation du récipient servant de bassin pour la fontaine	43
III.3.1-/ décoration du récipient partie externe	43
III.3.2-/ Réalisation du circuit d'eau	43
III.3.3-Installation du circuit hydraulique dans le bassin	44
CONCLUSION GENERALE	46
REFERENCES.....	47
ANNEXES.....	49

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Bosquet de trois fontaines de Versailles	4
Figure 2 : La fontaine des mers- paris	4
Figure 3 : Pompes sèche	5
Figure 4 : Pompes immergées	5
Figure 5 : Buses mobiles, numérisées à partir du brevet américain	5
Figure 6 : Fontaine sèche	6
Figure 7 : Alimentation par batterie.....	7
Figure 8 : Alimentation par plaques solaires	7
Figure 9 : Mur d'eau contemporain Commercial pour le hall de l'hôtel moderne Feng Shui excellente décoration.....	8
Figure 10 : Fontaine à flume – de l'eau qui brûle	8
Figure 11 : Fontaine musicale de Roshen en Ukraine	9
Figure 12 : Contrôleur de pilotage des fontaines musicales (PX340)	10
Figure 13 : Gradateurs (alimente les pompes monophasées pilotables)	10
Figure 14 : Schéma bloc.....	11
Figure 15 : Schémas de principe	12
Figure 16 : Circuit de sortie (LED et opto isolateur).....	12
Figure 17 : Capteur sonore.....	13
Figure 18 : Algorithmes de fonctionnement.....	13
Figure 19 : Schéma bloc	14
Figure 20 : Environnement de travail sur Proteus	16
Figure 21 : Barre d'outils	17
Figure 22 : Barre de menu d'ISIS PROTEUS.....	17
Figure 23 : Environnement ARES.....	19
Figure 24 : Environnement de programmation Arduino	19
Figure 25 : Le menu d'Arduino	20
Figure 26 : Barre des tâches d'Arduino.....	20
Figure 27 : Carte Arduino.....	22
Figure 28 : Pompe immersible	23
Figure 29 : Transistor bipolaire.....	25
Figure 30 : Ruban à LED.....	26
Figure 31 : Schéma d'un moteur à courant continu.....	28
Figure 32 : Modélisation du moteur à courant continu.....	29
Figure 33 : Moteur commandé par MLI	30

Figure 34 : Signal MLI généré.....	30
Figure 35 : Principe de la MLI.....	31
Figure 36 : Variation du rapport cyclique.....	32
Figure 37 : Synoptique du système de contrôle/commande de notre fontaine musicale	32
Figure 38 : Traitement du son.....	33
Figure 39 : Principe de fonctionnement d'un haut-parleur.....	33
Figure 40 : Mesure de tension.....	34
Figure 41 : Circulation du courant.....	34
Figure 42 : Pont diviseur de tension.	34
Figure 43 : Tension aux bornes du haut-parleur	35
Figure 44 : Configuration de la source sonore.....	35
Figure 45 : Algorithme complet du fonctionnement du système.....	36
Figure 46 : Schéma complet du système de contrôle/commande.....	37
Figure 47 : Valeur de la tension d'entrée du haut-parleur	38
Figure 48 : Nature de tension d'entrée du haut-parleur selon la musique jouée	38
Figure 49 : Mesure de la tension d'entrée du haut-parleur	38
Figure 50 : Partie jeu de lumière par le ruban RGBW.....	39
Figure 51 : Courbes des ordres de commande du ruban à LEDS.....	39
Figure 52 : Schéma câblage partie variation de la vitesse des pompes.	40
Figure 53 : Courbe de variation de vitesses des motopompes	40
Figure 54 : Circuit imprimé dans l'environnement Proteus	41
Figure 55 : Montage sur plaque à essais du circuit jeu de lumière	42
Figure 56 : Montage commande des pompes	42
Figure 57 : Carte de contrôle/commande de notre fontaine.....	42
Figure 58 : Boite de contrôle/commande.....	43
Figure 59 : Décoration du récipient servant de bassin de la fontaine.....	43
Figure 60 : Câblage du circuit hydraulique.....	44
Figure 61 : Circuit hydraulique installé dans la bassine	44
Figure 62 : Fontaine réalisée	45

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Tableau des icônes de PROTEUS	18
Tableau 2 : Fonctions spécifiques à l'utilisation de la carte	21
Tableau 3 : Caractéristiques de la motopompe.....	24
Tableau 4 : Caractéristiques du transistor.....	25
Tableau 5 : Caractéristiques de la diode.....	26
Tableau 6 : Caractéristiques du ruban à LED.....	27
Tableau 7 : Code de couleur des RGB	27

LISTE DES ABREVIATIONS

LED : Light Emitting Diode

DC : direct curent

MLI : Modulation en Largeur d'Impulsion.

FPGA : Field Programmable Gate Array

GRBW : Red Green Blue Write

FIR : Finite Impulse Response (filtre à réponse impulsionnelle finie)

RESUME

L'étude a pour objectif d'embellir et d'améliorer les sites touristiques et les espaces publiques au Cameroun. Cette plus-value permettra d'attirer plus de visiteurs tout en dégageant un pouvoir économique dans notre pays. Les sites touristiques au Cameroun manquent d'esthétique ce qui limite le nombre de visiteurs et réduire l'économie de notre pays. Le souci de palier aux problèmes liés au manque d'esthétique des sites touristiques et espaces publiques a menés à un thème de recherche intitulé : « **conception et réalisation des d'un prototype de fontaine dansante** ». Pour y arriver nous avons utilisés la méthode de la modulation en longueur d'impulsion (commande électronique des machines) qui consiste à commander en vitesse un moteur à courant continu (commande tension) en lui injectant une tension en créneaux donc la tension moyenne dépend du rapport cyclique ou encore de la durée d'alimentation. Le principe de fontaine dansante se limitant à la variation des jets d'eau (variation de la vitesse du moteur accouplé à la pompe) et jeu de lumière. Pour réaliser notre prototype nous commençons par faire un schéma synoptique puis un schéma électronique du système de contrôle/commande sur le logiciel **Proteus isis professionnel** par la suite écrire un programme sur le logiciel Arduino que nous déversons dans le microcontrôleur (carte ARDUINO) puis simuler. Ayant obtenu des résultats satisfaisants, nous passons à la réalisation qui consiste premièrement à réaliser le schéma sur une plaque à essaie et tester son fonctionnement avec les moteurs à courant et le ruban à LED, après les tests souder les composants sur une carte perforée. Par la suite le circuit hydraulique est réalisé et l'installé avec le ruban à LED dans le récipient servant de bassin pour la fontaine. Les différentes parties étant réalisées nous connectons le tout et faisons des tester afin d'ajuster le fonctionnement.

Partant de cette méthode nous sommes arrivés à l'obtention d'un prototype de fontaine dansante esthétique. Qui, réaliser en grandeur nature pourra augmenter considérablement le nombre de touristes et garantir une poussée économique au Cameroun.

Mots clés : conception, réalisation, fontaine, musicale.

ABSTRACT

The study aims to beautify and improve the touristic sites and public spaces in Cameroon. This added value will attract more visitors while generating economic power in our country. The touristic sites in Cameroon lack aesthetics which limits the number of visitors and reduce the economy of our country. The concern to overcome the problems related to the lack of aesthetics the touristic sites and public spaces led us to a research theme entitled: 'design and realization of a prototype dancing fountain'. To achieve this, we used the method of pulse width modulation (electronic machine control) which consists of controlling a direct current motor (voltage control) by injecting it with a voltage in slots so the average voltage depends on the cyclic ratio or on the supply time. The dancing fountain principle is limited to the variation of the water jets (variation of the speed of the motor coupled to the pump) and light play. To realize our prototype, we start by making a synoptic diagram then an electronic diagram of the control system on the Professional Proteus ISIS software then write a program on the Arduino software that we integrate into the microcontroller (ARDUINO board) then simulate. Having obtained satisfactory results, we proceed to the realization which consists first in realizing the diagram on a plate to be tested and its operation with current motors and LED tape, after the tests we weld the components on a perforated board. Subsequently the hydraulic circuit is realized and installed with the LED tape in the container serving as a basin for the fountain. The different parts being made we connect the whole and make tests in order to adjust the operation. With this method we arrived at a prototype of an aesthetic dancing fountain. Which, realized on large scale will be able to significantly increase the number of tourists and guarantee an economic boost in Cameroon.

Keywords : conception, réalisation, fountain, musical.

INTRODUCTION GENERALE

De façon générale, le Cameroun se présente comme un concentré de l'Afrique dans les seules limites de son territoire [1]. Car on y retrouve tous les atouts (géographiques, hydrographique, historique site touristiques ...) que l'on trouve ailleurs dans ce pays. Ces atouts permettent d'attirer plus de visiteurs tout en dégagant un pouvoir économique. Mais ceux-ci semblent curieusement ne pas attirer beaucoup de touristes et des espaces publics sont moins fréquentés [2]. Le sud Cameroun (exemple Ebolowa : lac municipal ou encore l'esplanade du bâtiment qui abrite l'ENSET d'Ebolowa) n'est pas en reste face à cette situation.

Au vu du constat, le problème posé est celui du manque d'infrastructures rendant plus acquérant les sites touristiques et espaces public afin d'attirer plus de visiteurs. Parmi les solutions possibles les fontaines musicales (ou dansantes) en font parties. Celles-ci ont longtemps été utilisées pour orner les espaces publics, et aussi pour les représentations des monuments des illustres personnes [3]. Aujourd'hui elles sont plus utilisées pour l'ornement des milieux dans lesquels elles sont installées. Grâce à la synchronisation des effets spéciaux, des jets d'eau, jeu de lumière et de la musique ces infrastructures marquent les esprits des visiteurs rendant ainsi les séjours inoubliables. Depuis leurs arrivées jusqu'à nos jours ces dernières ont subi des reformes grâce à l'avancée technologique. De la fontaine alimentée par gravité (débit constant), à la fontaine musicale (débit varié effet spéciaux, jeu de lumière) commandé par un système intelligent en passant par les fontaines alimentées par pompes électriques (débit constant avec ou sans lumière), fontaine musicale (débit varié effet spéciaux, jeu de lumière) commandé par un homme sur une platine de commande. Parmi les plus récentes il y a celle utilisant le capteur sonore pour commander le système de contrôle. Mais le choix de la musique est arbitraire lorsqu'il y a plusieurs haut-parleurs à proximité (différentes chansons) ce qui constitue une limite pour ce système. L'autre utilisant le fichier (wav) musique en interne au système avec le Raspberry Pi, Raspi-hk, le FPGA et le Filtrage FIR [4] pour la commande du système de contrôle mais la réalisation de ce système est plus complexe et nécessite plus des connaissances en programmation.

Etant donné qu'elles ont déjà étaient utilisées ailleurs pour résoudre ce genre de problème et le résultat est positif. Les fontaines musicales se présentent comme la meilleure solution à notre problème. Mais le choix du type de fontaine musicale et le microcontrôleur à utiliser pour le contrôle/commande de notre fontaine sont les étapes importantes pour un résultat escompté.

L'objectif de ce travail est de mettre sur pied un prototype de fontaine dansante pouvant rendre nos sites touristiques et espaces publics plus acquérant d'où le thème : « **conception et réalisation d'un prototype de fontaine musicale** ». Comme objectifs spécifiques nous aurons :

- Connaissances sur le tourisme au Cameroun.
- Amélioration de l'embellissement des sites touristiques et espaces publics.

➤ Connaissances sur les fontaines musicales.

Ce travail permet la caractérisation d'un nouveau matériau pour les sites touristiques et espaces publics camerounais ayant des propriétés esthétiques et d'embellissement. D'après la littérature, ce travail est une nième expérimentation dans le monde et une première au Cameroun d'où son côté original. Pour résoudre les problèmes suscités, notre travail s'articule autour de trois chapitres. Qui se présentent comme suit : Le premier chapitre généralités sur les fontaines dansantes et état de l'art portera sur une présentation détaillée du général au particulier de notre thème de recherche ; puis le deuxième chapitre intitulé matériels et méthodes nous présentera le choix du matériels et leurs caractéristiques, les outils à utiliser le schéma synoptique du système et l'algorithme de fonctionnement, au troisième plan, seront présentés les résultats obtenus et la discussion au sujet de ces résultats donc les courbes obtenus pendant la simulation, le schéma de montage les étapes de la réalisation, la résultat obtenu (fontaine dansante) et nous finirons par une conclusion avec les perspectives.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES FONTAINES DANSANTES ET ETAT DE L'ART

La mise sur pied d'une fontaine dansante pour nos espaces et sites touristiques nécessite une connaissance approfondie de la littérature sur la technologie utilisée pour le contrôle/commande de ces dispositifs. Il sera donc question pour nous de montrer dans un premier temps l'histoire et les origines des fontaines dansantes ensuite l'évolution des techniques de contrôle/commande des fontaines dansantes, et en fin de montrer quelques de système de contrôle/commande déjà sur le marché y compris des techniques utilisé par les grandes entreprises spécialisées dans le domaine.

I- HISTORIQUE DES FONTAINES MUSICALES

Les fontaines à eau sont utilisées depuis des milliers d'années pour l'embellissement, divertissement, et comme moyen de détente [5]. Parmi les fontaines les plus populaires ont été ceux qui incorporent des éléments de surprise et / ou des effets spéciaux. Utilisées premièrement comme point d'eau potable, les fontaines sont devenues des dispositifs d'ornement des milieux où elles sont installées (centre-ville super marché ...etc.). Et aujourd'hui ces dernières font l'objet d'une grande admiration avec la technologie de pointe (contrôler par ordinateur).

Elles ont, à toutes les époques et dans toutes les civilisations, jouées un grand rôle dans la décoration des villes et des habitations de plaisance aussi, en dehors des fontaines proprement dites, dans lesquelles des nappes et des jets d'eau constituent seuls toute la beauté des effets qu'on y admire, a-t-il été souvent, depuis l'Antiquité la plus reculée jusqu'à nos jours, fait appel au talent de l'architecte et à celui du sculpteur pour encadrer d'une façon monumentale et pour agrémenter de figures et de motifs d'ornement les effets ou seulement les conduits d'eau amenés par la science de l'ingénieur hydraulicien. Depuis le commencement du XIXe siècle, les fontaines offrent la plus grande variété de formes et aussi de motifs décoratifs, les unes, les autres, il est vrai, empruntés aux modèles du passé, et, soit adossées, soit isolées ou parfois élevées en vue de rendre hommage à un Homme illustre [6] ou de perpétuer le souvenir d'un grand événement, les fontaines font toujours appel à la sculpture ou à l'architecture, souvent un peu au détriment des effets d'eau [7]. Aux alentours du XXe siècle, la disponibilité des pompes électriques et, plus tard, la progression de la technologie de contrôle a apporté encore plus d'ingéniosité à la conception de fontaines à effets spéciaux. Aujourd'hui, avec la technologie de pointe contrôlée par ordinateur, nous assistons à des installations des fontaines monumentales où les jets d'eau et les jeux de lumières sont synchronisés au rythme de la musique. Elles ont subi une évolution selon que la technologie évolue.

II-/ EVOLUTION DES FONTAINES

Dans son histoire les fontaines été premièrement alimentées en eau par la gravité (sois par une rivière placée en altitude par rapport à la fontaine ou d'un réservoir de stockage construit juste derrière la fontaine : système de vases communicantes), et ayant un débit constant⁹ (même scénario) voire les photos



Figure 1 : Bosquet de trois fontaines de Versailles [11]

Avec l'évolution de la technologie, à ces fontaines alimentées par la gravité on a ajouté les lumières afin que celles-ci puissent apporter de leurs décorations dans la nuit voire les photos.



Figure 2 : La fontaine des mers- paris [11]

Après l'arrivée des pompes électriques on est passé d'une fontaine alimentée en eau par la gravité à une fontaine alimentée par les pompes électriques. Toujours avec un débit constant, les pompes électriques ont permis de pouvoir alimenter la fontaine peu importe la position de l'eau utilisée pour alimenter le bassin de la fontaine. Ces derniers peuvent être immergés ou sèche. Et les fontaines peuvent être éclairées ou non comme ceux alimenter par gravité.

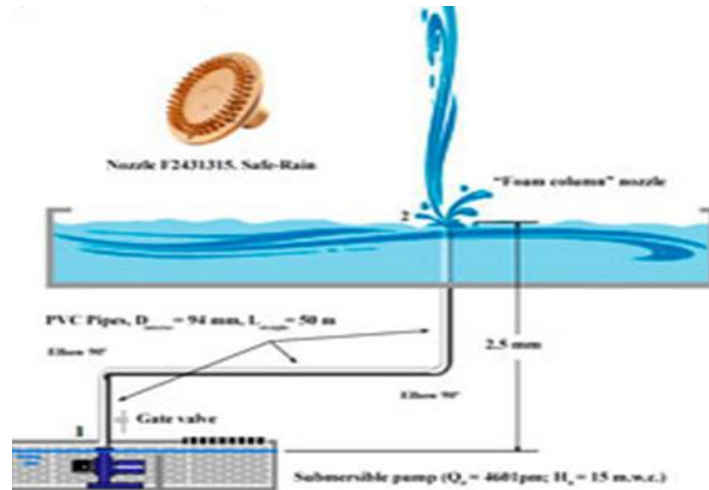


Figure 3 : Pompes sèche [8]

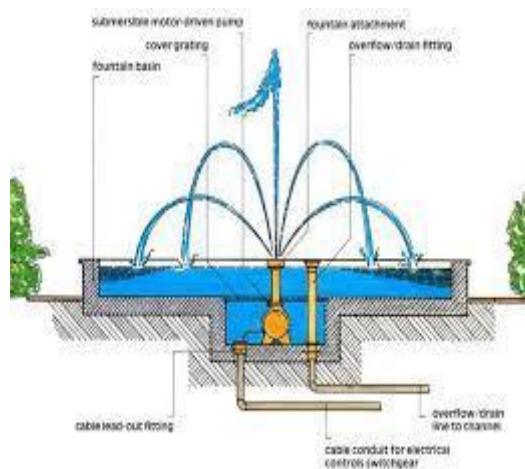


Figure 4 : Pompes immergées [8]

Vue le progrès de la technologie et l'apparition des systèmes électromécaniques, on est passé des fontaines classiques à des fontaines dansantes (débit constant) avec lumières mais sans musique. Ici le débit reste constant mais la position des jets peut changer d'un moment à l'autre grâce à un système électromécanique et avec un jeu de lumière.

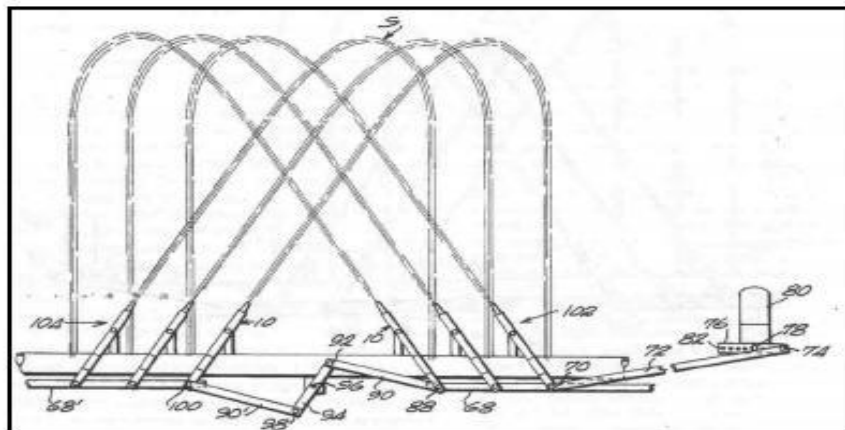


Figure 5 : Buses mobiles, numérisées à partir du brevet américain n ° 3.907.204 [10]

Avec l'apparition des systèmes de contrôle à partir de l'ordinateur nous sommes passés des fontaines classiques (débit constant) aux fontaines dansantes ou encore musicale (débit varié). Là on a une fontaine donc le débit varie et les couleurs des jets d'eau changent au rythme des chansons. Son principe de fonctionnement est basé sur un système de contrôle intelligent (contrôle/commande). Dès l'arrivées des systèmes de contrôle intelligent, le contrôle/commande des fontaines été assuré par une personne sur la platine de commande, puis par API construit pour un fonctionnement spécifique en suite par des microcontrôleurs qui coordonnent les différentes variations : jets d'eau, jeux de lumière, musique, ouverture/fermeture des conduits [11] grâce aux électrovannes. Elles sont de plusieurs variétés.

III-/ TYPES DE FONTAINES MUSICALES

Le type de fontaines ici est fonction de la forme de la fontaine (le bassin d'eau) et non du système de contrôle/commande. Entre autres nous avons comme types de fontaines :

III.1-/ fontaines sèches et ludiques

Elles sont caractérisées par une structure cachée sous nos pieds cela implique que nous avons dans le même espace une fontaine à jets d'eau et un endroit sec lorsque la fontaine est éteinte, que nous pouvons utiliser pour d'autres évènements. Les fontaines sèches sont actuellement très populaires. On peut trouver ce type de jeux d'eau dans de nombreux endroits, commençant par les parcs publics et finissant par les centres commerciaux, où l'on cherche l'interactivité des plus petits. Ces fontaines ont généralement un dénominateur commun, la recherche du rythme et du dynamisme dans l'eau rendant l'environnement attrayant pour le tourisme [12]. Pour cela, on utilise une conduite en béton, une structure qui contient également de l'eau pour le bon fonctionnement de la fontaine à jets d'eau. Cette eau retourne dans le réservoir à travers une grille de périmètre placée autour du conduit, et à travers le kit de la fontaine sèche, qui comprend une grille de drainage et de retour vers le réservoir.



Figure 6 : Fontaine sèche [13]

III.2-/ fontaines flottantes

Les fontaines flottantes utilisent des moteurs submersibles en acier inoxydable de qualité industrielle munis de garnitures mécaniques en carbure de silicium. Les pompes à eau sont connectées à des moteurs rigoureusement sélectionnés parmi les fabricants leaders de l'industrie. Ces moteurs se distinguent en particulier par leur grande efficacité, durabilité et résistance à la cavitation. Les crépines d'aspiration sont en acier inoxydable et toute la tuyauterie est en PVC haute pression conçue pour produire des pertes minimales et supporter les turbulences avec les plus grandes vitesses de pompage [14]. Dans un plan d'eau, les fontaines ne sont pas là simplement pour attirer les regards, mais aussi pour contribuer à l'équilibre biologique. Les fontaines flottantes font surgir comme par enchantement d'impressionnants jeux d'eau partout où il est difficile de mettre des installations stationnaires : quand les niveaux d'eau changent, quand les profondeurs sont trop grandes ou quand le fond est marécageux. Grâce à la simplicité de leur installation, elles sont rapidement prêtes à fonctionner et la figure d'eau produite peut être changée au gré des envies. Les fontaines flottantes OASE enrichissent l'eau avec de l'oxygène, apportant ainsi une précieuse contribution dans la lutte contre les algues. Elles sont alimentées soit par des batteries ou par des plaques solaires.

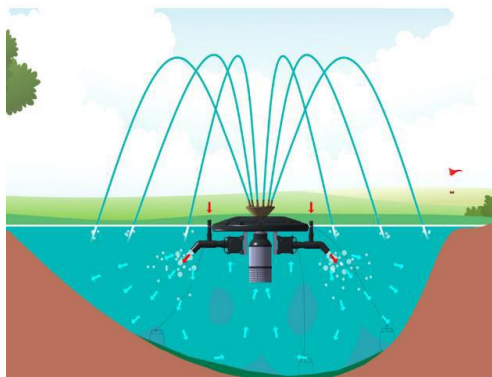


Figure 7 : Alimentation par batterie [15]



Figure 8 : Alimentation par plaques solaires [15]

III.3-/ les rideaux d'eau

La multitude de gouttelettes d'eau qui est pulvérisée vers le bas donne l'effet d'un rideau transparent ce qui permet de l'intégrer sans altérer l'aménagement de votre événement. Ils peuvent être utilisés en intérieur comme en extérieur en tant que support de projections d'images, de films ou de lumières. Ainsi, ils permettent l'apparition dans l'espace d'images fixes ou animées d'une excellente qualité avec un effet de relief et de dynamique. Aussi bien pour promouvoir votre société, pour lancer un nouveau produit ou encore marquer un événement particulier, les rideaux d'eau s'accordent à tous ces événements, et les rendent inoubliables.

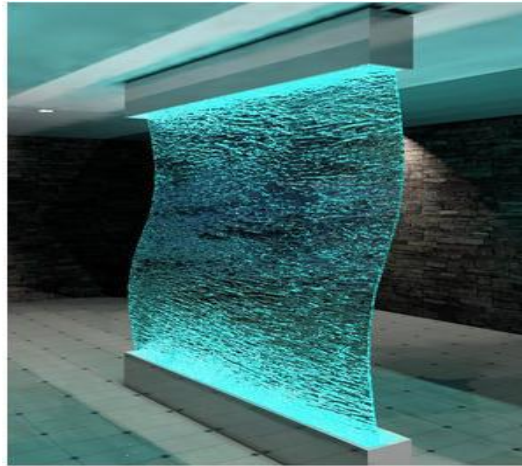


Figure 9 : Mur d'eau contemporain Commercial pour le hall de l'hôtel moderne Feng Shui excellente décoration [16]

III.4-/ fontaines à flamme

Déjà dans l'antiquité grecque, l'enseignement des quatre éléments jouait un rôle prépondérant. Tout être est constitué des quatre éléments qui sont le feu, l'eau, l'air et la terre. Le spectaculaire jet d'eau Fontaine à Flamme d'OASE unit deux éléments qui, à première vue, semblent opposés : le feu et l'eau dans une chorégraphie extraordinaire. Une flamme de gaz dansante au sommet d'un jet d'eau variable sous un ciel nocturne clair crée des effets spéciaux spectaculaires et dynamiques plus besoin de jeu de lumière.



Figure 10 : Fontaine à flamme – de l'eau qui brûle [16]

III.5-/ fontaine musicale classique

Elle est réalisée sur les étangs d'eau elle peut être avec musique ou sans permettant ainsi de réaliser les figures avec de l'eau et le jeu de lumière. L'eau réfracte et réfléchit la lumière et permet ainsi de produire des images en trois dimensions.



Figure 11 : Fontaine musicale de Roshen en Ukraine [16]

IV-/ QUELQUES EXEMPLES DE SYSTEMES DE CONTROLE/COMMANDE DES FONTAINES MUSICALES

Dans cette partie nous allons présenter quelque système de contrôle/commande des fontaines dansantes. Des systèmes modulaires (API) aux systèmes avec microcontrôleurs en passant des mini ordinateurs.

IV.1-/ système de contrôle/commande utilisant des automates programmables

Certaines entreprises à exemple de **AQUAPRISM** ou **SAFE RAIN** réalisent des fontaines musicales, en utilisant des modules (API) de la technologie DMX comme :

- Le contrôleur **PX340** et le **PX345** ce sont des véritables automates DMX dédiés au pilotage de lumière, fontaines animées ou shows musicaux. Ils sont entièrement programmables et paramétrables par vos soins grâce au logiciel fourni. Simples d'utilisation, le **PX340** peut s'interfacer facilement avec des détecteurs, boutons, un écran tactile... pour permettre la synchronisation des jets d'eau, de l'éclairage et de la musique. La création d'animations aquatiques devient sans limite grâce au pilotage des installations d'éclairage et de jeux d'eau complexes. Ces deux automates peuvent gérer tout appareil possédant une entrée DMX (bloc de commande pour projecteur LED, lecteur Mp3, gradateur,...). Grâce à l'interface **PX257** assortie, il est possible de commander tout élément tout ou rien[15].

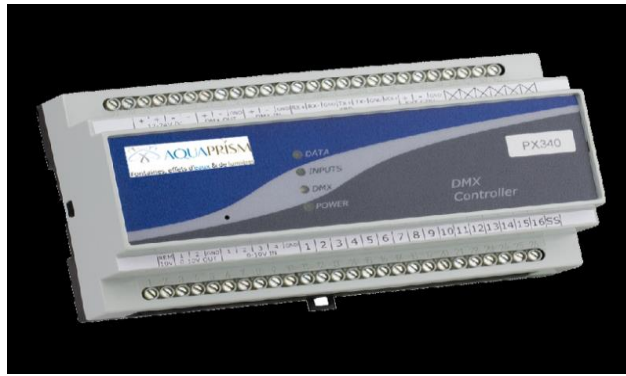


Figure 12 : Contrôleur de pilotage des fontaines musicales (PX340) [14]

- Les gradateurs (ou dimmers) avec entrées **DMX** et 2 x 0-10 V permettent de faire varier l'intensité de votre circuit d'éclairage halogène ou à incandescence. Ils permettent également d'alimenter les pompes monophasées pilotables. Grâce à l'entrée DMX, ces gradateurs s'intègrent simplement et rapidement au reste de votre installation DMX. Ils intègrent en plus une entrée 0-10 V par sortie ce qui permet l'utilisation couplée à des potentiomètre ou à une source 0-10 V extérieure. Les boutons des modules permettent de configurer l'adressage DMX, les pentes de montée et de descente et de choisir le mode de fonctionnement.



Figure 13 : Gradateurs (alimente les pompes monophasées pilotables) [14]

IV.2-/ système de contrôle/commande utilisant deux microcontrôleurs (raspberry pi raspi-hk et raspberry raspi-td) et une carte FPGA

Le projet consistait à visualiser le rythme d'une chanson à l'aide d'une robinetterie. Cela a été fait en utilisant une eau Métronome oscillant à base de fontaine entraîné par un servomoteur. La fontaine du métronome était conçue pour suivre le rythme de la musique. L'utilisateur utilise d'abord un script python pour convertir un fichier .wav en texte lisible. Le système prend alors à la fois le fichier .wav et le fichier .txt et les utilise pour contrôler le servomoteur et les haut-parleurs, respectivement.

a) Schéma de principe

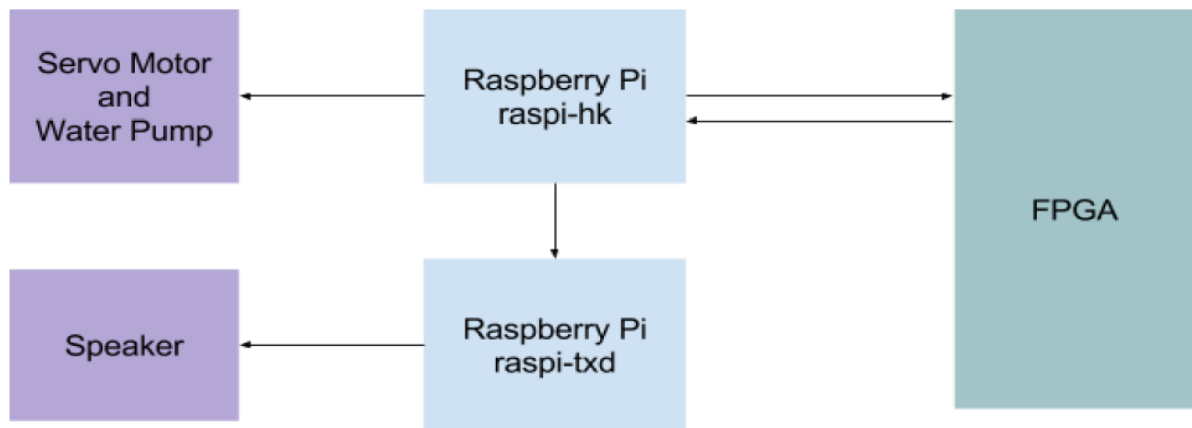


Figure 14 : Schéma bloc [18]

b) Principe de fonctionnement

Le système utilise des données de chansons pour créer un métronome de fontaine à eau. Pour ce faire, le Raspberry Pi raspi-hk prend un fichier de chanson wav. Un script python converti ensuite le fichier wav en format txt. Ces informations sont ensuite envoyées via une communication SPI à une carte FPGA. Le filtre FIR passe-bas d'ordre 15, écrit sur le FPGA, et filtre ensuite les données. Les informations sont ensuite renvoyées via SPI au Raspberry Pi. Le Pi utilise ensuite un algorithme C pour extraire le battement de l'ensemble de données filtrées. Le Pi actionne ensuite un servomoteur à temps et joue la chanson en même temps. Le FPGA gère la communication SPI et Filtrage FIR. Le Raspberry Pi effectue tous les autres traitements de données et asservissements. Le Pi gère aussi la communication en utilisant ssh au deuxième Pi qui joue le fichier son. Le servomoteur : le moteur utilisé est un moteur Hitec HS-311 standard avec une tension de 4,8V à 6,0V intervalle. Cela a permis au Pi d'alimenter et de contrôler le moteur. Ce moteur est contrôlé à l'aide du principe de la modulation de largeur d'impulsion (MLI).

IV.3-/système de contrôle/commande utilisant un microcontrôleur et les relais

Réaliser par **Tao Jin, Tyler Dolen, Vandya Swaminathan**. Le projet final est une fontaine d'eau musicale librement basée sur la fontaine en face du célèbre hôtel et casino **Bellagio**. L'idée de base du projet est de prendre une entrée d'un iPod (ou de n'importe quelle source sonore), d'échantillonner le son et de le décomposer en différentes « séquences » par Walsh Transform, puis d'utiliser la sortie pour activer diverses électrovannes. Nous avons d'abord utilisé un filtre passe-bas à deux étages, puis effectué des transformations de Walsh rapides sur la source sonore pour diviser les sons en différentes gammes de fréquences. Chaque gamme différente correspondra à une valve différente qui comprend une fontaine à eau musicale fonctionnant aux rythmes de la chanson.

La source sonore est divisée en plusieurs gammes de fréquences (échantillonnée) et chaque gamme commande une électrovanne. Pour l'échantillonnage de la source sonore ils ont utilisé la transformation de Walsh au lieu de la transformation de fourrier car celle-ci plus rapide et beaucoup plus facile à coder.

a) Schéma de principe

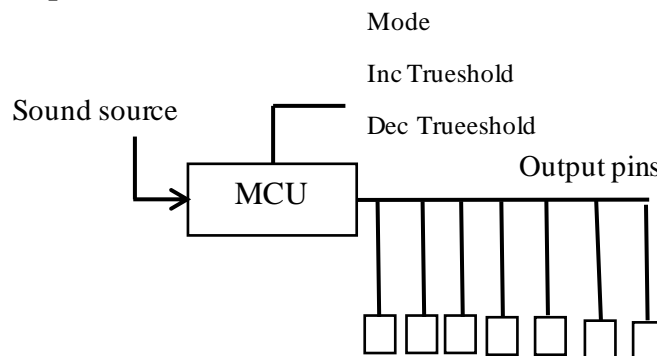


Figure 15 : Schémas de principe [17]

b) Partie du Schéma (commande des électrovannes)

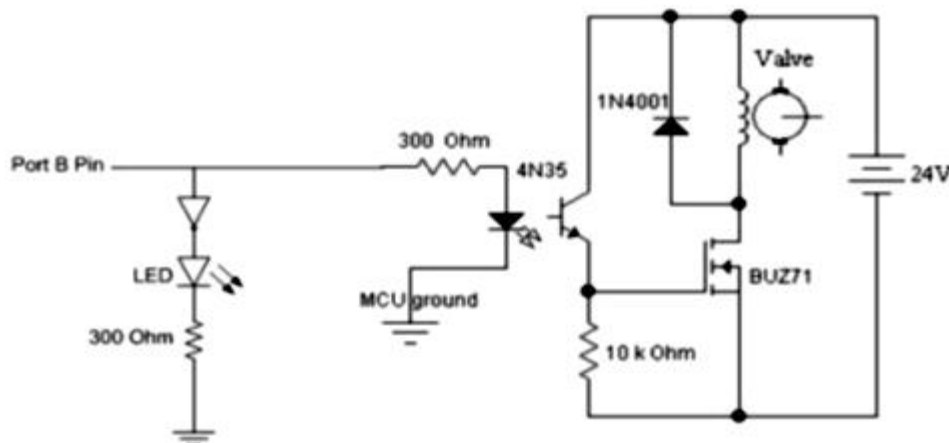


Figure 16 : Circuit de sortie (LED et opto isolateur) [17]

c) Fonctionnement

La sortie d'eau est permanente il ne reste qu'à commander les jets d'eau et les lumières. Comme le montre le schéma, selon le nombre de relais que nous avons, on aura une sortie du microcontrôleur qui commande chaque relais et la lumière. Ici le jeu des jets d'eau (figures) n'est pas fonction de la musique mais celle-ci joue librement. La remarque fait ici est qu'étant donné que l'ouverture et la fermeture des relais (électrovannes) est programmé et que la musique joue librement on va se retrouver une répétition de cycle (scénario) quelques soit la musique jouée.

IV.4-/ système de contrôle/commande utilisant un microcontrôleur et un capteur sonore

Réaliser par : **Sara Raad Qasim** du département Génie informatique, à l'Université Alfarabi Bagdad, Irak. Dans son projet elle utilise une carte ARDUINO UNO pour contrôler les vannes d'eau et les jeux de lumière et synchronisation avec la musique se fait via un capteur sonore.

a) Présentation du capteur de son

Rédigé et soutenu par **ZENEMANG Jean Fabrice**

Le capteur du détecteur de son est une petite carte qui combine un microphone et certains circuits de traitement ; il a la capacité de détecter différents sons (Notez que ce capteur sonore est utilisé pour détecter s'il y a du son ou non, il ne peut pas reconnaître la fréquence ou le volume). Ses broches et son diagramme sont montré dans la figure.

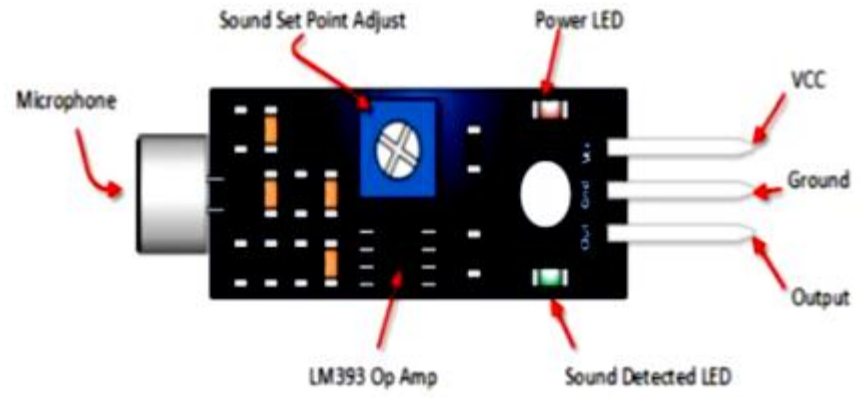


Figure 17 : Capteur sonore [13]

b) Schéma de principe

Le schéma de principe de la mini fontaine musicale est illustré à la figure ci-dessous

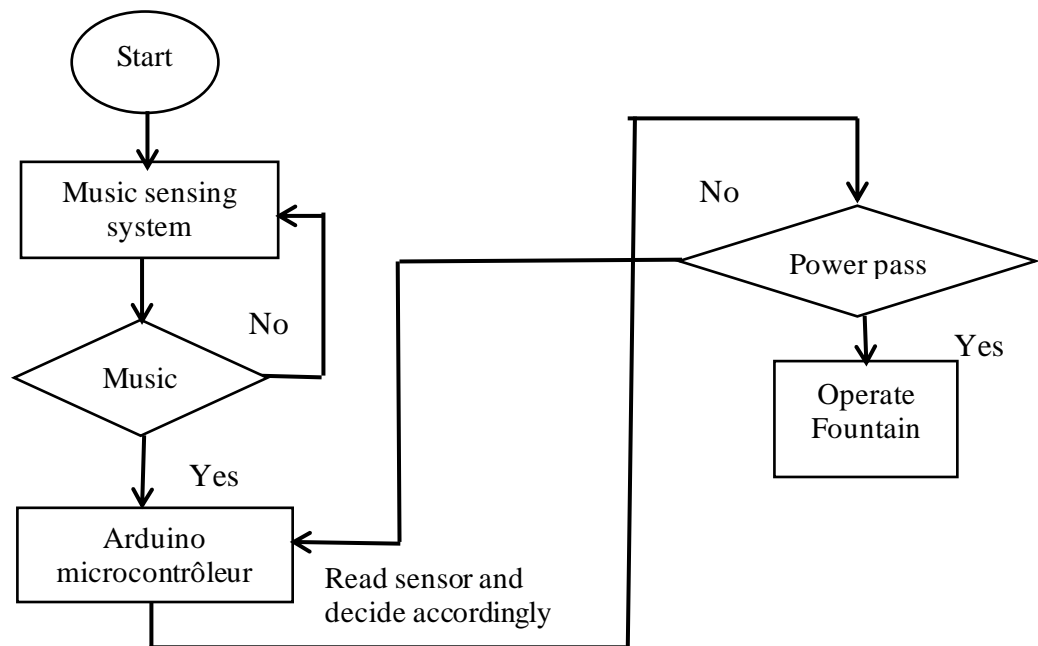


Figure 18 : Algorithmes de fonctionnement [13]

c) Fonctionnement

Dans son principe de fonctionnement, le capteur de son est utilisé pour les entrées du microcontrôleur. Lorsqu'il détecte un son il envoie un signal électrique sur sa broche **output** connecté sur une entrée du microcontrôleur. Donc la commande d'une des sorties (électrovannes, lumières) est fonction du fait qu'il y a un son ou pas. Sur ce projet nous sommes posés une question : au cas où nous avons plusieurs musiques jouées à proximité du capteur de son comment va se comporter la fontaine ?

Pourrions-nous avoir des belles figures fonction de la musique ? à ces questions nous trouvons les limites à ce système de contrôle/commande des fontaines musicale.

IV.5-/ système de contrôle/commande utilisant le microcontrôleur pic, un décodeur, un module RAM, un écran LCD et un lecteur d cartes

Le travail porte sur le développement de matériel informatique et de microprogrammes d'un système de commande et de pilotage électronique pour la fontaine dansante capables de gérer des scénarios d'eau et d'éclairage synchronisés avec des fichiers de musique mp3 stockés sur une carte SD externe (carte mémoire connectée au système conçu). L'unité de commande intelligente PIC-reproduit le fichier de musique lié à un scénario particulier et entraîne de manière synchronisée les phares à LED et les pompes à eau de la fontaine pour créer la lumière et le jeu des jets d'eau.

a) Schéma de principe

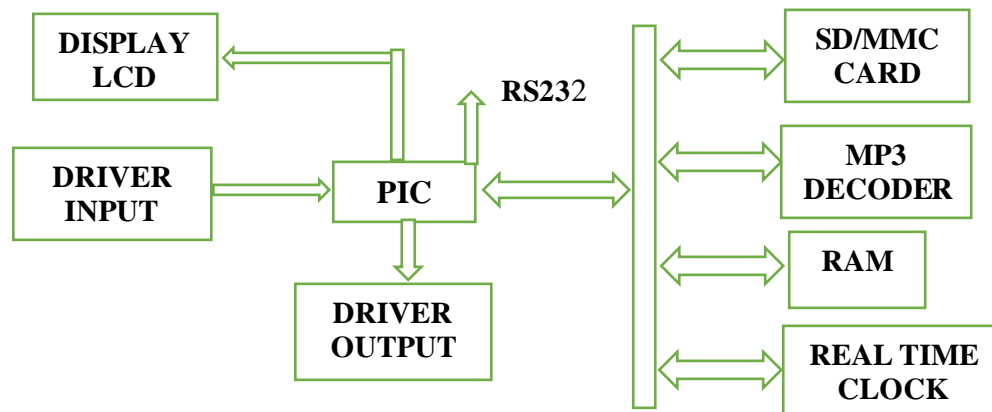


Figure 19 : Schéma bloc [27]

a) Description et rôle des éléments

- Une interface pour l'accès à la carte mémoire SD ;
- Un décodeur pour la reproduction des fichiers de musique ;
- Une horloge en temps réel pour le réglage de l'heure de début du scénario ;
- Une interface pour les entrées auxiliaires ;
- Un clavier et un écran LCD pour l'interface utilisateur ;
- Une interface série RS232 pour le système local surveillance ;

- Une interface de contrôle et de pilotage des sorties ;
- Un microcontrôleur pour la gestion du système et un Module de mémoire RAM.

b) **Fonctionnement du système**

Après le démarrage du système, la première étape consiste à définir le démarrage et donner l'heure du scénario souhaité. Quand le temps réel de l'horloge (RTC) signale au microcontrôleur cette heure de début, ce dernier a accès à la mémoire SD et trouve le fichier lié au scénario programmé et le copie dans le module de RAM. Par la suite, le microcontrôleur accède à nouveau à la mémoire SD, et trouve le fichier de musique associé au scénario et envoie son contenu au décodeur mp3. Le décodeur, qui a été mis en état d'écoute depuis la réinitialisation, démarre le décodage du flux de données et la reproduction de la musique. À la fois, Le micro logiciel du PIC lit, à partir du module de RAM, le fichier de scénario et, sur la base de celui-ci, met à jour les sorties du système pompes de remorquage et commandes des phares associées, évidemment synchroniser cette opération avec la musique reproduite. La remarque à faire ici est le grand nombre d'équipements (voir description et rôle des éléments). Ce grand nombre d'équipements fait en sorte que la réalisation soit complexe et nécessite un peu plus grand nombre des connaissances dans la programmation. Les différents scénarios sont programmés avec une chanson précise ce qui limiterait le nombre de musiques ainsi que de scénarios (fonction de la mémoire).

Au terme de ce chapitre dans lequel nous avons présentés l'évolution des fontaines musicales et donné quelques travaux similaires à l'étude que nous menons. Il en ressort que les fontaines musicales existent depuis des siècles et participent à la décoration des milieux où elles sont installées. Elles sont de plus en plus acquérant en fonction du système de contrôle/commande et participent aujourd'hui à la création d'emploi (création de centre de loisir) Par la suite nous entrerons dans le cadre conceptuel où nous présenterons le matériels essentiels (pour le système de contrôle/commande) et les méthodes nous permettant de concevoir notre fontaine musicale pour nos sites touristique et espace publique.

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

Après avoir présenté la fontaine musicale dans les généralités, son principe de fonctionnement et les techniques les plus récentes utilisées pour son contrôle et sa commande, ici allons exprimer les besoins fonctionnels afin de déterminer les caractéristiques que doivent satisfaire les composants ainsi que les méthodes pour la réalisation de notre projet. Ensuite, nous allons aborder la partie conception qui présente l'étape la plus importante pour le développement de n'importe quel projet.

I- MATERIELS

Pour réalisation de ce travail nous avons eu recours à plusieurs matériels mais nous ne présenterons que le matériel l'essentiel.

I.1- PROTEUS

Isis Proteus est un logiciel de développement et de simulation d'application via un environnement graphique simple et interactif. Le lancement de PROTEUS donne un environnement classique de type Windows, constitué d'une fenêtre principale, et d'un ensemble de barres d'outils. Outre le menu classique permettant la gestion des fichiers, de l'affichage, et des options des projets, la fenêtre principale comprend une zone de travail destinée au développement des circuits à simuler et à tester. Une Bibliothèque d'objets affiche la liste des objets (circuits électriques, électroniques,) utilisés dans l'application en cours. Les différentes Touches magnéto-scope constituées des raccourcis permettant le lancement de la simulation, ainsi que la mise en pause, l'exécution pas à pas, et l'arrêt de la simulation. La figure suivante nous présente ledit environnement.

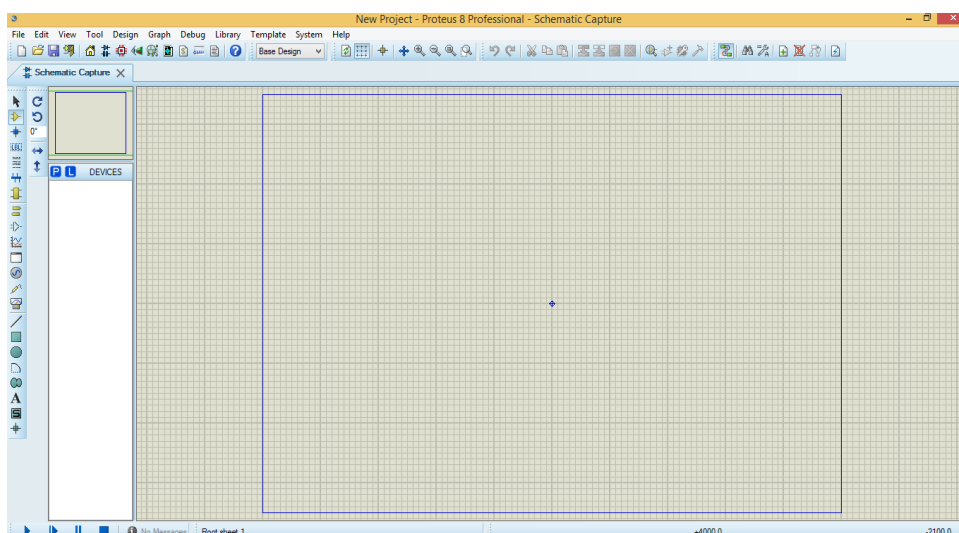


Figure 20 : Environnement de travail sur Proteus [26]

La barre d'outils principale est présentée par la figure ci-après :

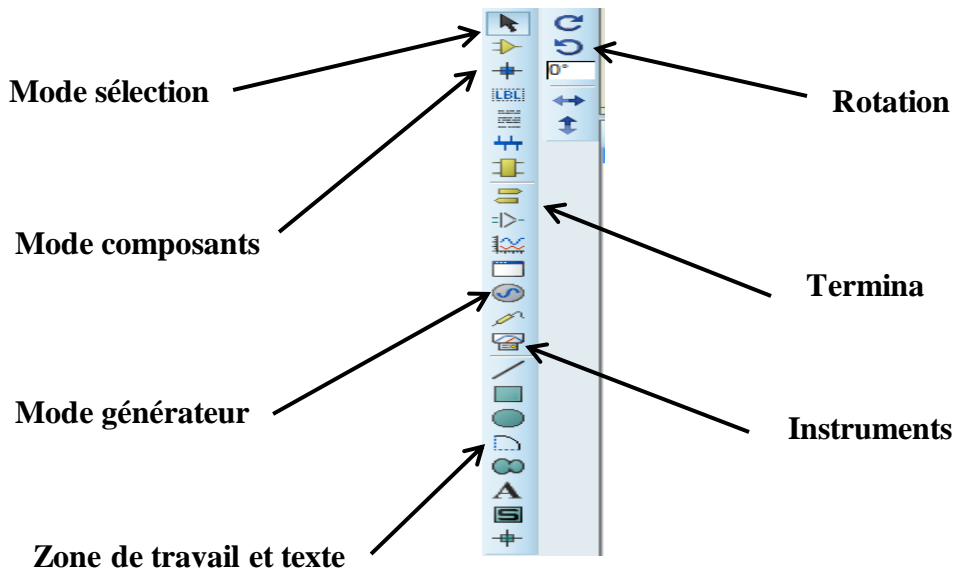


Figure 21 : Barre d'outils [26]

La boîte verticale de boutons, comprend les principaux raccourcis nécessaires au développement rapide d'applications. En plaçant le curseur de la souris sur un bouton, sans cliquer, une info-bulle affiche le nom du bouton, dont les plus importants sont :

- Component mode (Mode Composant), Un clic sur ce bouton puis (Component from libraries), permet l'ajout de différents composants ;
- Generator Mode (Mode Générateur) permettant l'accès aux différents types de générateurs ;
- Instruments : un raccourci permettant l'ajout des appareils de mesure tels que le voltmètre, l'ampèremètre, et l'oscilloscope ;
- Terminal : permettant d'ajouter des points particuliers dans un schéma tels que les entrées/sorties ou Gnd.



La barre de menu représentée sur la figure suivante :



Figure 22 : Barre de menu d'ISIS PROTEUS [26]

Cette barre permet de gérer le travail (ouverture, sauvegarde, impression, mode d'affichage, etc.).

Avant de commencer un projet, vous devez d'abord précharger et mettre en attente les différents composants que vous comptez utiliser. Il est néanmoins possible de les charger plus tard. Les composants disponibles sont regroupés dans des bibliothèques classées par thèmes.
























Pour charger un composant, cliquer sur l'icône  "Composant de la barre d'outils de sélection de modes.  Appuyer sur la touche P du sélecteur d'objets, la fenêtre "Pickdevices" apparaît. Celui-ci sera ajouté dans la liste "Device" du sélecteur d'objets.

Pour lancer une simulation.

- Placer le curseur au-dessus du graphe ;
- Appuyer sur la barre d'espace.

Nous proposons par la suite une figure qui montre toutes les icônes possibles de PROTEUS


Tableau 1 : Tableau des icônes de PROTEUS [26]

MODE PRINCIPAL		MODE GADGETS		MODE GRAPHIQUE	
	Composants		Terminal		Ligne
	Point de jonction		Patte de composant		Rectangle
	Label de fil		Graphe		Cercle
	Script de texte		Cassette		Arc
	Bus		Générateurs		Chemin
	Sous circuit		Sonde de tension		Texte
	Édition		Sonde de courant		Symbole
			Appareils		Marqueur origine


1) EDITION DE CIRCUIT IMPRIME ET IMAGE EN 3D AVEC ARES DE PROTEUS

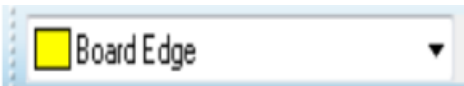
Début de création du circuit imprimé

a) un composant Cliquer sur le bouton  « Composants », puis le placer dans la zone de travail

b) une piste : Pour tracer une piste, cliquer sur bouton  piste des outils de placement et de routage

Création d'un typon

a) Cliquer sur l'un des boutons du mode graphique 

b) Sélectionner le mode de traçage des bordures. 

c) Utiliser les outils graphiques pour dessiner les contours du circuit (la forme doit être fermée).

La page d'accueil d'ARES PROTEUS est représentée par la figure suivante :

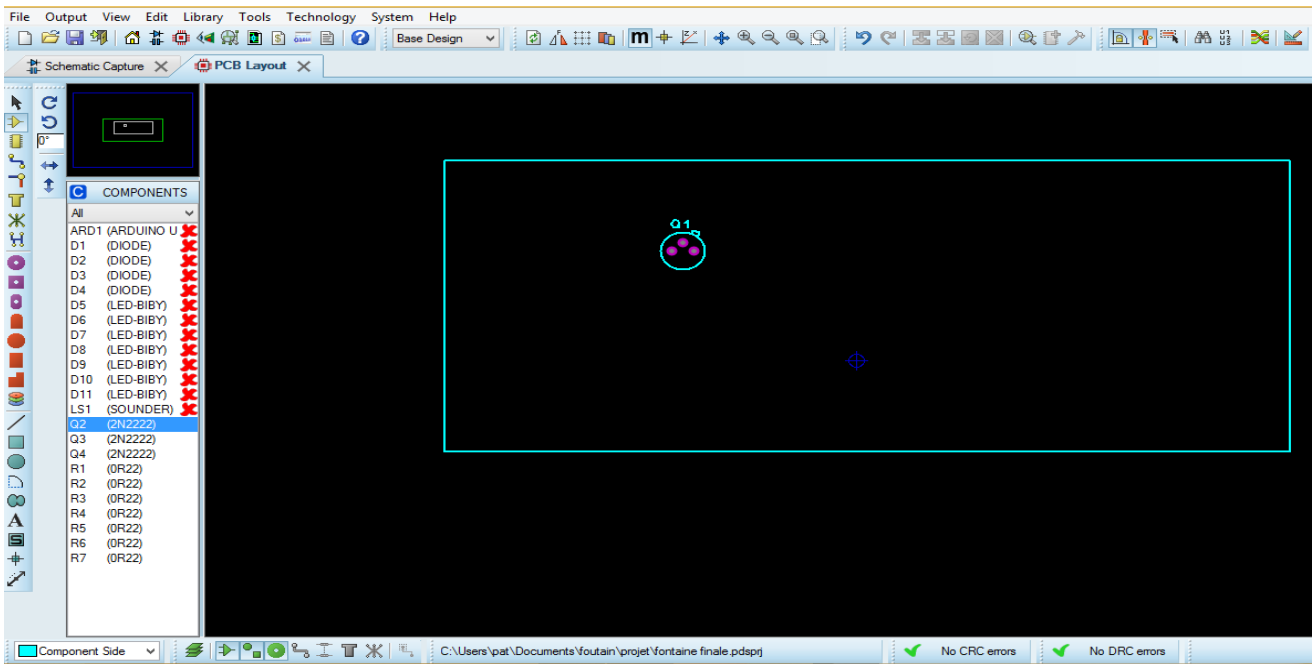


Figure 23 : Environnement ARES [26]

I.2-/ ARDUINO

L'interface du logiciel Arduino se présente de la façon suivante :

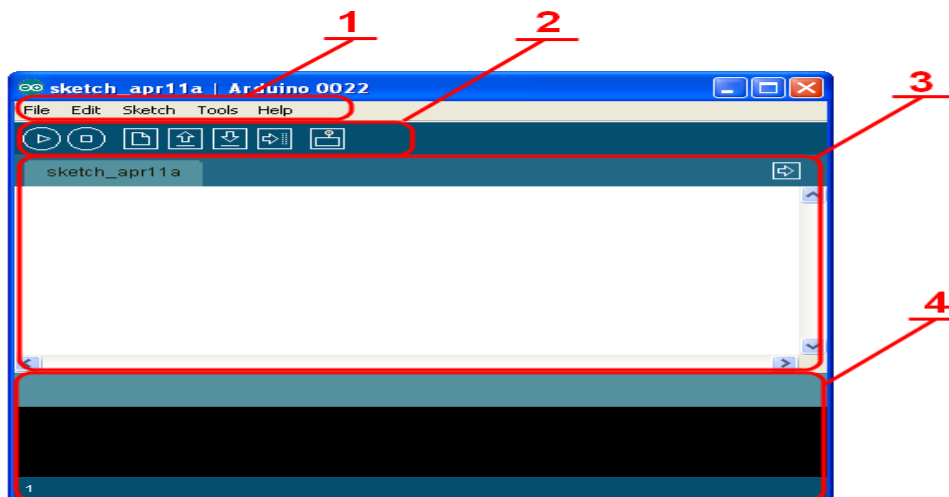


Figure 24 : Environnement de programmation Arduino [19]

1. options de configuration du logiciel
2. boutons pour la programmation des cartes
3. programme à créer
4. débogueur (affichage des erreurs de programmation)

Le menu File dispose d'un certain nombre de choses qui vont être très utiles :

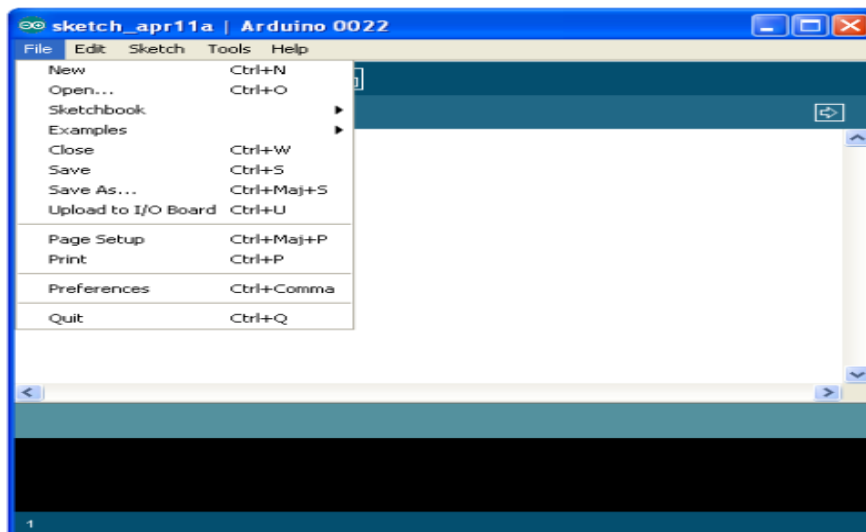


Figure 25 : Le menu d'Arduino [19]

- New (nouveau) : va permettre de créer un nouveau programme. Quand on appuie sur ce bouton, une nouvelle fenêtre, identique à celle-ci, s'affiche à l'écran.
- Open... (ouvrir) : avec cette commande, on peut ouvrir un programme existant.
- Save / Save as... (enregistrer / enregistrer sous...) : enregistre le document en cours / demande où enregistrer le document en cours.
- Examples (exemples) : ceci est important, toute une liste se déroule pour afficher les noms d'exemples de programmes existant.

Les boutons



Figure 26 : Barre des tâches d'Arduino [19]

1. permet de vérifier le programme, il actionne un module qui cherche les erreurs dans le programme
2. Créer un nouveau fichier
3. Sauvegarder le programme en cours
4. Liaison série

5. Stopper la vérification
6. Charger un programme existant
7. Compiler et envoyer le programme vers la carte

Le langage Arduino

Le projet Arduino était destiné à l'origine principalement à la programmation multimédia interactive en vue de spectacle ou d'animations artistiques. C'est une partie de l'explication de la descendance de son interface de programmation de Processing. Processing est une librairie java et un environnement de développement libre. Le logiciel fonctionne sur Macintosh, Windows, Linux, BSD et Android.

Références :

- Le langage Java.
- Le langage C.
- L'algorithmique.

Cependant, le projet Arduino a développé des fonctions spécifiques à l'utilisation de la carte qui ont été listées ci-dessous. Vous obtiendrez la description de chacune d'elles dans le manuel de référence.

Tableau 2 : Fonctions spécifiques à l'utilisation de la carte [19]

Structure	Constants	Fonctions
<ul style="list-style-type: none"> • setup() • loop() 	<ul style="list-style-type: none"> • HIGH, LOW • INPUT, OUTPUT, INPUT_PULLUP • LED_BUILTIN 	<p>E/S numérique</p> <ul style="list-style-type: none"> • pinMode() ; • digitalWrite() • digitalRead() <p>E/S analogique</p> <ul style="list-style-type: none"> • analogReference() ; • analogRead() • analogWrite() – PWM <p>E/S avancée</p> <ul style="list-style-type: none"> • tone() ; • noTone() • shiftOut() ; • shiftIn() • pulseIn() <p>Temps</p> <ul style="list-style-type: none"> • millis() ; • micros() • delay() ; • delayMicroseconds() <p>Bits et octets</p> <ul style="list-style-type: none"> • lowByte() ; • highByte() • bitRead() ; • bitWrite() • bitSet() ; • bitClear() • bit() <p>Interruptions externes</p> <ul style="list-style-type: none"> • attachInterrupt() ; • detachInterrupt() <p>Interruptions</p> <ul style="list-style-type: none"> • interrupts() ; • noInterrupts() <p>Communication</p> <ul style="list-style-type: none"> • Serial ; • Stream

I.2-/ outils physiques

La réalisation d'un projet a pour base le cahier des charges du projet qui définit les attentes à la fin du projet. Pour ce projet nous comptons réaliser un prototype de fontaine dansante avec une hauteur de chute maximal égale à 1 mètre, avoir 4 sorties d'eau de nature différente et de couleur différente ayant au centre le microcontrôleur Arduino qui gère la commande du système et utiliser la méthode de la modulation en largeur d'impulsion (MLI) ou (PWM).

I.2.1-/ carte Arduino UNO

Nous avons opté utiliser le microcontrôleur Arduino de la famille ATMEGA car son utilisation (programmation) est plus aisée par rapport aux autres microcontrôleurs [18]. Dans la famille Arduino notre choix a été porter sur la carte ARDUINO UNO par rapport à sa disponibilité sur le marché camerounais et ayant comme les autres les fonctionnalités donc nous allons utiliser. Elle a pour rôle de faciliter l'interfaçage entre la partie matérielle et la partie logicielle d'un système d'acquisition avec la possibilité d'une communication USB ou RS32 sous une tension d'alimentation comprise entre 5V et 12V. Elle a un processeur de 16MHz avec 13 entrées/sorties numériques et 6 entrées analogiques.

✓ Constitution

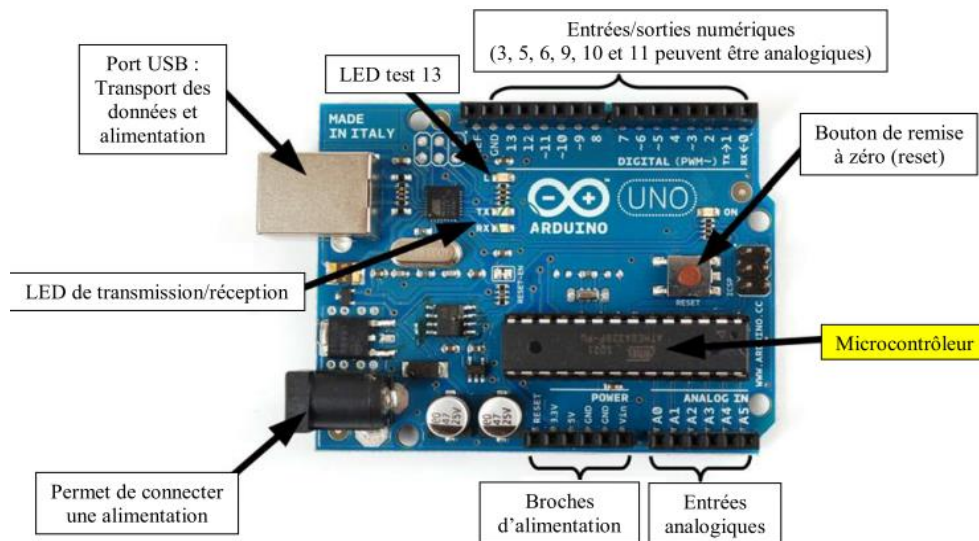


Figure 27 : Carte Arduino [19]

Les caractéristiques de notre carte sont :

- Microcontrôleur : Atmega328 ;
- Tension d'alimentation interne (microcontrôleur) = 5V ;
- Tension d'alimentation (recommandée)= 7 à 12V, limites =6 à 20 V ;
- Entrées/sorties numériques : 14 dont 6 sorties PWM ;
- Entrées analogiques = 6 (avec une résolution de 10 bits => 1024 valeurs différentes) ;

- 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.

I.2.2-/ La motopompe (moteur à courant continu)

La pompe à eau est un dispositif qui permet de déplacer un fluide par la force centrifuge du moteur (à courant continu ou à courant alternatif) accouplé à la pompe. Notre choix s'est porté sur motopompe DC c'est-à-dire à courant continu car la commande en vitesse de ces derniers est plus aisée [22]. Elles sont de deux types : pompe sèche (hors du fluide) et pompe immerisible (dans le fluide) et fonctionnent généralement sur 3-6 ; 12 ; 24 ou 32 volts en courant continu. Leur principal avantage est qu'elles peuvent fonctionner directement à partir d'une batterie, ce qui les rend plus pratiques et portable. Ils sont plus faciles à utiliser et à contrôler. Nous avons préféré la motopompe immergée pour les besoins d'esthétique. Elle est de type **Machifit JT80SL** et se présente comme suit :

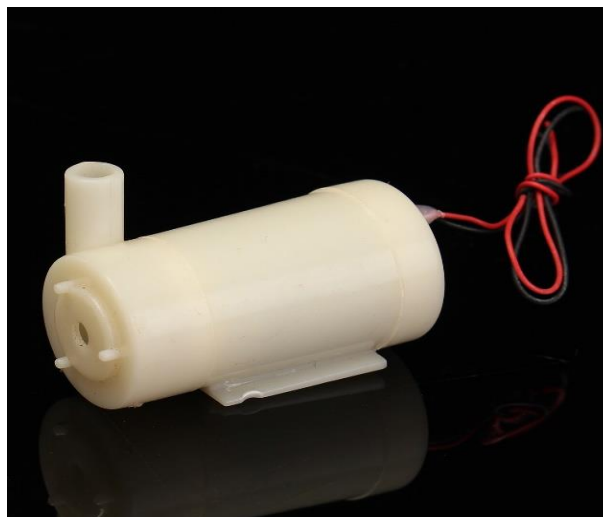


Figure 28 : Pompe immerisible [19].

Ces caractéristiques sont :

Tableau 3 : Caractéristiques de la motopompe [19].

Modèle	JT80SL
Longueur	56 mm (avec entrée d'eau)
Diamètre	24 mm
Poids	30 g
La taille	33 mm (inclut la sortie d'eau)
Arrivée d'eau	Diamètre extérieur : 6.8 mm diamètre intérieur : 4,5 mm
Eau sortie	Diamètre extérieur : 7 mm diamètre intérieur : 4,5 mm
Gamme de tension	DC 2.5-6V
Courant de fonctionnement	130mA-2A
Tête hydraulique	40-110 cm
Couler	80-120 l / h
Puissance	0.4-1.5

Pour commander automatiquement (sans intervention de l'homme) la variation de la motopompe DC, il existe plusieurs interrupteurs dont le transistor bipolaire ; le transistor à effet de champ ; et le relais. Mais ici nous allons parler d'un seul (notre choix) : **le transistor bipolaire**. Les trois peuvent bien servir pour la commande du moteur en vitesse par le principe de la MLI mais le choix sur le transistor bipolaire par ce qu'il est robuste par rapport au MOSFET très fragile [19]. Ayant donc un courant de 40mA en entrées/sorties de la carte Arduino UNO et une tension continue de 5V. Pour commander donc nos motopompes il nous faut les transistors de puissance qui seront le canal entre la partie commande et la partie puissance qui peut supporter un courant max (courant de base I_B) de 40 mA et une tension (tension collecteur/émetteur maxi de 5V) et une tension $V_{CC} = 5V$ car la motopompe est alimentée à 5V. Les constructeurs donnent en général les valeurs ci-dessous à ne pas dépasser afin d'éviter la détérioration du transistor choisi.

I.2.3-/ le transistor bipolaire

- V_{CE0} ou V_{MAX} : Tension collecteur/émetteur maxi (à $V_{BB} = 0$)
- V_{BE0} : Tension base/émetteur maxi
- $I_C \text{ max}$: Courant maxi dans le collecteur
- P : Puissance maxi que peut dissiper le transistor (avec $P = V_{CE} \cdot I_C$).

Le transistor choisi est 2N2222-331

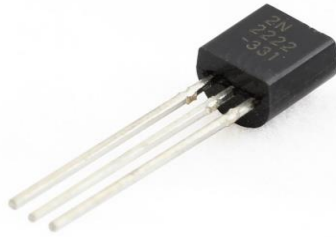


Figure 29 : Transistor bipolaire [28]

Donc les caractéristiques sont :

Tableau 4 : Caractéristiques du transistor [28]

Symbol	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	MAX	UNIT
V _{CBO}	Collector-base	Open emitter	-	60	V
	2N2222			75	V
V _{CEO}	Collector-emitter	Open base	-	30	V
	voltage			40	V
	2N2222				
	2N2222A				
I _C	Collector current (DC)		-	800	mA
P _{tot}	Total power dissipation	T _{amb} ≤ 25 °C	-	500	mw
h _{FE}	DC current gain	I _c = 10mA ; V _{CE} = 10 V	75	-	
F _t	Transition frequency	I _c = 20mA ; V _{CE} = 20 V ; f = 100MHz			
	2N2222				
	2N2222A		300	-	MHz
t _{off}	Turn-off time	I _{con} =150mA ; I _{Bon} =15mA ; I _{Boff} = -15mA	-	250	ns

I.2.4-/ Diode roue libre

La diode de roue libre est nécessaire pour protéger contre une surtension lors de l'ouverture (transistor ouvert) d'une charge inductive. La diode de roue libre permet la continuité du courant dans la bobine du relais et évite toute surtension aux bornes du transistor qui pilote cette bobine. La diode de roue libre se connecte en parallèle avec la charge inductive pour la continuité du courant électrique dans l'inductance. Elle doit donc supporter la tension d'alimentation du moteur. Donc le choix de la diode s'est porté sur celle capable de supporter une tension de 5V et un courant de 220 mA. La diode

Rédigé et soutenu par ZENEMANG Jean Fabrice

choisie est celle de la série 1N400x qui présente des tensions inverses maximum selon le x. Cela va de 50V pour la 1N4001 à 1000V pour la 1N4007.les caractéristiques sont :

Tableau 5 : Caractéristiques de la diode [28]

Tension inverse maximum	75V à 100V
Courant moyen direct maximum	1-5A
Courant crête direct maximum	5A
Tension de seuil	0,7V

I.2.5-/ Ruban à LEDS

La diode électroluminescente (LED) est une source de lumière à semi-conducteur qui émet de la lumière lorsqu'un courant électrique la traverse. Elles sont souvent utilisées dans les systèmes d'éclairage où une large gamme de LED blanches est utilisée. Toutefois, les diodes colorées sont utilisées de plus en plus, principalement pour l'éclairage intérieur ce qui fournit des effets esthétiques intéressants. Les diodes RGB sont une solution la plus avancée ; la couleur de ce type de diodes peut être contrôlée en atteignant presque toutes les couleurs de la lumière dans le visible. Le ruban LED RGB standard utilise un système composé de trois diodes LED (rouge, verte et bleue). Ce système peut produire une large gamme de couleurs, en mélangeant les trois couleurs mentionnées et en fournissant une lumière presque blanche, mais même lorsque toutes les trois diodes LED sont éclairées à leur luminosité maximale, la couleur obtenue n'est pas du tout idéale. Pour ces raisons **les rubans LED RGB + W** sont utilisés dans lesquels il y a quatre diodes : LED RGB et une diode blanche supplémentaire électroluminescente. Le ruban RGBW est présenté sur la figure ci-dessous.



Figure 30 : Ruban à LEDS [29]

Les caractéristiques sont présentées sous le tableau ci :

Tableau 6 : Caractéristiques du ruban à LED [29]

Type de led	5050 SMD
Couleur	RGBW (Blanc Chaud 3000K)
Nombre de led par mètre	60 leds/m
Nombre de lumens par mètre	1200 LM
Puissance par mètre	14,4 watts/m
Courant	1.2 A/m
Durée de vie	50 000 heures
Largeur ruban	12 mm
Alimentation	DC 12V

La variation de couleurs de rubans **RGB** se définit sur le tableau ci-dessous selon les couleurs que l'on veut faire ressortir ceci suivant une ligne de code :

Tableau 7 : Code de couleur des RGB [29]

	Red	Green	Blue
Red	255	0	0
Orange	255	128	0
Yellow	255	255	0
Green	0	255	0
Cyan	0	255	255
Blue	0	0	255
Violet	128	0	255
Magenta	255	0	255
White	255	255	255
Gray	128	128	128

II-/ METHODES

L'objectif de notre projet est de réaliser un prototype de fontaine dansante dont le principe de fonctionnement se résume à : variation des jets d'eau (commande en vitesse du moteur accouplé à la pompe ; commande des électrovannes) ; jeu de lumière mais tout ceci au rythme de la musique. Nous faisons donc recours à la commande électronique des machines plus précisément les méthodes de variation de vitesse des moteurs à courant continu : **Commande en Modulation en Largeur d'Impulsion (MLI)**.

II.1-/Présentation des motopompes : partie du moteur à courant continu

Le moteur à courant continu est plus facile à traiter lorsque la vitesse doit varier sur une grande plage. En effet, la machine à courant alternatif requiert une commande beaucoup plus complexe pour réaliser un entraînement à vitesse variable et le convertisseur doit fournir une tension alternative d'amplitude et de fréquence variable [20]. Ces inconvénients réduisent donc son attrait dans les applications à vitesse variable, malgré les avantages qu'elle possède sur la machine à courant continu : robustesse et coût moindre, grâce à l'absence de collecteur, poids réduit [21]

Le choix d'un moteur à courant continu s'est donc imposé comme la meilleure solution pour le réglage de la vitesse et du couple mécanique, et d'un usage courant dans les systèmes et applications autonomes-voitures, perceuses etc... Afin de permettre l'analyse d'un entraînement basé sur un moteur à courant continu, la constitution et la principale caractéristique mécanique et électrique de ce moteur sont présentées

II.1.2-/Description d'un moteur à courant continu

Un moteur à courant continu est une machine électrique. Il s'agit d'un convertisseur électromécanique permettant la conversion bidirectionnelle d'énergie entre une installation électrique parcourue par un courant continu et un dispositif mécanique, d'où l'énergie électrique est transformée en énergie mécanique, donc c'est une machine réversible.

II.1.3-/Constitution d'un moteur à courant continu

Il est constitué d'une partie fixe, stator ou inducteur composé d'aimants permanents (pôles) chargés de générer un flux magnétique. Il porte également la partie porte-balais et balais qui assure les contacts électriques avec le rotor ; et d'une partie mobile, rotor ou induit, composé d'un bobinage alimenté à ses extrémités (collecteur) par une tension continue. Le collecteur est une bague constituée de plusieurs lamelles en cuivre qui frottent sur les balais pour alimenter les bobines [22].

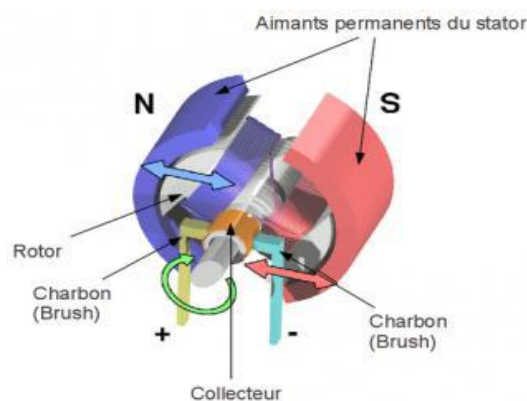


Figure 31 : Schéma d'un moteur à courant continu [22]

II.1.4-/Type de moteur à courant continu

Les moteurs à courant continu se classent selon le mode de branchement de l'enroulement d'excitation par rapport à l'induit, on a donc des machines à :

Rédigé et soutenu par ZENEMANG Jean Fabrice

- Excitation séparée ;
- Excitation shunt ;
- Excitation série ;
- Excitation composée.

Le moteur à excitation shunt : l'inducteur et l'induit sont branchés en parallèle ; il possède les mêmes propriétés que le moteur à excitation séparée du fait que, dans les deux cas, l'inducteur constitue un circuit extérieur à celui de l'induit.

– **le moteur à excitation série** : l'inducteur et l'induit sont connectés en séries ; C'est donc le même courant d'induit I qui engendre à la fois le flux magnétique et le couple électromagnétique.

– **le moteur à excitation composée (compound)** : C'est une combinaison des excitations Shunt et Série, une partie de l'excitation est montée en série avec l'induit et l'autre partie montée en parallèle avec cet induit. La Modélisation d'un moteur à courant continu à aimant permanent (cas du moteur à utiliser) se présente par : une résistance r en série avec une inductance L , et force électromotrice E du moteur :

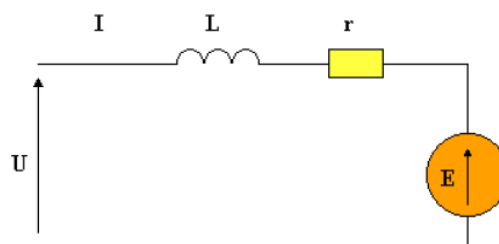


Figure 32 : Modélisation du moteur à courant continu [22]

$$U = E + ri + L \frac{di}{dt}$$

Par les lois de l'électromagnétisme on sait que : $E = k \cdot \omega$. La force électromotrice est proportionnelle à la vitesse. $C_p = k \cdot i$. Le couple est proportionnel à l'intensité.

En régime établi, l'intensité i est constante (donc $di/dt = 0$) et $E = U - r \cdot I$. Conséquences sur la vitesse

$$W. \quad \omega = \frac{E}{K} = \frac{U - rI}{K}$$

La vitesse de rotation ω en rd/s dépend de la tension U et du courant I . Pour modifier la vitesse de rotation d'un moteur, il faut faire varier la fem E en agissant soit sur :

- La tension U : Commande en tension ;
- Le courant I : Commande du couple.

Nous allons utiliser la commande en tension : La commande MLI (**M**odulation en **L**argeur d'**I**mpulsions) car celle-ci permet de commander le moteur par la sortie numérique d'un microcontrôleur.

II.2-/Modulation en largeur d'impulsion

La modulation de largeur d'impulsion (MLI) est une technique utilisée en électronique de puissance pour convertir une tension continue en tension continue (conversion DC-DC) ou une tension continue en tension alternative (conversion DC-AC).

Définition :

La **MLI** est un signal numérique, donc la tension peut prendre deux valeurs seulement voire **figure 31**. Cela consiste à alimenter le moteur avec une tension en créneaux voire **figure 32**. La tension moyenne dépend alors du rapport cyclique.

$$U_{\text{moy}} = \frac{t_h U}{T} \quad \text{avec } \alpha = \frac{t_h}{T} \quad \text{soit } U_{\text{moy}} = \alpha U$$

- Si $t_h = 0$ alors $\alpha = 0\%$ et la tension moyenne de sortie est nulle.
- Si $t_h = T$ alors $\alpha = 100\%$ et la tension moyenne de sortie est égale à V_{cc} .

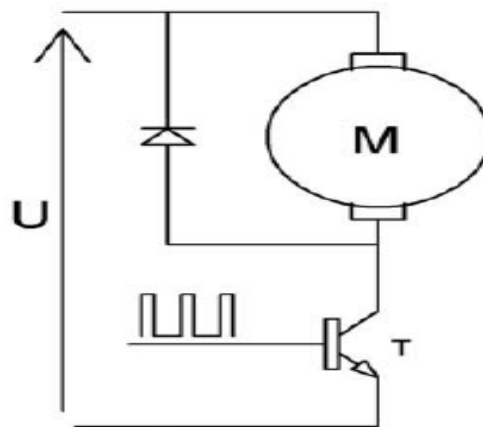


Figure 33 : Moteur commandé par MLI [23]

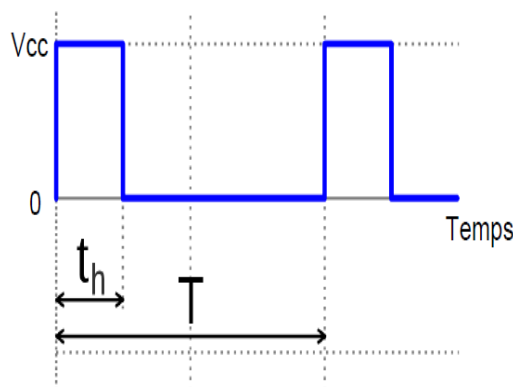


Figure 34 : Signal MLI généré [23]

La commande d'un actionneur de puissance par **MLI** est très liée à la notion de fréquence. Pour que l'impression d'une valeur moyenne constante d'allumage apparaisse, il faut que l'alternance d'allumage/extinction soit suffisamment rapide pour qu'elle ne se remarque pas. Selon les utilisations la fréquence du **MLI** va de 100 Hz à 200 kHz (100 cycles par seconde).

II.2.2-/Principes de la commande MLI

Le signal de référence de commande est obtenu par l'échantillonnage d'un signal sinusoïdal dont la fréquence est la plus haute dans l'intervalle à balayer. Le signal échantillonné sera donc constitué de S segment d'égale durée. Chaque segment sera converti en une impulsion dont le rapport cyclique détermine l'amplitude instantanée. Chaque impulsion est convertie en une forme numérique pour représenter les états de fermeture et d'ouverture des interrupteurs de puissance (ton, toff) [23]

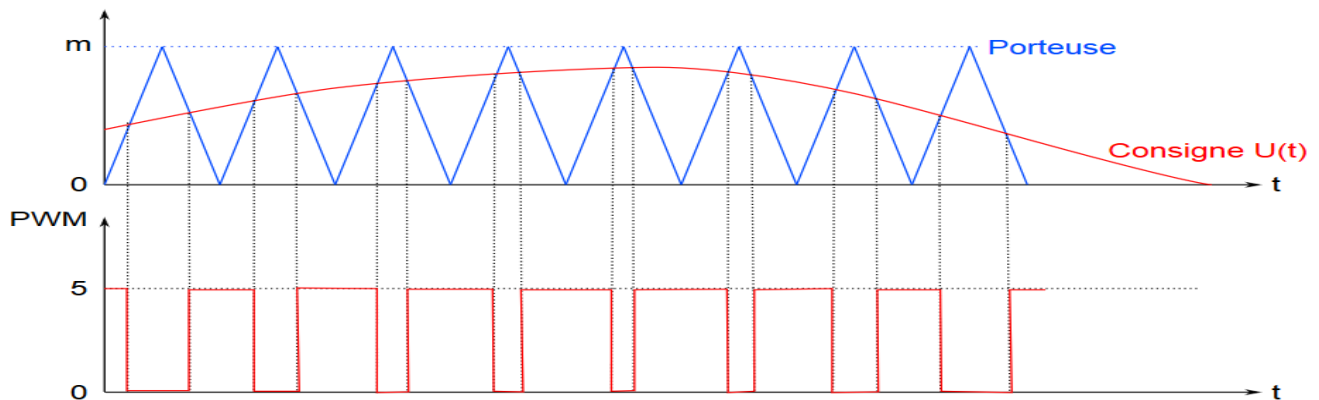


Figure 35 : Principe de la MLI [23]

Le signal MLI est alors un signal carré dont le rapport cyclique est $\alpha=U_0/m$, où **m** est la valeur maximale de la porteuse. La moyenne de ce signal carré est précisément égale à U_0 . Lorsque la consigne est lentement variable par rapport à la porteuse, il faudra appliquer un filtrage passe-bas pour restituer les variations de basses fréquences de la consigne. En pratique, le signal MLI est utilisé pour commander un circuit de puissance travaillant en commutation, et le filtrage passe-bas est assuré par une bobine en série avec la charge. Dans tous les cas, le principe du périphérique ou du programme d'émulation consiste à générer un signal périodique à assez haute fréquence et à générer des impulsions à 1, dont le rapport entre la durée et la période, est égal à la valeur moyenne souhaitée par rapport à la valeur maximum du signal :

$$\frac{T_{on}}{T} = \frac{N}{N_{max}}$$

Le principe est de créer un signal logique (valant 0 ou 1), à fréquence fixe mais dont le rapport cyclique est contrôlé numériquement, la valeur moyenne de ce signal étant une grandeur analogique, égale au produit du rapport cyclique par l'amplitude maximale du signal.

$$.Vmoy = \frac{1}{T} (\int_0^{T_{on}} E dt + \int_0^{T_{off}} 0 dt) = \frac{1}{T} E . T_{on} = E . \frac{T_{on}}{T} = E . \frac{N}{N_{max}}$$

La variation de la vitesse est donc fonction de la durée d'alimentation du moteur à sa tension maximale (variation du rapport cyclique). Voir la figure ci-dessous :

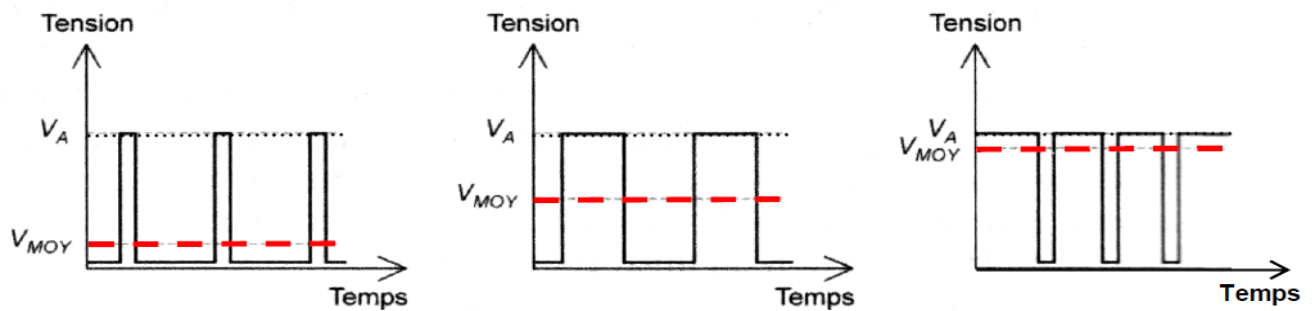


Figure 36 : Variation du rapport cyclique [23]

II.3-/Technique utilisée

Nous avons vu dans la revue de la littérature (chapitre I), quelques techniques que d'autres chercheurs utilisent pour réaliser leur système de contrôle/commande d'une fontaine musicale. Dans le cadre de notre projet nous allons utiliser la technique du groupe de **Tao Jin, Tyler Dolen, Vandya Swaminathan** dans ce sens que nous allons utiliser la tension aux bornes du haut-parleur. Mais alors au lieu de transformer le signal électrique à l'entrée des haut-parleurs nous allons utiliser le signal analogique (tension) puis par le principe de la commande MLI commander nos différents moteurs et électrovannes. Le schéma de principe est le suivant.

II.3.1-/Schéma synoptique

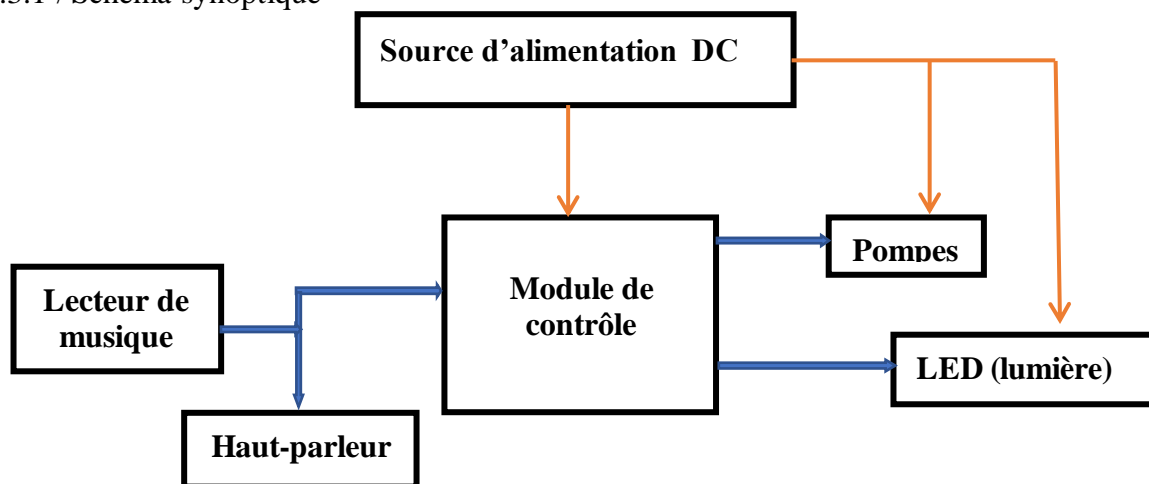


Figure 37 : Synoptique du système de contrôle/commande de notre fontaine musicale

Description des différents blocs du synoptique :

- **Le lecteur de musique** : il ne fait pas parti du système de contrôle l'on pourra utiliser n'importe quel appareil de musique. Il suffira de se rassurer que la tension de sortie de l'amplificateur pour le haut-parleur n'exerce pas 5V.
- **Le module de contrôle/commande** : il représente le microcontrôleur (carte Arduino) qui gère le contrôle et la commande de tous les autres éléments de notre système.

- **Les LEDS (ruban à LED)** : ils assurent l'éclairage et la variation de couleurs des jets d'eau pour une bonne décoration.
- **Les pompes** : assurent la propulsion de l'eau vers les conduits.

Après la présentation des différents blocs du schéma fonctionnel nous passons à l'implantation du schéma sur le logiciel Proteus. Mais avant comme le montre le schéma bloc nous allons utiliser le signal de la sortie d'un appareil de musique vers un haut-parleur afin de savoir quelle est la nature de ce signal

II.3.2-/ Nature du signal à la sortie d'un appareil de musique ou entrée d'un haut-parleur

Lorsqu'un appareil de musique fonctionne, pour que nous puissions suivre le son ce dernier subit une série de transformation et de traitement.

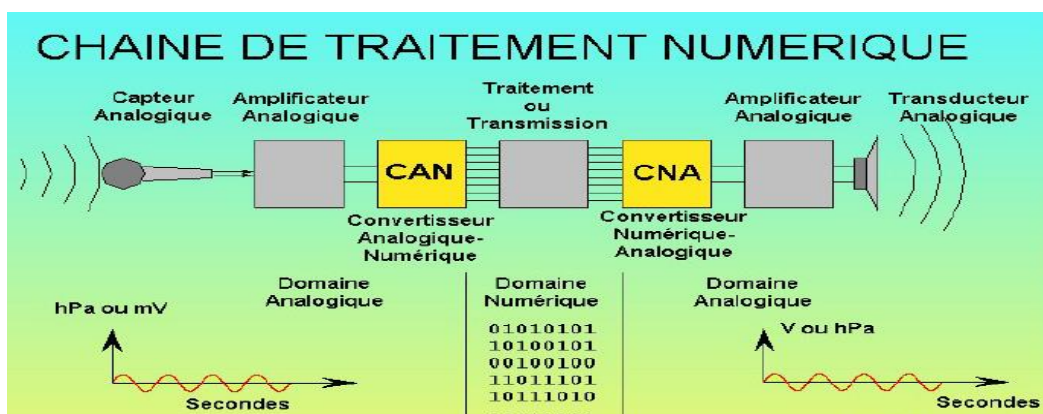


Figure 38 : Traitement du son [24].

La figure ci-dessus montre les étapes de traitement du son et nous voyons que le signal à l'entrée du haut-parleur est un signal analogique et c'est donc ce signal que nous allons utiliser pour la commande de notre système. Dans le principe de fonctionnement d'un haut-parleur ce signal est un signal électrique (courant continu). Il est fonction de l'amplificateur du lecteur de musique en question. Un haut-parleur est un transducteur électroacoustique destiné à produire des sons à partir d'un signal électrique. Son principe de fonctionnement est présenté ci-dessous :

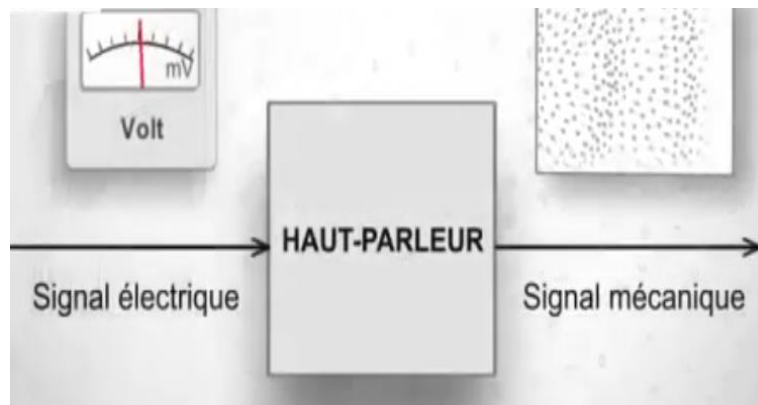


Figure 39 : Principe de fonctionnement d'un haut-parleur [25]

Son fonctionnement se résume sur les images ci-dessous :

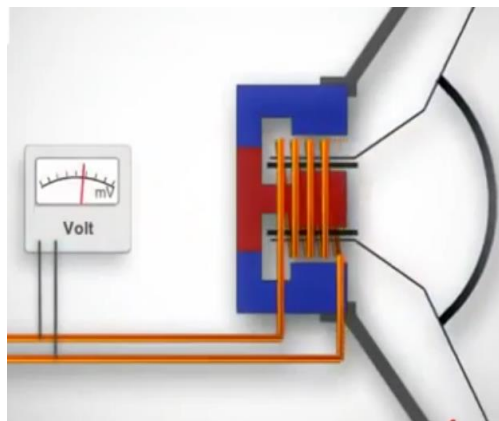


Figure 40 : Mesure de tension [25]

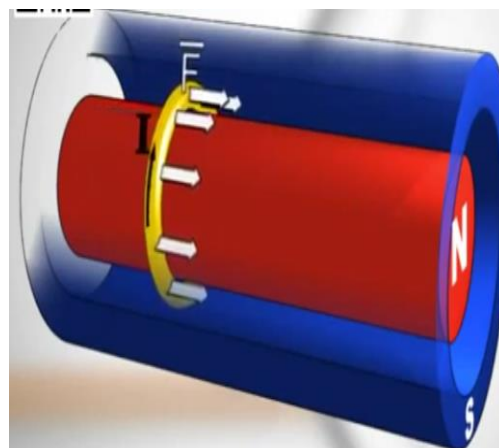
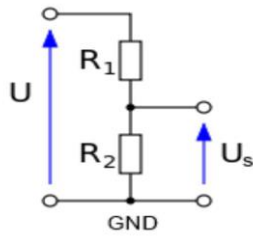


Figure 41 : Circulation du courant [25]

Dans le cadre de notre projet nous utiliserons le lecteur de musique avec batterie (enceinte **Bluetooth4.2 JBL 4**) d'une puissance de 20 w. dont nous allons mesurer la tension de l'amplificateur afin de pouvoir l'adapter avec la valeur normalisée par Arduino (0 V à 5V). Si celle-ci est supérieur à 5 V nous utiliserons un pont diviseur de tension. Il s'agit en fait de diviser notre signal par un certain ratio afin de l'adapter aux contraintes d'entrées du convertisseur. Nous aurons un schéma comme suit :



Connaissant les valeurs U (tension de sortie de l'amplificateur et d'entrée du haut-parleur) et U_s (tension d'entrée du microcontrôleur) nous pouvons choisir nos résistances afin d'avoir U_s souhaité.

$$U_s = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U$$

Figure 42 : Pont diviseur de tension.

Avec le logiciel nous faisons une simulation des mesures de tension aux bornes du haut-parleur tout en ayant déjà fixé l'amplitude en tension de la sortie de l'amplificateur à 5v.

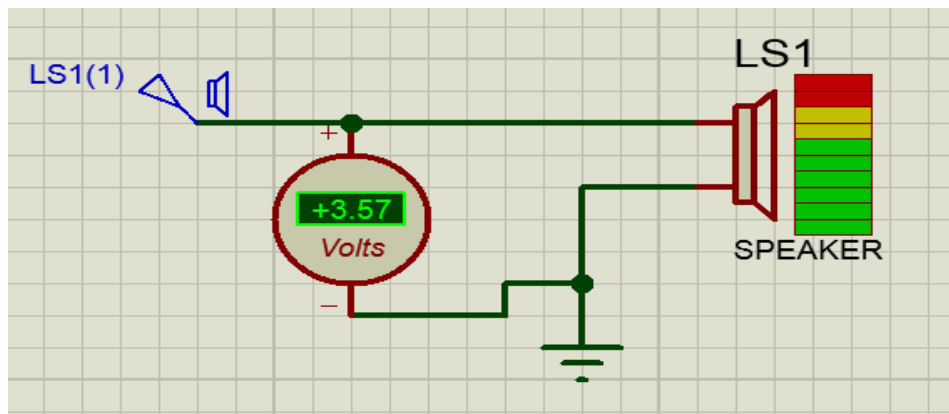


Figure 43 : Tension aux bornes du haut-parleur

Nous avons préféré travailler avec le signal analogique car avec ce dernier nous pouvons avoir une série de valeurs au lieu d'un état haut et bas comme avec le signal numérique. Néanmoins nous savons que la carte Arduino ne peut délivrer en entrée/sortie qu'un courant max par broches de 40 mA et une tension d'alimentation interne de 5V de ce fait nous devons nous rassurer que le signal venant de l'appareil de musique vers le haut-parleur ne dépasse pas 5V. Cette partie du schéma va se présenter comme suit.

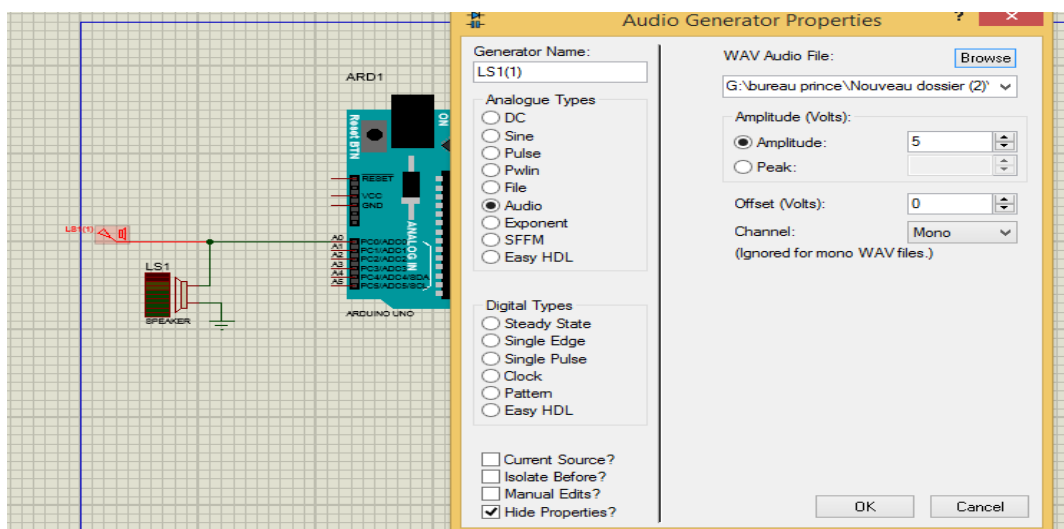


Figure 44 : Configuration de la source sonore

II.3.2-/ algorithme du fonctionnement de notre prototype de fontaine dansante

Notre algorithme se base sur la comparaison des valeurs de la tension à l'entrée analogique A0. La condition vérifiée il exécute une action définie dans le programme.

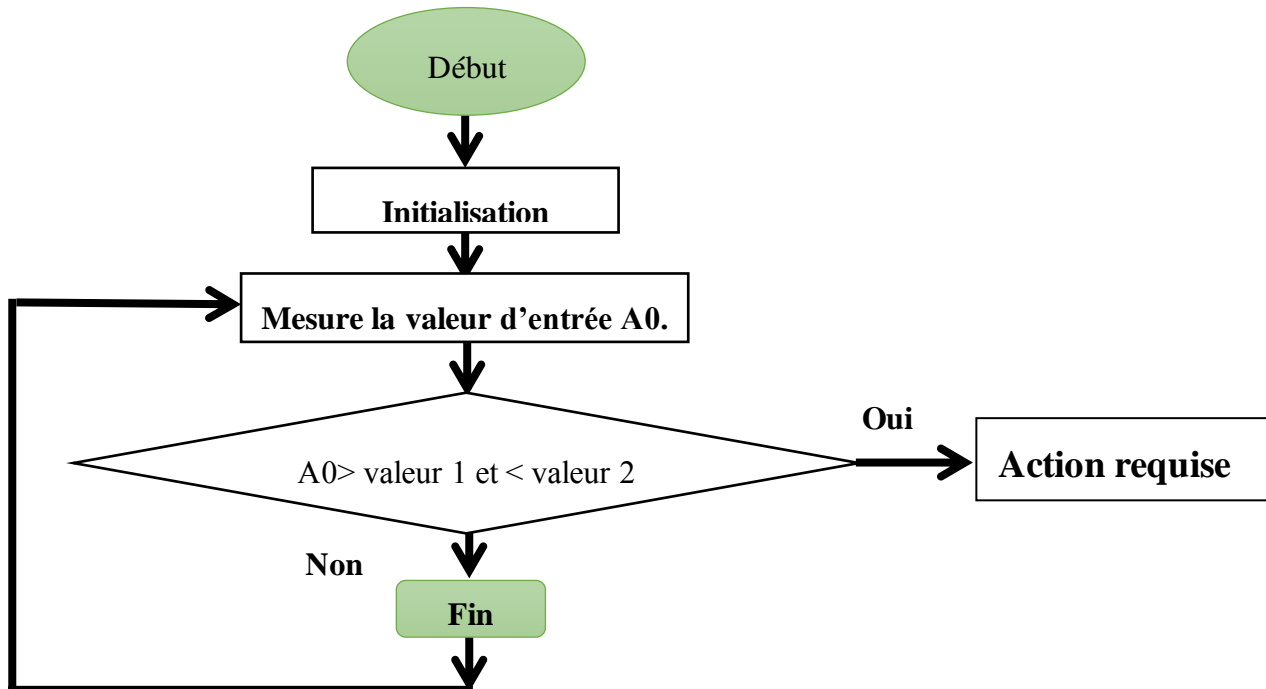


Figure 45 : Algorithme complet du fonctionnement du système

Ce chapitre consistait dans un premier temps à présenter le matériel devant utilisés pour la réalisation du projet et par la suite donner les méthodes. Nous sommes partis de la technique utilisée par le groupe **de Tao Jin, Tyler Dolen, Vandya Swaminathan** Mais nous avons utilisé le signal analogique sans l'échantillonner comme dans le projet du dit groupe car sachant que les entrées/sorties d'une carte Arduino peuvent fonctionner en entrées/sorties numérique comme en entrées/sorties analogique. Et lieu de commander juste les ouvertures des conduits d'eau (électrovannes) tout en ayant une sortie d'eau constant nous avons préféré utiliser le principe de la modulation en largeur d'impulsion afin que la variation des jets d'eau soit directement liée par la variation de la vitesse des moteurs accouplés à la pompe. Le principal intérêt de ce projet réside dans sa simplicité et sa facilité de mise en œuvre. Par la suite nous vous présenterons les différents résultats obtenus.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Dans ce chapitre, il sera question pour nous de présenter les résultats obtenus et faire une interprétation de ces différents résultats. Après le synoptique présenté précédemment, à base du logiciel **Proteus 8** professionnel, nous avons réalisé le schéma du système de contrôle/commande de notre fontaine dansante qui sera présenté de façon détaillée.

I-PRESENTATION DU SCHEMA DU SYSTEME DE CONTROLE/COMMANDE

Le fonctionnement de notre système repose sur trois opérations (jeu de lumière ; variation de la vitesse ; fermeture) dont une est la fondamentale : la condition sur la valeur de tension à l'entrée A0. Le schéma de l'ensemble se présente comme suit :

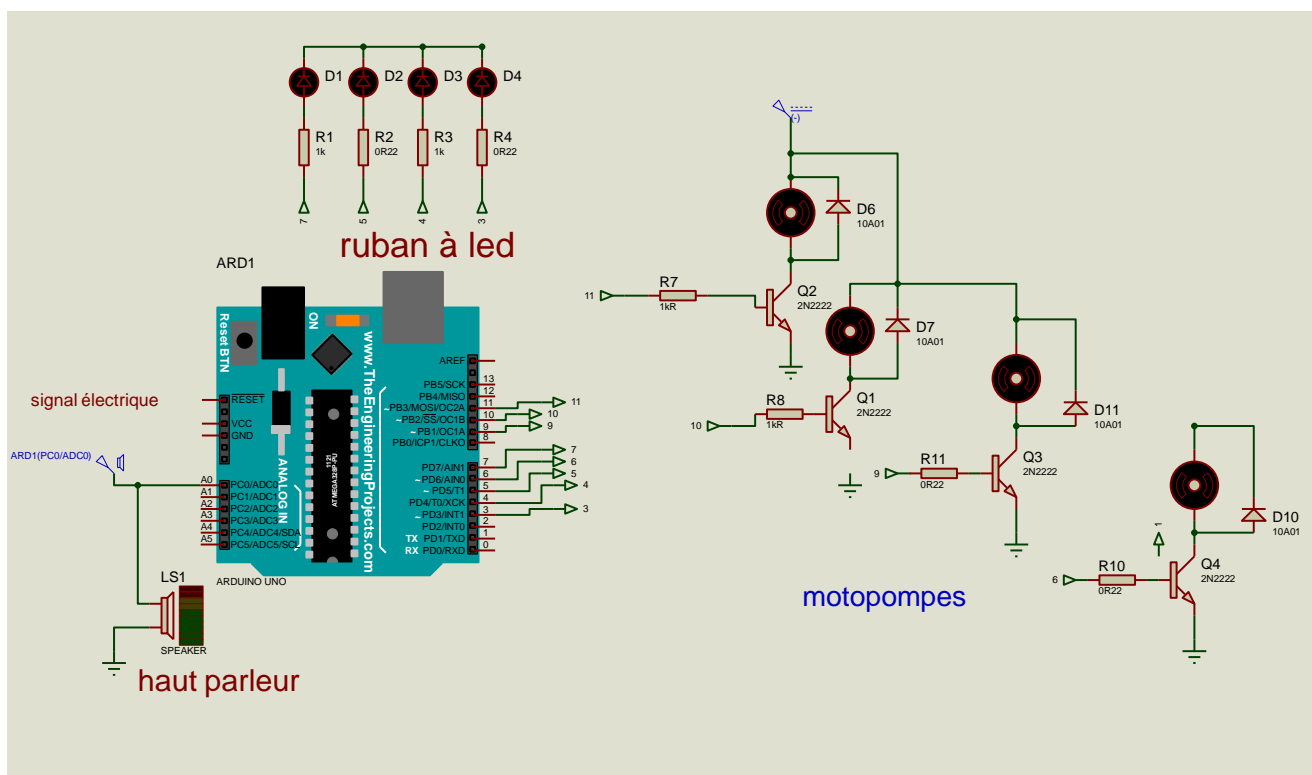


Figure 46 : Schéma complet du système de contrôle/commande

I.1.-/ Mesure de la tension de sortie de l'amplificateur et d'entrée d'haut-parleur

Pour cela, nous avons procédé de deux manières : dans un premier temps, mesure avec le logiciel Proteus et ensuite avec l'appareil de musique utilisé pour le projet. Avec la mesure dans le logiciel, nous avons premièrement fixé la tension de sortie de l'amplificateur à 5V voir deuxième chapitre et aussi capté la nature de cette tension selon la musique jouée. La valeur numérique variée entre +5V et -5V. Les résultats obtenus sont les suivants :

a) Mesure virtuelle

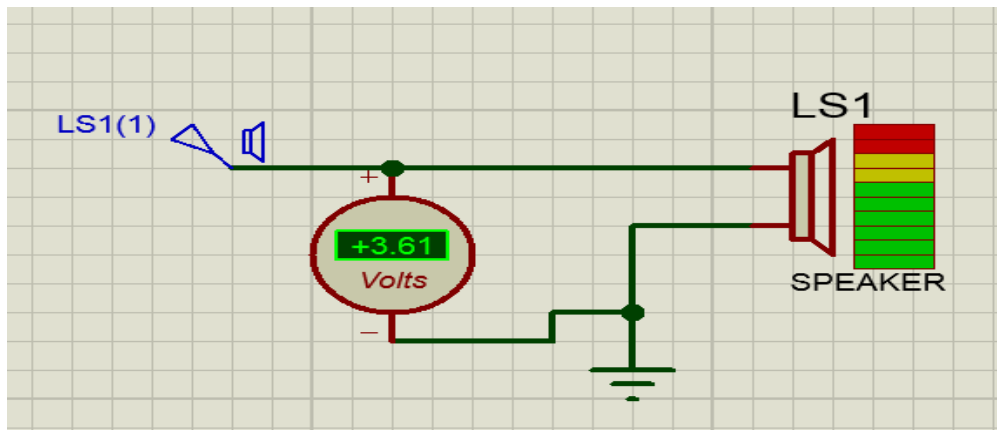


Figure 47 : Valeur de la tension d'entrée du haut-parleur

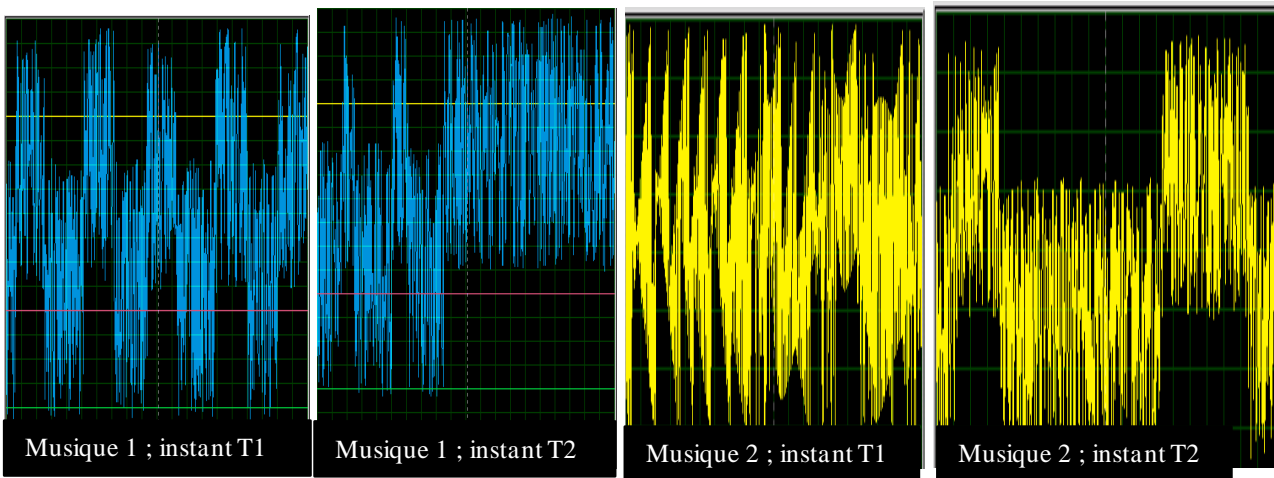


Figure 48 : Nature de tension d'entrée du haut-parleur selon la musique jouée

Ce signal doit être redresser puis filtrer avant d'être envoyé sur les entrées du microcontrôleur.

b) Mesure réelle

Pour la mesure réelle nous avons uniquement les valeurs numériques. Nous utilisons un multimètre numérique avec l'appareil de musique ayant une batterie de type : **Bluetooth4.2 JBL4**



Figure 49 : Mesure de la tension d'entrée du haut-parleur

La valeur de la tension de sortie de l'amplificateur et de l'entrée du haut-parleur est fonction du volume. Donc pour que la tension varie un peu plus il faut que le volume soit élevé.

II. DESCRIPTION DU SCHEMA COMPLET DU SYSTEME DE CONTROLE/COMMANDE

II.1-/ Schéma de montage : partie jeux de lumières

Le jeu de lumière permet ici d'apporter une décoration sur les différents jets d'eau. Le schéma est le suivant :

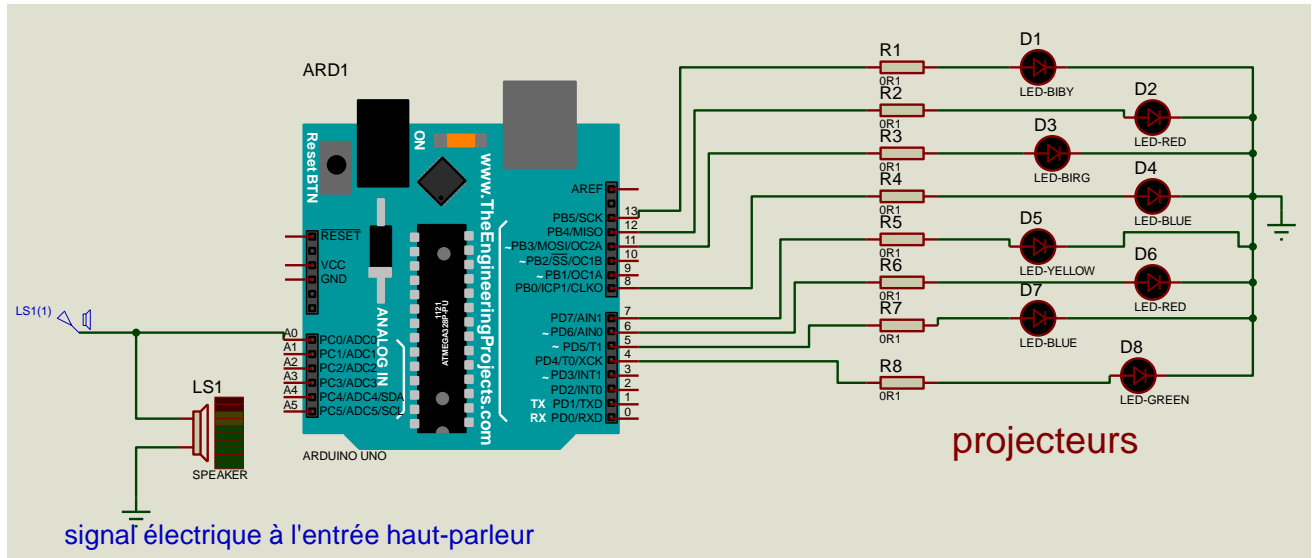


Figure 50 : Partie jeu de lumière par le ruban RGBW

L'allumage d'une ou d'une autre LED est conditionné par la valeur de tension à l'entrée A0 et le microcontrôleur pourra envoyer un ordre d'allumage ou d'extinction. Les courbes ci-dessous représentent les ordres de commande à des instants différents.

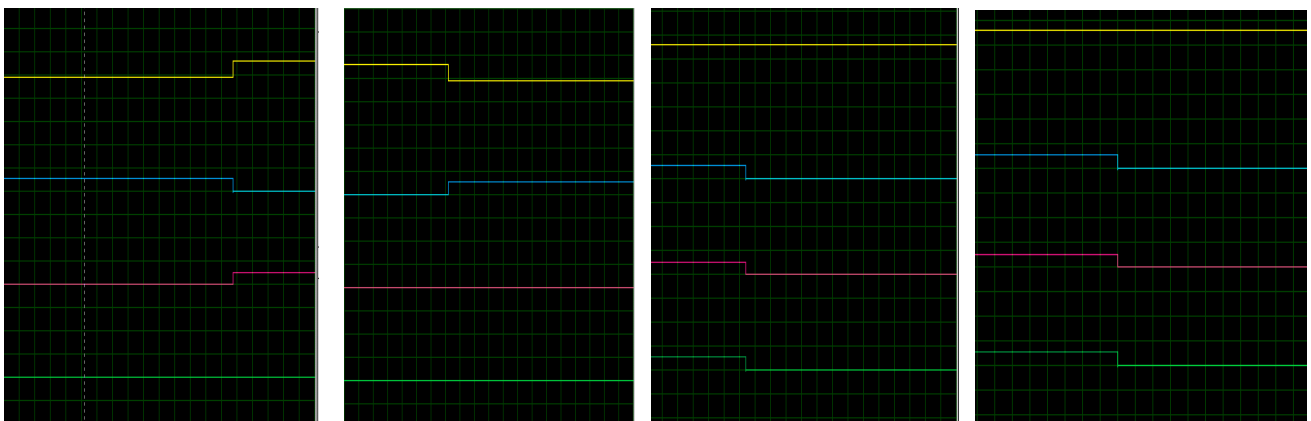


Figure 51 : Courbes des ordres de commande du ruban à LEDs

A la place des projecteurs nous avons utilisé le ruban à LED RGBW. Il fait varier les couleurs des led selon qu'il reçoit les ordres de commandes suivant le code de couleur voire tableau 7.

II.2-/ Schéma de montage partie variation des motopompes

La variation de la hauteur des jets est fonction de la vitesse de la motopompe.

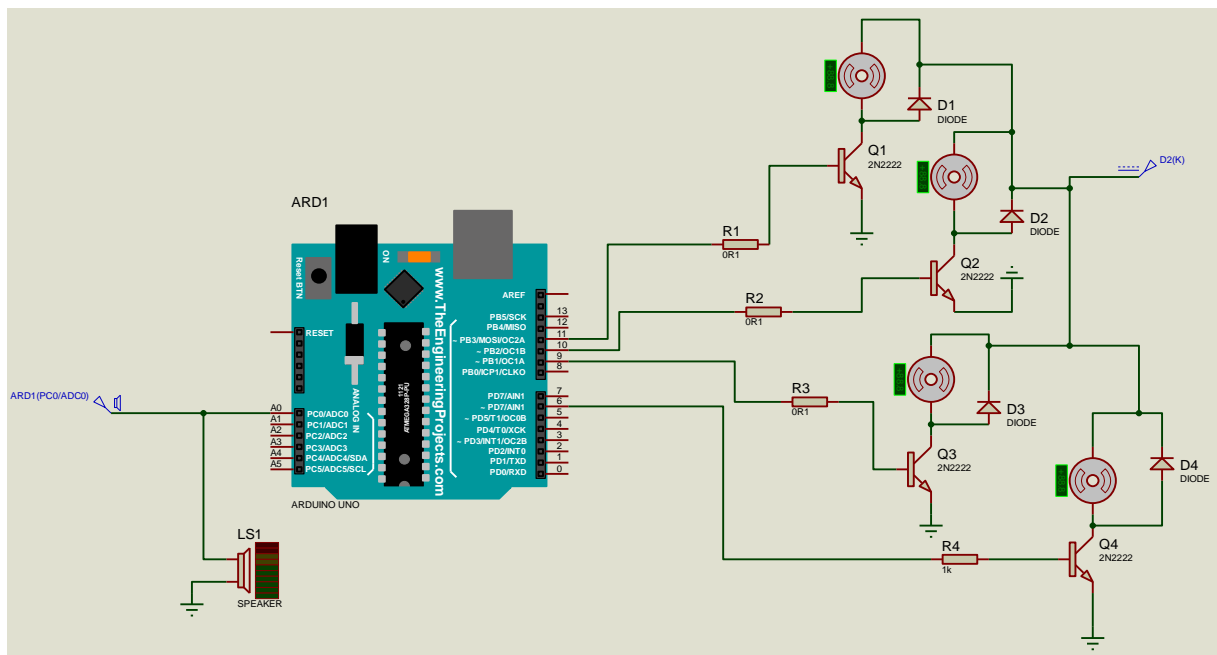


Figure 52 : Schéma câblage partie variation de la vitesse des pompes.

Pour la variation des différentes motopompes nous utilisons les sorties PWM (11 ;10 ;9 et 6) de la carte Arduino Uno. Ces sorties permettent de générer des impulsions à des durées différentes donc sur le principe de la MLI la variation de l'angle de l'ouverture fermeture des interrupteurs commandés (transistors Q1, Q2, Q3, Q4).

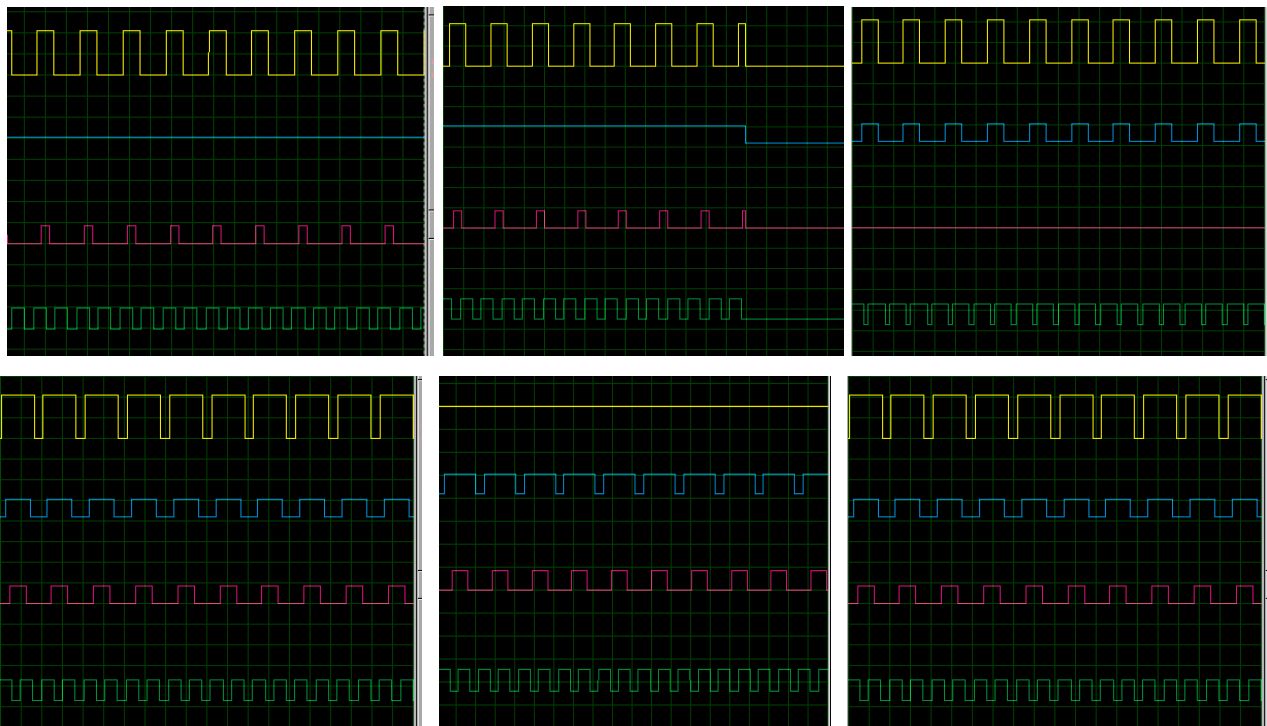


Figure 53 : Courbe de variation de vitesses des motopompes

CONCEPTION ET REALISATION D'UN PROTOTYPE DE FONTAINE MUSICALE

La vitesse de rotation d'un moteur à courant continu dépend de sa tension d'alimentation. Un hacheur est un système électronique permettant de faire varier la vitesse d'un moteur à courant continu en faisant varier la tension moyenne d'alimentation du moteur. Donc en réglant α la tension moyenne sera variée donc la vitesse.

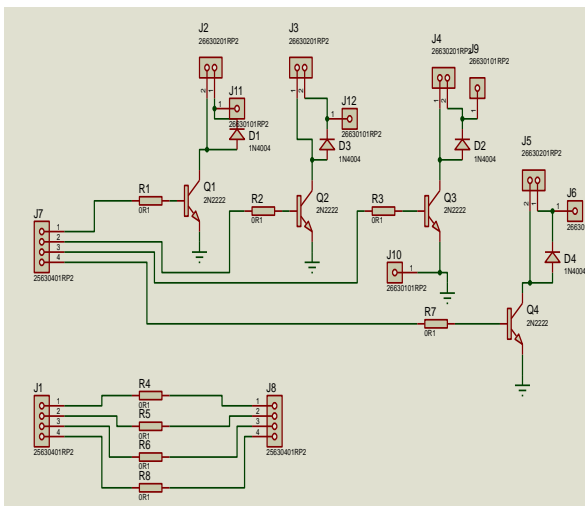
$$\alpha = \frac{t_h}{T} \quad \text{et} \quad U_{\text{moy}} = \frac{t_h U}{T} \quad \text{avec} \quad E = k \cdot W \quad \text{et} \quad U = E + rI \rightarrow E = U - rI \quad \text{donc} \quad k \cdot W = U - rI$$

$$\text{D'où} \quad W = \frac{U - rI}{k}$$

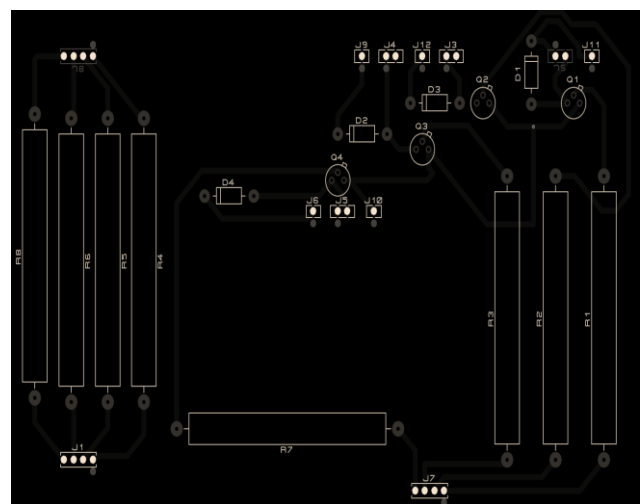
Sur les courbes on peut voir la variation du temps t_h par conséquent la variation du rapport cyclique donc la vitesse de rotation de la motopompe selon la formule de la commande en vitesse d'un moteur à courant continu par un hacheur. La tension moyenne vue par le moteur est fonction de la durée de conduction de l'interrupteur de puissance durée de mise sous tension.

II.3-/ Schéma électrique du circuit imprimé

Pour la mise en œuvre de notre système de contrôle/commande il va falloir réaliser un circuit imprimé pour les connections entre la carte Arduino, les pompes, les projecteurs et les électrovannes via les composants (résistances ; diodes et transistors).



a) Circuit imprimé coté composants



b) circuit imprimé coté cuivre

Figure 54 : Circuit imprimé dans l'environnement Proteus

III-/ ETAPES DE LA REALISATION

III.1-/ Réalisation du montage sur la plaque à essai

Avant de réaliser le montage définitif nous réalisons d'abord le montage du système de contrôle/commande (commande des pompes et celle du jeu de lumière) sur plaque à essai et à la place des motopompes nous utilisons les moteurs à courant continu. Les montages réalisés sur plaque à essais se présentent comme suit :

a) Montage des jeux de lumières

Rédigé et soutenu par ZENEMANG Jean Fabrice

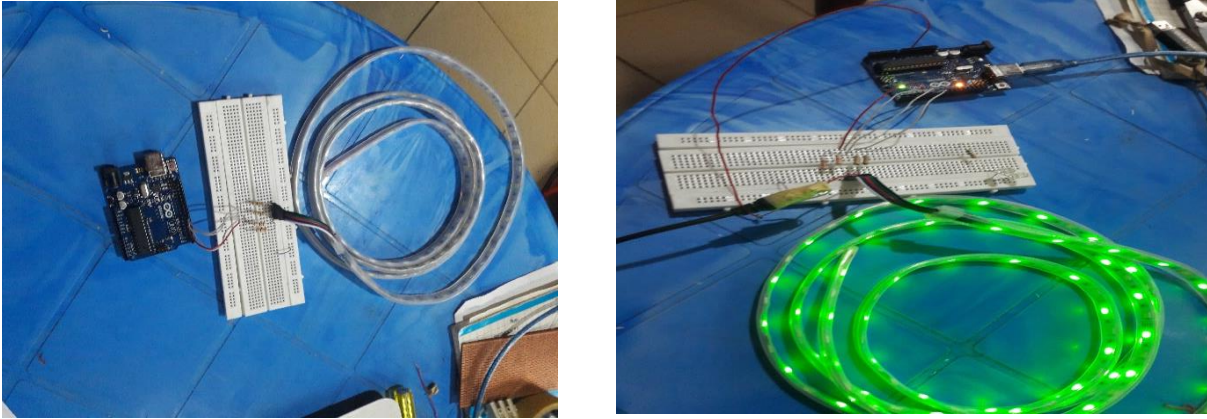


Figure 55 : Montage sur plaque à essais du circuit jeu de lumière

b) Montage commande des pompes

Ici nous réalisons le circuit de commande des différentes motopompes avec les transistors bipolaires, les diodes et les résistances.



Figure 56 : Montage commande des pompes

III.2-/ Réalisation du circuit imprimé et soudure des composants

A la place d'un circuit imprimé nous utilisons les cartes perforées sur laquelle nous procédons à la soudure des différents composants du circuit de commande. Les résultats sont les suivants :



a) Carte perforée

c) carte de commande réalisée

Figure 57 : Carte de contrôle/commande de notre fontaine

Sur la carte de commande les conducteurs en blanc sont connectés sur les sorties MLI (04 sortie) de la carte ARDUINO UNO et ceux en orange sont connectés aux motopompes (04 motopompes).

CONCEPTION ET REALISATION D'UN PROTOTYPE DE FONTAINE MUSICALE

Après avoir réalisé le circuit de commande, nous la connectons à la carte ARDUINO UNO et l'ensemble est logés dans une boîte recouverte du gerflex Legé pour besoin de protection contre les chocs mécanique et surtout contre de l'eau. Voir figure ci-dessous.

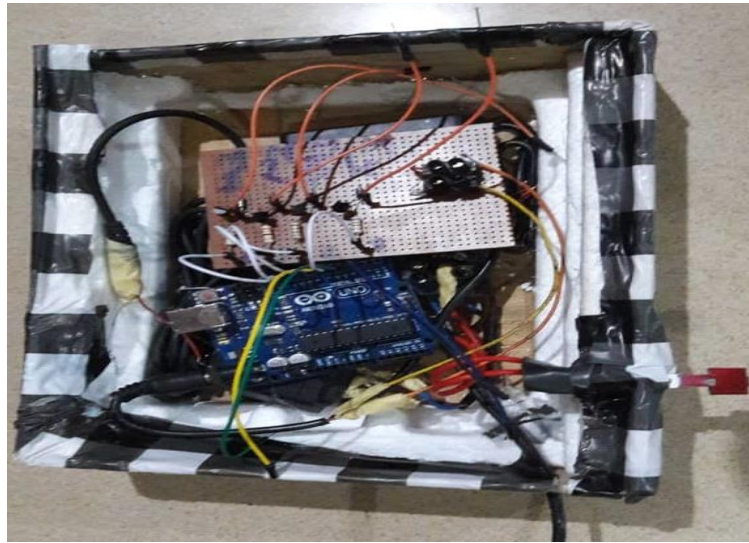


Figure 58 : Boîte de contrôle/commande

III.3-/ Préparation du récipient servant de bassin pour la fontaine

Cette partie sera consacrer premièrement à la décoration du récipient servant de bassin puis à la réaliser du circuit hydraulique et à la fin l'installer le circuit dans le bassin puis y ajouter le ruban GRBW pour le jeu de lumière.

III.3.1-/ décoration du récipient partie externe

La fontaine dansante étant un dispositif de décoration nous commençons par habiller notre récipient qui servira de bassin.



Figure 59 : Décoration du récipient servant de bassin de la fontaine

III.3.2-/ Réalisation du circuit d'eau

Pour réaliser notre circuit hydraulique nous utilisons en dehors de la fiole le matériel de récupération genre têtes des stylos à billes, pipetes des boites de yaourts. Utilisés ici comme sorties des jets d'eau (jutages), colle chaude afin de rendre étanche les différents points de connexion.

Rédigé et soutenu par ZENEMANG Jean Fabrice

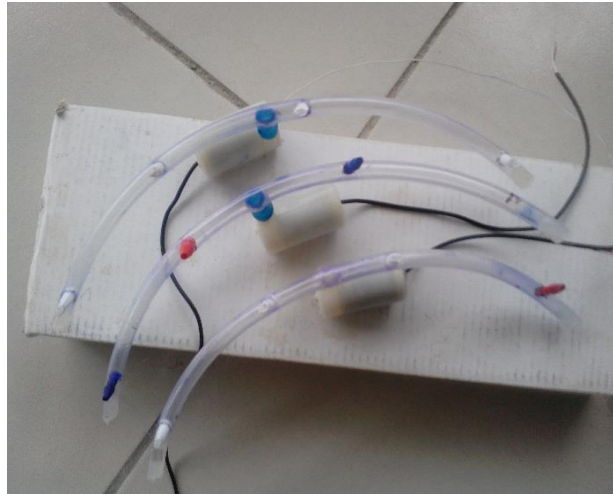


Figure 60 : Câblage du circuit hydraulique

III.3.3-Installation du circuit hydraulique dans le bassin

Après le câblage nous passons à l'installés du circuit hydraulique et des jeux de lumières dans le bassin de notre fontaine. Voir figure suivante.

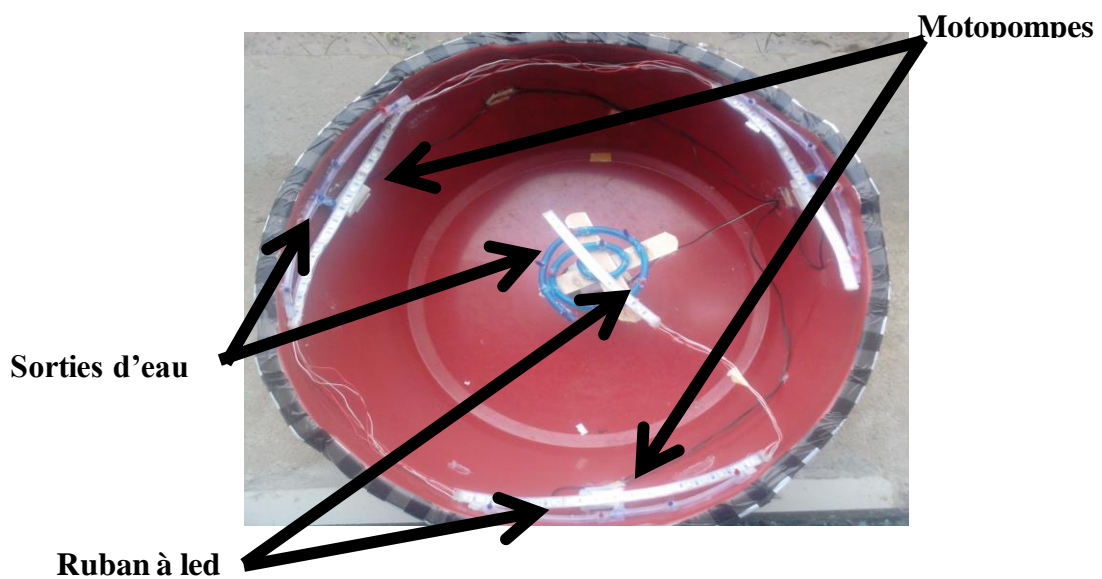


Figure 61 : Circuit hydraulique installé dans la bassine

III.3.4-Câblage du système de contrôle/commande avec le circuit hydraulique

Dans cette partie nous allons connecter la boîte de contrôle/commande au circuit hydraulique dans le bassin puis passer aux essais du fonctionnement de notre prototype fontaine musicale afin de mieux ajuster le programme dans la carte ARDUINO par rapport à la hauteur des différents jets d'eau, de leurs variations, et le jeu de lumière. La fontaine réalisée est présentée ci-dessous :



Figure 62 : Fontaine réalisée

Le résultat de notre réalisation ci-dessus présenté est un prototype de fontaine dansante dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Une bassine contenant le circuit hydraulique (pompes et canalisations) ;
- Les jets variants en fonction de la musique jouée ;
- Les couleurs de jet varient en fonction de lumière du ruban a led ;
- En absence de la musique, seules les lumières restent allumer ;
- Jet d'eau mieux propulsé et ayant une bonne hauteur (Les motopompes dont on a pu avoir n'étant pas assez puissant nous avons utilisé les têtes des stylos à bille afin d'obtenir un meilleur jet).

Le prototype de fontaine dansante ici présentait, réaliser en grandeur nature pourra apporter plus de beauté à nos sites touristiques et espaces publiques afin d'attirer plus de visiteurs. Néanmoins pour plus de coloration du jet il faudra utiliser des dispositifs pouvant orienter les rayons lumineux afin que le jet soit dans ce rayon pour une bonne coloration des jets car le ruban utilisé reflète la lumière dans tous les sens ce qui ne permet pas une bonne coloration du jet.

CONCLUSION GENERALE

En somme il était question pour nous de concevoir et de réaliser un prototype de fontaine dansante. Ceci nous a amené tout d'abord, à faire une étude historique des fontaines dansantes, ensuite savoir comment fonctionnent-elles ? quelles en sont les types ? et en fin les quelques exemples des systèmes de contrôle/commande des fontaines dansantes qui existent. Ayant compris le principe de fonctionnement qui se limite à la variation de la hauteur des jets d'eau (variation de la vitesse du moteur accouplé à la pompe) et le jeu de lumière, nous avons opté d'utiliser la méthode de la commande PWM ou encore MLI qui permet de commander (en vitesse) aisément un moteur à courant continu. Suivant le cahier de charge, dont la condition de fonctionnement de notre fontaine est la musique. Pour cela, nous nous sommes basés sur le principe de fonctionnement d'un haut-parleur (transformation d'un signal électrique en signal mécanique) et avons utilisé le signal à son entrée pour les entrées du microcontrôleur comme condition de fonctionnement de notre prototype fontaine. Pour la conception nous avons utilisé le logiciel **Proteus isis Professionnel** qui permet de réaliser les schémas électroniques et les simulés. Pour la réalisation nous avons utilisés : la carte ARDUINO UNO dans laquelle nous avons téléverser un programme ARDUINO (écrit par nous-même), les motopompes, le ruban à LED RGBW.... Etc, présentées dans partie matériel. Les résultats obtenus ont été présentés sur la parties résultats et discussions. Néanmoins durant notre travail nous avons eu quelques difficultés dans l'acquisitions du matériel de réalisation qui est parfois rare sur le marché camerounais et onéreux. Et parfois les caractéristiques ne répondent pas parfaitement aux performances réelles de l'équipement à l'exemple des motopompes. D'où, en guise perspectives faire une étude sur le côté hydraulique pour le choix des motopompes en fonction de la hauteur souhaitée, mieux murir le projet afin de l'exploiter dans les grands sites (exemple : lac municipal d'Ebolowa ; Bois sainte Anastasie...) des villes du Cameroun, en Afrique et partout dans le monde afin de valoriser la fabrication locale. Plus loin pour l'implémentation de ce projet nous aurons besoin d'une main d'œuvre abondante, ce qui favorise la création des emplois d'où une réduction du taux de chômage

REFERENCES

- [1] **Diderot Serge NGUEPJOUM.** *Etude des performances touristiques de la région du Mont Fako, Province du Sud-Ouest, Cameroun.* Memoire Online, Tourisme Université de Ngaoundéré – 2003. Maitrise
- [2] -Projet de modernisation et de développement du tourisme au Cameroun.
- [3] <http://www.cosmovisions.com/monuFontaine.htm> consulté **le 21 juin 2020**
- [4] Projet : visualiser le rythme d'une chanson à l'aide d'une robinetterie.
- [5] L'art et l'ingénierie : une ressource de formation en génie Stockton, CA 95211 Email : sshakerin@pacific.edu
- [6] www.trevifountain.net
- [7] Université du pacifique Stockton, CA 95211 Email : sshakerin@pacific.edu
- [8] **CATALOGUE OASE – TECHNOLOGIE DES FONTAINES ET LAKE MANAGEMENT**
Département de l'ingénierie mécanique Université du pacifique Stockon, CA 95211 Email : sshaken@pacific.sdu
- [10] **Shakerin, Ph.D.,** PE Département de l'Ingénierie Mécanique Université du Pacifique Stockton. Page 10.
- [11] **CATALOGUE OASE – TECHNOLOGIE DES FONTAINES ET LAKE MANAGEMENT**
TOME 2/
- [12] **ANA CORDOBA PROPIEDAD** Manual de Safe-Rain® www.saferain.com
info@saferain.com
- [13] **SARA RAAD QASIM** Fontaine à eau musicale mini et économique, Génie informatique, Université Alfarabi Bagdad, Irak. Page 2
- [14] Produits, pièces et accessoires/Automatismes et systèmes de pilotage/Automates et matériel norme DMX
- [15] <http://www.saferain.com/fr/images-de-fontaines/aerateurs-et-fontaines-flottantes/fontaines-flottantes-serie-saferain/64-kit-de-fuentes/index.php> consulté **le 11 avril 2020.**
- [16] **CATALOGUE OASE – La passion de L'eau, TECHNOLOGIE DES FONTAINES ET LAKE MANAGEMENT.** OASE –page 8.
- [17] **TAO JIN, TYLER DOLEN, VANDYA SWAMINATHAN** Projet «Ayez le Bellagio dans votre propre maison !!!" 2006.

[18] **TESS DESPRES AND HAMZA KHAN**, Dancing Fountain Final Project Report December 8, 2016 E155.P.2

[19] **GENEVÉY & JEAN-PIERRE DULEX** Arduino à l'école Frédéric, Edition septembre 2018 VERSION 5.2. P 44.

[20] **V CHASSILIAN ST JO AVIGNON**. Distribution de l'énergie électrique vers un mcc : changement de sens et variation de vitesse. SSI science de l'ingénieur, P 3.

[21] **ROBERT PERRET ELISABETH ROULIERE, PASCAL TIXADOR** « Entraînements électrique, alimentation des machine électrique, principe de la conversion électromagnétique », **TOM 1**, édition Lavoisier, Paris, 2006.

[22] **M.K. MENDACI BENSAYAH AMEL**, Contrôle de vitesse d'un moteur à courant continu. *Mémoire de fin d'études Présenté pour obtenir le diplôme de Master Spécialité : Génie Electrique Promotion : 2015/2016 /p.6*

[23] **A. BOUMA ARAF, M. D. DRAOU ET S. A. CHIKHI**. Un Nouveau Concept de la Commande MLI Destiné au Système de Pompage Photovoltaïque. Vol. 5 (2002). P.140

[24] **BAC S**, Conversion Analogique Numériques, document élève cours conversion analogique-numérique si. P. 1.

[25] Vidéo You tube. Edu média science.

[26] **T.M. Lamine**, cours professionnel ISIS ARES, Sénégal 2016

[27] **MIN-JOON YOO1, IN-KWON LEE2** Création de spectacles de fontaines musicales Département d'informatique, Université Yonsei, Corée du Sud.

[28] **PHILIPS SEMI CONDUCTORS** discrete semiconductors Product specification Supersedes data of September 1994 File under Discrete Semiconductors, SC04.

[28] **X. HINAULT** Test d'un ruban de LED colorées RVB. Page créée le : 23/2/2011.



ANNEXES

ANNEXES 1

Liste du matériel

Équipements	Caractéristiques	Quantités	Prix
Carte ARDUINO	UNO	01	8.000 F
Motopompes	DC 5V	04	5.000 F
Transistors bipolaire	2N2222	04	500 F
Résistances	220 ohm	04	200 F
Diodes	1N4007	04	200 F
Conduit d'eau	Plastique section 1mm	03 m	1.000 F
Ruban à LED	RGBW 12V	03m	9.000 F
Alimentation	DC 5V/2A	01	6.000 F
Alimentation	DC 12/3A	01	2.500 F
Bassine	En plastique 60cm de diamètre	01	3.000 F
Crêpons	Mâle /femelle	50	2.000 F
Lecteur de musique	Bluetooth4.2 JBL4	01	7.000 F
TOTAL	/	/	43.400 F