



**UNIVERSITE DE BLIDA 1
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE MECANIQUE**

Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du Diplôme de Master en
Energétique

Etude des effets physiques utilisés en
instrumentation industrielle.
Conception et réalisation d'un banc didactique
d'acquisition et de régulation

Promoteur :

Dr. K .Nehal

Réalisé par :

Ouadfeul Samir

Hamzaoui Ibrahim

Promotion :2022/2023

Remerciements

On remercie dieu le tout-puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de déterminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide de l'encadrement de Mr K.Nehal, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire et son aide moral et physique.

On remercie également tous les membres de nos familles qui nous ont toujours soutenue .Nos remerciements s'adressent aussi à tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles

On adresse nos vifs remerciements aux membres des jurys pour avoir bien voulu examiner et juger ce travail

Résumé

Le sujet abordé concerne les effets physiques dans l'instrumentation industrielle, en mettant l'accent sur la conception et la construction d'un banc d'essai permettant d'acquérir et de réguler le niveau de différents fluides. L'instrumentation industrielle fait référence à l'utilisation d'instruments et de dispositifs pour mesurer, surveiller et contrôler des variables physiques dans les processus industriels, telles que la pression, la température, le débit et le niveau. Les effets physiques, tels que la pression hydrostatique, les variations de température et la viscosité des fluides, jouent un rôle essentiel dans la précision des mesures de niveau. La construction du banc didactique implique l'utilisation de capteurs de niveau, de transmetteurs, d'actionneurs et de régulateurs, permettant de simuler différents scénarios et de mesurer les variations de niveau dans des réservoirs ou des cuves. Une fois réalisé, le banc didactique offre aux étudiants et aux professionnels la possibilité d'expérimenter, d'observer les résultats et d'analyser les données, afin de développer une compréhension approfondie des principes de mesure de niveau et des techniques de régulation utilisées dans l'industrie. En conclusion, ce banc didactique contribue à l'acquisition de compétences pratiques essentielles dans le domaine critique de l'instrumentation industrielle.

ABSTRACT

The subject covered concerns physical effects in industrial instrumentation, with an emphasis on the design and construction of a test bench to acquire and regulate the level of different fluids. Industrial instrumentation refers to the use of instruments and devices to measure, monitor, and control physical variables in industrial processes, such as pressure, temperature, flow, and level. Physical effects, such as hydrostatic pressure, temperature variations and fluid viscosity, play a critical role in the accuracy of level measurements. The construction of the didactic bench involves the use of level sensors, transmitters, actuators and regulators, making it possible to simulate different scenarios and to measure the level variations in tanks or tanks. Once completed, the educational bench offers students and professionals the opportunity to experiment, observe the results and analyze the data, in order to develop an in-depth understanding of the principles of level measurement and the regulation techniques used in industry. In conclusion, this didactic bench contributes to the acquisition of essential practical skills in the critical field of industrial instrumentation.

Sommaire

Liste des abréviations	8
Introduction général	10
1 Chapitre 01 : Notions sur l'instrumentation industrielle.....	11
1.1 Introduction	12
1.2 Notions de base de métrologie	12
1.2.1 La métrologie	12
1.2.2 Le mesurage	12
1.2.3 Le Mesurand.....	12
1.2.4 L'incertitude	12
1.2.5 L'erreur absolue	13
1.2.6 L'erreur relative	13
1.3 Les effets physiques utilisés dans l'instrumentation.....	15
1.3.1 Les capteurs actifs.....	15
1.3.1.1 Effet thermoélectrique.....	16
1.3.1.2 Effet pyroélectrique	17
1.3.1.3 Effet piézoélectrique	18
1.3.1.4 Effet d'induction électromagnétique.....	19
1.3.1.5 Effets photoélectriques	20
1.3.1.6 Effet photoémisif.....	21
1.3.1.7 Effet photovoltaïque	22
1.3.1.8 Effet photo électromagnétique	23
1.3.1.9 Effet Hall	23
1.3.2 Les capteurs passifs.....	25
1.3.2.1 Résistivité.....	26
1.3.2.2 Constante diélectrique	27
1.3.2.3 Perméabilité magnétique	28
2 Chapitre 02 : Acquisition de données et Régulation industrielle.....	29
2.1 Structure d'une chaîne d'acquisition.....	30
2.1.1 Définition	30
2.1.2 Les éléments clés d'une chaîne d'acquisition de données	30
Les capteurs	30
Les amplificateurs de signal	30
Les filtres.....	30
Les convertisseurs analogique-numérique (CAN) :	30

Les microcontrôleurs :	30
Les ordinateurs :	30
2.2 La carte d'acquisition(Arduino)	30
2.2.1 La carte ArduinoUno	31
2.2.1.1 Définition et principe	31
2.2.1.2 Branchement de la carte ArduinoUno	31
2.2.2 LacarteArduinoMega	32
2.2.2.1 Définition et principe	32
2.2.2.2 Branchement de la carte ArduinoMega	33
2.3 Notion de régulation industrielle	34
2.3.1 Introduction à la régulation industrielle	34
2.3.2 La boucle de régulation	34
2.3.2.1 Principe.....	34
2.3.2.2 Éléments constitutifs d'une boucle de régulation	34
Le capteur	34
Le contrôleur	34
L'actionneur	35
2.4 Régulateur Tout Ou Rien (TOR)	35
2.4.1 Principe.....	35
2.4.2 Programme d'un régulateur Tout Ou Rien.....	36
2.5 Régulateur PID.....	36
2.5.1 Principe.....	36
2.6 Modulation de largeur d'impulsion (MLI ou PWM).....	37
3 Chapitre 03 : Présentation de quelques capteurs et pré-actionneurs utilisées par la carte Arduino.....	39
3.1 Capteurs utilisées par la carte arduino :	40
3.1.1 Capteur deniveau (distance) à Ultrasons	40
3.1.1.1 Description.....	40
3.1.1.2 Principe de fonctionnement	40
3.1.1.3 Bronchement avec Arduino	41
3.1.1.4 Programme Arduino	42
3.1.2 Capteur de débit d'eau YF-S201	42
3.1.2.1 Description.....	42
3.1.2.2 Principe de fonctionnement	43
3.1.2.3 Bronchement avec Arduino	44
3.1.2.4 Programme Arduino.....	44

3.1.3	Capteur de pressionMPX5700AP	46
3.1.3.1	Description.....	46
3.1.3.2	Principe de fonctionnement	46
3.1.3.3	Branchement avec Arduino	47
3.1.3.4	Programme Arduino.....	47
3.1.4	Capteur de pressionSEN0257	48
3.1.4.1	Description.....	48
3.1.4.2	Principe de fonctionnement	48
3.1.4.3	Branchement avec Arduino	49
3.1.4.4	Programme Arduino.....	50
3.1.5	Capteur de thermomètre infrarouge MLX90614.....	51
3.1.5.1	Description.....	51
3.1.5.2	Principe de fonctionnement	51
3.1.5.3	Branchement avec Arduino	52
3.1.5.4	Programme Arduino.....	53
3.1.6	Capteur à effet Hall ST054.....	54
3.1.6.1	Description :.....	54
3.1.6.2	Principe de fonctionnement	54
3.1.6.3	Branchement avec Arduino	55
3.1.6.4	Programme Arduino.....	56
3.2	Sonde de température CTN	56
3.2.1	Définition.....	56
3.2.2	Principe fonctionnement.....	56
3.3	Les relais.....	57
3.3.1	Définition.....	57
3.3.2	Relais électromagnétique.....	57
3.3.2.1	Définition	57
3.3.2.2	Principe.....	57
3.3.2.3	Branchement avec Arduino	57
3.3.2.4	Programme Arduino.....	58
3.3.3	Relais statique.....	59
3.3.3.1	Définition	59
3.3.3.2	Principe.....	59
3.3.3.3	Branchement avec Arduino	59
3.3.3.4	Programme Arduino.....	60

4	Chapitre 04 : Conception et réalisation d'un banc didactique d'acquisition et de régulation de niveau.....	61
4.1	Introduction	62
4.2	Cahier des charges.....	63
4.2.1	Objectifs	63
4.2.2	Caractéristiques principales	63
4.2.3	Spécifications techniques	63
4.2.4	Délais	63
4.2.5	Coûts	63
4.3	Présentation de quelques bancs didactiques.....	64
4.4	Conception global de notre banc didactique	67
4.4.1	Analyse des besoins	67
4.4.2	Conception mécanique	67
4.4.3	Conception de la partie instrumentation	68
4.4.4	Assemblage et tests	68
4.5	Plan de travail.....	69
4.5.1	Conception et réalisation du support	70
4.5.2	Conception et réalisation des bacs d'eau.....	77
4.5.3	Conception et réalisation du circuit hydraulique.....	79
4.5.4	Conception et la réalisation du circuit électrique.....	81
4.6	Comparaison entre un banc didactique existant et notre banc.....	96
4.6.1	Fiche technique du banc existant	96
4.6.2	Fiche technique de notre banc	97
5	Conclusion général	98
6	Référence bibliographique	99

Liste des abréviations :

Le système d'unités internationales comporte 7 unités de base indépendantes du point de vue dimensionnel, des unités dérivées et des unités complémentaires. Les grandeurs les plus fréquemment utilisées, ainsi que leurs unités sont présentées dans le tableau suivant :

Unités de base		
Grandeur	Unité(SI)	Symbole
Longueur (notée l)	mètre	m
Masse (note m)	Kilogramme	kg
Temps (note t)	seconde	s
Courant électrique (note i)	Ampère (André Marie Ampère, 1775-1836)	A
Température (note T)	Kelvin (Lord Kelvin, Angleterre, 1824-1907)	K
Quantité de matière	mole	mol
Intensité lumineuse (note I)	La candela	cd
Unités dérivées		
Grandeur	Unité(SI)	Symbole
Aire (note A ou S)	Mètre carré	m ²
Volume (noté V)	Mètre cube	m ³
Fréquence (note f)	Hertz (Heinrich Hertz, Allemagne, 1857-1894)	Hz
Vitesse (note v)	Mètre par seconde	m/s
Force (note F)	Newton (Issac Newton, Angleterre, 1642-1727)	N

Moment d'une force (note <i>M</i>)	mètre-Newton	mN
Moment d'un couple (note <i>T</i>)	mètre-Newton	mN
Tension électrique (note <i>U</i>)	Volt (Alexandro Volta, Italie, 1745-1827)	V
Force électromotrice (note <i>E</i>)	Volt	V
Capacité électrique (note <i>C</i>)	Farad (Michael Faraday, Angleterre, 1791-1867)	F
Flux lumineux	lumen	lm
Eclairage lumineux	lux	lx
Accélération (note <i>g</i>)	mètre par seconde ²	m/s ²
Energie, Travail (note <i>W</i>)	Joule (James Joule, Angleterre, 1818-1889)	J
Puissance (note <i>P</i>)	Watt (James Watt, Ecosse, 1736-1819)	Watt
Puissance apparente (note <i>S</i>)	Volt-Ampère	VA
Puissance réactive (note <i>q</i>)	Volt-Ampère-Réactif	VAR
Pression (note <i>P</i>)	Pascal (Blaise Pascal, France, 1623-1662)	Pa
Quantité d'électricité (note <i>Q</i>)	Coulomb (Charles Coulomb, France, 1736-1806)	C
Inductance (notée <i>L</i>)	Henry (Joseph Henry, Etats-Unis, 1797-1878)	H
Champ magnétique (noté <i>H</i>)	Ampère par mètre	A/m
Induction magnétique (notée <i>B</i>)	Tesla (Nicolas Tesla, Yougoslavie, 1857-1943)	T

Introduction générale

L'instrumentation industrielle joue un rôle primordial dans la surveillance, le contrôle et l'optimisation des processus industriels. Elle nécessite l'utilisation d'une variété d'instruments et de capteurs afin de mesurer, détecter et contrôler différentes grandeurs physiques telles que la température, la pression, le débit, la force et le niveau, entre autres. Ces données sont ensuite utilisées pour prendre des décisions éclairées et automatiser les opérations dans divers secteurs industriels tels que la production d'énergie, l'industrie chimique, l'automobile et l'agroalimentaire, entre autres.

Les capteurs jouent un rôle crucial dans l'instrumentation industrielle, car ils convertissent les grandeurs physiques en signaux électriques utilisables par les systèmes de contrôle. Chaque type de capteur est conçu pour mesurer une grandeur spécifique, en utilisant différents principes physiques tels que la variation de résistance électrique, l'effet piézoélectrique, l'effet électromagnétique ou l'effet optique, parmi d'autres. Ces capteurs peuvent être intégrés dans des instruments autonomes ou connectés à des systèmes de contrôle centralisés.

L'utilisation de capteurs dans l'instrumentation industrielle présente de nombreux avantages. Elle permet une surveillance en temps réel des processus, facilitant ainsi la détection rapide des variations et des anomalies. Les capteurs fournissent également des mesures précises, permettant d'optimiser les performances des systèmes industriels et de garantir la sécurité des opérations. De plus, l'automatisation basée sur les capteurs contribue à améliorer l'efficacité énergétique, à réduire les coûts de production et à assurer une qualité constante des produits.

En conclusion, l'instrumentation industrielle et les capteurs sont indispensables pour surveiller, contrôler et automatiser les processus industriels. Leur utilisation permet aux entreprises d'améliorer leur efficacité, leur productivité et leur sécurité, tout en garantissant une qualité constante de leurs produits. La technologie des capteurs continue de progresser, offrant de nouvelles opportunités d'innovation et d'optimisation des processus industriels.

1 **Chapitre 01** : Notions sur l'instrumentation industrielle

1.1 Introduction

L'instrumentation industrielle est l'ensemble des techniques, des outils et des méthodes permettant de mesurer, de contrôler et de réguler les variables physiques telles que la température, la pression, le débit, le niveau, etc. dans les processus industriels. Elle est essentielle pour garantir la qualité et la sécurité des produits, ainsi que pour optimiser les performances des installations industrielles.

Il existe une grande variété d'instruments industriels, tels que les capteurs, les transmetteurs, les régulateurs, les actionneurs, les enregistreurs, les analyseurs, les automates, etc. Ces instruments peuvent être analogiques ou numériques, simples ou complexes, autonomes ou interconnectés, selon les besoins spécifiques des processus industriels.

L'instrumentation industrielle est un domaine en constante évolution, grâce aux avancées technologiques telles que l'Internet des objets (IoT), l'intelligence artificielle (IA), la réalité augmentée (RA) et le block Chain. Elle est essentielle pour répondre aux défis actuels de l'industrie, tels que la réduction des coûts, l'amélioration de l'efficacité énergétique, la conformité réglementaire et la sécurité. [1]

1.2 Notions de base de métrologie [2]

1.2.1 La métrologie :

C'est la science de la mesure.

1.2.2 Le mesurage :

C'est l'ensemble des opérations expérimentales dont le but est de déterminer la valeur numérique d'une grandeur.

1.2.3 Le Mesurande:

C'est la grandeur physique particulière qui fait l'objet du mesurage.

1.2.4 L'incertitude :

L'incertitude est une notion qui représente la mesure de la variabilité ou de l'imprécision associée à une valeur mesurée ou à un résultat expérimental. Elle indique le degré de confiance que l'on peut accorder à une mesure ou à une estimation. L'incertitude peut provenir de différentes sources telles que des erreurs de mesure, des approximations dans les modèles utilisés ou des variations inhérentes au système. L'estimation et la gestion de l'incertitude sont essentielles dans de nombreux domaines scientifiques et techniques pour garantir la fiabilité et la validité des résultats.

1.2.5 L'erreur absolue :

C'est la différence entre la vraie valeur du Mesurande et sa valeur mesurée. Elles'exprimeenunitédelamesure.

1.2.6 L'erreurrelative :

C'estlerapportdel'erreuraabsolueaurésultatdumesurage.Elles'exprimeenpourcent agedelagrandeurmesurée.

La mesure d'une grandeur physique telle que le déplacement, la température, la pression, etc., est appelée le "Mesurande" et représentée par la variable "m". Le processus expérimental utilisé pour déterminer la valeur numérique du Mesurande est appelé "mesurage". Lorsque des moyens électroniques sont utilisés pour mesurer le Mesurande, il est important de convertir cette grandeur physique en une grandeur électrique, qui représente fidèlement le Mesurande. La grandeur électrique ainsi obtenue doit contenir toutes les informations nécessaires pour déterminer la valeur du Mesurande.

Un capteur est un dispositif qui convertit une grandeur physique non électrique (comme la charge, la tension, le courant ou l'impédance) en une grandeur électrique, représentée par la variable "s". Cette grandeur électrique est une fonction du Mesurande, représentée par la variable "m" :

$$S = F (m)$$

La grandeur de sortie ou réponse du capteur est "s", tandis que la grandeur d'entrée ou excitation est "m". La relation $s = F (m)$ découle des lois physiques qui régissent le phénomène mesuré, dans sa forme théorique. La mesure de la grandeur "s" permet de déterminer la valeur du Mesurande "m" (voir figure 1.1).

La relation $s =F (m)$ résulte dans sa forme théorique des lois physiques qui régissent

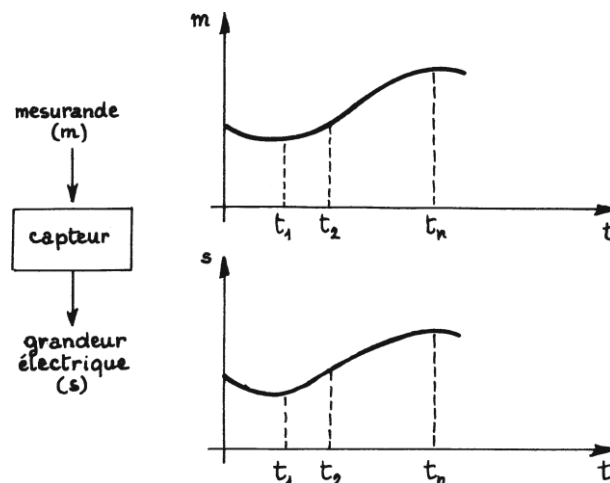


Figure 1.1Exemple d'évolution d'un Mesurande m et de la réponse « s » correspondante du capteur.

Le fonctionnement du capteur et dans son expression numérique de sa construction (géométrie, dimensions), des matériaux qui le constituent et éventuellement de son

environnement et de son mode d'emploi (température, alimentation). Pour tout capteur la relation $s = F(m)$ sous sa forme numériquement exploitable est explicitée par étalonnage : pour un ensemble de valeurs de m connues avec précision, on mesure les valeurs correspondantes de s ce qui permet de tracer la courbe d'étalonnage (figure 1.2a) ; cette dernière, à toute valeur mesurée de « s », permet d'associer la valeur de m qui la détermine (Figure 1.2).

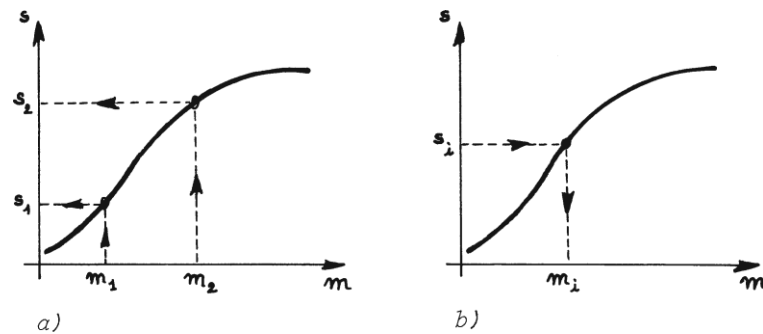


Figure 1.2 Courbe d'étalonnage d'un capteur : a) son établissement, à partir de valeurs connues du Mesurande m

b) son exploitation, à partir des valeurs mesurées de la réponse s du capteur.

Afin de faciliter l'utilisation et l'exploitation d'un capteur, on cherche à établir une relation linéaire entre les variations de la grandeur de sortie (Δs) et celles de la grandeur d'entrée (Δm). Cette relation est exprimée par l'équation

$$\Delta s = S \cdot \Delta m$$

Où S représente la sensibilité du capteur.

L'un des principaux défis dans la conception et l'utilisation d'un capteur est de maintenir une sensibilité constante, qui ne dépende que très peu de la valeur de la grandeur d'entrée (linéarité) et de sa fréquence de variation (bande passante), du temps (vieillesse) et des autres grandeurs physiques présentes dans son environnement et qui ne font pas l'objet de la mesure (grandeur d'influence).

En tant qu'élément d'un circuit électrique, le capteur peut être vu soit comme un générateur, où la grandeur de sortie " s " est une charge, une tension ou un courant, dans

ce cas, il s'agit d'un capteur actif, soit comme une impédance où la grandeur de sortie "s" est une résistance, une inductance ou une capacité. Dans ce cas, le capteur est considéré comme passif.

La distinction entre capteurs actifs et passifs, basée sur leur schéma électrique équivalent, reflète en réalité une différence fondamentale dans la nature des phénomènes physiques impliqués. Le signal électrique qui porte l'information liée au Mesurande est la partie variable du courant ou de la tension. L'amplitude et la fréquence du signal doivent être liées sans ambiguïté à l'amplitude et à la fréquence du Mesurande.

Un capteur actif, qui est une source, produit immédiatement un signal électrique. Ce n'est pas le cas d'un capteur passif, dont les variations d'impédance ne sont mesurables que par les modifications du courant ou de la tension qu'elles entraînent dans un circuit alimenté par une source extérieure. Le circuit électrique associé à un capteur passif est appelé "conditionneur", et c'est l'ensemble du capteur et du conditionneur qui est la source du signal électrique.

1.3 Les effets physiques utilisés dans l'instrumentation

1.3.1 Les capteurs actifs

Les capteurs actifs sont des éléments de circuit qui se comportent comme des générateurs, produisant une charge, une tension ou un courant en réponse à une grandeur physique à mesurer. Les exemples de capteurs actifs comprennent les capteurs de pression piézoélectriques, les capteurs de température à thermocouples et les capteurs de courant à effet Hall (Tableau 1.1)

Mesurande	Effet utilisé	Grandeur desortie
Température	Thermoélectricité	Tension
Flux de Rayonnement Optique	Pyroélectricité	Charge
	Photoémission	Courant
	Effet photovoltaïque	Tension
	Effet photoélectromagnétique	Tension
Force Pression Accélération	Piézoélectricité	Charge
Vitesse	Induction électromagnétique	Tension
Position (aimant)	Effet Hall	Tension

Tableau 1.1 – Capteurs actifs : effets physiques.

1.3.1.1 Effet thermoélectrique

L'effet thermoélectrique, également connu sous le nom d'effet Seebeck, est un phénomène physique qui décrit la génération d'une différence de potentiel électrique dans un matériau conducteur lorsqu'il est soumis à un gradient de température. Ce phénomène est dû à une différence de mobilité des électrons dans le matériau, créant ainsi un courant électrique (Figure 1.3)

L'effet Seebeck a été découvert en 1821 par le physicien allemand Thomas Johann Seebeck. Depuis sa découverte, l'effet Seebeck a trouvé de nombreuses applications, notamment dans la mesure de la température, la production d'énergie thermique et la détection de rayonnement infrarouge.

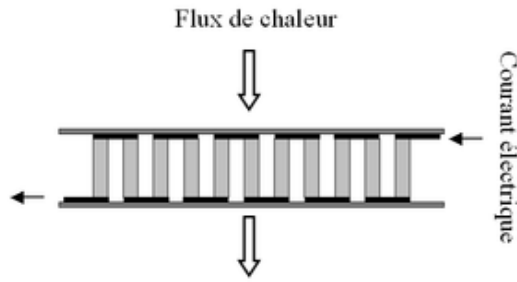


Figure 1.3 Principe de l'effet thermoélectrique

Exemple : L'effet thermoélectrique est utilisé dans les thermocouples pour mesurer la température. Les thermocouples sont constitués de deux conducteurs différents reliés pour former deux jonctions à différentes températures. La différence de température entre les deux jonctions crée une tension électrique proportionnelle à cette différence de température, qui peut être mesurée et convertie en une lecture de la température. (Figure 1.4)



Figure 1.4 Thermocouple

1.3.1.2 Effet pyroélectrique

L'effet pyroélectrique est un phénomène physique dans lequel un matériau polarisé électriquement génère une charge électrique en réponse à une variation de température. Plus précisément, lorsque la température d'un matériau pyroélectrique est modifiée, les centres de charge à l'intérieur du matériau se déplacent, créant ainsi une différence de potentiel électrique à travers le matériau. Cette différence de potentiel peut être mesurée et utilisée pour diverses applications telles que la détection de température, la mesure de chaleur spécifique, la thermométrie, etc. [Figure 1.5]

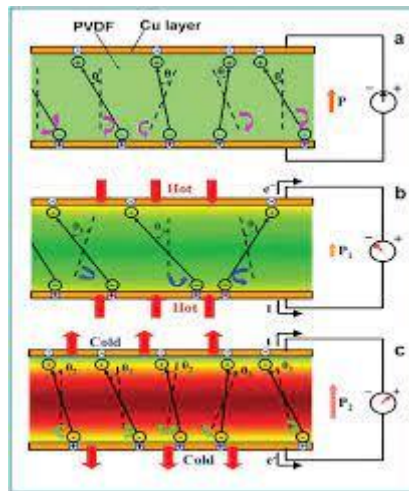


Figure 1.5 : Principe de l'effet pyroélectrique

Exemple : Un exemple concret d'utilisation de capteurs pyroélectriques dans l'industrie est leur utilisation dans les fours industriels. Les fours sont utilisés pour chauffer différents matériaux à des températures élevées pour les transformer ou les traiter. Les capteurs pyroélectriques peuvent être utilisés pour mesurer la température à l'intérieur du four et contrôler la quantité de chaleur qui est produite, en fonction des besoins du processus industriel en cours. Cela permet de s'assurer que le processus est effectué de manière efficace et sûre. (Figure1.6)



Figure 1.6 : Capteurs pyroélectriques

1.3.1.3 Effet piézoélectrique

L'effet piézoélectrique est un phénomène dans lequel certains matériaux, appelés piézoélectriques, produisent une charge électrique lorsqu'ils sont soumis à une contrainte mécanique, et inversement, peuvent subir une déformation mécanique lorsqu'ils sont soumis à un champ électrique. Il a été découvert en 1880 par les frères Pierre et Jacques Curie, qui ont observé la production de charges électriques sur des cristaux de quartz soumis à une pression mécanique. De nombreux matériaux piézoélectriques ont été identifiés depuis, tels que des céramiques comme le quartz et le barium titanate, ainsi que des polymères comme le PVDF. L'effet piézoélectrique est utilisé dans de nombreuses applications, notamment dans les transducteurs

piézoélectriques pour convertir une forme d'énergie en une autre, comme dans les haut-parleurs et les microphones. [Figure1.7]

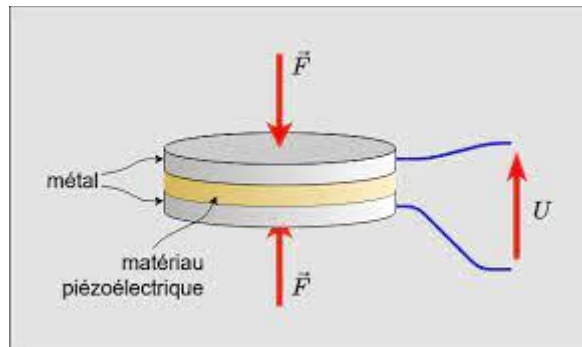


Figure 1.7 : Principe de l'effet piézoélectrique

Exemple: Dans les capteurs de pression piézoélectriques, une fine couche de matériau piézoélectrique est déposée sur un substrat métallique. Lorsque la pression est appliquée sur la couche piézoélectrique, elle se déforme et génère une charge électrique proportionnelle à la pression appliquée. Cette charge électrique peut être mesurée et convertie en une valeur de pression. (Figure1.8)



Figure 1.8 : Capteurs de pression piézoélectriques

1.3.1.4 Effet d'induction électromagnétique

L'effet d'induction électromagnétique est le phénomène par lequel un champ magnétique variable dans le temps induit un courant électrique dans un conducteur électrique situé à proximité. Cet effet a été découvert par Michael Faraday en 1831 et est à la base de nombreuses technologies modernes telles que les générateurs électriques, les transformateurs et les moteurs électriques. (Figure1.9)

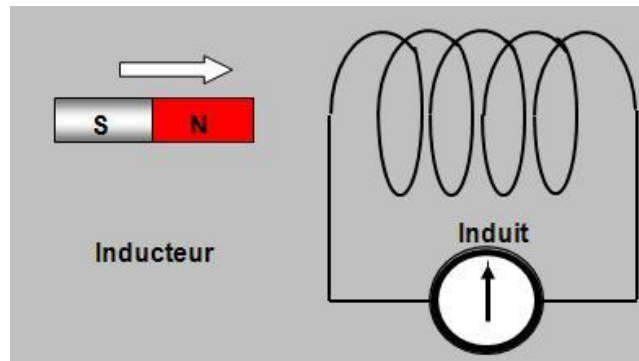


Figure 1.9 : Principe de l'effet d'induction électromagnétique

Exemple: Les capteurs à induction sont largement utilisés dans l'industrie pour mesurer le débit de liquides dans des applications telles que la distribution d'eau potable, l'irrigation, la production d'énergie et la fabrication de produits chimiques. Ils sont appréciés pour leur précision, leur fiabilité et leur durabilité, ainsi que pour leur capacité à mesurer des débits à haute température et à haute pression(Figure1.10)



Figure 1.10 : Capteur débit d'eau

1.3.1.5 Effets photoélectriques

L'effet photoélectrique est le phénomène par lequel des électrons sont émis par un matériau lorsqu'il est exposé à de la lumière. Ce phénomène a été découvert par Heinrich Hertz en 1887, mais a été largement étudié par Albert Einstein en 1905 dans son célèbre article sur la relativité restreinte.

L'effet photoélectrique se produit lorsqu'un photon, la particule élémentaire de la lumière, est absorbé par un matériau, ce qui provoque l'éjection d'un électron de la surface de ce matériau. La quantité d'énergie requise pour éjecter un électron dépend de la fréquence de la lumière incidente, ce qui signifie que l'énergie des électrons émis varie également avec la fréquence de la lumière.

L'effet photoélectrique a des applications importantes dans des domaines tels que la photographie, la détection de lumière et la production d'électricité à partir de l'énergie solaire. (Figure1.11)

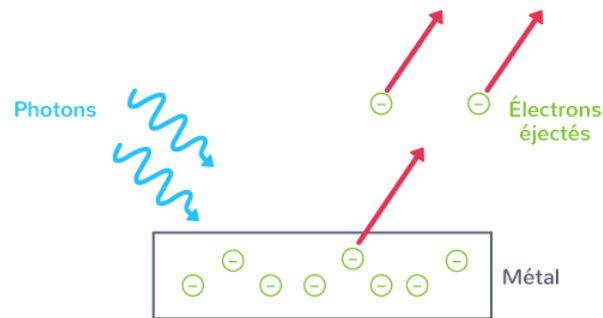


Figure 1.11 : Principe de l'effet photoélectrique

Exemple : L'effet photoélectrique est utilisé dans de nombreuses applications d'instrumentation industrielle, notamment dans les détecteurs de lumière et les capteurs de position. Par exemple, les capteurs de lumière utilisent l'effet photoélectrique pour détecter la présence ou l'absence de lumière dans un environnement donné. Ces capteurs sont couramment utilisés dans les systèmes de contrôle automatique, les systèmes d'alarme et les applications de sécurité. (Figure1.12)

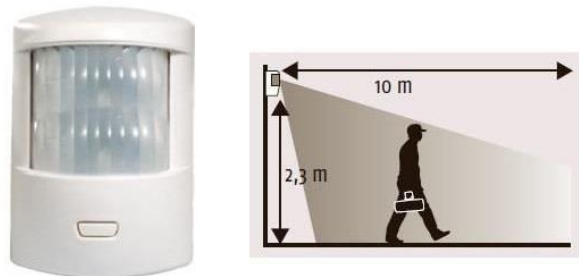


Figure 1.12 : les capteurs détecter la présence ou l'absence de lumière

1.3.1.6 Effet photoémissif

L'effet photoémissif est un phénomène physique par lequel un matériau émet des électrons lorsqu'il est exposé à une radiation électromagnétique, telle que la lumière. L'émission d'électrons résulte de l'absorption de photons par le matériau, ce qui peut provoquer l'excitation d'électrons dans les atomes du matériau et leur éjection de la surface du matériau. Ce phénomène est largement utilisé dans les détecteurs de rayonnement et les dispositifs d'imagerie, tels que les tubes photomultiplicateurs. (Figure1.13)

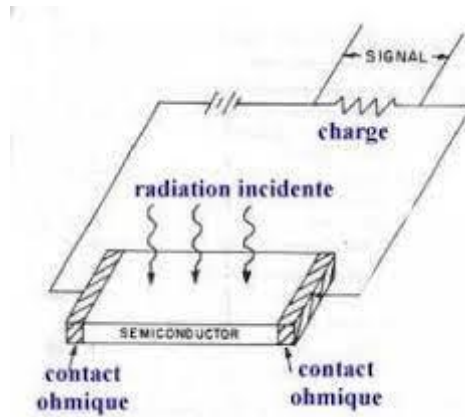


Figure 1.13 : Principe de l'effet photoémissif

Exemple : L'effet photoémissif est utilisé dans l'instrumentation industrielle pour détecter la présence de particules dans l'air ou dans d'autres fluides. Les détecteurs de fumée en sont un exemple courant. Ils utilisent une source lumineuse pour émettre un faisceau lumineux à travers une chambre. Lorsque des particules sont présentes dans la chambre, elles absorbent une partie de la lumière, ce qui réduit l'intensité du faisceau lumineux. Le détecteur mesure cette réduction de l'intensité et déclenche une alarme en cas de dépassement d'un seuil prédéfini. (Figure 1.14)



Figure 1.14 : Détecteur de fumée

1.3.1.7 Effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque est un phénomène physique par lequel certains matériaux, tels que le silicium, produisent une différence de potentiel électrique lorsqu'ils sont exposés à la lumière. Cette différence de potentiel, également appelée tension photovoltaïque, peut être utilisée pour générer de l'électricité.

L'effet photovoltaïque a été découvert en 1839 par le physicien français Alexandre-Edmond Becquerel. Depuis lors, il a été utilisé pour produire de l'énergie électrique dans des cellules photovoltaïques, qui sont utilisées dans des applications telles que les panneaux solaires. (Figure 1.15)

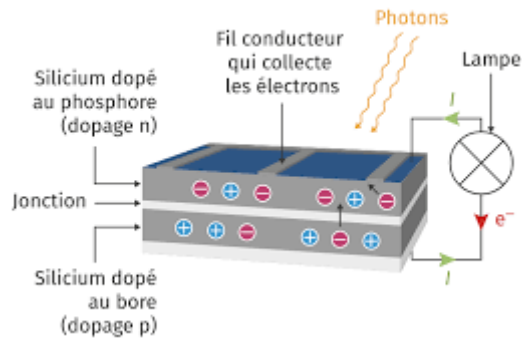


Figure 1.15 : Principe de l'effet photovoltaïque

Exemple : L'effet photovoltaïque est largement utilisé dans l'industrie pour la production d'énergie solaire. Les panneaux solaires sont des exemples courants d'utilisation de cet effet. Les cellules solaires, qui sont les composants de base des panneaux solaires, contiennent des matériaux semi-conducteurs qui absorbent la lumière et produisent un courant électrique. (figure1.16)



Figure 1.16 : Les panneaux solaires

1.3.1.8 Effet photo électromagnétique

L'application d'un champ magnétique perpendiculaire au rayonnement provoque dans le matériau éclairé l'apparition d'une tension électrique dans la direction normale au champ et au rayonnement.

Applications : Les effets photoélectriques qui permettent d'obtenir courant ou tension fonction de l'éclairement d'une cible sont à la base de méthodes de mesure des grandeurs photométriques d'une part, et ils assurent d'autre part, la transposition en signal électrique des informations dont la lumière peut être le véhicule.

1.3.1.9 Effet Hall

L'effet Hall est un phénomène physique par lequel un champ magnétique appliqué perpendiculairement à un courant électrique dans un matériau conducteur induit une différence de potentiel électrique transversale. Cette différence de potentiel, appelée tension de Hall, est proportionnelle à la fois à la force du champ magnétique et à

l'intensité du courant électrique. L'effet Hall est utilisé dans de nombreuses applications, notamment pour mesurer la densité de courant électrique, la conductivité électrique et la mobilité des porteurs de charge dans les matériaux conducteurs.

L'effet Hall a été découvert en 1879 par le physicien américain Edwin Hall. Depuis lors, l'effet Hall a été étudié en profondeur et utilisé dans de nombreuses applications pratiques, notamment dans les capteurs de courant et les capteurs de champ magnétique. (Figure 1.17)

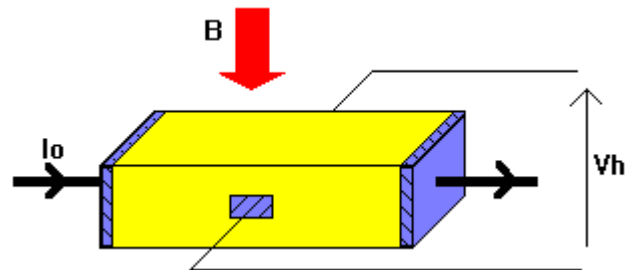


Figure 1.17 : Principe de l'effet Hall

Exemple: L'effet Hall est couramment utilisé dans l'instrumentation industrielle pour mesurer des champs magnétiques. Par exemple, dans les capteurs de courant à effet Hall, une plaque mince de matériau semi-conducteur est placée dans le champ magnétique produit par le courant électrique que l'on souhaite mesurer. Le champ magnétique dévie les électrons dans le matériau, produisant une différence de potentiel mesurable entre les côtés opposés de la plaque. Cette différence de potentiel est proportionnelle à l'intensité du champ magnétique et donc à l'intensité du courant électrique mesuré. (Figure 1.18)

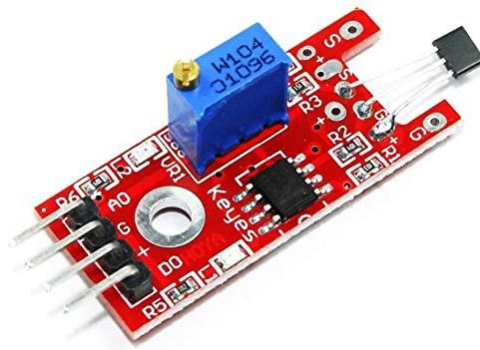


Figure 1.18 : Capteur de courant à effet Hall

1.3.2 Les capteurs passifs

Les capteurs passifs, en revanche, sont des éléments de circuit qui se comportent comme des impédances, tels que des résistances, des inductances ou des capacités. Ils mesurent les variations d'impédance en réponse à une grandeur physique à mesurer, et ces variations sont mesurables par les modifications du courant ou de la tension qu'elles entraînent dans un circuit par ailleurs alimenté par une source extérieure. Les capteurs passifs nécessitent donc un conditionneur de signal pour amplifier et filtrer le signal mesuré. Les exemples de capteurs passifs incluent les jauges de contrainte et les capteurs de pression résistifs. (Tableau 1.2)

Mesurande	Caractéristique électrique sensible	Type de matériaux utilisés
Température	Résistivité	Métaux: platine, nickel, cuivre.
Très basse température	Constante diélectrique	Semi-conducteurs. Verres.
Flux de rayonnement optique	Résistivité	Semi-conducteurs.
Déformation	Résistivité Perméabilité magnétique	Alliages de nickel, silicium dopé. Alliages ferromagnétiques.
Position (aimant)	Résistivité	Matériaux magnétorésistants: bismuth, antimoine, indium.
Humidité	Résistivité Constante diélectrique	Chlorure de lithium. Alumine; polymères.
Niveau	Constante diélectrique	Liquides isolants.

Tableau 1.2 – Capteurs passifs : effets physiques et matériaux.

1.3.2.1 Résistivité

L'effet de résistivité est un phénomène physique dans lequel la résistance électrique d'un matériau change en réponse à une modification de sa température. Lorsqu'un matériau est chauffé, les électrons qui transportent la charge électrique à travers le matériau subissent une agitation thermique accrue, ce qui augmente le nombre de collisions avec les atomes du matériau. Cette augmentation de collisions entraîne une augmentation de la résistance électrique du matériau. (Figure 1.19)

Le coefficient de température de la résistance (CTR) est une mesure quantitative de la façon dont la résistance électrique d'un matériau varie avec la température. Il est défini comme le rapport de la variation relative de la résistance à la variation de la température, exprimé en pourcentage par degré Celsius.

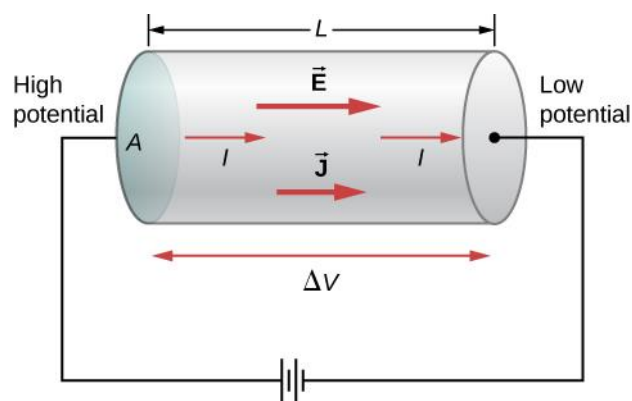


Figure 1.19 : Principe de l'effet de résistivité

Exemple : Un exemple courant est l'utilisation de la mesure de résistivité pour la fabrication de capteurs de température. Les capteurs de température à thermistance sont constitués de matériaux semi-conducteurs tels que l'oxyde de manganèse, qui ont une résistance électrique qui varie en fonction de la température. Lorsque la température du capteur change, sa résistance électrique change également, ce qui peut être mesuré pour déterminer la température ambiante. (Figure 1.20)



Figure 1.20 : Capteur de température a thermistance

1.3.2.2 Constante diélectrique

L'effet de constante diélectrique est le changement de la capacité d'un matériau isolant lorsqu'il est soumis à un champ électrique. En d'autres termes, la capacité d'un matériau isolant varie en fonction de la quantité de charge électrique qui lui est appliquée.

Ce phénomène est utilisé dans de nombreuses applications, notamment dans la conception de condensateurs électriques. Les condensateurs électriques sont des dispositifs qui stockent de l'énergie électrique en créant une différence de potentiel électrique entre deux conducteurs séparés par un matériau isolant. L'effet de constante diélectrique permet aux condensateurs de stocker une charge électrique plus importante, ce qui augmente leur capacité. (Figure 1.21)

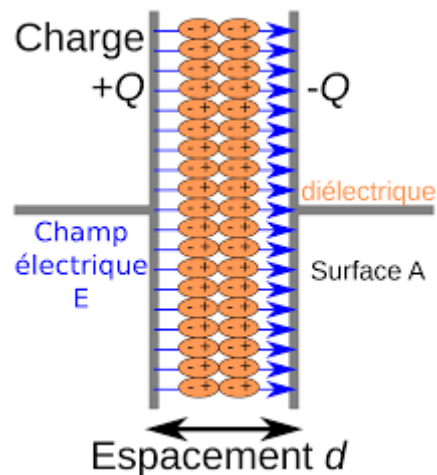


Figure 1.21 : Principe de l'effet constante diélectrique

Exemple : L'effet de la constante diélectrique est utilisé dans la conception de capteurs de mesure de niveau pour des liquides. Les capteurs utilisent un principe de mesure de la capacité en fonction de la constante diélectrique du liquide. La mesure de la constante diélectrique permet de déterminer le niveau de remplissage du liquide. Les capteurs peuvent être utilisés pour une variété d'applications, notamment dans l'industrie alimentaire, la production pharmaceutique et la production de produits chimiques. (Figure 1.22)



Figure 1.22 : Capteur de niveau

1.3.2.3 Perméabilité magnétique

L'effet de perméabilité magnétique décrit la capacité d'un matériau à conduire ou à concentrer des lignes de champ magnétique en fonction de ses propriétés magnétiques intrinsèques. Les matériaux avec une forte perméabilité magnétique, tels que les métaux ferromagnétiques et leurs alliages, sont couramment utilisés dans la fabrication d'éléments magnétiques tels que les transformateurs et les inducteurs. La perméabilité magnétique est mesurée en termes de constante de perméabilité magnétique(Figure1.23)

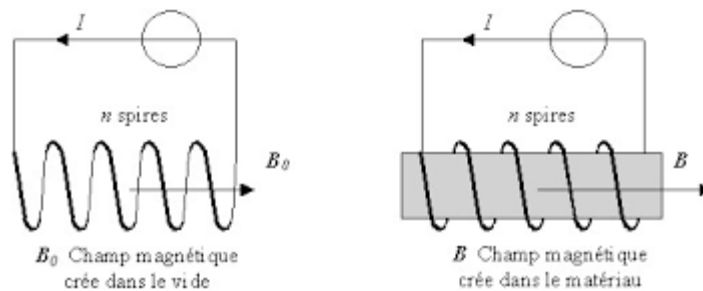


Figure 1.23 : Principe de l'effet de perméabilité

Exemple : L'effet de perméabilité magnétique est largement utilisé dans l'instrumentation industrielle pour la fabrication d'éléments magnétiques tels que les transformateurs, les inducteurs et les bobines. Par exemple, les transformateurs sont des dispositifs qui utilisent l'effet de perméabilité magnétique pour transformer une tension alternative à un niveau de tension différent. Les inducteurs et les bobines sont également utilisés dans de nombreuses applications d'instrumentation industrielle, tels que la suppression de bruit électromagnétique (EMI) et la régulation de la tension.



Figure 1.24 : Transformateur électrique

2 **Chapitre 02** : Acquisition de données et Régulation industrielle

2.1 Structure d'une chaîne d'acquisition [13]

2.1.1 Définition :

La chaîne d'acquisition de données est un système électronique qui permet de mesurer, traiter et stocker des données provenant de capteurs. Elle est composée de plusieurs éléments, chacun ayant un rôle spécifique dans la chaîne. (Figure2.1)

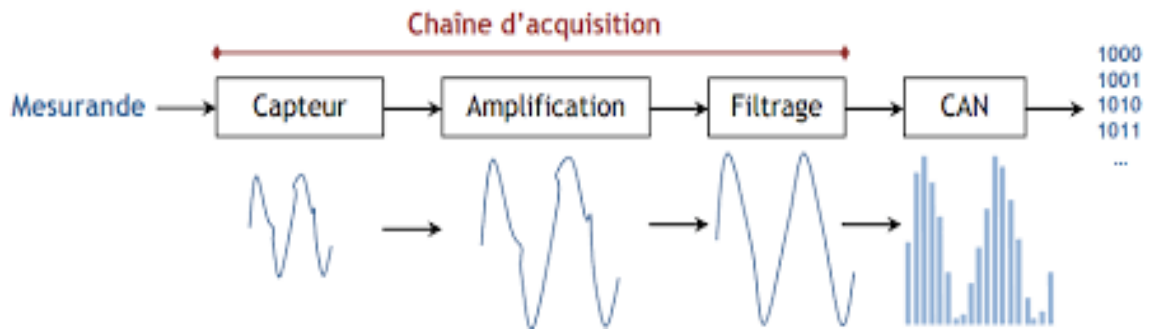


Figure2.1 : La chaîne d'acquisition de données

2.1.2 Les éléments clés d'une chaîne d'acquisition de données :

Les capteurs : sont les éléments qui mesurent la grandeur physique et qui convertissent cette grandeur en un signal électrique.

Les amplificateurs de signal : amplifient le signal électrique faible du capteur pour qu'il puisse être traité par les autres éléments de la chaîne.

Les filtres sont utilisés pour éliminer les bruits et les interférences dans le signal.

Les convertisseurs analogique-numérique (CAN) : convertissent le signal analogique du capteur en signal numérique, qui peut être traité par les microcontrôleurs.

Les microcontrôleurs : sont des circuits électroniques programmables qui effectuent le traitement et la gestion des données. Ils peuvent être programmés pour effectuer des calculs, des filtrages, des comparaisons et d'autres opérations.

Les ordinateurs : sont souvent utilisés pour visualiser, stocker et traiter les données de la chaîne d'acquisition.

2.2 La carte d'acquisition(Arduino)

Arduino est une plate-forme de développement électronique open-source basée sur des microcontrôleurs programmables. Elle est conçue pour permettre aux

amateurs et aux professionnels de créer des projets électroniques interactifs et programmables. Les cartes Arduino sont disponibles en plusieurs modèles, chacun avec des fonctionnalités spécifiques. Elles sont équipées d'un microcontrôleur, de ports d'entrée/sortie et de connecteurs pour les périphériques externes.

Le langage de programmation utilisé avec Arduino est basé sur Wiring, qui est une variante du C++. La programmation se fait via l'environnement de développement intégré (IDE) Arduino, qui permet de téléverser le code sur la carte Arduino et d'interagir avec les entrées/sorties.[14]

2.2.1 La carte ArduinoUno[15]

2.2.1.1 Définition et principe

La carte Arduino (Figure2.2)Uno est une carte de développement électronique basée sur le microcontrôleur ATmega328P. Elle dispose de 14 broches d'entrée/sortie numériques, 6 broches d'entrée analogique et un port série matériel. La carte Uno est largement utilisée pour les projets électroniques interactifs tels que les robots, les capteurs et les projets de domotique.



Figure2.2 : Carte ArduinoUno

2.2.1.2 Branchement de la carte ArduinoUno

Le branchement de la carte ArduinoUno est assez simple. (Figure2.3)Voici les étapes à suivre pour brancher la carte ArduinoUno :

- 1- Connectez la carte ArduinoUno à votre ordinateur à l'aide d'un câble USB.
- 2- Alimentez la carte ArduinoUno à l'aide d'un adaptateur secteur ou d'une source d'alimentation externe. La tension d'alimentation recommandée est de 7 à 12 volts.
- 3- Connectez les périphériques externes (tels que des capteurs, des

actionneurs, des écrans, etc.) aux broches d'entrée/sortie numériques et analogiques de la carte Uno.

4- Utilisez l'environnement de développement intégré (IDE) Arduino pour programmer la carte Uno et interagir avec les périphériques connectés.

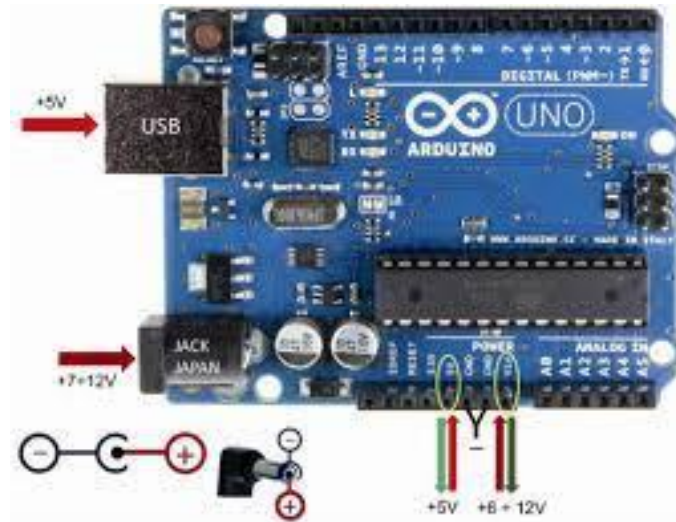


Figure 2.3 : Branchement de la carte Arduino "Uno"

2.2.2 La carte Arduino Mega [16]

2.2.2.1 Définition et principe

La carte Arduino Mega (Figure 2.4) est une carte de développement électronique basée sur le microcontrôleur ATmega2560. Elle dispose de 54 broches d'entrée/sortie numériques, 16 broches d'entrée analogique et 4 ports série matériels. La carte Mega est utilisée pour les projets nécessitant une grande quantité d'entrées/sorties, tels que les robots, les systèmes de contrôle industriels et les projets de domotique.



Figure 2.4:carteArduino"Mega"

2.2.2.2 Branchement de la carte ArduinoMega [16]

Le branchement de la carte ArduinoMega est assez simple (voir Figure2.5) Voici les étapes à suivre pour brancher la carte ArduinoMega :

- 1- Connectez la carte ArduinoMega à votre ordinateur à l'aide d'un câble USB.
- 2- Alimentez la carte ArduinoMega à l'aide d'un adaptateur secteur ou d'une source d'alimentation externe. La tension d'alimentation recommandée est de 7 à 12 volts.
- 3- Connectez les périphériques externes (tels que des capteurs, des actionneurs, des écrans, etc.) aux broches d'entrée/sortie numériques et analogiques de la carte Mega.
- 4- Utilisez l'environnement de développement intégré (IDE) Arduino pour programmer la carte Mega et interagir avec les périphériques connectés.



Figure2.5 : Branchement de la carte Arduino MEGA

2.3 Notion de régulation industrielle

2.3.1 Introduction à la régulation industrielle [17]

La régulation industrielle est l'ensemble des méthodes et des techniques utilisées pour contrôler et réguler les processus industriels afin d'assurer une production efficace et de qualité. Les systèmes de régulation industrielle sont utilisés dans de nombreux domaines industriels tels que l'automobile, la chimie, la pétrochimie, la métallurgie, la production d'énergie et bien d'autres.

Les systèmes de régulation industrielle utilisent des capteurs pour mesurer les paramètres du processus tels que la température, la pression, le débit, le niveau, etc. Les données collectées sont ensuite traitées par des unités de traitement qui prennent des décisions pour réguler les paramètres du processus à travers des actionneurs.

Il existe différents types de systèmes de régulation industrielle tels que la régulation à boucle ouverte, la régulation à boucle fermée, la régulation proportionnelle-intégrale-dérivée (PID), la régulation floue, la régulation prédictive et bien d'autres.

La régulation industrielle est un domaine complexe et en constante évolution. Elle est essentielle pour améliorer la qualité et la productivité de la production industrielle.

2.3.2 La boucle de régulation [18]

2.3.2.1 Principe

La boucle de régulation est le cœur d'un système de régulation industrielle. Elle est composée de trois éléments principaux : le capteur, le contrôleur et l'actionneur (voir Figure 2.6)

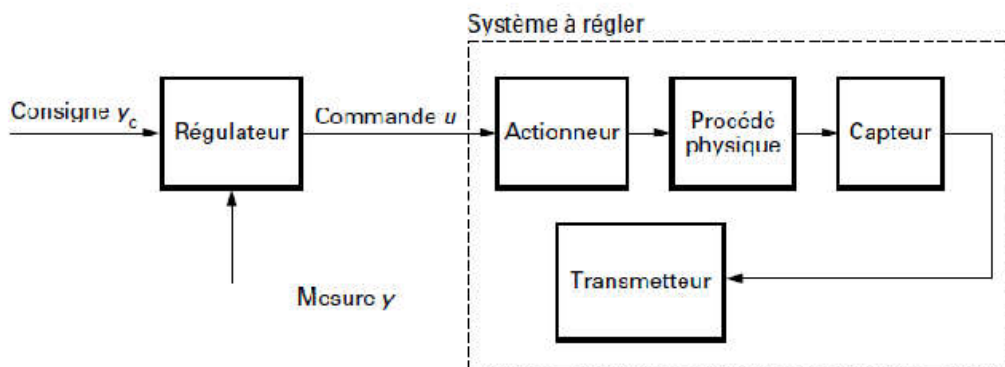


Figure 2.6 : Schéma d'une boucle de régulation

2.3.2.2 Éléments constitutifs d'une boucle de régulation

Le capteur : mesure les paramètres du processus tels que la température, la pression, le débit, le niveau, etc. Les données collectées sont transmises au contrôleur.

Le contrôleur : traite les données collectées par le capteur et prend des décisions pour réguler les paramètres du processus. Il peut s'agir d'un contrôleur programmable, d'un

ordinateur ou d'un système de régulation électronique.

L'actionneur : est chargé d'exécuter les décisions prises par le contrôleur en ajustant les paramètres du processus. Il peut s'agir d'un moteur, d'une vanne, d'un relais ou de tout autre dispositif capable de modifier les paramètres du processus.

La boucle de régulation peut être de deux types : la boucle de régulation à boucle ouverte et la boucle de régulation à boucle fermée. Dans la boucle de régulation à boucle ouverte, le contrôleur prend des décisions sans tenir compte des mesures de retour du processus. Dans la boucle de régulation à boucle fermée, le contrôleur prend des décisions en fonction des mesures de retour du processus pour réguler les paramètres du processus.

2.4 Régulateur Tout Ou Rien (TOR) [19]

2.4.1 Principe

Le régulateur Tout Ou Rien (TOR) est un type de régulateur utilisé dans les systèmes de régulation industrielle. Il s'agit d'un régulateur simple qui utilise une action de commutation pour maintenir une variable de processus à une valeur prédéfinie. Le régulateur TOR est également connu sous le nom de régulateur marche-arrêt ou régulateur tout ou rien binaire.

Le fonctionnement du régulateur Tout Ou Rien est simple. Lorsque la variable de processus dépasse la valeur prédéfinie, le régulateur active l'actionneur à sa valeur maximale. Lorsque la variable de processus est inférieure à la valeur prédéfinie, le régulateur désactive l'actionneur. Ainsi, le régulateur n'offre que deux états possibles à l'actionneur : activé ou désactivé.

Les régulateurs Tout Ou Rien sont souvent utilisés dans les applications de chauffage et de refroidissement. Par exemple, un régulateur Tout Ou Rien peut être utilisé pour maintenir une température constante dans une pièce en activant ou en désactivant le système de chauffage ou de refroidissement.



Figure2.7 : Régulateur Tout Ou Rien

Cependant, le régulateur Tout Ou Rien a ses limites et peut ne pas être adapté à toutes les applications. Il peut entraîner une usure prématurée des actionneurs en raison des cycles répétitifs d'activation et de désactivation. De plus, il peut ne pas être précis dans les applications qui nécessitent un contrôle fin de la variable de processus.

2.4.2 Programme d'un régulateur Tout Ou Rien

Le programme d'un régulateur Tout Ou Rien est relativement simple car il n'utilise qu'une action de commutation pour contrôler l'actionneur. Le programme peut être écrit dans différents langages de programmation, tels que C, C++, Python ou LabVIEW, en fonction de l'environnement de développement utilisé.

Voici un exemple de programme en pseudo-code pour un régulateur Tout Ou Rien :

- Lire la valeur de la variable de processus
- Si la valeur de la variable de processus est supérieure à la valeur de consigne, activer l'actionneur à sa valeur maximale
- Sinon, désactiver l'actionneur
- Répéter le processus

Le programme utilise une boucle continue pour lire la valeur de la variable de processus et prendre des décisions en fonction de la valeur de consigne. Si la valeur de la variable de processus est supérieure à la valeur de consigne, l'actionneur est activé à sa valeur maximale. Si la valeur de la variable de processus est inférieure ou égale à la valeur de consigne, l'actionneur est désactivé.

Le programme peut être modifié pour ajouter des fonctionnalités supplémentaires, telles que des retards de temps ou des hystérésis, pour éviter les cycles rapides d'activation et de désactivation.

2.5 Régulateur PID [20]

2.5.1 Principe

Le régulateur PID (proportionnel-intégral-dérivé) est un type de régulateur utilisé dans les systèmes de régulation industrielle. Il utilise une combinaison de trois actions de régulation pour ajuster la sortie du régulateur en fonction de l'erreur entre la valeur de consigne et la variable de processus. Le régulateur PID est largement utilisé dans les industries pour contrôler des variables telles que la température, la pression, le débit, etc.

Le régulateur PID calcule l'erreur en soustrayant la valeur de consigne de la variable de processus et utilise cette erreur pour ajuster la sortie du régulateur. La proportionnelle (P) multiplie l'erreur actuelle par un gain pour produire une sortie proportionnelle à l'erreur. L'intégrale (I) utilise une somme cumulée de l'erreur pour produire une sortie qui diminue l'erreur à long terme. Le dérivé (D) utilise la pente de l'erreur pour anticiper les variations futures de la variable de processus et ajuste la sortie pour éviter ces variations.

Le réglage du régulateur PID est crucial pour un fonctionnement efficace du système de régulation. Les valeurs de gain et de temps intégral et dérivé doivent être choisies avec soin pour éviter les oscillations et les temps de réponse lents.

Un exemple d'application industrielle courante de régulateur PID est le contrôle de la température dans les procédés industriels tels que les fours, les réacteurs chimiques et les sècheurs.



Figure 2.8 : Régulateur PID numérique

2.6 Modulation de largeur d'impulsion (MLI ou PWM) [21]

La modulation de largeur d'impulsion (MLI ou PWM en anglais) est une technique de commande utilisée dans les systèmes électroniques pour réguler la puissance fournie à un dispositif. Elle consiste à moduler la largeur d'impulsion d'un signal carré de fréquence constante pour obtenir une tension moyenne variable. Cette technique est largement utilisée dans les variateurs de vitesse pour moteurs électriques (Figure 2.9), les alimentations à découpage, les amplificateurs de puissance, etc.

Le signal de modulation de largeur d'impulsion est généré par un circuit électronique spécialisé, généralement un microcontrôleur ou un circuit intégré dédié. Le signal de sortie est un signal carré dont la largeur d'impulsion est modulée en fonction du signal

de commande. La période du signal carré est déterminée par la fréquence de modulation et sa largeur d'impulsion est proportionnelle à la tension de commande.

La modulation de largeur d'impulsion est une technique efficace pour contrôler la puissance fournie à un dispositif, car elle permet une conversion efficace de l'énergie électrique. Elle est également facile à mettre en œuvre dans les systèmes électroniques et offre un contrôle précis de la tension de sortie.

Exemple

Un exemple industriel courant d'utilisation de la modulation de largeur d'impulsion (MLI) est le contrôle de la vitesse des moteurs à courant continu (CC) dans les applications industrielles.

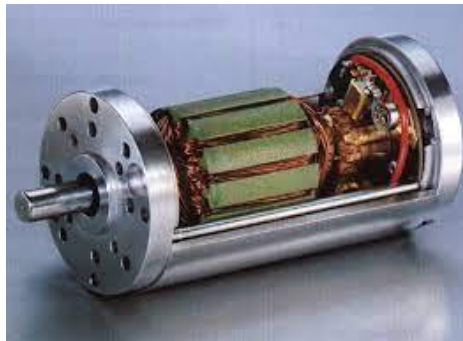


Figure2.9 : Moteur électrique

La MLI est utilisée pour réguler la tension fournie au moteur et, par conséquent, sa vitesse de rotation. Dans ce cas, un signal de commande sous forme d'onde carrée est généré, et la durée pendant laquelle le signal est en état haut (niveau logique élevé) est modulée en fonction de la vitesse souhaitée.

Par exemple, si une vitesse de rotation plus élevée est requise, la durée pendant laquelle le signal est en état haut sera augmentée. Si une vitesse plus faible est souhaitée, la durée pendant laquelle le signal est en état haut sera réduite. Cette modulation de la durée de l'impulsion permet de contrôler précisément la vitesse du moteur.

Ce type de contrôle à MLI est utilisé dans de nombreux domaines industriels, tels que l'automatisation, la robotique, l'industrie automobile, les machines-outils, les convoyeurs, etc., pour réguler la vitesse des moteurs CC de manière efficace et précise.

3 **Chapitre 03** : Présentation de quelques capteurs et pré-actionneurs utilisées par la carte Arduino

3.1 Capteurs utilisées par la carte arduino :

3.1.1 Capteur deniveau (distance) à Ultrasons [22]

3.1.1.1 Description

Le capteur à ultrasons HC-SR04 (voir Figure3.1) est souvent utilisé avec une carte Arduino pour mesurer des distances. Le HC-SR04 utilise un sonar pour déterminer la distance à un objet. Ce capteur lit de 2 cm à 400 cm (0,8 pouce à 157 pouces) avec une précision de 0,3 cm (0,1 pouce), ce qui est bon pour la plupart des projets amateurs. De plus, ce module particulier est livré avec des modules émetteur et récepteur à ultrasons.



Figure 3.1 Capteur de distance à Ultrasons

3.1.1.2 Principe de fonctionnement

Le capteur à ultrasons utilise un sonar pour déterminer la distance à un objet. Voici ce qui se passe (Figure3.2):

- 1- L'émetteur à ultrasons (trig pin) émet un son à haute fréquence (40 kHz).
- 2- Le son voyage dans l'air. S'il trouve un objet, il rebondit vers le module.
- 3- Le récepteur à ultrasons (broche d'écho) reçoit le son réfléchi (écho).

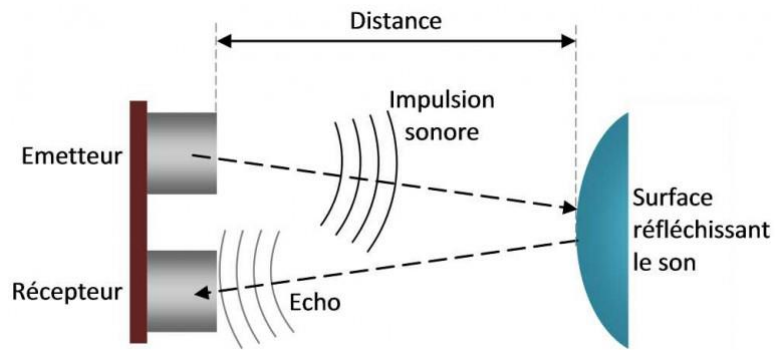


Figure 3.2 : Fonctionnement de Capteur de distance à Ultrasons

Le temps entre l'émission et la réception du signal nous permet de calculer la distance à un objet. Ceci est possible car nous connaissons la vitesse du son dans l'air. Voici la formule :

$$\text{Distance to an object} = ((\text{speed of sound in the air}) * \text{time}) / 2$$

vitesse du son dans l'air à 20°C (68°F) = 343m/s

3.1.1.3 Bronchement avec Arduino [23] (Figure3.3)

1. Connectez le fil de signal du capteur HC-SR04 au port numérique 7 de la carte Arduino.
2. Connectez le fil VCC (5V) du capteur au port 5V de la carte Arduino.
3. Connectez le fil GND (masse) du capteur au port GND de la carte Arduino.

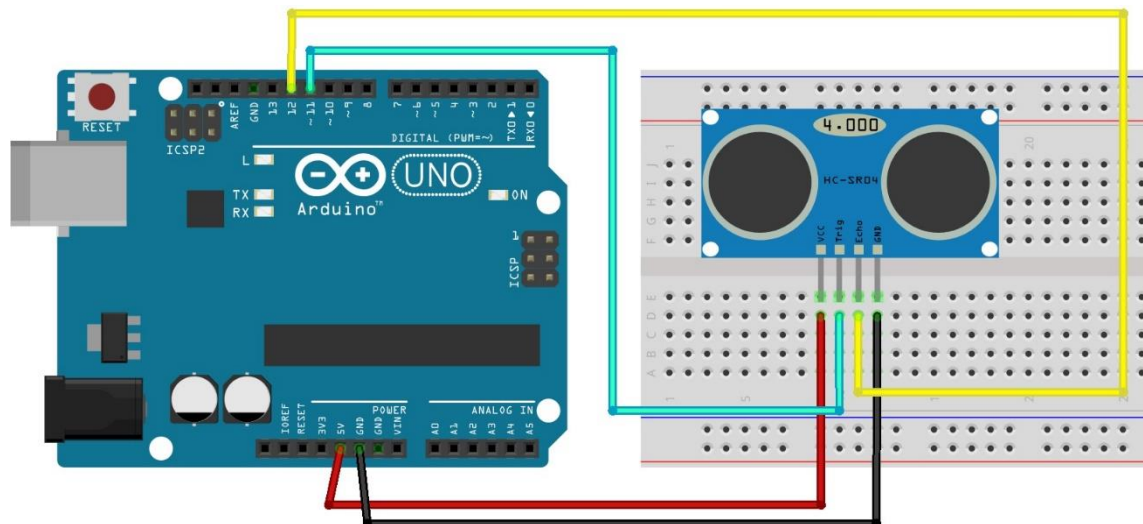


Figure 3.3 : Bronchement de capteur de distance à Ultrasons avec Arduino

3.1.1.4 Programme Arduino [23]

```
#include<NewPing.h>
```

```
#define TRIGGER_PIN 7
```

```
#define ECHO_PIN 7
```

```
#define MAX_DISTANCE 200
```

```
NewPingsonar(TRIGGER_PIN, ECHO_PIN, MAX_DISTANCE);
```

```
void setup() {
```

```
Serial.begin(9600);
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
delay(50);
```

```
int distance = sonar.ping_cm();
```

```
Serial.print("Distance: ");
```

```
Serial.print(distance);
```

```
Serial.println(" cm");
```

```
}
```

3.1.2 Capteur de débit d'eau YF-S201 [24]

3.1.2.1 Description

Le capteur YF-S401 (Figure 3.4) est un capteur de débit d'eau généralement utilisé pour mesurer la quantité de liquide qui passe à travers une canalisation. Il est largement utilisé dans les applications industrielles, telles que la surveillance de la consommation d'eau, la régulation du débit ou le contrôle des systèmes d'irrigation.



Figure 3.4 : Capteur de débit d'eau

3.1.2.2 Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement du capteur YF-S401 (Figure 3.5) repose sur le déplacement d'une hélice à l'intérieur du capteur lorsque l'eau ou tout autre liquide s'écoule à travers lui. Lorsque l'hélice tourne, elle génère des impulsions électriques proportionnelles à la vitesse de rotation, ce qui est directement lié au débit du liquide.

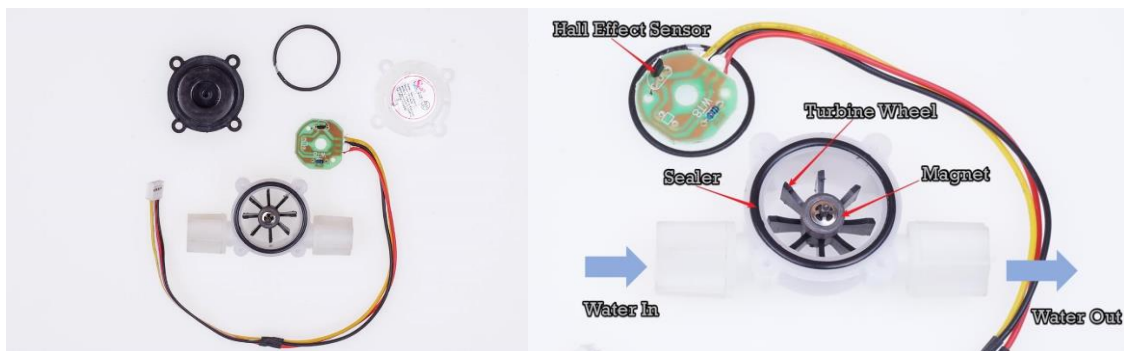


Figure 3.5 : Principe de fonctionnement du capteur de débit d'eau

Voici les principales caractéristiques du capteur YF-S401 :

- 1- Hélice : Le capteur est équipé d'une petite hélice à l'intérieur d'un tube. Lorsque le liquide passe à travers le tube, il entraîne l'hélice en rotation.
- 2- Capteur de hall : Le capteur YF-S401 utilise un capteur de hall pour détecter chaque tour complet de l'hélice. Chaque fois que l'hélice effectue une rotation complète, le capteur de hall génère une impulsion électrique.
- 3- Fréquence des impulsions : La fréquence des impulsions générées par le capteur est proportionnelle au débit du liquide. Le capteur est généralement calibré pour générer un certain nombre d'impulsions par litre ou par gallon d'eau qui passe à travers le capteur.

- 4- Sortie de signal : Le capteur dispose généralement de deux fils de sortie pour les impulsions électriques. Un fil est connecté à la broche de signal, qui émet des impulsions à chaque rotation de l'hélice. L'autre fil est connecté à la broche de terre pour compléter le circuit.
- 5- Interfaçage électronique : Pour utiliser le capteur YF-S201, vous devez le connecter à un microcontrôleur ou à un autre circuit électronique capable de mesurer les impulsions générées par le capteur. En comptant le nombre d'impulsions sur une certaine période de temps, vous pouvez déterminer le débit du liquide.

3.1.2.3 Bronchement avec Arduino(figure3.6)

1. Connectez le fil rouge du capteur (VCC) au port 5V de la carte Arduino.
2. Connectez le fil noir du capteur (GND) au port GND de la carte Arduino.
3. Connectez le fil jaune du capteur (signal) au port numérique 2 de la carte Arduino.

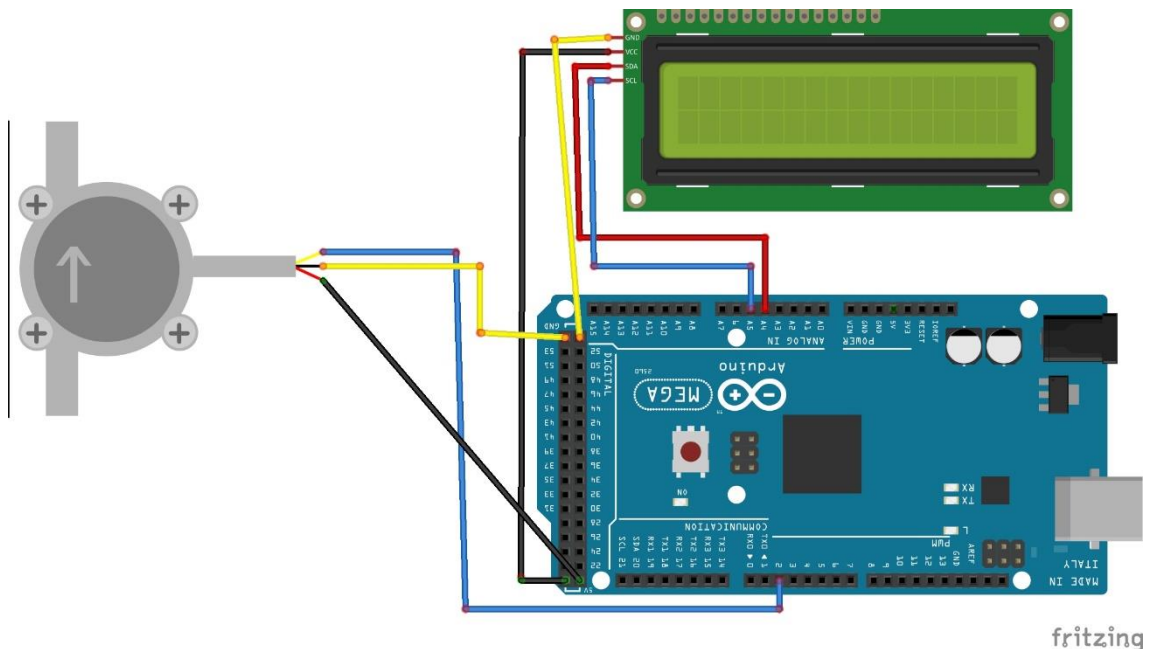


Figure 3.6 : Bronchement de capteur débit d'eau avec Arduino

3.1.2.4 Programme Arduino

```

const int flowPin = 2;

unsigned int pulseCount = 0;

float flowRate = 0.0;

float totalVolume = 0.0;

unsigned long prevTime = 0;

void setup() {

```

```

Serial.begin(9600);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(flowPin), pulseCounter, RISING);
}

voidloop() {
unsigned long currentTime = millis();
unsigned long elapsedTime = currentTime - prevTime;

if (elapsedTime > 1000) {
detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(flowPin));

flowRate = (pulseCount / (elapsedTime / 1000.0)) * 60.0;
totalVolume += (flowRate / 60.0) * elapsedTime;

Serial.print("Flow rate: ");
Serial.print(flowRate);
Serial.print(" L/min");

Serial.print(" | Total volume: ");
Serial.print(totalVolume);
Serial.println(" L");
pulseCount = 0;
prevTime = currentTime;
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(flowPin), pulseCounter, RISING);
}
}

voidpulseCounter() {
pulseCount++;
}

```

3.1.3 Capteur de pression MPX5700AP [25]

3.1.3.1 Description

Le capteur MPX5700AP (Figure 3.7) est un capteur de pression absolue analogique alimenté en 5 V. La mesure de pression s'échelonne de 15 kPa à 700 kPa pour une tension de sortie allant de 0,2 V à 4,7 V. Sa précision est au maximum égale à 2,5 % de la plage de mesure (700-15 = 685 kPa).



Figure 3.7 Capteur de pression

3.1.3.2 Principe de fonctionnement

Voici les principaux éléments et le fonctionnement du capteur MPX5700AP :

- 1- Élément sensible : Le capteur MPX5700AP utilise un élément sensible appelé "piezoresistor" ou "résistance piézoélectrique". Cet élément est fabriqué à partir d'un matériau piézoélectrique, qui change de résistance électrique en fonction de la pression appliquée.
- 2- Diaphragme : Le capteur comprend un diaphragme en silicone qui est déformé par la pression. Lorsque la pression est appliquée sur le diaphragme, celui-ci se déforme, ce qui entraîne une modification de la résistance de l'élément sensible.
- 3- Pont de Wheatstone : Le capteur MPX5700AP est basé sur un pont de Wheatstone, qui est un circuit électrique utilisé pour mesurer les variations de résistance. Le pont de Wheatstone est composé de plusieurs résistances, y compris l'élément sensible du capteur.
- 4- Variation de la résistance : Lorsque la pression est appliquée sur le diaphragme, la résistance de l'élément sensible change. Cette variation de résistance déséquilibre le pont de Wheatstone, ce qui entraîne l'apparition d'une tension de sortie.
- 5- Sortie analogique : Le capteur MPX5700AP produit une tension de sortie proportionnelle à la pression appliquée. Cette tension est généralement une tension analogique qui varie dans une plage spécifique en fonction de la pression.
- 6- Calibration : Avant d'utiliser le capteur, il est recommandé de le calibrer en utilisant une référence de pression connue. Cela permet de convertir la tension de sortie en une unité de pression appropriée, telle que les pascals ou les bars.

3.1.3.3 Branchement avec Arduino(Figure3.8)

- 1- Connectez le fil de sortie du capteur MPX5700AP (Pin OUT) à une entrée analogique de la carte Arduino (par exemple, A0).
- 2- Connectez le fil d'alimentation du capteur MPX5700AP (Pin VCC) à l'alimentation 5V de la carte Arduino.
- 3- Connectez le fil de mise à la terre du capteur MPX5700AP (Pin GND) à la masse (GND) de la carte Arduino.

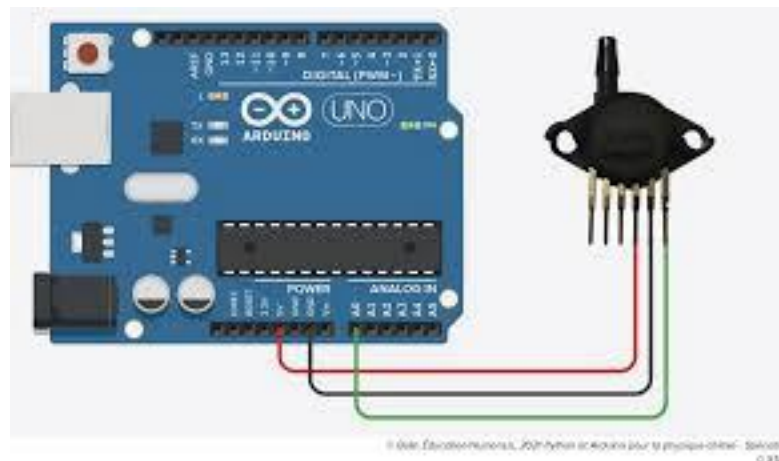


Figure 3.8 : Branchement de capteur de pression avec Arduino

3.1.3.4 Programme Arduino

```
const int pressurePin = A0;
```

```
void setup() {
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
  int sensorValue = analogRead(pressurePin);
```

```

// Convertir la valeur analogique en pression
float pressure = (sensorValue * 5.0) / 1023.0; // Conversion de la plage de tension (0-5V) à la plage de pression

Serial.print("Pressure: ");
Serial.print(pressure);
Serial.println(" V");

delay(1000);
}

```

3.1.4 Capteur de pression SEN0257 [26]

3.1.4.1 Description

Le capteur de pression SEN0257 (Figure 3.9) est un capteur de pression analogique qui utilise le principe de la déformation d'un élément sensible pour mesurer la pression appliquée.



Figure 3.9 : Capteur de pression

3.1.4.2 Principe de fonctionnement

Les principaux éléments et le fonctionnement du capteur SEN0257 :

- 1- Élément sensible : Le capteur SEN0257 utilise un élément sensible appelé "membrane" ou "diaphragme". Cette membrane est généralement fabriquée à partir de matériaux souples tels que le silicone. Lorsqu'une pression est appliquée sur la membrane, celle-ci se déforme.

- 2- Déformation de la membrane : Lorsque la pression est appliquée sur la membrane du capteur, celle-ci se déforme. La déformation de la membrane modifie la résistance électrique interne du capteur.
- 3- Variation de la résistance : Le capteur SEN0257 mesure la variation de la résistance interne induite par la déformation de la membrane. Cette variation de résistance est généralement linéairement proportionnelle à la pression appliquée.
- 4- Sortie analogique : Le capteur SEN0257 produit une sortie analogique qui varie en fonction de la pression mesurée. La sortie peut être une tension ou un courant proportionnel à la pression.
- 5- Conversion de la sortie : Pour convertir la sortie analogique du capteur en une unité de pression compréhensible, vous devrez effectuer une calibration en utilisant une référence de pression connue. Cela vous permettra de créer une relation entre la sortie du capteur et l'unité de pression appropriée, telle que les pascals (Pa) ou les bars.

3.1.4.3 Branchement avec Arduino(Figure3.10)

1- Connectez le fil rouge du capteur de pression (VCC) à la broche 5V de l'Arduino pour l'alimentation.

2- Connectez le fil noir du capteur de pression (GND) à la broche GND de l'Arduino pour la mise à la terre.

3- Connectez le fil blanc du capteur de pression (Signal) à une broche analogique de l'Arduino (par exemple, A0). Assurez-vous d'utiliser une résistance en série (10k ohms) entre la broche du signal et la broche GND pour former un diviseur de tension, si le capteur n'en possède pas intégré.

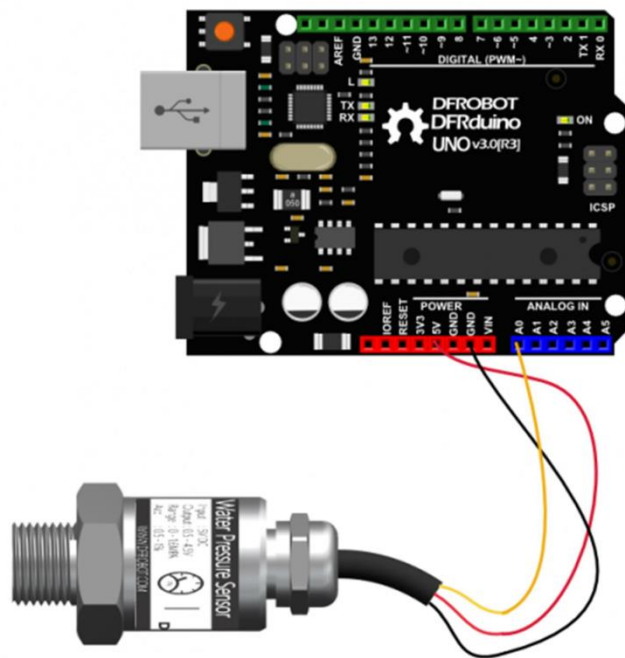


Figure 3.10 : Bronchement de capteur de pression avec Arduino

3.1.4.4 Programme Arduino

const int pressurePin = A0; // Broche analogique à laquelle le capteur est connecté

```
void setup() {
```

```
  Serial.begin(9600); // Initialisation de la communication série
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
  int sensorValue = analogRead(pressurePin); // Lecture de la valeur analogique
```

```
  Serial.println(sensorValue); // Affichage de la valeur analogique
```

```
  delay(1000); // Délai d'attente entre les lectures
```

```
}
```

3.1.5 Capteur de thermomètre infrarouge MLX90614 [27]

3.1.5.1 Description

Le capteur de thermomètre infrarouge (Figure 3.11) MLX90614 est un capteur populaire pour mesurer la température sans contact en utilisant la technologie infrarouge. Il peut être utilisé avec une carte Arduino pour mesurer la température ambiante ou la température d'objets à distance.

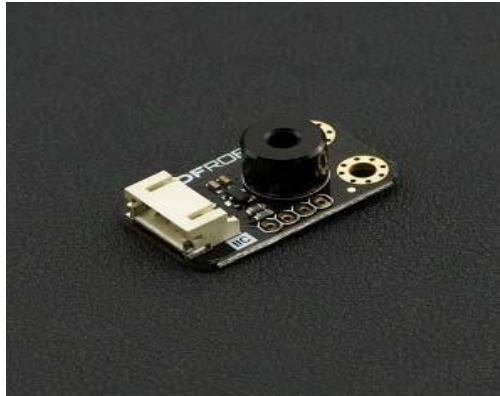


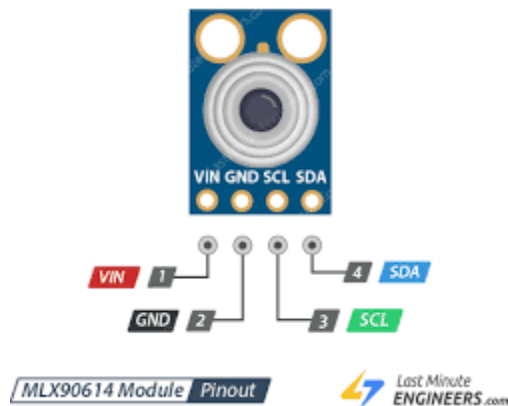
Figure 3.11 Capteur de thermomètre infrarouge

3.1.5.2 Principe de fonctionnement

Voici les principes de fonctionnement du capteur MLX90614 :

- 1- Capteur infrarouge : Le capteur MLX90614 utilise un détecteur infrarouge pour mesurer les rayonnements infrarouges émis par les objets. Il est sensible à la plage spectrale de l'infrarouge moyen ($5,5 \mu\text{m}$ à $14 \mu\text{m}$), également appelée infrarouge thermique.
- 2- Thermopile : Le capteur MLX90614 est équipé d'un thermopile, qui est un réseau de capteurs thermiques infrarouges. Chaque capteur mesure la quantité de rayonnement infrarouge reçue par une zone spécifique de l'objet cible.
- 3- Compensation de température ambiante : Le capteur MLX90614 intègre également un capteur de température ambiante pour effectuer une compensation en fonction de la température ambiante. Cela permet de corriger les variations de température ambiante qui pourraient affecter les mesures de température.
- 4- Mesure des températures : Le capteur effectue des mesures en comparant les niveaux de rayonnement infrarouge reçus par les capteurs de la thermopile et en les convertissant en une valeur de température correspondante. Il utilise des algorithmes internes pour effectuer cette conversion et fournir une sortie numérique.
- 5- Communication : Le capteur MLX90614 utilise des protocoles de communication tels que I²C (Inter-Integrated Circuit) pour transmettre les données de température à un microcontrôleur, tel qu'un Arduino. Cela permet de lire les données de température et de les utiliser dans des applications.

6- Précision et plage de mesure : Le capteur MLX90614 offre une précision de mesure de la température dans une plage spécifique, généralement autour de -40°C à $+125^{\circ}\text{C}$, avec une précision de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.



3.1.5.3 Branchement avec Arduino(Figure3.12)

- 1- Connectez le fil SDA du capteur MLX90614 au port I2C SDA de la carte Arduino. Sur la plupart des cartes Arduino, il s'agit du port A4.
- 2- Connectez le fil SCL du capteur MLX90614 au port I2C SCL de la carte Arduino. Sur la plupart des cartes Arduino, il s'agit du port A5.
- 3- Connectez le fil VCC du capteur MLX90614 à l'alimentation 3,3V de la carte Arduino.

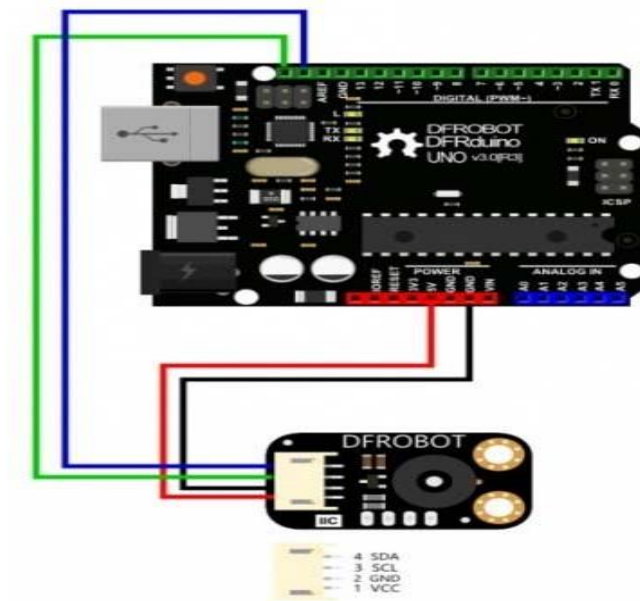


Figure 3.12 : Branchement de capteur de thermomètre infrarouge avec Arduino

3.1.5.4 Programme Arduino

```
#include<Wire.h>
```

```
#include<Adafruit_MLX90614.h>
```

```
Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();
```

```
voidsetup() {
```

```
Serial.begin(9600);
```

```
mlx.begin();
```

```
}
```

```
voidloop() {
```

```
floatambientTemp = mlx.readAmbientTempC();
```

```
floatobjectTemp = mlx.readObjectTempC();
```

```
Serial.print("Température ambiante : ");
```

```
Serial.print(ambientTemp);
```

```
Serial.println(" °C");
```

```
Serial.print("Température de l'objet : ");
```

```
Serial.print(objectTemp);
```

```
Serial.println(" °C");
```

```
delay(1000);
```

```
}
```

3.1.6 Capteur à effet Hall ST054 [28]

3.1.6.1 Description :

Le capteur d'effet Hall KY-024 (Figure 3.13) est un capteur qui utilise l'effet Hall pour détecter les champs magnétiques.

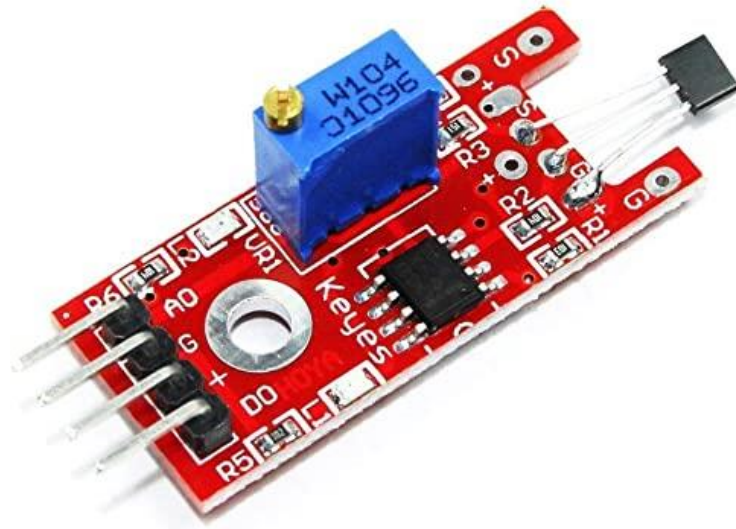
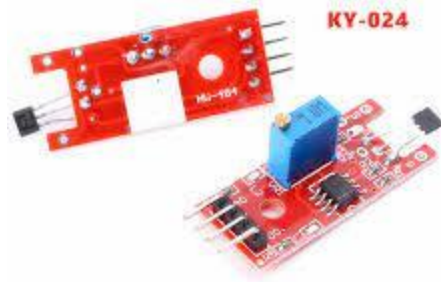


Figure 3.13 : Capteur à effet Hall

3.1.6.2 Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement du capteur d'effet Hall KY-024 :

- 1- Effet Hall : L'effet Hall est un phénomène physique qui se produit lorsqu'un courant électrique circule à travers un matériau conducteur placé dans un champ magnétique. Lorsqu'un champ magnétique est appliqué perpendiculairement au courant électrique, une différence de potentiel, appelée tension de Hall, se développe perpendiculairement à la fois au courant et au champ magnétique.
- 2- Capteur KY-024 : Le capteur KY-024 est équipé d'un élément de détection d'effet Hall sensible au champ magnétique. Cet élément détecte les variations de champ magnétique et produit une sortie analogique proportionnelle à l'intensité du champ magnétique.
- 3- Connexions électriques : Le capteur KY-024 dispose de trois broches : VCC, GND et Signal.
- 4- Lecture de la sortie : Pour lire la valeur du champ magnétique détecté par le capteur KY-024, vous pouvez utiliser la fonction `analogRead()` dans votre programme Arduino. Elle convertit la tension de sortie analogique en une valeur numérique entre 0 et 1023.



3.1.6.3 Branchement avec Arduino(Figure3.14)

- 1- Connectez la broche VCC du capteur au 5V de l'Arduino pour l'alimentation.
- 2- Connectez la broche GND du capteur au GND de l'Arduino pour la mise à la terre.
- 3- Connectez la broche Signal du capteur à une broche analogique de l'Arduino (par exemple, A0) pour lire la sortie analogique du capteur.

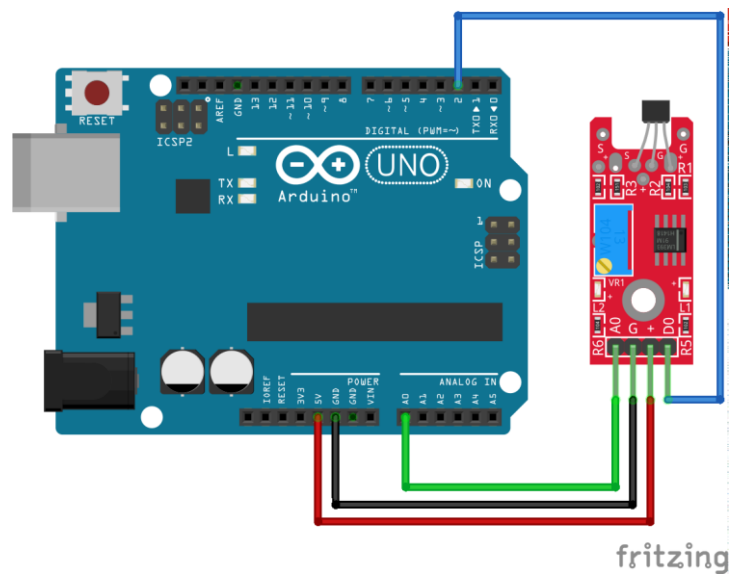


Figure 3.14 : Branchement de capteur à effet Hall avec Arduino

3.1.6.4 Programme Arduino

```
const inHallPin = A0; // Broche analogique à laquelle le capteur est connecté
```

```
void setup() {
```

```
  Serial.begin(9600); // Initialisation de la communication série
```

```
  }
```

```
void loop() {
```

```
  int sensorValue = analogRead(hallPin); // Lecture de la valeur analogique
```

```
  Serial.println(sensorValue); // Affichage de la valeur analogique
```

```
  delay(1000); // Délai d'attente entre les lectures
```

```
  }
```

3.2 Sonde de température CTN [29]

3.2.1 Définition

CTN, signifie “Capteur de Température Négative”. Ce terme est issu de la formule mathématique à l’origine de cet élément. La sonde CTN est une thermistance ou capteur de température passif.



Figure 3.15 : Thermomètre CTN (TPM 900)

3.2.2 Principe fonctionnement

Le fonctionnement d’une sonde de température CTN repose sur le principe de variation de résistance en fonction de la température. Lorsque la température autour de la sonde augmente, la résistance de la thermistance CTN diminue de manière non linéaire. Cette variation de résistance est généralement décrite par une courbe spécifique, appelée courbe de température-résistance.

3.3 Les relais

3.3.1 Définition

Les relais sont des dispositifs électromécaniques utilisés pour contrôler l'ouverture ou la fermeture de circuits électriques. Ils sont composés d'une bobine électromagnétique et de contacts électriques qui s'activent en réponse à un signal électrique. Lorsque la bobine est alimentée en courant, elle génère un champ magnétique qui attire ou repousse les contacts, permettant ainsi de faire le lien ou de l'interrompre dans le circuit électrique. Les relais sont couramment utilisés dans divers domaines, tels que l'automatisation industrielle, l'électronique, les systèmes de contrôle et la domotique.[30]

3.3.2 Relais électromagnétique : [31]

3.3.2.1 Définition

Les relais électromagnétiques sont des dispositifs électromécaniques qui utilisent une bobine électromagnétique pour contrôler l'ouverture ou la fermeture de circuits électriques.

3.3.2.2 Principe

Le principe de fonctionnement des relais électromagnétiques repose sur l'interaction entre le champ magnétique produit par la bobine et les contacts électriques.(Figure3.15)

Lorsque le courant traverse la bobine du relais, elle génère un champ magnétique qui attire les contacts électriques. Cela permet de fermer ou d'ouvrir le circuit électrique connecté aux contacts du relais. Lorsque le courant est coupé, le champ magnétique s'effondre et les contacts retrouvent leur position initiale.

Les relais électromagnétiques sont largement utilisés dans de nombreux domaines, notamment l'automatisation industrielle, les systèmes de contrôle, les équipements électriques et électroniques, la domotique, etc.

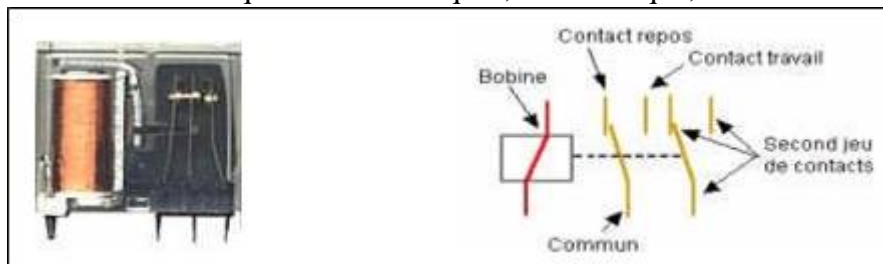


Figure 3.15 : relais électromagnétique

3.3.2.3 Branchement avec Arduino

Voici les étapes générales pour le branchement (Figure3.16) :

- 1- Connectez la broche de commande du relais à une broche numérique de l'Arduino. Assurez-vous d'utiliser une résistance de limitation de courant appropriée (généralement de 220 ohms) entre la broche de commande et la broche numérique de l'Arduino.
- 2- Connectez la broche GND (masse) du relais à la broche GND de l'Arduino.

- 3- Connectez la broche VCC (ou la broche positive de la bobine) du relais à l'alimentation externe appropriée. Assurez-vous que la tension d'alimentation correspond aux spécifications du relais.
- 4- Connectez la broche COM (common) du relais à la source d'alimentation du circuit que vous souhaitez contrôler.
- 5- Connectez la broche NO (normally open) ou NC (normally closed) du relais à la partie du circuit que vous souhaitez commuter lorsque le relais est activé. Choisissez la broche appropriée en fonction de votre application.

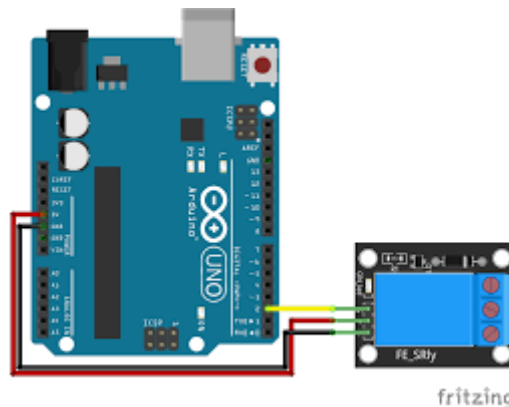


Figure 3.16 : Branchement de relais électromagnétique avec Arduino

3.3.2.4 Programme Arduino

// Constantes pour les broches de commande et de sortie du relais

```
constintrelaisPin = 2;
```

```
voidsetup() {
```

```
    // Définir la broche de commande du relais comme une sortie
```

```
    pinMode(relaisPin, OUTPUT);
```

```
}
```

```
voidloop() {
```

```
    // Activer le relais pendant 1 seconde
```

```
    digitalWrite(relaisPin, HIGH);
```

```
    delay(1000);
```

```
    // Désactiver le relais pendant 1 seconde
```

```
digitalWrite(relaisPin, LOW);  
delay(1000);  
}
```

3.3.3 Relais statique : [32]

3.3.3.1 Définition

Les relais statiques, également connus sous le nom de relais à semi-conducteurs, sont des dispositifs électroniques utilisés pour contrôler l'ouverture ou la fermeture de circuits électriques sans utiliser de parties mobiles. Contrairement aux relais électromagnétiques, les relais statiques utilisent des composants à semi-conducteurs, tels que des diodes, des transistors et des thyristors, pour effectuer la commutation des signaux électriques.

3.3.3.2 Principe

Le principe de fonctionnement des relais statiques repose sur la régulation des composants semi-conducteurs qui agissent comme des interrupteurs électroniques. Lorsqu'un signal de commande est appliqué à la broche de commande du relais statique, les composants à semi-conducteurs se mettent en état conducteur ou bloquant pour permettre ou arrêter le flux du courant électrique dans le circuit de charge.

Les relais statiques offrent plusieurs avantages par rapport aux relais électromagnétiques, tels qu'une durée de vie plus longue, une taille plus compacte, une résistance aux chocs et aux vibrations, une absence de bruit électromagnétique et une commutation plus rapide. Ils sont largement utilisés dans des applications industrielles, notamment l'automatisation, la commande de moteurs, la commande de l'éclairage, les circuits de puissance, etc.

3.3.3.3 Branchement avec Arduino(Figure3.17)

1- Choisissez un relais statique approprié pour votre application, en tenant compte des spécifications telles que la tension de commande, le courant de charge et le type de charge (AC ou DC).

2- Connectez la broche de commande du relais statique à une broche de sortie numérique de l'Arduino. Vous n'avez pas besoin de résistance de limitation de courant, car les relais statiques ont une haute impédance d'entrée.

3- Connectez la broche de sortie du relais statique à la partie du circuit que vous souhaitez commuter (par exemple, une charge résistive, une lampe, un moteur, etc.).

4- Connectez la broche GND (masse) de l'Arduino à la broche GND du relais statique pour assurer une référence de masse commune.

5- Si vous utilisez une charge AC (courant alternatif), assurez-vous de connecter le relais statique conformément aux spécifications fournies par le fabricant, en incluant les connexions appropriées pour la phase et le neutre.

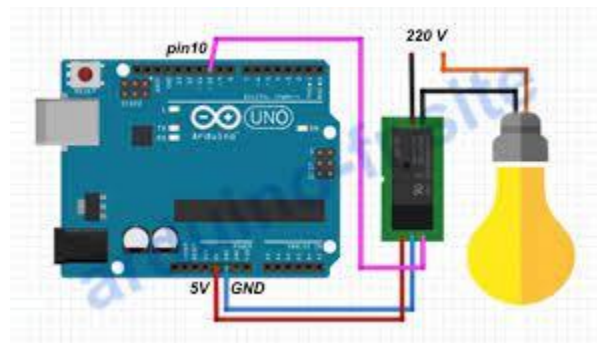


Figure 3.17 : Bronchement de relais statique avec Arduino

3.3.3.4 Programme Arduino

// Constantes pour les broches de commande du relais statique

```
constintrelaisPin = 2;
```

```
voidsetup() {
```

```
    // Définir la broche de commande du relais statique comme une sortie
```

```
    pinMode(relaisPin, OUTPUT);
```

```
}
```

```
voidloop() {
```

```
    // Activer le relais statique
```

```
    digitalWrite(relaisPin, HIGH);
```

```
    delay(1000);
```

```
    // Désactiver le relais statique
```

```
    digitalWrite(relaisPin, LOW);
```

```
    delay(1000);
```

```
}
```

4 **Chapitre 04** : Conception et réalisation d'un banc didactique d'acquisition et de régulation de niveau

4.1 Introduction

Un banc didactique de mesure et de régulation de niveau est un outil essentiel pour les étudiants et les ingénieurs en formation qui cherchent à comprendre les principes fondamentaux de la mesure et de la régulation des paramètres de processus industriels. En effet, cet outil pédagogique offre de nombreux avantages.

Tout d'abord, il permet aux étudiants de visualiser les différentes méthodes de mesure de niveau, de débit et de température, ainsi que les capteurs associés à chaque méthode. Ils peuvent ainsi voir comment ces capteurs mesurent les variables de processus et comment ils convertissent les signaux électriques en données utiles pour le contrôle de processus.

Ensuite, le banc didactique permet de comprendre comment la régulation des paramètres de processus est réalisée, en montrant comment les signaux de mesure sont utilisés pour contrôler les vannes et les actionneurs. Les étudiants peuvent également apprendre les différentes stratégies de régulation et comment les mettre en œuvre.

De plus, le banc didactique peut être configuré pour simuler différents types de processus, ce qui permet aux étudiants de comprendre comment les différentes variables de processus sont interconnectées et comment les modifications de l'un des paramètres affectent les autres.

Enfin, le banc didactique permet de réaliser des expériences en temps réel pour valider les concepts théoriques appris en classe. Les étudiants peuvent observer les effets de différentes stratégies de régulation sur les variables de processus et comparer les résultats à ceux prédits par la théorie.

En somme, le banc didactique de mesure et de régulation est un outil pédagogique important pour les étudiants et les ingénieurs en formation qui cherchent à comprendre les principes de mesure et de régulation des paramètres de processus industriels.

4.2 Cahier des charges

4.2.1 Objectifs :

- Créer un banc didactique pour la formation et la démonstration de mesure et de régulation de niveau.
- Permettre aux étudiants et aux enseignants de comprendre les principes de la mesure et de la régulation des processus industriels

4.2.2 Caractéristiques principales :

- Le banc doit être équipé de plusieurs capteurs de mesure pour les paramètres de niveau, de débit et de température, ainsi que des actionneurs pour la régulation
- Le banc doit être capable de simuler des processus industriels pour la formation et la démonstration, tels que le contrôle de niveau dans un réservoir, le débit d'eau dans une canalisation, la régulation de température dans une enceinte, etc.
- Le banc doit être équipé d'une interface utilisateur conviviale pour contrôler les paramètres de mesure et de régulation, ainsi que pour afficher les résultats de mesure en temps réel
- Le banc doit être équipé d'un système d'enregistrement de données pour stocker les résultats de mesure et de régulation pour l'analyse ultérieure.

4.2.3 Spécifications techniques :

- Le banc doit être alimenté par une source d'alimentation électrique de 220V AC
- Le banc doit être équipé de plusieurs capteurs de mesure pour les paramètres de débit, de niveau et de température.
- Le banc doit être équipé de plusieurs actionneurs pour la régulation des paramètres de débit, de niveau et de température.
- Le banc doit être équipé d'un afficheur de résultat .
- Le banc doit être équipé d'un système de contrôle programmable pour la simulation de processus industriels

4.2.4 Délais :

- Le banc didactique doit être prêt à être livré dans un délai très court.

4.2.5 Coûts :

- Le coût total du banc didactique, y compris le matériel et le logiciel ne doit pas dépasser 80 000 DA.

4.3 Présentation de quelques bancs didactiques

1^{er} banc :



Figure 4.1 : Banc d'étude des méthodes de mesures de pression

Description

Le banc BMP 100 (Figure 4.1) permet l'étude des différentes technologies de capteurs de pression en les plaçant en série. Le circuit est pressurisé à l'aide de l'eau du réseau. Les utilisateurs doivent examiner la technologie de chaque capteur, vérifier leurs caractéristiques et les connecter à une boucle de mesure. Les mesures de pression sont affichées par un régulateur numérique qui reçoit les informations des différents capteurs.

L'unité est livrée complète, équipée d'une instrumentation et accompagnée d'une documentation technique et pédagogique en français, ainsi que de tous les accessoires nécessaires, notamment l'interface logicielle. Sa conception robuste en aluminium anodisé le rend parfaitement adapté à une utilisation en milieu scolaire. Il répond également aux normes de la directive machine européenne, garantissant sa fabrication de qualité.

En résumé, le banc BMP 100 offre une plateforme complète pour l'étude des capteurs de pression, avec une facilité d'intégration grâce à sa structure robuste en aluminium et une documentation détaillée pour une utilisation pédagogique.

2^{eme} banc :



Figure 4.2 : Maquette didactique pour l'étude des capteurs tout ou rien

Description

Cette maquette didactique (Figure 4.2) comprend des capteurs couramment utilisés dans l'industrie. Les travaux pratiques inclus dans le manuel sont les suivants :

- Description des différents composants et de leurs conditions d'utilisation.
- Compréhension du fonctionnement des amplificateurs.
- Mesure de la distance de détection du capteur inductif.
- Analyse de l'interrupteur électronique, commandé par courant continu ou alternatif.
- Étude d'une chaîne comprenant la barrière optique, l'interrupteur et le solénoïde.
- Possibilité de créer d'autres chaînes en utilisant la barrière optique, le relais Reed, le capteur Hall, l'interrupteur électronique et le buzzer.

3^{eme} banc :



Figure 4.3 : Banc D'étude des méthodes de mesures des débits

Description

Le banc BMD 100 (Figure 4.3) permet l'étude des différentes technologies de capteurs de débit. Les capteurs sont placés en série.

L'eau du réseau assure le débit du circuit. Les utilisateurs devront étudier la technologie de chaque capteur, vérifier leurs caractéristiques et les raccorder sur une boucle de mesure. L'affichage des mesures de débit sera réalisé par un régulateur numérique qui reçoit l'information des différentes mesures de débit.

L'unité est livrée complète, instrumentée avec documentation technique et pédagogique en français ainsi que l'ensemble des accessoires nécessaire au bon fonctionnement notamment l'interface logiciel.

La conception robuste de cet équipement le rend parfaitement adapté pour une utilisation en milieu scolaire.

Sa structure en aluminium anodisé lui confère une très grande robustesse ainsi qu'une grande souplesse d'intégration dans vos locaux. La fabrication de cet équipement répond à la directive machine européenne

4^{eme} banc :



Figure 4.4 : Banc d'essai des techniques de mesure de niveau et de la température

Description

Le banc d'essai (Figure 4.4) est utilisé pour comparer différentes méthodes de mesure de température. Les thermomètres et capteurs de température à analyser sont placés dans un réservoir d'eau pour les chauffer de manière uniforme. Un deuxième réservoir de chauffage, contrôlé électroniquement, fournit de l'eau chaude jusqu'à environ 80°C. En plongeant rapidement les capteurs dans l'eau, il est possible d'étudier leur comportement en temps réel. Des instruments numériques mesurent la température, la tension et la résistance, ce qui permet de créer des courbes caractéristiques. Un enregistreur à trois voies trace en continu les valeurs fournies par les capteurs de température électriques tels que les thermocouples, thermistors et Pt100, afin d'analyser leur évolution dans le temps. Ce banc d'essai est idéal pour les démonstrations et les travaux pratiques.

4.4 Conception global de notre banc didactique

Après l'étude précédente de quelques bancs existant, nous arrivons au résultat de conception suivant :

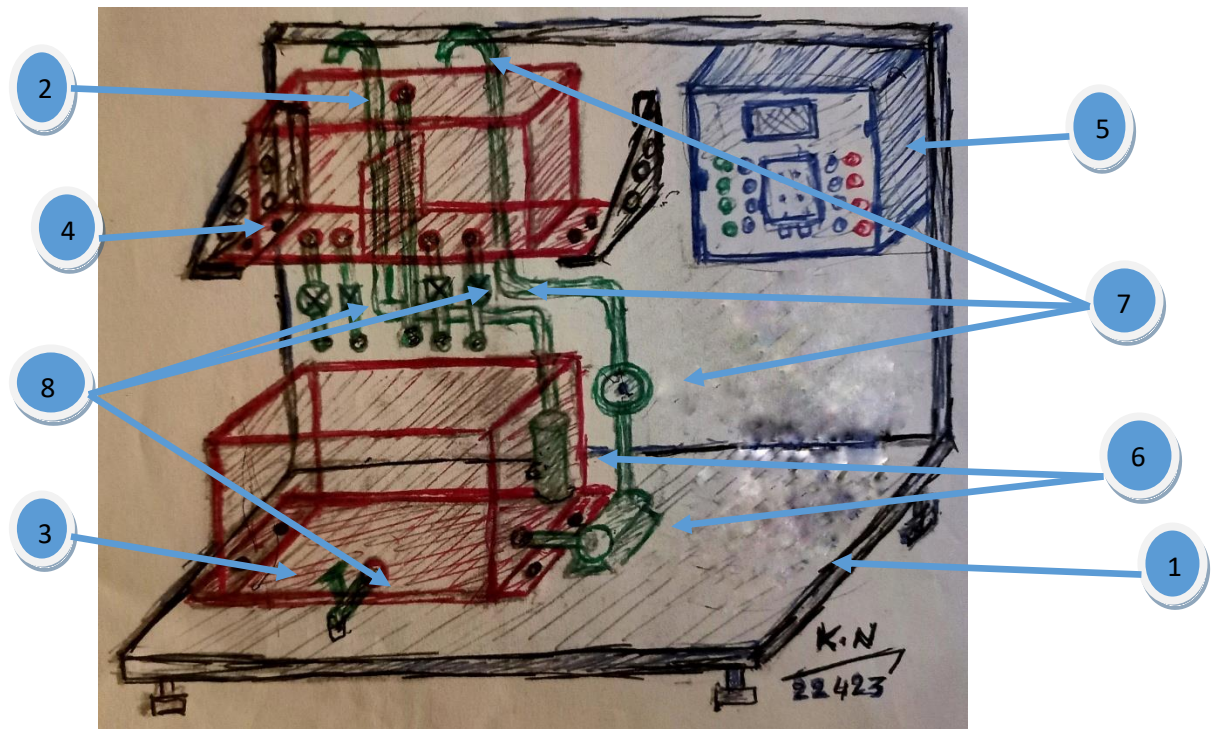


Figure 4.5 : schéma global du banc d'essai

	Eléments
1	La maquette
2	Bac d'eau n°01
3	Bac d'eau n°02
4	Support du bac n°01
5	Table de commande
6	Pompes
7	Capteurs
8	Vannes

Tableau 4.1 :Les éléments

4.4.1 Analyse des besoins :

- Établir les objectifs et les spécifications techniques pour le banc didactique
- Identifier les différents paramètres de mesure et de régulation à intégrer au banc
- Déterminer les caractéristiques et les performances requises pour les capteurs, les actionneurs et les interfaces de contrôle

4.4.2 Conception mécanique :

- Concevoir la structure physique du banc en fonction des besoins spécifiques

- Concevoir les circuits hydrauliques, électriques pour les processus industriels à simuler

- Installer les capteurs, les actionneurs et les interfaces de contrôle sur le banc

4.4.3 Conception de la partie instrumentation :

- Concevoir les circuits électroniques pour la collecte, le traitement et l'affichage des données de mesure et de régulation

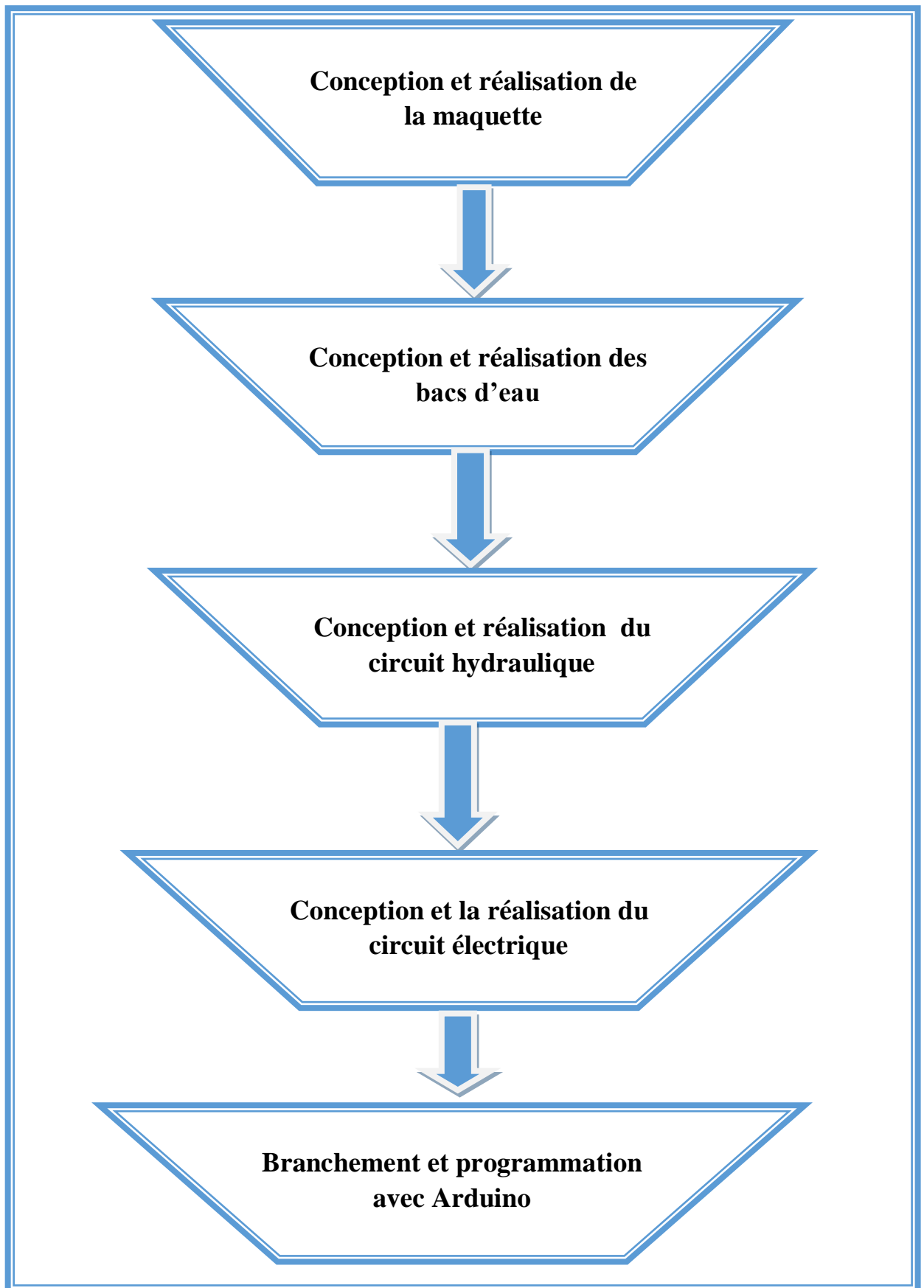
- Concevoir l'interface utilisateur pour contrôler les paramètres de mesure et de régulation, ainsi que pour afficher les résultats de mesure

4.4.4 Assemblage et tests :

- Assembler tous les composants pour former le banc didactique

- Effectuer des tests pour vérifier le bon fonctionnement des capteurs, des actionneurs et des circuits électroniques

4.5 Plan de travail



4.5.1 Conception et réalisation du support

Conception et planification : avant de commencer à construire notre support de banc de mesure, nous devons déterminer les exigences de votre instrument de mesure et concevoir un plan de base pour notre support. Cela peut inclure la taille, la hauteur, la capacité de charge, les points d'attache et la stabilité nécessaire pour notre instrument.

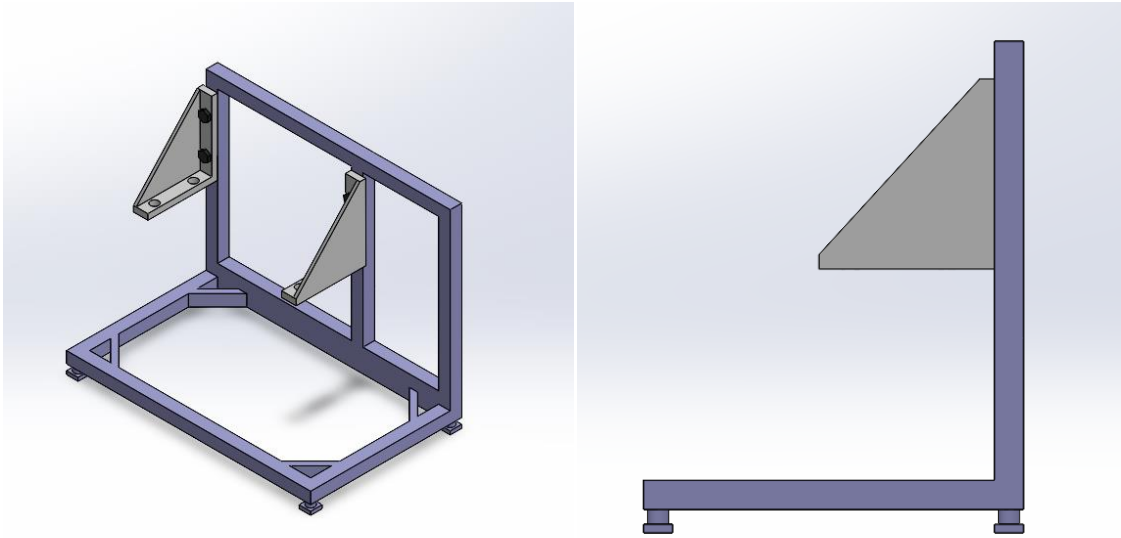


Figure 4.6 : réalisation du support sur « Solidworks »

Réalisation :

Voici les étapes de fabrication :

Découpage :



Figure 4.7 : découpage des morceaux de fer



Figure 4.8 : découpage des morceaux de fer

Après avoir calculé les mesures nécessaires On décidé de couper une ancienne table en métal qu'on a récupéré dans l'atelier de soudage

Soudage de la maquette :



Figure 4.9 :Soudage des morceaux de fer

Après avoir coupé les morceaux de fer et pris des mesures on a soudé les pièces



Figure 4.10 :soudage a baguette



Figure 4.11 :coupage des support étagère pour le bac d'eau 1

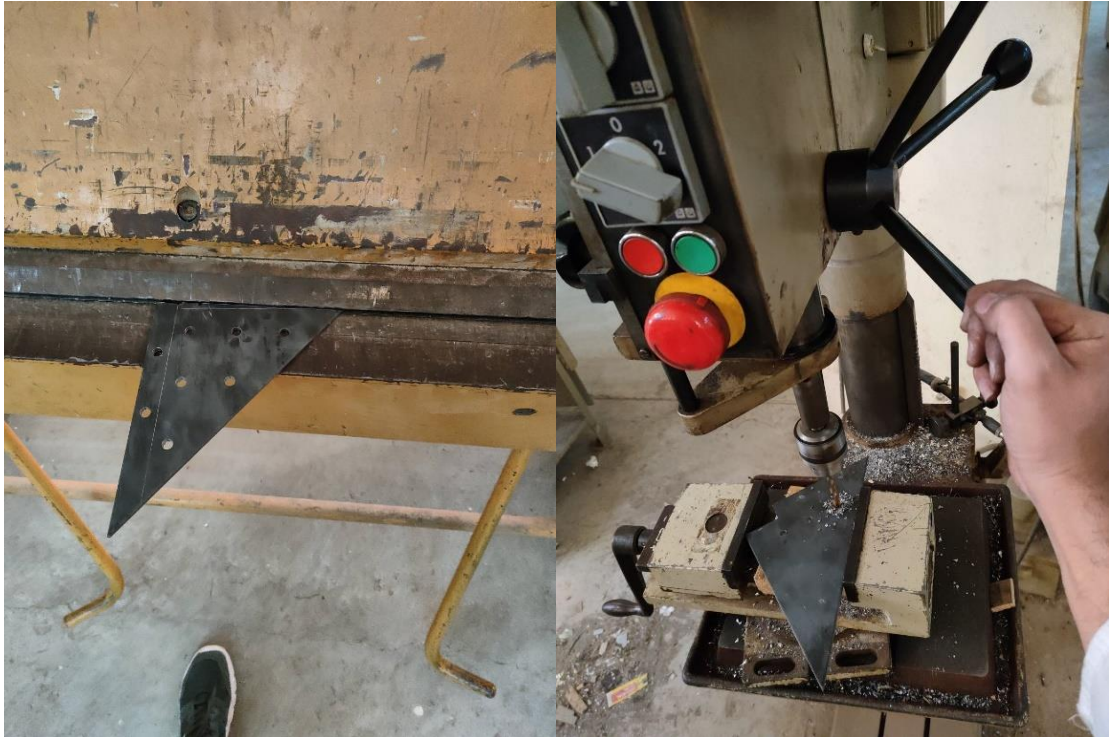


Figure 4.12 : perçage des trous de fixation

Pour notre étagère de bac on a couper des morceaux de métal et on a utilisé la plieuse afin de les plier et une perceuse pour percer des trous de fixation dans notre maquette



Figure 4.13 :Préparation de la table en bois

Pour la table on a choisi une table en bois pour réduire le poids de la maquette .après avoir la prise de mesure on a coupé un morceau de bois



Figure 4.14 : support après l'assemblage

Finition : une fois que le support de banc de mesure est assemblé, nous ont le poncer et le peindre pour lui donner une finition lisse et professionnelle. Nous également ajoutons des coussinets en caoutchouc ou en mousse pour protéger l'instrument de mesure.



Figure 4.15 : ponçage et finition du fer



Figure 4.16 :préparation pour la peinture

Pour la peinture on a utilise un papier collant et des morceaux de papier afin d'ajouter une deuxième couleur (bleu) a notre maquette



Figure 4.17 : peinture du banc



Figure 4.18 :peinture des accessoires

On a utilise une peinture aerosol de la marque « BEY » couleur bleu

Support Finale :

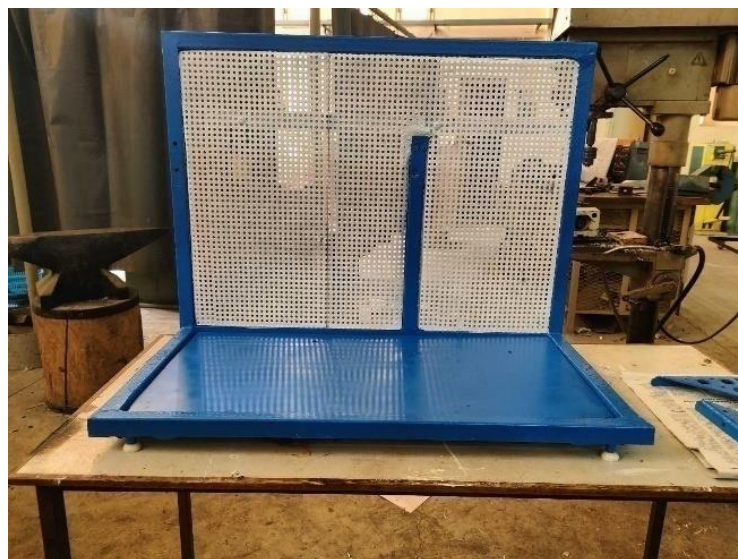


Figure 4.19 :support final

4.5.2 Conception et réalisation des bacs d'eau

Préparation du dessin technique : Avant de commencer à fabriquer un bac en verre, vous devez d'abord créer un dessin technique détaillé de la conception du bac. Cela vous permettra de déterminer les dimensions exactes du bac et les matériaux nécessaires.

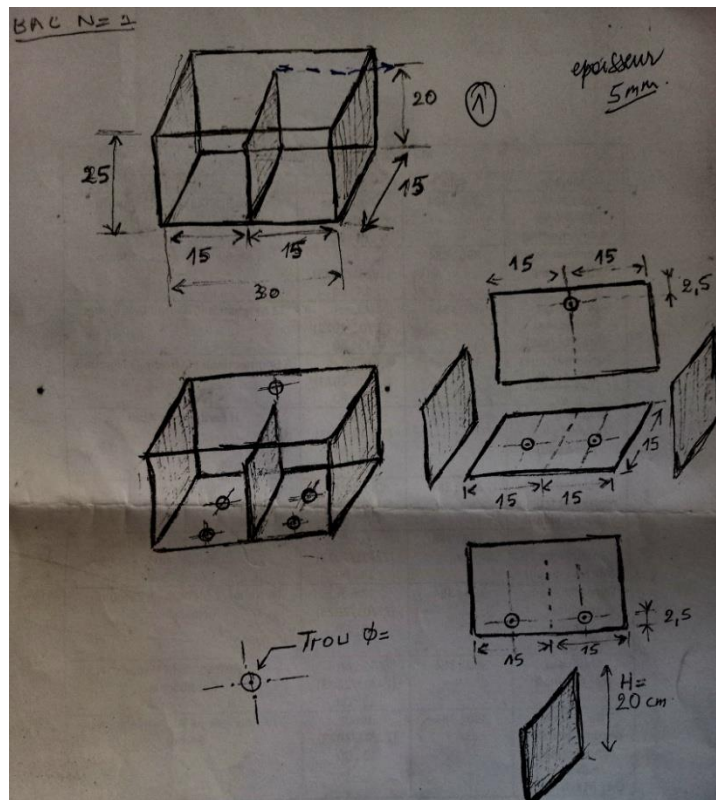


Figure 4.20 : schéma du bac 1

Réservoir n°1

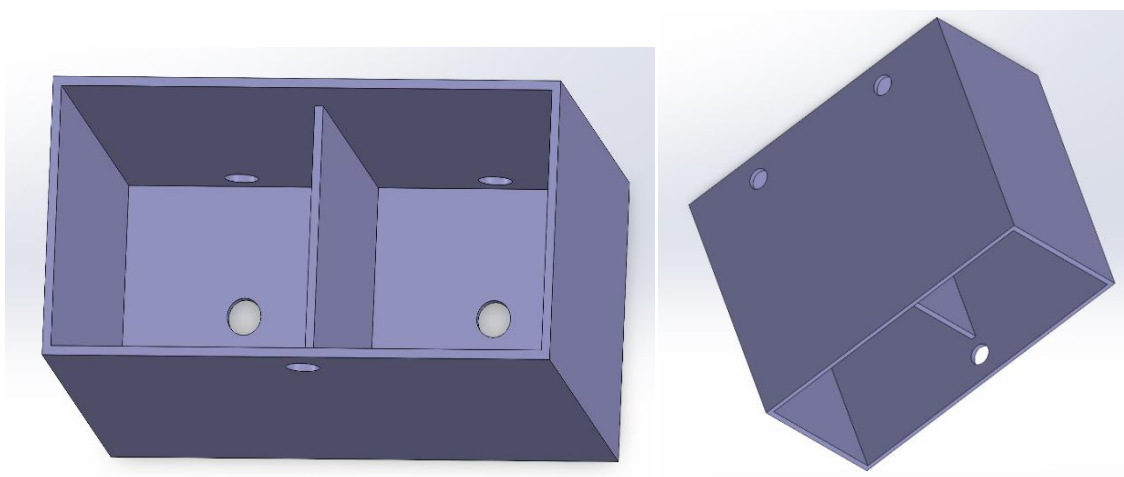


Figure 4.21 : réalisation du bac 1 sur « Solidworks »

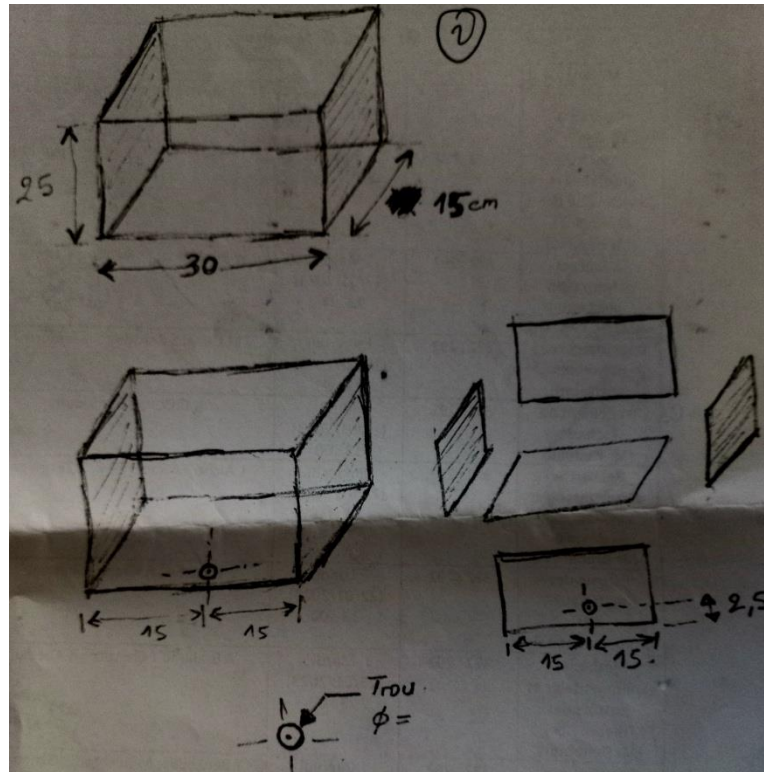


Figure 4.22 : schéma du bac 2

Réservoir n°2

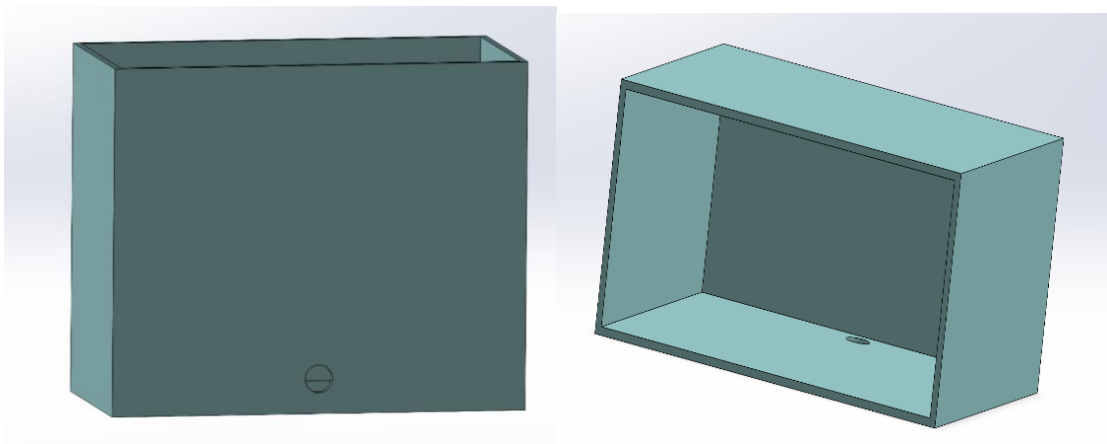


Figure 4.23 : réalisation du bac 2 sur « Solidworks »

Sélection des matériaux : Pour fabriquer un bac en verre, Nous utilisons de feuilles de verre, de joint d'étanchéité et de supports pour maintenir le bac en place.

Découpe du verre : À l'aide d'un outil de coupe en verre, on découpe les feuilles de verre aux dimensions nécessaires.

Assemblage : Placer les feuilles de verre sur une surface plane et appliquer une fine couche de joint d'étanchéité sur les bords du verre. On assemble les feuilles de verre en les pressant fermement ensemble.

Séchage : Laisse le bac sécher pendant quelques heures pour permettre au joint d'étanchéité de durcir.

Finition : Une fois que le joint d'étanchéité est sec, nettoyer le bac pour éliminer toute trace de résidu de joint d'étanchéité ou de poussière.



Figure 4.24 : bacs final

4.5.3 Conception et réalisation du circuit hydraulique

Conception du circuit : La première étape consiste à concevoir le circuit hydraulique en déterminant les composants nécessaires et leur disposition. Pour cela, il est important de considérer les spécifications du banc didactique ainsi que les besoins en termes de débit et de pression d'eau.

Sélection des composants : Après avoir conçu le circuit, il est temps de sélectionner les composants appropriés tels que le réservoir, la pompe, les vannes, les tuyaux, les filtres, les capteurs de niveau et de débit, etc.

Assemblage des composants :



Figure 4.25 : réalisation du circuit hydraulique

On a utilise des tuyaux Multi-Couche

Après avoir pris tout les mesures on couper et assembler tous les tuyaux et les robinets

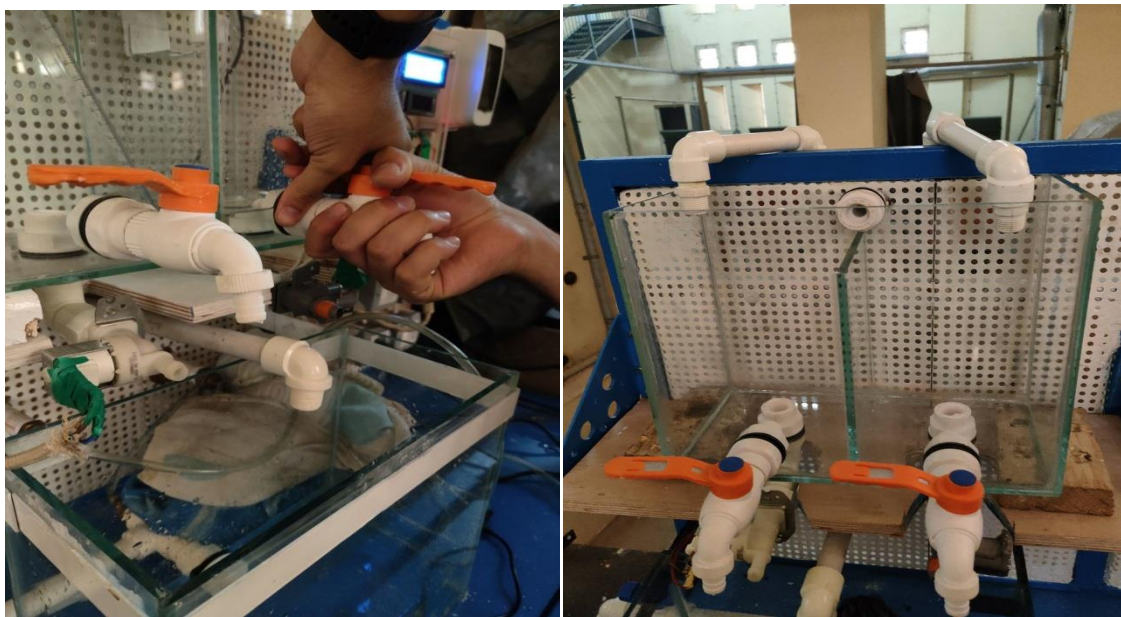


Figure 4.26 : assemblage des vannes

Circuit hydraulique Finalisé :

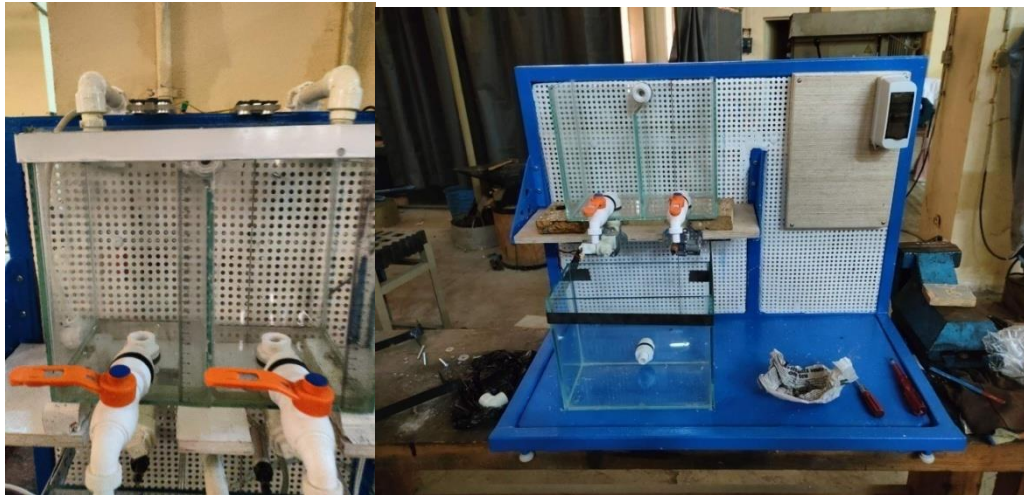


Figure 4.27 :circuit hydraulique finalisé

4.5.4 Conception et la réalisation du circuit électrique

Définir les spécifications

Les spécifications techniques requises pour notre banc de mesure :

- Disjoncteur



Figure 4.28 : disjoncteur

- Arduinomega



Figure 4.29 : carte Arduino MEGA

- Afficheur lcd 20x4



Figure 4.30 : Afficheur lcd 20x4

- Relais 4 module



Figure 4.31 : Relais 4 module

- 2 pompes



Figure 4.32 : Pompes

- 4 prises électriques



Figure 4.33 : Prises électriques

- Fils



Figure 4.34 : Fils

Sélection des capteurs

- 2 capteurs ultrason hc-sr04



Figure 4.35 : capteur ultrason hc-sr04

- Débit mètre yf-s401



Figure 4.36 : débit mètre yf-s401

- Flotteur 2 fils



Figure 4.37 : Flotteur 2 fils

- Thermomètre CTN « TPM 900 »



Figure 4.38 : Thermomètre CTN « TPM 900 »

Schéma électrique du circuit

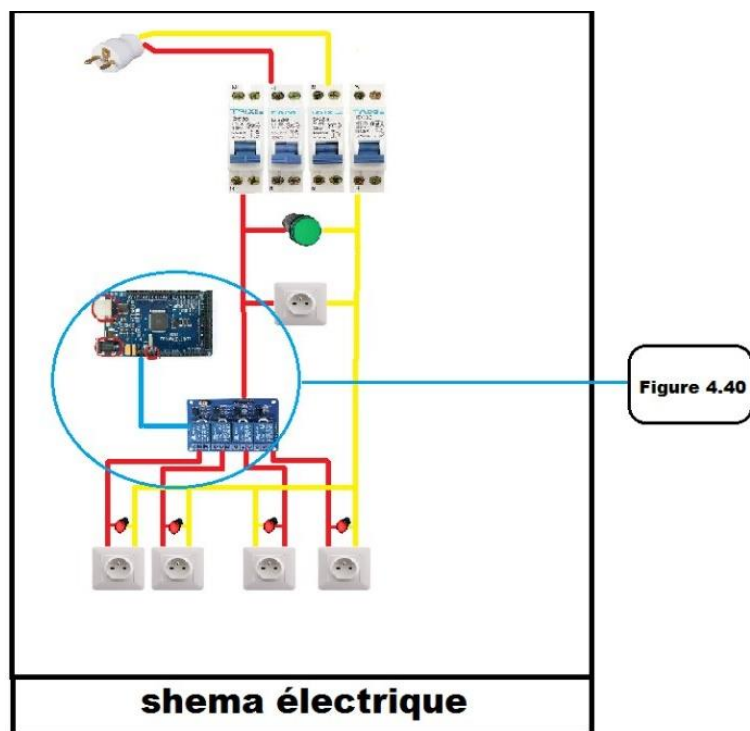


Figure 4.39 : Schéma électrique du circuit

Schéma électrique du cabelage avec Arduino

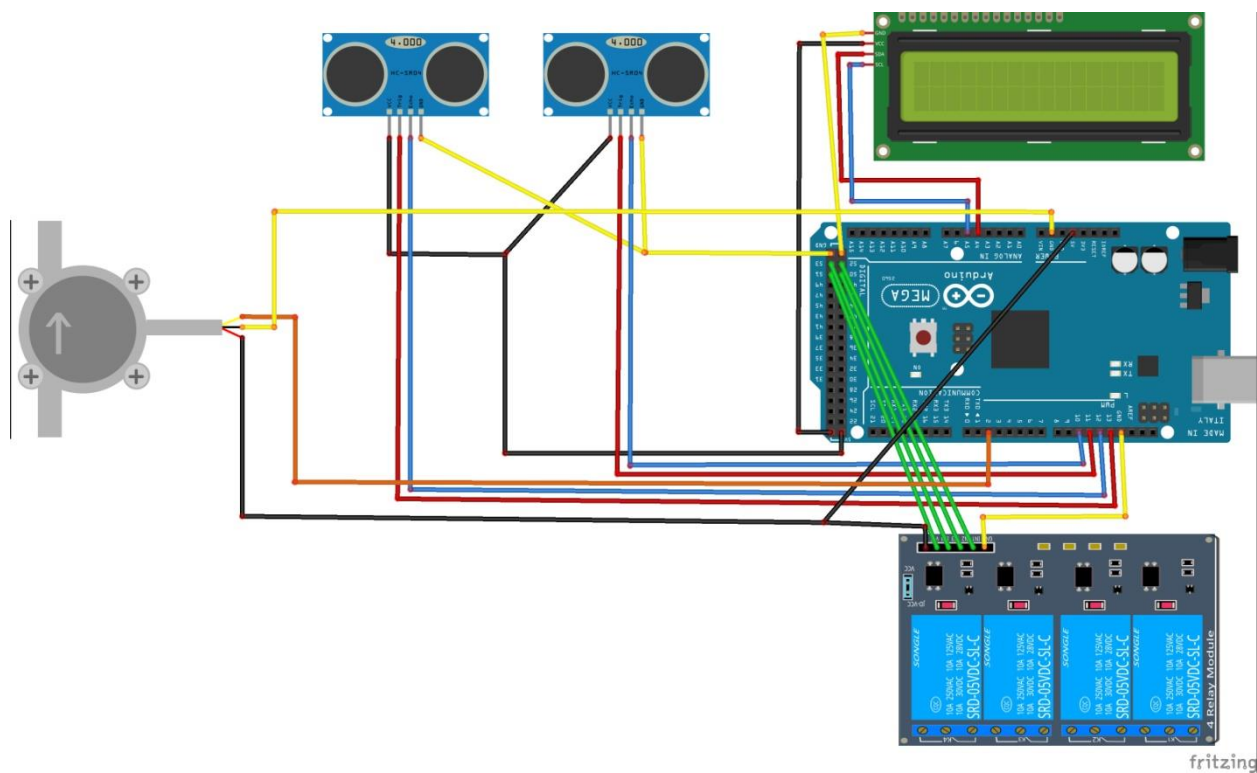


Figure 4.40 : Schéma électrique du câblage avec Arduino

Montage du circuit

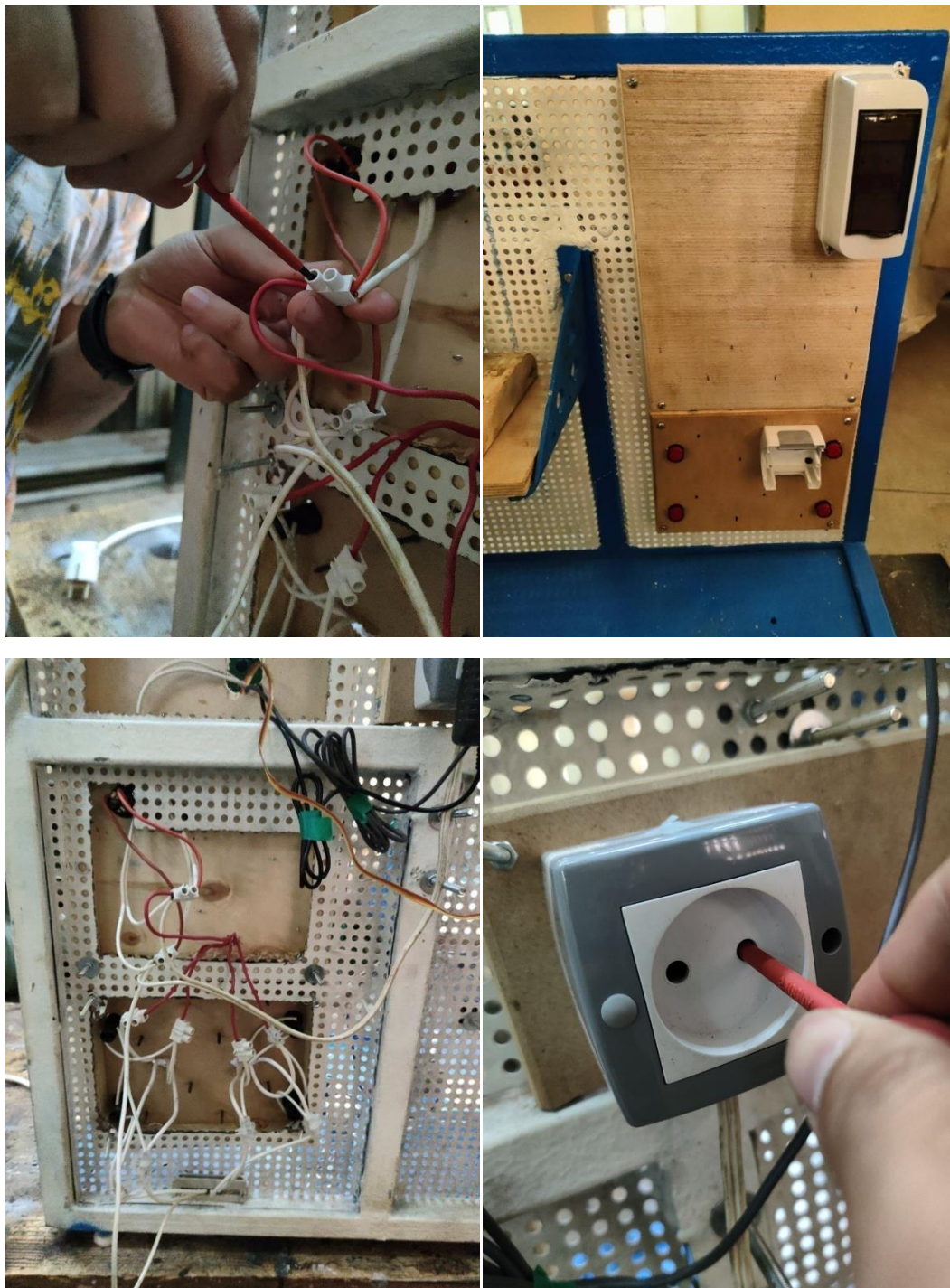


Figure 4.41 : Montage du circuit électrique

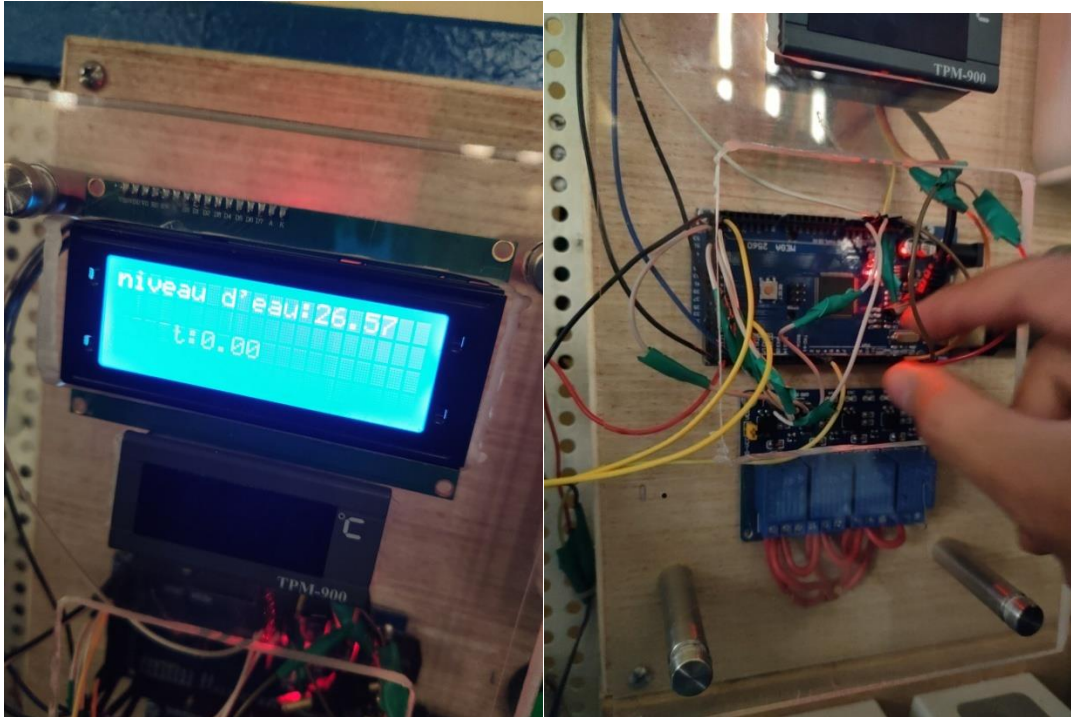


Figure 4.42 : Branchement avec arduino

Branchement et programmation afficheur lcd avec Arduino

Avec utilisation du Logiciel Arduino ide et Logiciel Fritzing

Branchement afficheur lcd avec arduinomega

- GND : GND
- SCL : A5
- SDA : A4
- Vcc : +5V

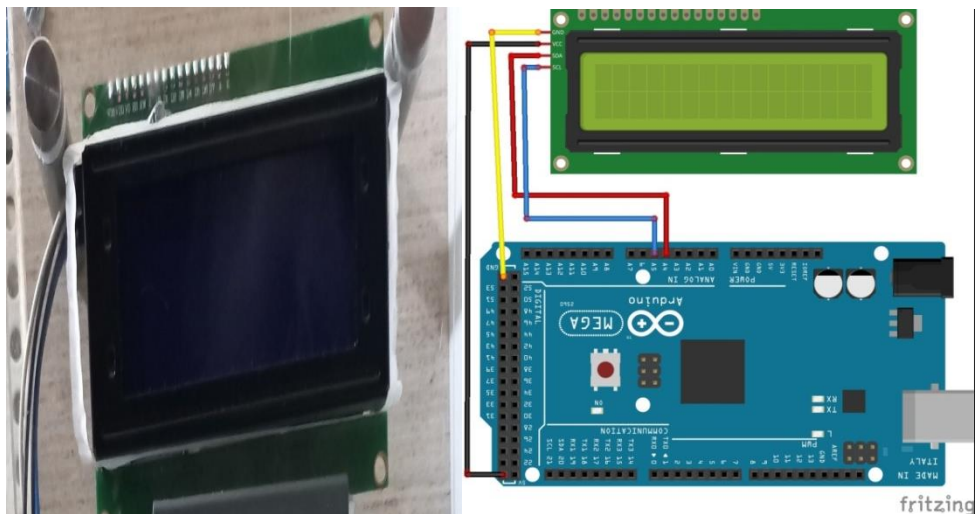


Figure 4.43 : Branchement afficheur lcd avec arduinomega

Programme branchement afficheur lcd avec arduinomega

```
#include<LCD_I2C.h>
LCD_I2C lcd(0x27, 20, 4);
void setup()
{
  lcd.begin
  lcd.backlight();
}
void loop()
{
  lcd.print("Samir Ouedfeul");
  lcd.setCursor(5, 1);
  lcd.print("Ibrahim");
  delay(500);
  lcd.backlight();
  lcd.clear();
  delay(500);
}
```

Résultat



Figure 4.44 : 1^{er} test d'affichage

Branchement de 2 capteurs ultrason avec arduinomega

Capteur ultrason N°01 :

- **Vcc : +5V**
- **GND : GND**
- **Echo : 10**
- **Trig : 11**

Capteur ultrason N°02 :

- **Vcc : +5V**
- **GND : GND**
- **Echo : 12**
- **Trig : 13**

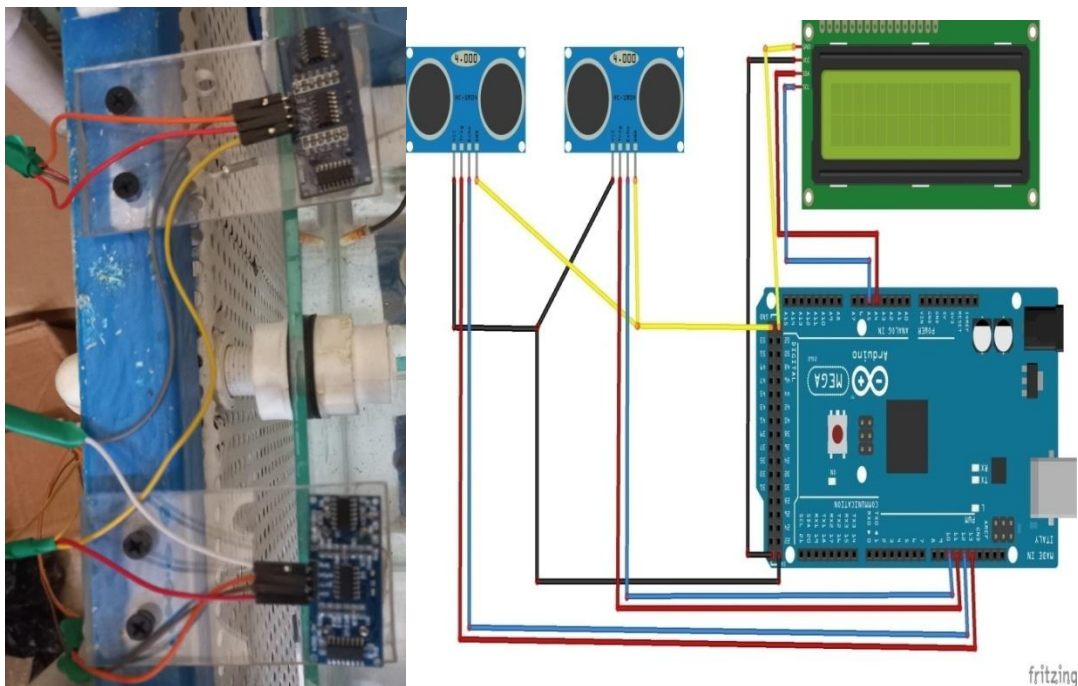


Figure 4.45 : Branchement de 2 capteurs ultrason avec arduinomega

Programme branchement de 2 capteurs ultrason avec arduinomega

```
constint trigPin_1 = 11;// N°1
```

```
constint echoPin_1 = 10;// N°1
```

```

long duration_1;// N°1
float distance_1_cm;// N°1
constint trigPin_2 = 13;// N°2
constint echoPin_2 = 12;// N°2
long duration_2;// N°2
float distance_2_cm;// N°2
void setup()
{
pinMode(trigPin_1, OUTPUT);// N°1
pinMode(echoPin_1, INPUT);// N°1
pinMode(trigPin_2, OUTPUT);// N°2
pinMode(echoPin_2, INPUT);// N°2
Serial.begin(9600);
Serial.println("-----Affichage AAAAAAAAAA Module HC-SR04-----");
voidloop()
{
digitalWrite(trigPin_1, LOW);// N°1
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(trigPin_1, HIGH);// N°1
digitalWrite(trigPin_1, LOW);// N°1
duration_1 = pulseIn(echoPin_1, HIGH);// N°1
distance_1_cm= duration_1*0.034/2;// N°1
digitalWrite(trigPin_2, LOW);// N°2
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigPin_2, HIGH);// N°2
digitalWrite(trigPin_2, LOW);// N°2
duration_2 = pulseIn(echoPin_2, HIGH);// N°2
distance_2_cm= duration_2*0.034/2;// N°2
Serial.print("Dur= ");Serial.println(duration_1);// N°1
Serial.print("Distance_1= ");Serial.print(distance_1_cm);Serial.println(" cm");//N°1

```

```
lcd.print("N d'eau1 :");  
lcd.print(distance_1_cm);  
lcd.print("cm");  
Serial.print("Distance_2= ");Serial.print(distance_2_cm);Serial.println(" cm");//N°2  
lcd.print(" N d'eau2 :");  
lcd.print(distance_2_cm);  
lcd.print("cm");  
delay(1000);  
}
```

Résultat



Figure 4.46 : 2^{eme} test d'affichage

Branchement débit mètre avec arduinomega

- Vcc : +5V
- GND : GND
- Signal : 2

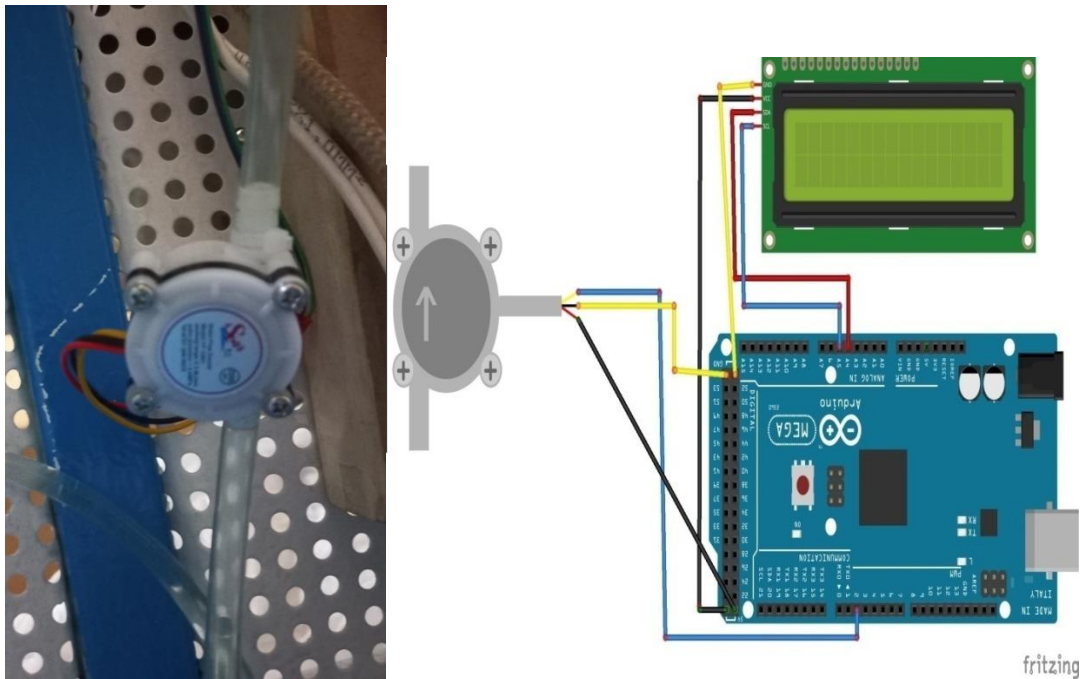


Figure 4.47 : Branchement débit mètre avec arduinomega

Programme branchement débit mètre avec arduinomega

```
const int flowSensorPin = 2;
volatile int flowPulse = 0;
float flowRate = 0.0;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(flowSensorPin, INPUT);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(flowSensorPin), pulseCounter, RISING);
}
void loop()
{
  flowRate = (flowPulse * 2.5);
  Serial.print("Débit : ");
```

```
Serial.print(flowRate);  
lcd.print(" debit:");  
lcd.print(flowRate);  
lcd.print(" L/min");  
Serial.println(" L/min");  
flowPulse = 0;  
delay(1000);  
}  
void pulseCounter() {  
flowPulse++;  
}
```

Résultat



Figure 4.48 : 3^{ème} test d'affichage

Branchement de relais 4 module avec arduinomega

- Vcc : +5V
- GND : GND
- IN1 :52
- IN2 :53
- IN3 :50
- IN4 :51

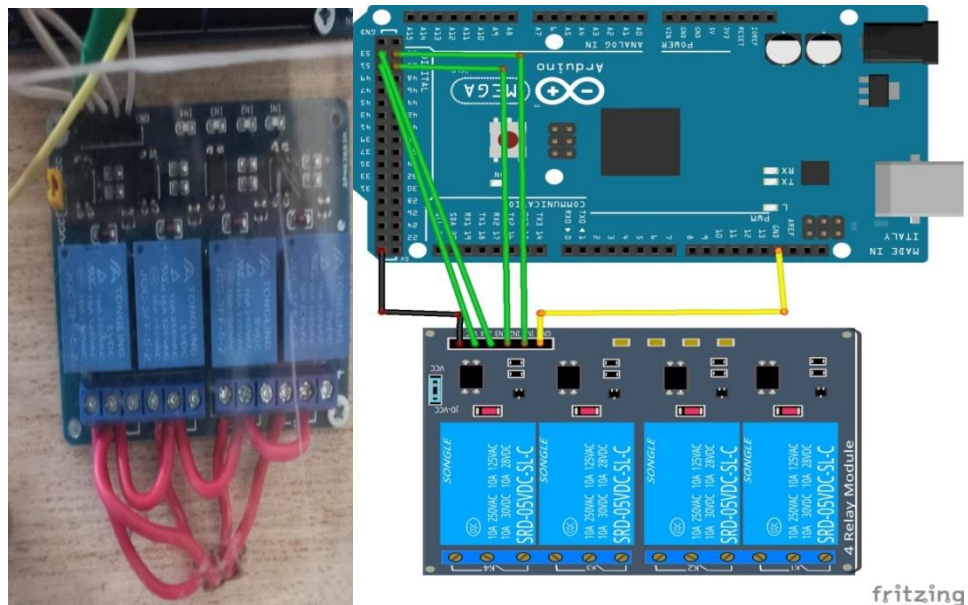


Figure 4.49 : branchement de relais 4 module avec arduinomega

Programme branchement de relais 4 module avec arduinomega

```
void setup() {  
  
  pinMode(50, OUTPUT);  
  
  pinMode(51, OUTPUT);  
  
  pinMode(52, OUTPUT);  
  
  pinMode(53, OUTPUT);  
  
}  
  
void loop() {  
  
  digitalWrite(50, LOW);  
  
  delay(1000);  
  
}
```

```
digitalWrite(50, HIGH);  
delay(5000);  
digitalWrite(51, LOW);  
delay(1000);  
digitalWrite(51, HIGH);  
delay(5000);  
digitalWrite(52, LOW);  
delay(1000);  
digitalWrite(52, HIGH);  
delay(5000);  
digitalWrite(53, LOW);  
delay(1000);  
digitalWrite(53, HIGH);  
delay(5000);  
}
```

4.6 Comparaison entre un banc didactique existant et notre banc

4.6.1 Fiche technique du banc existant

Fiche technique

BANC DE MESURE DE NIVEAU



Photo du banc

Service : 230 V, 50 HZ, 250 W EAU

Propriété :

- Pression :4 BAR,
- Température 20 °C
- Débit d'eau 500 L/H.

Dimensions : 850 X 450 X 1150 MM

Ce banc permet de mettre en œuvre différentes technologies de mesure de niveau utilisées dans l'industrie.

Objectifs Pédagogiques :

- Etude de l'implantation des capteurs.
- Etude des différents cas d'applications.
- Etalonnage des capteurs.
- Détermination des courbes caractéristiques des capteurs et leur précision.

Description technique :

Un récipient est équipé d'une alimentation par le réseau d'eau avec un détendeur réglable, d'une vanne de réglage de débit, d'un trop-plein, d'une vanne de vidange totale, d'une évacuation avec vanne de réglage du débit de fuite et d'un réglage de repérage du niveau.

Dans le récipient sont installés plusieurs types de capteurs de mesure de niveau : un capteur à ultrasons, un capteur à effet capacitif, un capteur à flotteur et un capteur de pression hydrostatique.

L'affichage des différents capteurs est commun et situé en coffret électrique avec toutes les alimentations.

Un commutateur 4 positions permet de sélectionner le principe de mesure.

Le dispositif est monté sur un châssis inox soudé.

Le banc se compose de :

- Un détendeur du circuit d'alimentation d'eau avec manomètre.
- Une vanne de réglage du débit d'alimentation à membrane en PVC. Un récipient en altuglas avec couvercle support des capteurs de niveau.
- Un capteur de mesure de niveau à effet capacitif à tige isolée, sortie 4 à 20 mA.
- Un capteur de mesure de niveau à ultrasons, sortie 4 à 20 Ma.
- Un capteur de mesure de niveau par pression hydrostatique, sortie 4 à 20 mA.
- Un capteur de mesure de niveau à flotteur, sortie 4 à 20 ma.
- Un indicateur numérique avec affichage graphique par bargraph, entrée 4 à 20 mA, sortie recopie mesure 4 à 20 mA.
- Une vanne de réglage du débit de sortie à membrane en PVC. Un coffret électrique, étanche IP 55, comprenant :
 - Un sectionneur cadenassable.
 - Un voyant de mise sous tension.
 - Un arrêt d'urgence à clef.
 - Un indicateur de niveau avec multivoies.

4.6.2 Fiche technique de notre banc

Fiche technique

Banc didactique d'acquisition et de régulation de niveau

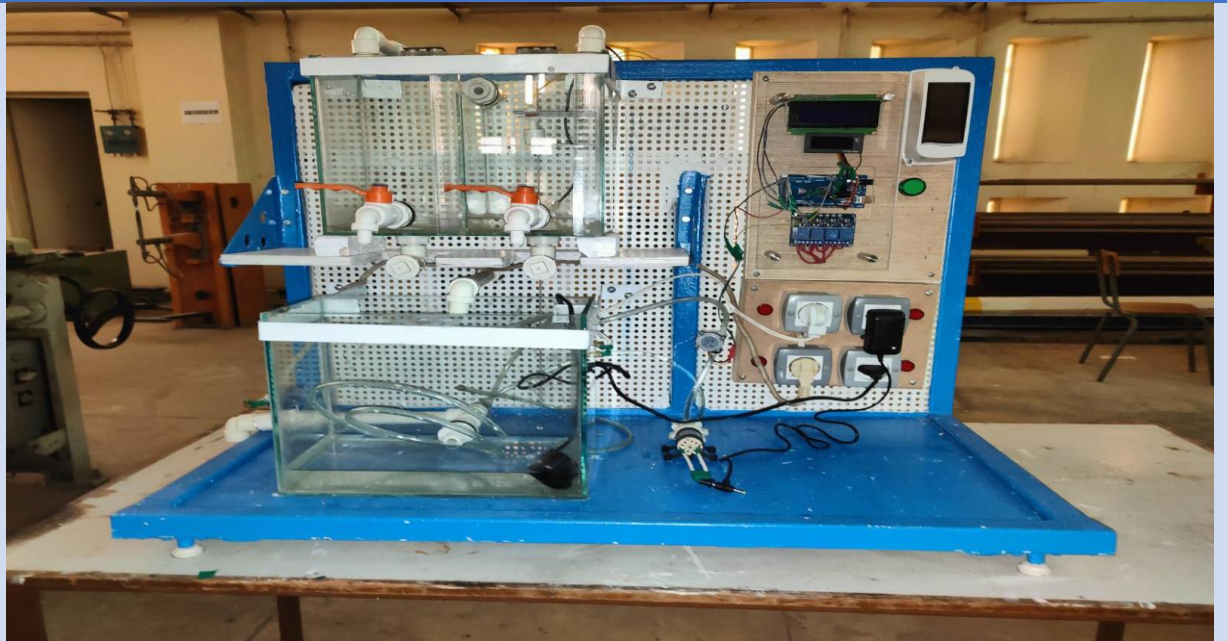


Photo du banc

Caractéristiques techniques :

Service : 230 V, 50 HZ, 250 W EAU

Dimensions : 80 cm X 50 cm X 50 cm

Description technique :

Une fois de l'eau versée dans le réservoir 2, la pompe est activée pour transférer l'eau vers le réservoir 1. Le débit d'eau est mesuré par un capteur de débit yf-s401. Lorsque le réservoir 1 atteint sa limite prédéfinie grâce au contrôle, un capteur de distance ultrason hc-sr04 est utilisé pour connaître la distance. Ensuite, une pompe immergée dans le réservoir 1 est activée pour commencer la vidange automatique jusqu'à un point spécifié dans le programme, et l'eau est rejetée dans le réservoir 2. Toutes ces opérations sont contrôlées et régulées par une carte Arduino en utilisant le régulateur 4 module. Les résultats sont affichés sur un écran LCD.

La température peut être mesurée avec sonde de température CTN.

Ce banc didactique permet de mettre en œuvre différentes technologies d'acquisition et de régulation de niveau utilisées dans l'industrie.

Objectifs Pédagogiques :

- Compréhension des principes de mesure de niveau.
- Apprentissage des techniques d'acquisition et de régulation de niveau.
- Simulation de scénarios industriels.
- Formation pratique en instrumentation et en contrôle
- Développement de compétences en résolution de problèmes.

Le banc se compose de :

- 2 Réservoir en verre, chacun capacité de 10 litres.
- Une carte d'acquisition Arduino mega 2560
- Une régulateur 4 module
- 2 capteur de distance ultrason hc-sr04
- Flotteur à deux fils
- Capteur de débit d'eau yf-s401
- Sonde de température CTN (TPM 900)
- Afficheur LCD 20x4
- 2 pompes
- 4 vannes
- 4 prises électriques
- Logiciel de contrôle : Arduino IDE
- Câbles et fils de connexion
- Alimentation électrique : Tension d'entrée de 220 V CA, 50 Hz monophasée.

5 Conclusion général

La conception et la réalisation d'un banc didactique de mesure de niveau, débit et température avec régulation et acquisition revêtent une grande importance dans le domaine de l'automatisme et de la régulation industrielle. Ce banc didactique joue un rôle essentiel dans l'enseignement et la compréhension des principes fondamentaux liés à la mesure et à la régulation de ces variables.

La conception du banc didactique implique soigneusement la sélection et l'assemblage de divers capteurs de niveau, de débit et de température, ainsi que l'intégration d'éléments de régulation tels que des vannes de contrôle, des actionneurs et des régulateurs. Cette étape nécessite une prise en compte minutieuse des spécifications techniques, des contraintes applicatives et des normes de sécurité.

Quant à la réalisation du banc didactique, elle consiste à assembler les différents composants, à les interconnecter et à les configurer de manière adéquate. Cela peut inclure la mise en place d'un système de câblage, l'installation de logiciels de supervision et d'acquisition de données, ainsi que la programmation des régulateurs et des interfaces utilisateur.

Une fois le banc didactique de mesure de niveau, débit et température avec régulation et acquisition achevé, il offre de multiples avantages. Il permet aux étudiants et aux professionnels de se familiariser avec les principes fondamentaux de la mesure et de la régulation, de réaliser des expériences pratiques et de développer des compétences techniques dans ce domaine. De plus, il facilite la compréhension des concepts théoriques en les mettant en pratique dans un environnement contrôlé.

En conclusion, la conception et la réalisation d'un banc didactique de mesure de niveau, débit et température avec régulation et acquisition constituent des étapes cruciales pour l'apprentissage et la compréhension des principes de base de l'automatisme et de la régulation industrielle. Ce type de banc offre une plateforme pratique pour expérimenter, se former et développer des compétences essentielles dans ce domaine d'ingénierie.

6 Référence bibliographique

- [1] Belkhouche, B., & El Kihel, B. (2019). Instrumentation et régulation des processus industriels. Presses des Ponts
- [2] Georges Asch et Bernard, Les capteurs en instrumentations industrielles
- [3] Rowe, D. M. (Ed.). (2019). Thermoelectrics handbook: macro to nano. CRC press.
- [4] What is the Pyroelectric Effect? - Live Science (<https://www.livescience.com/46506-pyroelectric-effect.html>)
- [5] J.F. Scott, "Applications of Modern Ferroelectrics", Science, Vol. 315, 2007, pp. 954-959.
- [6] M. Faraday, "On a new electrical condition of matter," Philos. Trans. R. Soc. Lond., vol. 121, pp. 299-318, 1831.
- [7] Einstein, A. (1905). Übereinen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. Annalen der Physik, 17(6), 132-148.
- [8] "Photoemission: Materials, Mechanisms and Applications" edited by Wolfgang Schattke and Thomas Fauster, Springer Science & Business Media, 2013.
- [9] A. E. Becquerel, "Mémoire sur les effets électriques produits sous l'influence des rayons solaires", Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, vol. 9, pp. 561-566, 1839.
- [10] Hall, E. H. (1879). On a new action of the magnet on electric currents. American Journal of Mathematics, 2(3), 287-292.
- [11] Callister, W. D. (2000). Materials Science and Engineering: An Introduction. John Wiley & Sons.
- [12] S. O. Kasap, "Optical and magnetic materials," in Principles of Electronic Materials and Devices, 4th ed., McGraw Hill, 2017, pp. 513-566.
- [13] Lopez, J. A. (2019). Principles and Applications of Electrical Engineering (3rd ed.). CRC Press.
- [14] Arduino. (s.d.). About Arduino. Récupéré le 9 mai 2023, de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- [15] Arduino. (s.d.). Arduino Uno. Récupéré le 9 mai 2023, de <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>
- [16] Arduino. (s.d.). Arduino Mega 2560. Récupéré le 9 mai 2023, de <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>
- [17] Kulkarni, A., & Wagh, V. (2019). Industrial Process Control: Advances and Applications. CRC Press.

- [18] Bennett, S. (2016). Process Control and Instrumentation Technology. Butterworth-Heinemann.
- [19] Stephanopoulos, G. (2016). Chemical Process Control: An Introduction to Theory and Practice. Prentice Hall.
- [20] Astrom, K. J., & Hagglund, T. (2006). Advanced PID Control. ISA - The Instrumentation, Systems, and Automation Society.
- [21] Bose, B. K. (2002). Power Electronics and Motor Drives: Advances and Trends. Academic Press.
- [22] https://randomnerdtutorials.com/complete-guide-for-ultrasonic-sensor-hc-sr04/?fbclid=IwAR0e8ko521L82BD6NM6WRX0nC-Cf96I_UQI3flxIYP-DyD6_9hgiFdN7DPE
- [23] "HC-SR04 Ultrasonic Sensor Distance Measuring Module", ElecFreaks, consulté le 13 mai 2023, [https://www.electfreaks.com/wiki/index.php?title=HC-SR04 Ultrasonic Sensor Distance Measuring Module](https://www.electfreaks.com/wiki/index.php?title=HC-SR04_Ultrasonic_Sensor_Distance_Measuring_Module).
- [24] "YF-S201 Water Flow Sensor Datasheet", Open Garden, consulté le 13 mai 2023, https://opengarden.vn/uploads/kb/yf-s201_datasheet.pdf.
- [25] "MPX5700 Series Pressure Sensor", NXP Semiconductors, consulté le 13 mai 2023, <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MPX5700.pdf>.
- [26] https://wiki.dfrobot.com/Gravity_Water_Pressure_Sensor_SKU_SEN0257
- [27] "Adafruit MLX90614 Library", Adafruit, consulté le 13 mai 2023, <https://github.com/adafruit/Adafruit-MLX90614-Library>.
- [28] <https://www.aranacorp.com/fr/utilisation-dun-capteur-a-effet-hall-avec-arduino/>
- [29] <https://atelier.sos-accessoire.com/fonctionnement-test-capteur-sonde-ctn-appareil-electromenager/?fbclid=IwAR190lx6P9VF0HBAReBMGF4fnlvPkZSSD4m9G4HrVV1NPvKRJcG0RORT364>
- [30] R. Timings, "Relays: Principles and Applications," CRC Press, 2018.
- [31] Richard S. Brice, "Electromechanical Relay Handbook", 4th Edition, McGraw-Hill Education, 2019.
- [32] J. G. Gehman, "Solid-State Relays: An Industrial Review," IEEE Transactions on Industry and General Applications, vol. IGA-10, no. 5, pp. 476-481, September/October 1974.