

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou



Faculté De Génie Electrique Et D'informatique
DEPARTEMENT D'AUTOMATIQUE

**Mémoire de Fin d'Etudes
de MASTER PROFESSIONNEL**
Spécialité : **Automatique Industrielle.**

Présenté par
RAMDANI Lila
REZIG Djouhar

Mémoire dirigé par Monsieur MELLAH.R

Thème

Conception et réalisation d'une carte de
Mesure Multi capteurs

Mémoire soutenu publiquement le juillet 2018 devant le jury composé de :

Mr TOUAT Mohand Achour

Grade, Lieu d'exercice, Président

Mr MELLAH Rabah

Grade, Lieu d'exercice, Rapporteur

Mm CHILALI Ouardia

Grade, Lieu d'exercice, Examinatrice

Mr LAGHROUCHE Mourad

Grade, Lieu d'exercice, Examineur



Remerciement

Avant tout nous tenons tout d'abord à remercier notre dieu tout puissant de nous avoir donné, la force et le courage, la santé, les moyens afin de pouvoir accomplir ce modeste travail.

Les premières personnes que nous tenons à remercier particulièrement sont nôtres encadreurs Mr MELLAH Rabah et Mr LADDI Samir pour l'orientation, la confiance, la patience, qui ont constitué un apport considérable sans les quels ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jurys pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions. Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements et respects à tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.

Nous souhaitons également exprimer notre gratitude au responsable du laboratoire de recherche « DENZER technologie » pour Toutes tentatives de fournir des composants nécessaires de projet Merci également à Mr Syfax qui nous a aidé et nous a encouragé.

Enfin, on remercie tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.



Dédicace

C'est avec profonde gratitude et sincères mots,

Que je dédie ce modeste travail

De fin d'étude à mes chers parents;

Qui ont sacrifié leur vie pour ma réussite

Et m'ont éclairé le chemin par leurs conseils judicieux.

J'espère qu'un jour, Je pourrai leurs rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour moi, que dieu leur prête bonheur et longue vie.

Je dédie aussi ce travail à mes frères Massi et sa femme Fadila,

Amazigh et mes sœurs kahina et son mari khaled,

djedjiga et son mari Farid, Sabrina et son mari Nassim,

et ma petite sœur khoukha.

J'espère que ce travail soit un exemple pour vous de persévérance, de courage et de générosité.

Je tiens de dédier ce travail à toute ma famille ainsi mes ami(e)s chacun(e) par son nom.

Je dédie ce travail à ma chère binôme Mlle RAMDANI Lyla

« Le succès n'est pas la clé du bonheur.

Le bonheur est la clé de succès.

Si vous aimez ce que vous faites

Vous réussirez. »

Albert Schweitzer

DJOUHAR

Dédicace

C'est avec profonde gratitude et sincères mots,

Que je dédie ce modeste travail

De fin d'étude à mes chers parents;

Qui ont sacrifié leur vie pour ma réussite

Et m'ont éclairé le chemin par leurs conseils judicieux.

J'espère qu'un jour, Je pourrai leurs rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour moi, que dieu leur prête bonheur et longue vie.

Je dédie aussi ce travail à mes chères sœurs

Lynda et son mari Said, Radia et son mari Nabil,

Nessrine et son mari Mohmed,

Yassmine et son mari Kamal et ma petite sœur Loubna.

J'espère que ce travail soit un exemple pour vous de persévérance, de courage et de générosité.

Je tiens de dédier ce travail à toute ma famille ainsi mes ami(e)s chacun(e) par son nom.

Imene, Nacira, Nora, Samia, Selia, Sonia, Nadia.....

Je dédie ce travail à ma chère binôme Mlle Rezig Djouhar.

« Le succès n'est pas la clé du bonheur.

Le bonheur est la clé de succès.

Si vous aimez ce que vous faites

Vous réussirez. »

Albert Schweitzer

Leila

SOMMAIRE

Remerciements	I
Dédicace 1	II
Dédicace 2	III
Résumé	IV
Liste des abréviations	V
Sommaire	VI
Liste des figures	VII
Liste des tableaux	VIII
Introduction générale	1-2
CHAPITRE I : Généralités sur les grandeurs de mesure et Capteurs	
I.1 Introduction	3
I.2 Généralité sur la mesure	3
I.3 Métrologie	3
I.3.1 Définition	3
I.3.2 Quelques termes de métrologie	4
I.4 Les grandeurs électriques et leurs unités	4
I.5 Appareils de mesure	6
I.6 Méthodes de mesure	7
I.6.1 Méthode directe	7
I.6.2 Méthode indirecte	7
I.7 Erreurs de mesures	7
I.8 Caractéristiques des appareils de mesure	7
I.9 Les capteurs	8
I.9.1 Définition d'un capteur	8
I.9.2 Types de capteur	8

I.9.3	Description de la chaîne de mesure de capteurs	9
I.9.4	Capteurs et chaîne d'acquisition	10
I.10	Caractéristiques déterminantes dans le choix d'un capteur	12
I. 11	Caractéristiques liées aux erreurs de mesure	15
I.12	Conditionnement des signaux	17
I.12.1	Conversion courant-tension	17
I.12.2	Amplification	17
I.12.3	Filtrage	18
I.13	Conversion analogique/numérique	18
I.14	La chaîne d'acquisition	19
I.15	Conclusion	20
	<i>Chapitre II</i>	
II.1	Introduction	21
II. 2	Présentation du projet	21
II.2.1	Problématique	21
II.2.2	Objectif	21
II.3	Système embarqué	22
II.4	Présentation des capteurs utilisés	22
II.4.1	Capteur ultrason	22
II .4.2	Capteur température / humidité	24
II.4.3	Capteur de force résistif FSR	25
II.4.4	Capteur de lumière numérique BH1750	26
II.4.5	Capteur de poids	29
II.5	Présentation sur l'Arduino	31
II.6	Les gammes de la carte Arduino	31
II.7	Constitution de la carte Arduino	32
II.8	Les Accessoires de la carte Arduino	33
II.9	Conclusion	34
	Chapitre III : Réalisation et Implémentation	
III.1	Introduction	35

III.2	Les outils et environnements de travail	35
III.2.1	Environnement matériel	35
III.2.1.1	Arduino Méga 2560	35
III.2.1.2	Organes	38
III.2.2	Environnement logiciel	39
III.2.2.1	Langage de programmation	39
III.2.3	Réalisation de l'environnement logiciel de chaque capteur	40
III.2.3.1	Capteur Ultrason HC-SR04	40
III.2.3.2	Capteur de température et d'humidité DHT11	42
III.2.3.3	Capteur de force résistif FSR	45
III.2.3.4	Capteur de lumière BH1750	47
III.2.3.5	Capteur du poids 50kg	50
III. 3	Réalisation matérielle	54
III.3.1	Circuit électrique	54
III.3.2	Résultats	55
III.4	Conclusion	58
	Conclusion générale	59

Liste Des Figures

Chapitre I :

Figure I.1. schéma d'un capteur	8
figure I.2 le capteur dans la chaine de mesure	9
Figure I.3 schéma de principe d'un capteur industriel	10
Figure I. 4 : Schéma de la chaîne d'acquisition d'une mesure	10
Figure I.5 principe de la mesure	11
Figure I. 6 : (a) montage d'une résistance seule, (b) montage en pont de Wheatstone	12
Figure I.7 : Etendue de mesure d'un capteur	13
Figure I.8 : Domaine de linéarité d'un capteur	13
Figure I. 9 domaines d'utilisation	14
Figure I.10 : Illustration des deux types d'erreurs (systématique et accidentelle))	15
Figure I.11 : Illustration des notions de fidélité et justesse	16
Figure I.12 : Capteur générant un courant associé à un convertisseur courant-tension à amplificateur opérationnel	17
Figure I.13 : (a) : Echantillonnage d'un signal de mesure ; (b) : avec une fréquence d'échantillonnage plus élevée ;(c) : avec une fréquence d'échantillonnage moins élevée ($f_{eb} > f_{ec}$)	19
Figure I.14 : Représentations de codages d'un signal sur 2 et 3 bits et avec 2 échantillonnages	19
Figure I.15 : Représentation de la chaine d'acquisition.	20
Chapitre II	
Figure II.1. Système embarqué et ses dépendances Pour concevoir un système	22
Figure II.2 Capteur à ultrason HC-SR04	23
Figure II.3 Principe de fonctionnement	23
Figure II.4 capteur DHT11	24
Figure II.5 capteur FSR	25
Figure II.6 capteur BH1750	27
Figure II.7 capteur de poids	29
Figure II.8 Type de modules Bluetooth	33
Figure II.9 shield Arduino wifi	33

Figure II.10 Module XBee	34
Chapitre III	
Figure III-1 : Carte Arduino Méga 2560.	35
Figure III.2 connectique de la carte Arduino Méga 2560	37
Figure III-3 Ensemble des composants matériels impliqués dans ce projet.	38
Figure III.4 Environnement Arduino	39
Figure III.5 capteur HC-SR04 avec Arduino	40
Figure III.6 connexion avec carte Arduino	40
Figure III.7 branchement du capteur HC-SR04	41
Figure III.8 résultats sur monitor série	42
Figure III.9 branchement du capteur DHT11.	43
Figure III.10 résultat sur monitor série	44
Figure III.11 connexion du capteur FSR sur la table d'essai..	45
Figure III.12 branchement du capteur FSR	46
Figure III.13 résultat sur monitor série	47
Figure III.14 branchement du capteur BH1750.	48
Figure III.15 résultat sur monitor série	49
Figure III.16 logiciel de commande Multimètre DENZ	56

Liste Des Tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 Grandeurs et unités de base	5
Tableau I.2 Multiples et sous multiples des unités	5

Chapitre II

Tableau II.1 Niveaux de puissance du capteur de lumière du jour	38
Tableau II.2 Les gammes de la carte Arduino	39

Chapitre III

Tableau III-1 Caractéristiques de la carte Arduino Méga 2560	36
Tableau III.2 symbole de chaque capteur utilisé	57

Liste des abbreviations:

IDE : Integrated Development Enviroment.

DHT11: digital temperature and humidity sensor.

FSR : Force Sensing Resistor.

PWM : Pulse width modulation.

LED : Light Emitting Diode.

Rom : Read only mémoire .

CTN : coefficient de température negative.

EEPROM : Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory.

I/O : Input/Output.

LDR : *Light-Dependent Resistor*.

USB : Universal Serial Bus.

IP : Internet Protocol

Introduction générale

La connaissance scientifique s'est développée par un double effort :
D'une part la description des mécanismes qui résultent de l'interaction entre les grandeurs physiques liées aux phénomènes, par des formalismes mathématiques en rapport aux lois de la physique et les relations abstraites entre des grandeurs physiques.
D'autre part la mise en œuvre de l'expérimentation qui repose la mesure des grandeurs physiques, associée à des théories cohérentes des lois régissant les rapports des grandeurs physiques, pour définir quantitativement les propriétés des objets et de vérifier numériquement les lois physiques.
Ainsi, l'une des tâches principales du Chercheur ou Technicien dans les Laboratoires de recherche scientifique comme dans les installations industrielles consiste à effectuer les mesures sur les grandeurs physiques variées qui déterminent leurs expériences ou le déroulement correct de leurs fabrications.

L'électronique offre à cet égard des moyens divers et puissants, car depuis que l'électronique existe, sa croissance est fulgurante et continue encore Aujourd'hui.
L'électronique est devenue accessible à toutes personnes en ayant l'envie.
En ce qui nous concerne, nous allons apprendre dans ce travail un mélange d'électronique et de programmation.
On va en effet parler d'électronique embarquée qui est un sous-domaine de l'électronique et qui a l'habileté d'unir la puissance de la programmation à la puissance de l'électronique.

L'objectif de notre travail ; consiste alors à concevoir et à réaliser une carte de contrôle multi capteurs contrôlable via Arduino. Les utilisateurs Pourront à terme contrôler plusieurs grandeurs de mesures.
Cette carte électronique réalisée rend la commande et le contrôle facile et souple.
Trois chapitres sont nécessaires pour aboutir à ce projet:

Le premier chapitre s'intitule « généralités », il a pour but de définir des concepts essentiels des mesures, et des capteurs.

Le second chapitre concerne « l'analyse et la conception » du projet. Dans ce chapitre, une présentation de projet (objectif, problématique) a été faite. Ainsi que la description de chaque capteur utilisé puis, on mettra la lumière sur un modèle de base qui est (Arduino) sa construction son environnement de programmation et son principe de fonctionnement afin de simplifier son utilisation.

Dans le dernier chapitre, intitulé « réalisation et implémentation », les outils et environnements de travail ont été exposés. Le fonctionnement du système, ainsi que les interfaces de contrôle.

Ce présent mémoire se termine par une conclusion résumant les connaissances acquises au travers du projet réalisé, ainsi que des propositions pouvant venir améliorer notre système dans le futur.

I.1. Introduction

La mesure permet de conduire le progrès scientifique vers une bonne amélioration et d'accroître la connaissance de ce qui nous entoure, mais les limites nous ne les atteignons pas et nous ne les atteindrons jamais. Ainsi, il nous apparaît, à ce jour, que la mesure joue un rôle de plus en plus fondamental dans le développement des activités industrielles à travers la mise en œuvre des automatismes sophistiqués, la robotique, le contrôle de la qualité, les économies d'énergie, la lutte contre la pollution..... etc.

De plus, la mesure, à travers de l'automatisme, trouve maintenant des applications nombreuses dans la conception et la réalisation des biens de consommation, l'électroménager, l'automobile, les jouets, etc.

Par conséquent, la mesure devient un facteur essentiel de l'économie, qui doit être traitée avec une attention particulière et soutenue.

En outre, rien ne se fera sans le « capteur » qui se trouve à la base de l'édifice « mesure ». Lui seul permet de prolonger et d'affiner les progrès de l'humanité.

I.2. Généralité sur la mesure

Si on se réfère à la théorie du savant D.Mendeleev qui a écrit « La science commence là où commence la mesure » ; cela signifie que nous n'avons pas de science sans mesure.

Cependant, la mesure est un processus de connaissance qui nous donne à partir d'une expérience physique une information quantitative (valeur) représentant le rapport entre la grandeur mesurable et une grandeur de même nature prise comme unité.

I.3. Métrologie

I.3.1. Définition

La métrologie au sens étymologique du terme se traduit par Science de la mesure.

Dans le langage courant des « métrologues », on entend souvent dire mesurer c'est comparer !

Les résultats des mesures servent à prendre des décisions :

- ❖ Acceptation d'un produit (mesure des caractéristiques, des performances, conformité à une exigence).
- ❖ Réglage d'un instrument de mesure dans un procédé à valider.
- ❖ Réglage d'un paramètre approprié au contrôle d'un procédé de fabrication.
- ❖ Validation d'une hypothèse,

- ❖ Définition des conditions de sécurité d'un produit ou d'un système.

Un résultat de mesure est écrit sous la forme :

$$X = \{X\} [X]$$

Où X est le nom de la grandeur physique, [X] représente l'unité et {X} est la valeur numérique de la grandeur exprimée dans l'unité choisie.

I.3.2. Quelques termes de métrologie

- ❖ **Grandeur (mesurable)** : définie comme attribut d'un phénomène, d'un corps ou d'une substance, qui est susceptible d'être distinguée qualitativement et déterminée quantitativement
- ❖ **Unité de mesure** : c'est une grandeur particulière, définie et adoptée par convention, à laquelle on compare les autres grandeurs de même nature pour les exprimer quantitativement (valeur) par rapport à cette grandeur.
- ❖ **Mesurage** : c'est l'ensemble des opérations ayant pour but de déterminer une valeur d'une grandeur.
- ❖ **Mesurande** : grandeur particulière soumise à mesurage.
- ❖ **Incertitude de mesure** : c'est un paramètre, associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui pourraient raisonnablement être attribuées au mesurande.
- ❖ **Étalon de mesure** : en métrologie, un étalon est un dispositif auquel on doit se fier pour contrôler l'exactitude des résultats fournis par un appareil de mesure.

I.4. Les grandeurs électriques et leurs unités

Les principales grandeurs électriques qu'un électrotechnicien est amené à mesurer sont les suivants :

- ❖ La tension ou différence de potentiel (ddp) entre deux points,
- ❖ L'intensité d'un courant dans une branche,
- ❖ La résistance d'un récepteur,
- ❖ La capacité d'un condensateur,
- ❖ La puissance dissipée dans un circuit,
- ❖ La fréquence et la période d'un signal

Les grandeurs et unités de base dans le système international (SI) sont données par les tableaux suivants :

Tableau I.1 : Grandeurs et unités de base

Grandeur	Symbole	Unité	Symbole	Appareil de mesure
Tension	U	Volt	V	Voltmètre
Intensité	I	Ampère	A	Ampèremètre
Puissance	P	Watt	W	Wattmètre
Résistance	R	Ohm	W	Ohmmètre
Capacité	C	Farad	F	Capacimètre
Inductance	L	Henry	H	Henry mètre
Période	T	Seconde	S	Période mètre
Fréquence	F	Hertz	Hz	Fréquencemètre
Température	T	Degrés celsius	°C	Therme mètre
Pression	P	Pascal	Pa (ou bar)	Baromètre
Chaleur	Q	Calorie	Cal	Calorimètre
Eclairement	E	Luxe	Lux	Luxmètre
Intensité lumineuse	I	Candela	Cd	Candela mètre

Les différentes unités

Tableau I.2 : Multiples et sous multiples des unité

Préfixe	Symbole	Multiplication
Yotta	Y	10 ²⁴
Zetta	Z	10 ²¹
Exa	E	10 ¹⁸
Péta	P	10 ¹⁵
Téra	T	10 ¹²
Giga	G	10 ⁹
Méga	M	10 ⁶
Kilo	K	10 ³
Hecto	h	10 ²

Déca	da	10^1
Déci	d	10^{-1}
Centi	c	10^{-2}
Milli	m	10^{-3}
Micro	μ	10^{-6}
Nano	n	10^{-9}
Pico	p	10^{-12}
Femto	f	10^{-15}
Atto	a	10^{-18}
Zepto	z	10^{-21}
Yocto	y	10^{-24}

I.5. Appareils de mesure

La mesure reste bien souvent, le seul moyen de vérifier le fonctionnement ou les performances d'un procédé industriel, grâce à des appareils de mesure très performants.

Les appareils de mesure permettent de connaître certains points d'une fabrication. Ils donnent la possibilité d'agir sur le procédé de fabrication de manière à obtenir la qualité et quantité de produits finis conformément à certaines spécifications dans les meilleures conditions de sécurité et de rendement avec un prix de revient minimum. Pour cela les appareils donnent des informations permettant d'effectuer des contrôles. En partant de ces contrôles on agira sur le procédé pour obtenir la qualité et la quantité escomptées. On en tirera des bilans et des rendements qui permettent de calculer et de corriger le prix de revient et la rentabilité du procédé. Dans le présent traité, nous nous limitons à l'étude des appareils de mesure des quatre paramètres physiques industriels les plus importants à savoir la pression, le débit, le niveau et la température.

Dans le domaine électrique et électronique, on utilise plusieurs types d'appareils de mesure, tels que :

- ❖ Le voltmètre pour mesurer des tensions,
- ❖ L'ampèremètre pour mesurer des intensités,
- ❖ Le wattmètre pour mesurer des puissances,
- ❖ L'ohmmètre pour mesurer des résistances ; etc.
- ❖ L'oscilloscope pour visualiser la forme d'une onde et d'obtenir de nombreux renseignements (amplitude, période...).

Le voltmètre, ampèremètre, et ohmmètre sont souvent regroupés en un seul appareil qui s'appelle multimètre.

I.6. Méthodes de mesure

Pour mesurer une grandeur, on doit le comparer à une autre grandeur ayant la même unité. Les méthodes principales de mesure sont :

I.6.1. Méthode directe

On détermine la valeur de la grandeur mesurée directement sur l'appareil de mesure.

Exemple : Le courant I est mesuré par un ampèremètre.

I.6.2. Méthode indirecte

Les déviations de plusieurs appareils de mesure permettent de déterminer la valeur inconnue. En effet, on mesure les grandeurs inconnues par l'application de certaines lois physiques.

Exemple : On détermine la valeur d'une résistance par la mesure de la tension et du courant qui la traversent (application de loi d'Ohm).

I.7. Erreurs de mesures

Quelque soit le soin qu'on peut apporter à la mise en œuvre de la mesure, à la précision de l'appareil, au respect des règles de manipulation, il reste toujours une incertitude (erreur) sur la mesure. En effet, il est indispensable de prendre en considération ces recommandations :

- ❖ Faire tendre cette incertitude vers une valeur de plus en plus faible.
- ❖ Toute mesure pour qu'elle soit complète, doit comporter non seulement la valeur mesurée, mais également les limites possibles sur la valeur donnée de l'erreur.

I.8. Caractéristiques des appareils de mesure

Parmi les caractéristiques des appareils de mesure, les plus utilisées, nous avons retenu les suivantes :

- ❖ **Calibre de mesure :** c'est la capacité maximale de l'appareil de mesure.
- ❖ **Classe de précision :** La classe d'un appareil fixe la marge maximale d'incertitude de construction de l'appareil. Un appareil est dit de classe 2 quand l'incertitude absolue de construction est inférieure à 2% du maximum de l'échelle (calibre). Sur le calibre 10A d'un ampèremètre de classe 2, l'incertitude de construction sera au maximum égale à $2\% \cdot 10A = 0.2$.

- ❖ **Echelle** : repère gradué servant à comparer les valeurs représentant des grandeurs.

I.9 Les capteurs

I.9.1 Définition d'un capteur

Un capteur transforme une grandeur physique en une grandeur normée, généralement électrique, qui peut être interprétée par un dispositif de contrôle (commande). [1]

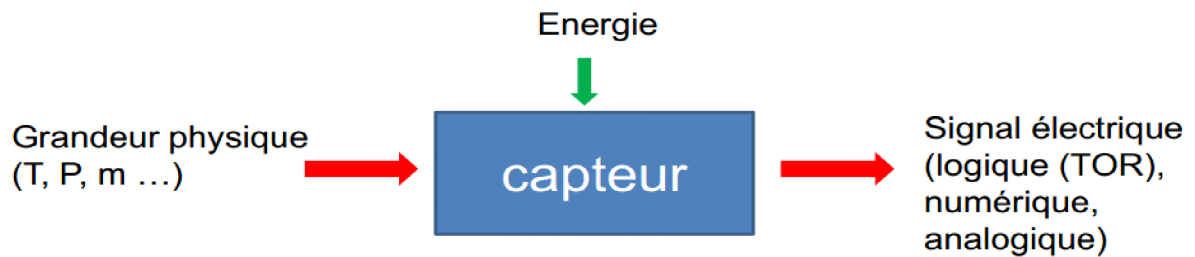


Figure I.1. Schéma d'un capteur

I.9.2 Types de capteur

Les capteurs permettent de transformer des variables non-électriques en variables électriques. Selon leur mode de fonctionnement, on distingue les capteurs actifs et les capteurs passifs. [1]

a) Les capteurs actifs

Fonctionnant en générateur, un capteur actif est généralement fondé dans son principe sur un effet physique qui assure la conversion en énergie électrique de la forme d'énergie propre appropriée à une grandeur physique à mesurer (énergie thermique, mécanique ou de rayonnement)

b) Les capteurs passifs

Il s'agit généralement d'impédances (résistance, inductance, capacité) dont l'un des paramètres déterminants est sensible à la grandeur mesurée.

La variation d'impédance résulte :

- ❖ d'une variation de dimension du capteur (capteurs de position, potentiomètre, inductance à noyaux mobile, condensateur à armature mobile).
- ❖ d'une déformation relative à une force ou à une grandeur s'y ramenant (pression accélération).

Exemples : armature de condensateur soumise à une différence de pression, jauge d'extensomètre liée à une structure déformable

Remarque : Les capteurs actifs sont des capteurs alimentés par une tension, qui contiennent des éléments d'amplification ou qui génèrent un signal. Le signal de sortie d'un capteur actif est généré, par un circuit intégré, sous forme de tension digitale.

Les capteurs passifs sont des capteurs qui ne contiennent que des éléments passifs (bobine, résistance, condensateur). Le plus souvent le capteur passif génère un signal de sortie sous forme de tension analogique.

I.9.3 Description de la chaîne de mesure de capteurs

a) Le capteur dans la chaîne de mesure

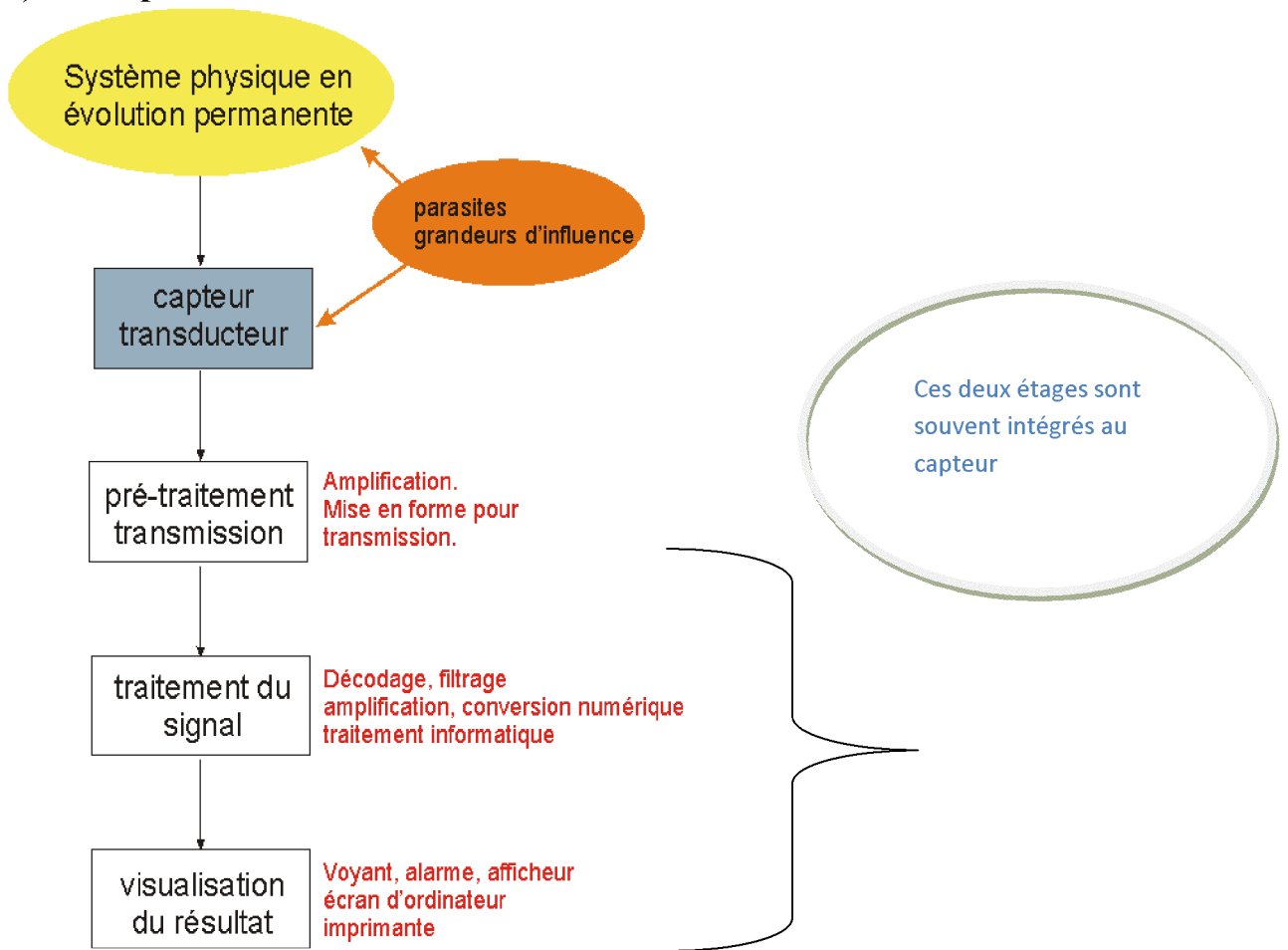


Figure I.2. Le capteur dans la chaîne de mesure.

b) Schéma de principe d'un capteur industriel

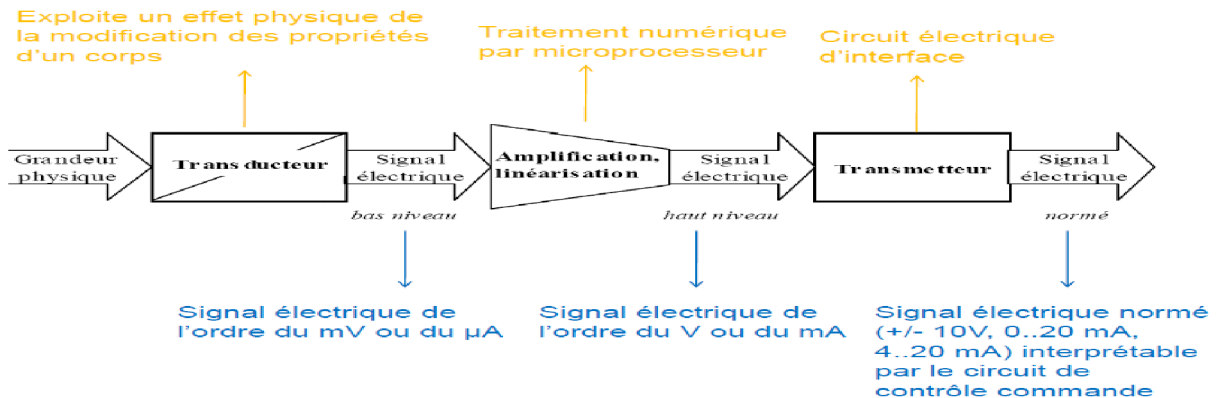


Figure I.3. Schéma de principe d'un capteur industriel

I.9.4 Capteurs et chaîne d'acquisition

Les capteurs sont des éléments sensibles à des grandeurs physiques qu'ils transforment en grandeur électrique (en général une tension). Ils sont souvent intégrés à chaîne d'acquisition permettant à la grandeur mesurée d'être conditionnée afin que la mesure (ou signal de sortie) donne une estimation optimisée du mesurande. [2]

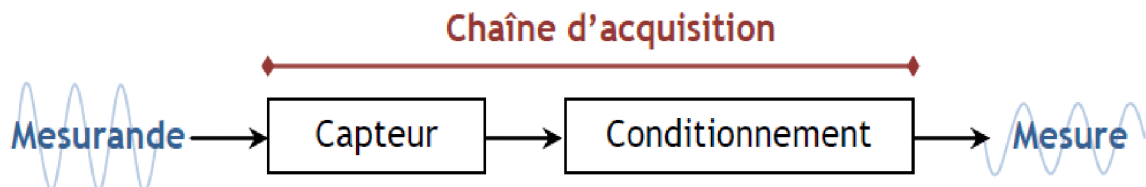


Figure I.4. Schéma de la chaîne d'acquisition d'une mesure

Cette ressource a pour objectif de présenter les principes généraux des capteurs et leurs chaînes d'acquisition. Quelques exemples de capteurs sont donnés, dont les caractéristiques générales sont présentées.

a) Le mesurande , grandeur physique à mesurer

Une mesure est une représentation quantifiée d'une grandeur physique (température, pression, champ magnétique ...). On définit la terminologie suivante :

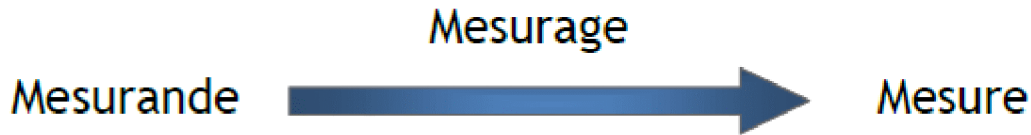


Figure I.5. Principe de la mesure .

- ❖ Mesurande : grandeur physique soumise à un mesurage (pression, température, ...),
- ❖ Mesurage : toutes les opérations permettant l'obtention de la valeur d'une grandeur physique (mesurande),
- ❖ Mesure : valeur numérique représentant le mesurande (6 MPa , 20°C , 2 m.s^{-1} ...).

Il est à noter qu'il est possible de réaliser des capteurs permettant de mesurer des grandeurs dérivées de la grandeur physique à laquelle ils sont sensibles (vitesse, contrainte mécanique, position ...)

b) La chaîne d'acquisition

La chaîne d'acquisition a pour fonction de recueillir et de transformer la grandeur à mesurer sous une forme adaptée à son exploitation. Le capteur peut à la fois réaliser la mesure et faire partie du conditionnement (comme dans un montage en pont de Wheatstone) ou bien être dissocié (comme schématisé figure I.4).

Prenons l'exemple d'une mesure de température T via une thermistance, dipôle résistif dont la résistance électrique R (figure I.6a) varie en fonction la température $R(T) = R_0 + \Delta R(T)$.

La mesure directe de la tension V inclut deux termes : une composante continue V_0 et une variation de tension due à la variation de température, $V = V_0 + \Delta V$.

Il est possible de réaliser la mesure de température via la tension aux bornes d'une seule thermistance mais cette méthode présente des inconvénients, en particulier celui de délivrer un signal de sortie dont seule une faible proportion est dépendante du mesurande.

Il est préférable de réaliser la mesure au moyen d'un montage de type pont de Wheatstone qui permet d'extraire seulement la variation de signal dépendante du mesurande (température). Quatre résistances y sont montées en pont (figure I.6b). Le fonctionnement du montage repose sur le simple principe du pont diviseur de tension. A l'équilibre (température de référence) des quatre résistances sont égales et la tension de sortie V_s est nulle. Le montage ne comporte qu'une seule résistance sensible à la température. Sa variation $\Delta R(T)$ entraîne une variation de la tension de sortie V_s :

$$V_s = \frac{I}{4} \Delta R(T) \frac{1}{1 + \frac{\Delta R(T)}{4R_0}}$$

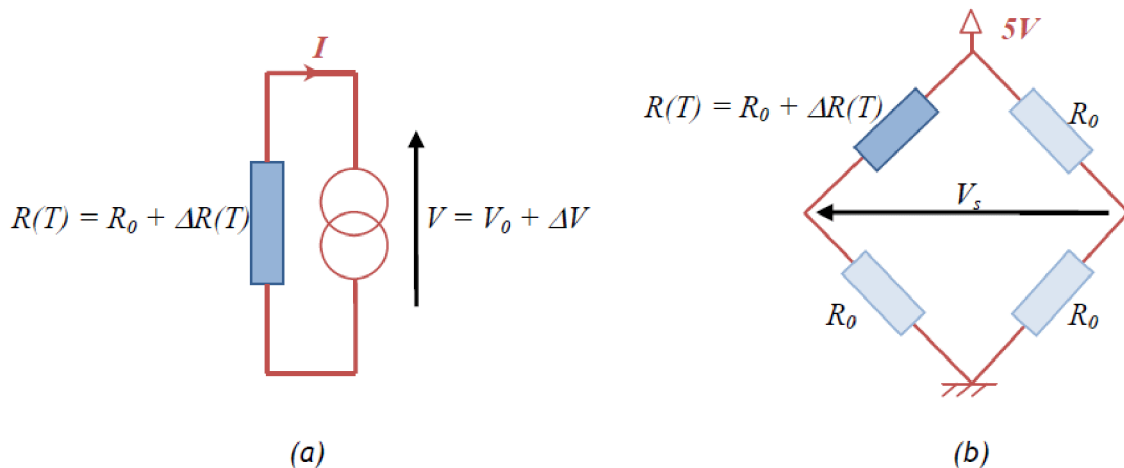


Figure I. 6 . (a) montage d'une résistance seule, (b) montage en pont de Wheatstone

La chaîne d'acquisition peut assurer plusieurs rôles par le truchement de divers dispositifs. Le capteur, placé en tête de la chaîne d'acquisition, transforme le mesurande en signal électrique (en général une tension). Le circuit de conditionnement optimise les caractéristiques du signal de sortie du capteur (filtrage du bruit, amplification, suppression de composante continue...). Une conversion analogique/numérique du signal peut également être faite afin par exemple de rendre la mesure exploitable par un ordinateur. [2]

I.10 .Caractéristiques déterminantes dans le choix d'un capteur

Pour une application donnée, il est fréquent que plusieurs technologies de capteur puissent convenir. Leur choix dépendra des performances visées en termes de caractéristiques de mesure, dont les principales sont définies ci-après.

- **Etendue de mesure :** ($E.M.$) différence entre la valeur minimale m_{min} et maximale m_{max} du mesurande à obtenir : $E.M. = m_{max} - m_{min}$. L'étendue de mesure est définie par la courbe d'étalonnage du capteur (figure I.7) qui à chaque valeur du mesurande m fait correspondre un signal de sortie s unique.

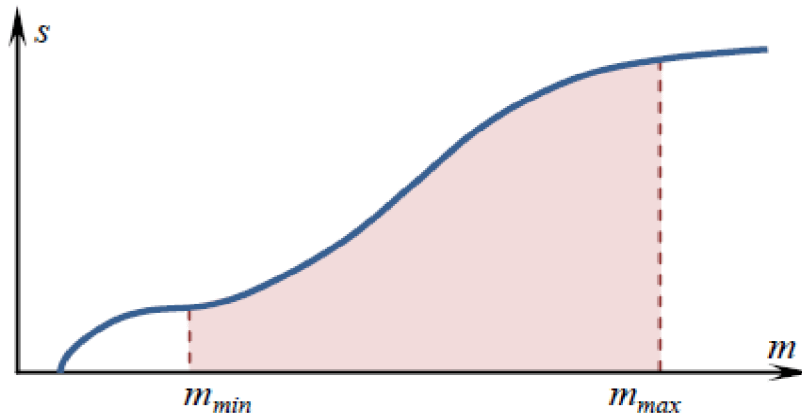


Figure I.7. Etendue de mesure d'un capteur

- **Dynamique de mesure** : C'est la différence entre les valeurs extrêmes mesurables par le capteur pour une marge d'erreur fixée. Les mesures ne sont pas entachées d'une erreur supérieure à celle tolérée, elles sont données avec la notion de précision.
- **Résolution** : Plus petite valeur que le capteur est en mesure d'identifier. La résolution est dépendante du niveau de bruit.
- **Sensibilité** : C'est un Facteur de proportionnalité entre le signal de sortie du capteur s et la grandeur mesurée. Pour une valeur donnée m du mesurande, la sensibilité $S(m)$ du capteur est égale au rapport entre la variation de la sortie électrique et la variation du mesurande :

$$S(m) = \left(\frac{\Delta s}{\Delta m} \right)_m$$

Si $s(m)$ est une fonction linéaire du mesurande m , dans l'étendue de mesure. Le capteur est dit linéaire. Sa sensibilité $S(m)$ est alors constante sur l'étendue de mesure (figure I.8).

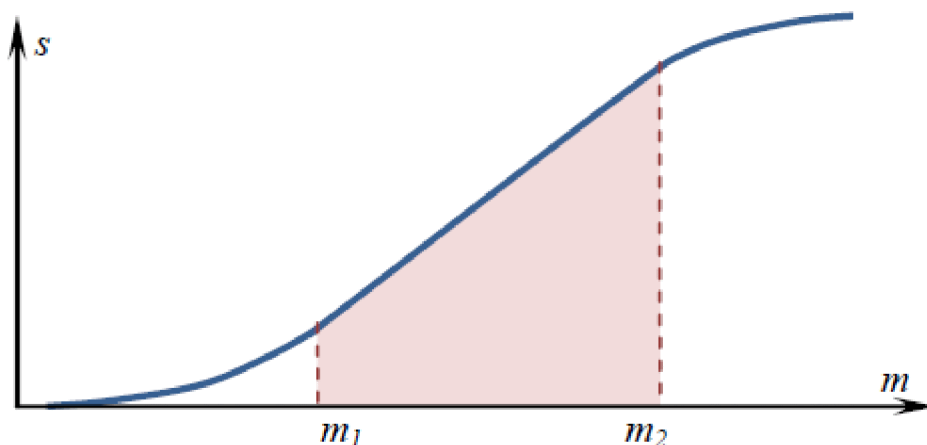


Figure I.8. Domaine de linéarité d'un capteur

- **Précision** : L'incertitude sur chaque résultat de mesure M doit être quantifiée par une estimation de l'erreur possible exprimée par $\pm \delta M$.

On sait alors que $m = M \pm \delta M$. L'erreur de précision est une erreur relative δp ramenée à l'étendue de mesure :

$$\varepsilon_p = \frac{\delta M}{E.M.}$$

- **Bande passante** : Elle représente une gamme de fréquences pour laquelle le capteur fonctionne. Ainsi, elle caractérise la rapidité du capteur qui reflète la capacité de réponses aux variations du mesurande dans le temps.

En conclusion, pour avoir une bonne conception d'un capteur, la sensibilité S doit dépendre le moins possible de :

- ❖ La valeur de m (linéarité)
- ❖ la fréquence de variation (bande passante)
- ❖ du temps (vieillessement)
- ❖ d'actions extérieures (grandeurs d'influence)

La figure suivante, illustre les domaines d'utilisation :

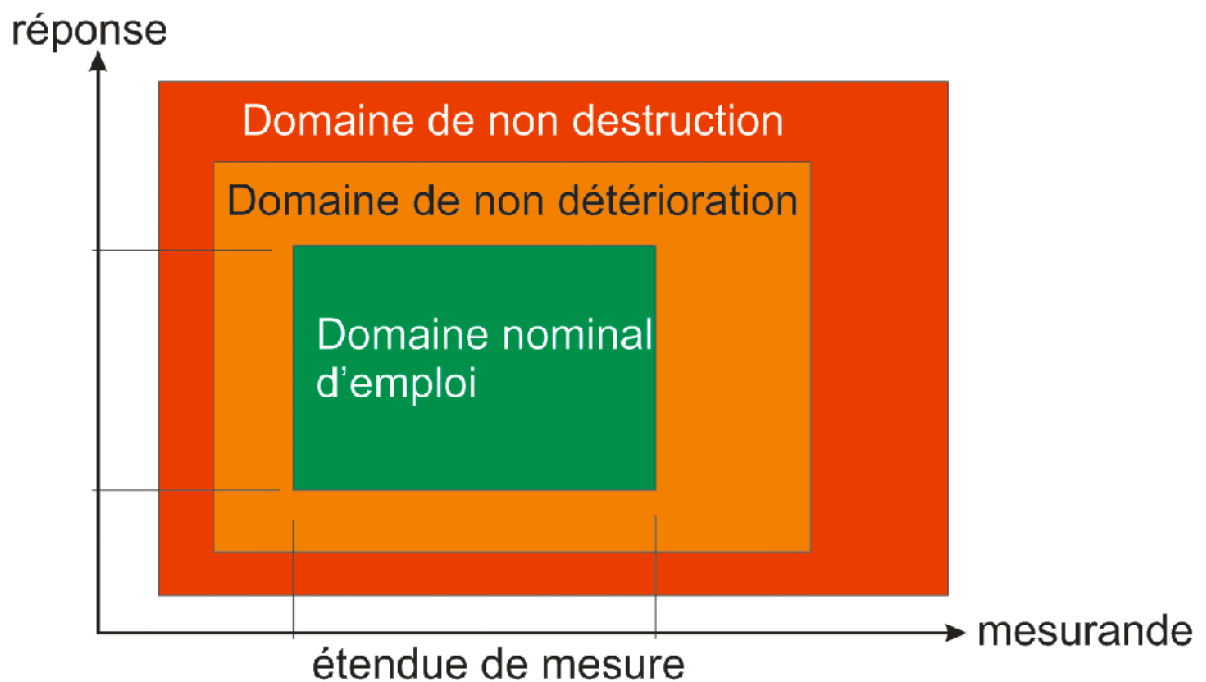


Figure I. 9. Domaines d'utilisation

- **Dérives et paramètres d'influence** : Diverses grandeurs physiques (g_i) autres que le mesurande m , sont susceptibles d'influencer la mesure M faite par le capteur :

$M = f(m, g_1, g_2, \dots)$. Ces paramètres peuvent provenir par exemple de la température ambiante, de vibrations, d'humidité mais aussi de perturbations électromagnétiques ...etc. Il est possible d'en tenir compte dans le mesurage en réalisant en parallèle une mesure de certaines grandeurs d'influence, ou de s'en protéger (suspension antivibratoire, blindage électromagnétique ...) ou encore de les compenser par la chaîne d'acquisition avec un circuit électronique adapté.

D'autres caractéristiques sont importantes dans le choix d'un capteur, comme le coût, l'encombrement et sa facilité de mise en œuvre. [2]

I.11 . Caractéristiques liées aux erreurs de mesure

Les mesures faites par un capteur sont généralement sujettes à une imprécision. La différence entre la valeur réelle du mesurande et la mesure est appelée erreur de mesure. On peut distinguer deux types d'erreurs : les erreurs systématiques et les erreurs accidentelles (figure I.10).

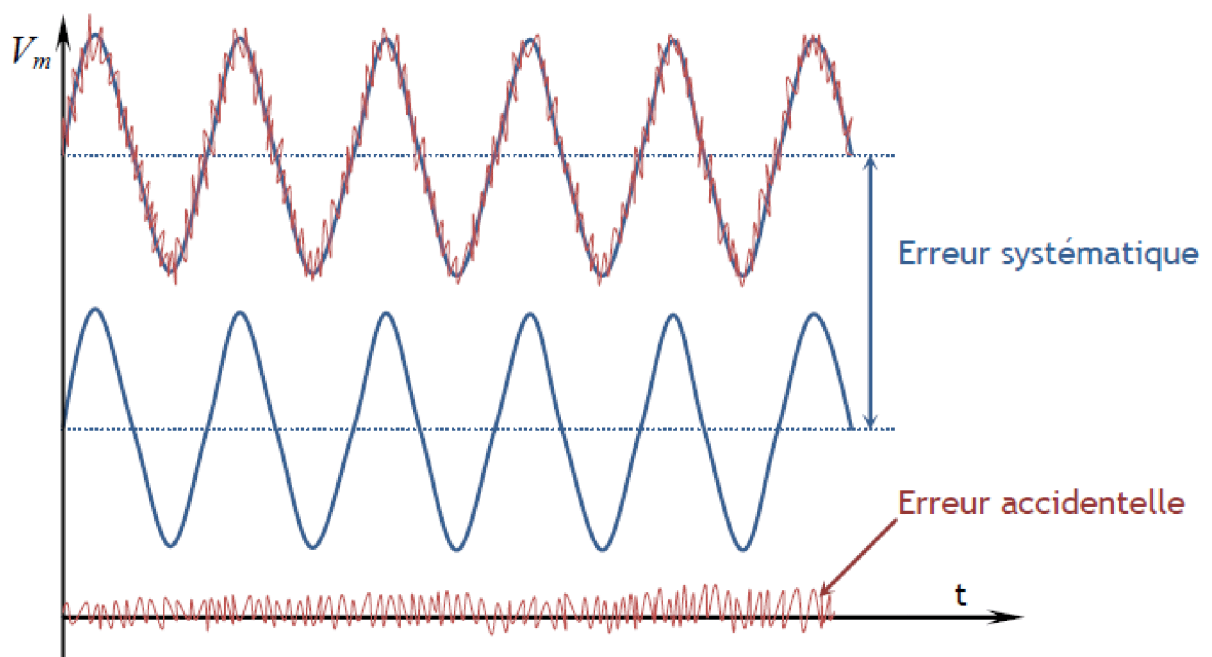


Figure I.10 . Illustration des deux types d'erreurs (systématique et accidentelle)

Les erreurs systématiques ont plusieurs origines possibles. Elles proviennent d'une erreur dans la courbe d'étalonnage, d'une valeur erronée d'une grandeur de référence, d'une correction erronée apportée aux mesures ou encore d'un écart à la linéarité du capteur supposé linéaire. Les erreurs systématiques introduisent un même décalage que l'on peut éventuellement réduire par réétalonnage.

Les erreurs accidentelles peuvent être dues à une lecture erronée d'un appareil à déviation, d'une erreur de mobilité (capteur insensible à une certaine variation du mesurande), aux bruits de l'environnement (thermique, amplificateurs de l'électronique de conditionnement...), aux fluctuations des tensions d'alimentation. Leur réduction passe par une amélioration des dispositifs de la chaîne d'acquisition, ou le post-traitement du signal.

Trois caractéristiques métrologiques définissent les erreurs de mesure : la justesse, la fidélité et la précision (figure I.11).

La justesse est la qualité d'un capteur dont les erreurs systématiques sont faibles.

Un capteur juste est un capteur dont la valeur moyenne de mesures répétées (V_{moy}) correspond à la valeur vraie du mesurande (V_m).

La fidélité est la qualité d'un capteur dont les erreurs accidentelles sont faibles. Il donne des résultats peu dispersés autour de la valeur moyenne (V_{moy}). On dit également que les mesures sont reproductibles.

Enfin la précision est la qualité d'un appareil dont chaque mesure est proche de la valeur réelle du mesurande. Il est donc à la fois fidèle et juste. [1]

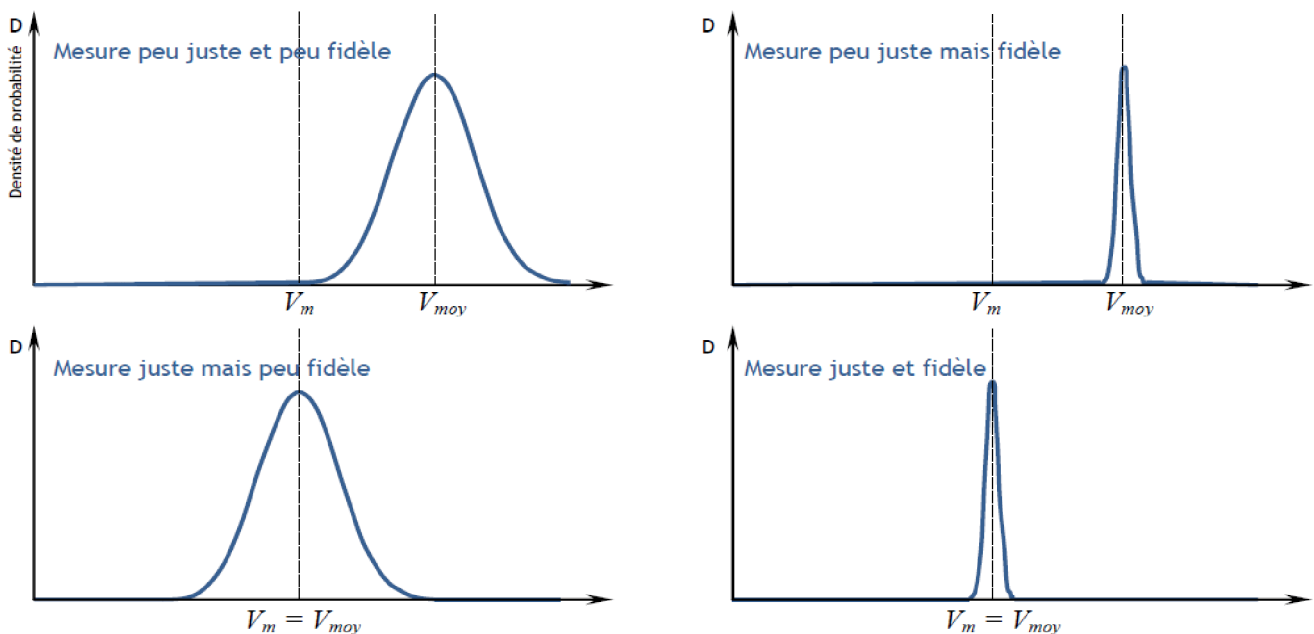


Figure I.11. Illustration des notions de fidélité et justesse

I.12. Conditionnement des signaux

Le conditionnement permet de mettre en forme le signal mesuré en vue d'un traitement et d'une transmission éventuelle. Il ne s'agit pas ici de faire un bilan exhaustif des conditionnements associés aux capteurs mais d'en donner quelques exemples.

I.12.1. Conversion courant-tension

Lorsque le signal de sortie du capteur est un courant, le rôle du convertisseur courant-tension est de transformer celui-ci en une tension. Le montage (figure I.12) est réalisé de telle sorte qu'aucun courant ne parcourt R_c , et que tout le courant fourni par la source $i(m)$ représentant le courant à convertir traverse R et détermine la tension de sortie : $v_{out} = -R.i(m)$

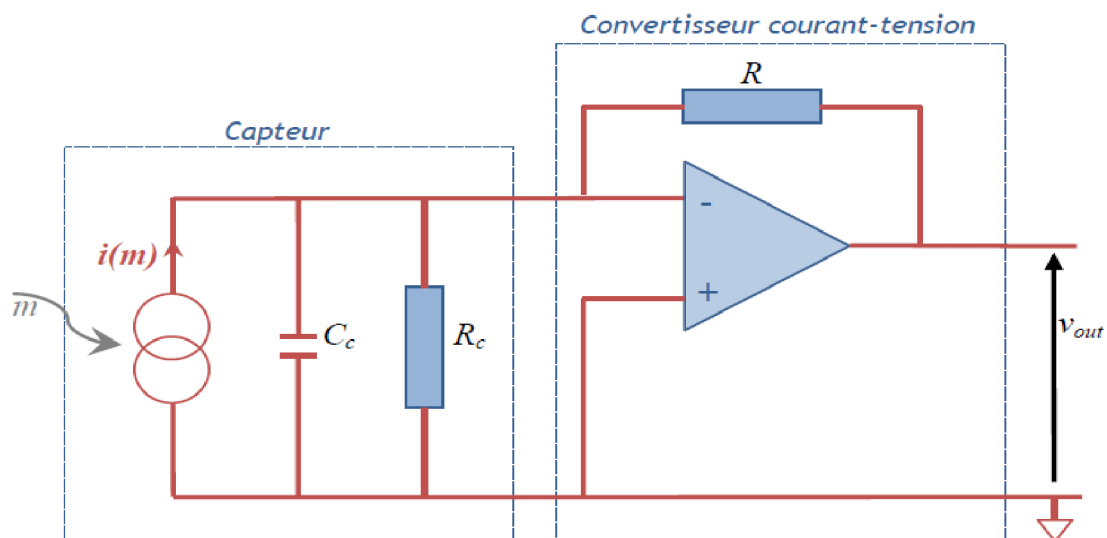


Figure I.12 . Capteur générant un courant associé à un convertisseur courant-tension à amplificateur opérationnel

I.12.2 .Amplification

Lorsque les signaux électriques issus des capteurs sont de faible amplitude, il s'avère nécessaire de les amplifier en vue de les adapter à la chaîne de transmission. Néanmoins, il faut savoir que l'amplification (en tension ou en puissance) du signal électrique issu du capteur est un phénomène bruyant qui s'accompagne d'une dégradation du rapport signal sur bruit. Cela signifie que si l'amplitude du signal utile issue du capteur se trouve augmentée, les parasites (bruit) le sont également mais dans des proportions plus grandes encore.

Les amplificateurs d'instrumentation sont conçus de manière à optimiser le rapport signal sur bruit, c'est à dire à « peu » le dégrader. Ils sont caractérisés par un gain d'amplification (en tension ou en puissance) ratio du signal électrique de sortie de l'amplificateur sur le signal d'entrée, ainsi que par un facteur fruit $F > 1$ qui quantifie la dégradation du rapport signal sur bruit entre l'entrée et la sortie.

I.12.3 .Filtrage

Le filtrage peut avoir différentes applications. Il peut en particulier être pratiqué afin de réduire le bruit (signal parasite « large bande » ou haute fréquence) entachant le signal utile. Ainsi un filtrage passe-bas éliminera le bruit haute fréquence et produira un effet de lissage utile.

Dans le cas où le circuit de filtrage est placé avant l'échantillonnage de la conversion analogique/numérique, le filtre d'entrée appelé filtre anti-repliement, contraint le signal à avoir un spectre limité tel que $f_{max} < f_e/2$. Par contre si il est placé en sortie de la conversion analogique/numérique, le filtre lisse le signal de sortie pour restituer le signal utile.

I.13 . Conversion analogique/numérique

La conversion analogique/numérique consiste à transformer la tension analogique (issue du capteur) en un code binaire (numérique) adapté à son exploitation dans un processus de régulation, de contrôle, de calcul ou encore de stockage. La conversion analogique/numérique n'est pas systématique, un stockage ou une régulation pouvant également être réalisés à partir de données analogiques.

Le Convertisseur Analogique Numérique (CAN) transforme le signal analogique, signal continûment variable pouvant prendre une infinité de valeurs, en un signal numérique, signal discontinu pouvant être représenté aux moyens de données binaires (0 et 1). La conversion analogique/numérique comporte deux étapes, l'échantillonnage et la conversion proprement dite. L'échantillonnage est une opération qui doit satisfaire un juste équilibre entre précision et rapidité.

La rapidité à laquelle sont prélevés les échantillons doit permettre une reconstruction fidèle du signal, elle est représentée par la fréquence d'échantillonnage f_e qui doit être suffisamment grande pour retranscrire les variations rapides du signal (figure I.13). Le théorème d'échantillonnage aussi dénommé théorème de Shannon-Nyquist, permet de déterminer la fréquence d'échantillonnage d'un signal donné. Il énonce que la reconstruction d'un signal de sortie fidèle au signal d'entrée, requiert de choisir une fréquence d'échantillonnage qui soit au moins deux fois supérieure à la fréquence maximale contenue dans le signal d'entrée, soit :

$$f_e \geq 2 \cdot f_{max}.$$

La figure suivante donne les différentes formes de signaux échantillonnés relatives au choix de la fréquence d'échantillonnage.

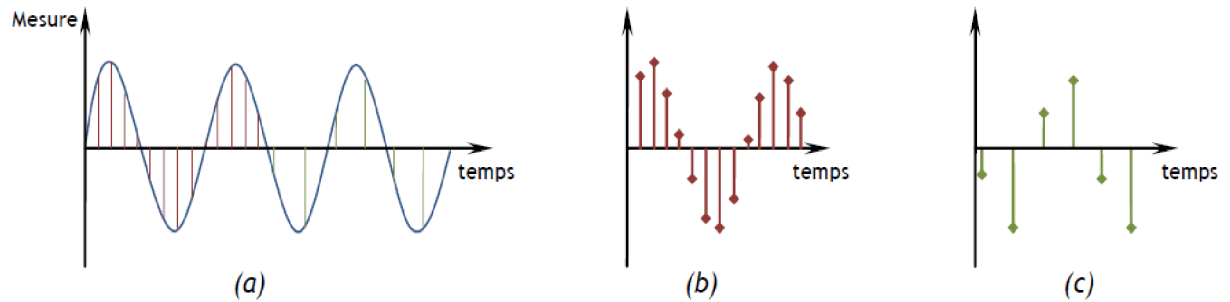


Figure I.13. (a) : Echantillonnage d'un signal de mesure ; (b) : avec une fréquence d'échantillonnage plus élevée ;(c) : avec une fréquence d'échantillonnage moins élevée ($f_{eb} > f_{ec}$)

La précision du codage du signal numérique dépend du nombre de bits sur lequel s'effectue ce codage. Chaque bit peut prendre 2 valeurs (0 ou 1), un codage sur 2 bits peut prendre 4 valeurs, un codage sur n bits peut prendre 2^n valeurs (figure I.14).

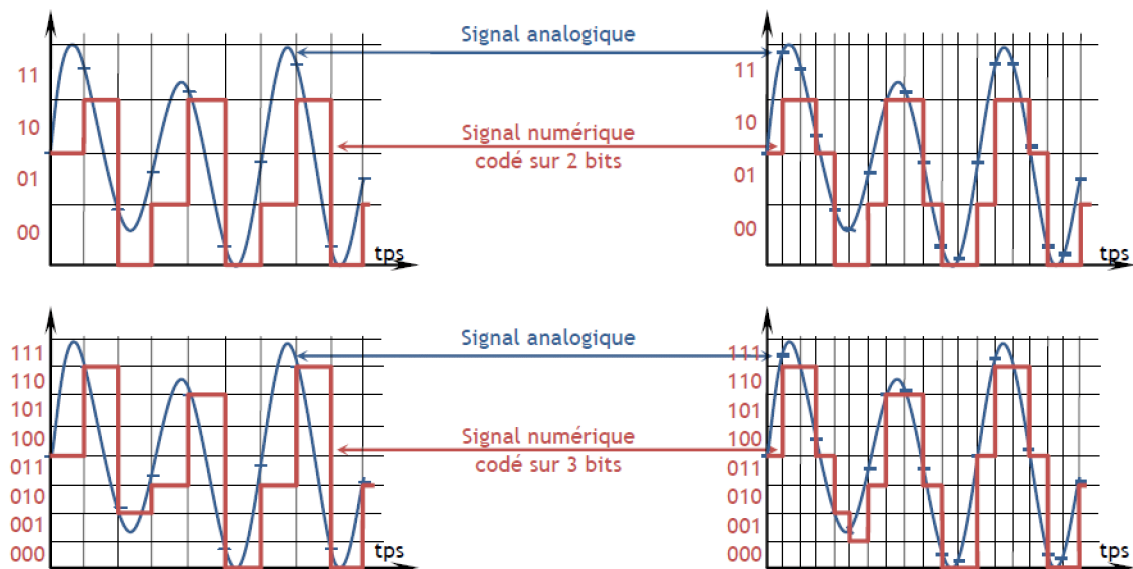


Figure I.14 . Représentations de codages d'un signal sur 2 et 3 bits et avec 2 échantillonnages

I.14. La chaîne d'acquisition

L'association capteur-conditionneur détermine les caractéristiques du signal de sortie. La chaîne d'acquisition doit être considérée dans son ensemble, que ses caractéristiques sont déterminées de manière à répondre à l'application visée. Les divers dispositifs la chaîne d'acquisition et sa structure doivent permettre le mesurage, le traitement et la restitution de la mesure avec les caractéristiques nécessaires à l'application. Ces caractéristiques sont représentées par : résolution, précision, rapidité et immunité aux parasites. La figure suivante, donne le schéma bloc d'une chaîne d'acquisition. [2]

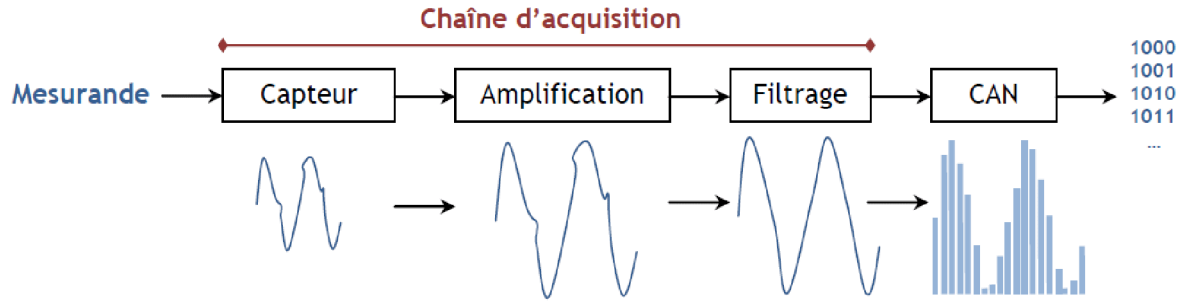


Figure I.15. Représentation de la chaîne d'acquisition.

I.15. Conclusion

Pratiquement, dans l'industrie, on rencontre des procédés ayant des dizaines de points de mesure. Ainsi, l'exploitant s'en remet aux informations données par les capteurs, pour suivre l'évolution de son procédé. Ceci rend l'exploitant très exigeant envers la précision de ces informations, ce qui le pousse à remettre souvent en cause la fiabilité des capteurs.

Au fur et à mesure que les capteurs se multiplient dans leur utilisation, ceci exige à ce qu'ils soient fiables, en vue d'augmenter la confiance dans l'information qu'ils émettent.

Dans le chapitre suivant nous nous focaliserons sur l'analyse et la conception, ceci après une vue générale de notre projet.

Chapitre II : Analyse et conception de dispositif de réalisation:**II.1. Introduction**

L'analyse et la conception sont les deux étapes primordiales pour mener à bien un projet informatique. Ils permettent de soulever des problèmes dans les brefs délais et de reconstruire le système de façon à être conforme aux règles établies.

Nous commencerons ce présent chapitre par une présentation générale de notre projet (*problématique, objectifs etc....*), une fois ceci est mis en évidence, nous passerons à la programmation par le langage Arduino IDE.

II.2. Présentation du projet

Dans les laboratoires de recherche scientifique comme dans les installations industrielles l'une des tâches principales du chercheur est donc d'effectuer les mesures des grandeurs physiques variées qui déterminent leurs expériences ou conditionnent de déroulement correct de leurs fabrications.

Notre projet conçu à réaliser une carte multi capteurs qui est dotées de plusieurs grandeurs physiques telles que la Distance, la Température et Humidité, la Force, le Poids, la Lumière On utilisant successivement capteur ultrason HC-SR04, capteur DHT11, capteur de Force résistif FSR, capteur de poids 50kg et le capteur de lumière BH1750. Brancher à une carte Arduino Mega 2560.

II.2.1. Problématique

L'opération de mesure nécessite généralement que l'information qu'elle délivre soit transmise et protégée contre l'altération par des phénomènes parasites amplifiée, avant d'être exploiter de devers manières : affichée, enregistrer

Les signaux électriques issus de capteurs sont généralement de faible niveau. Il est donc nécessaire de les amplifier pour atteindre des valeurs compatibles avec les outils de mesure modernes (chaines de mesure numériques)

La mesure doit être significative, même en environnement perturbé (perturbations électriques, thermiques, lumineuse, autre grandeurs d'influences...). La technique de conditionnement peut participer au rejet des perturbations et grandeurs d'influence.

II.2.2. Objectif

Ce système sera accessible et contrôlable en temps réel et extensible par des capteurs que l'administrateur peut ajouter et configurer en rapport avec ses besoins..

II.3. Système embarqué

C'est un système électronique et informatique autonome dédié à une tâche précise, souvent en temps réel, possédant une taille limitée et ayant une consommation énergétique restreinte. Il travaille en étroite collaboration avec deux entités : un capteur et un actuateur. [3]

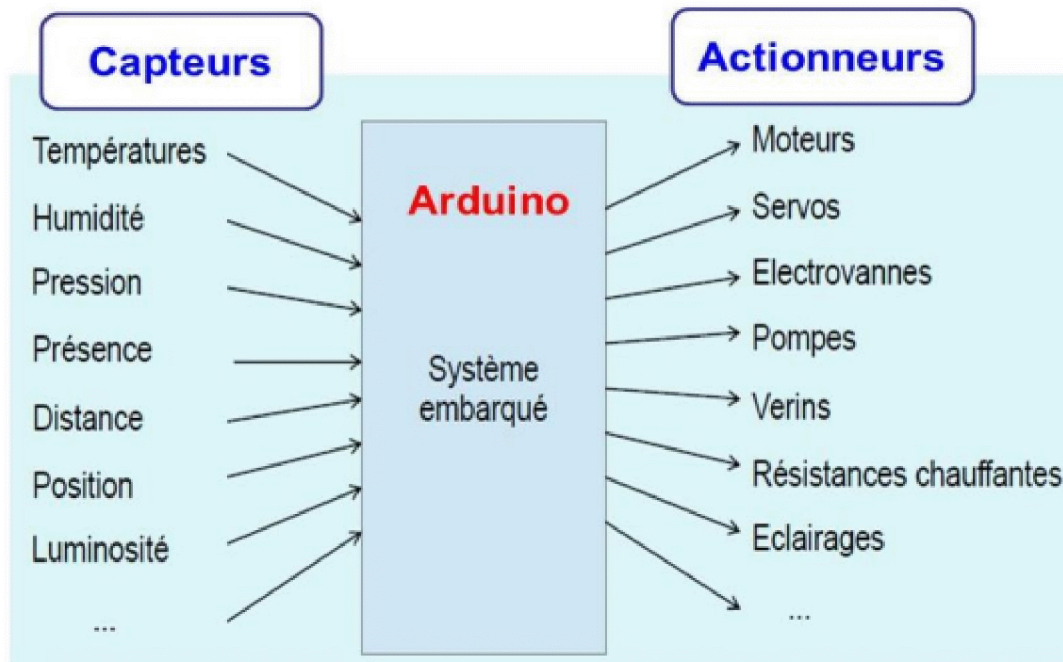


Figure II.1. Système embarqué et ses dépendances

Pour concevoir un système embarqué, il faut généralement combiner des compétences en, en informatique industrielle et en automatique. De tels systèmes sont nombreux dans des secteurs aussi variés que l'aéronautique, l'électroménager, le matériel médical, la téléphonie mobile, etc...[4]

II.4. Présentation des capteurs utilisés

II.4.1. Capteur ultrason

Le capteur à ultrasons HC-SR04 est capable de mesurer la distance des objets situés de 2cm à 400cm du capteur avec une précision de 3mm. Le capteur est composé d'un émetteur d'ultrasons, d'un récepteur et du circuit de commande.

Le principe de fonctionnement :

- Envoyer un signal numérique à l'état haut sur l'émetteur pendant 10 μ s.
- Le capteur envoie automatiquement 8 impulsions d'ultrasons à 40 kHz et détecte les signaux qui reviennent.
- Si le signal revient, la durée de l'état haut du signal reçue correspond au temps entre l'émission des ultrasons et leur réception.

Calcul de la distance : $Distance = (temps \text{ à l'état haut signal reçu} * vitesse \text{ du son})/2$

(vitesse du son dans l'air : 340 m/s).

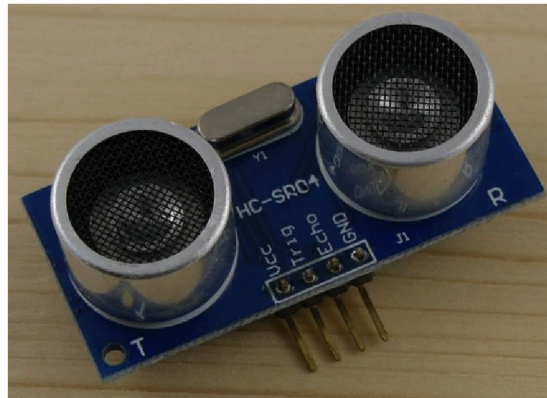


Figure II.2 Capteur à ultrason HC-SR04

Le capteur qui nous intéresse dans ce projet est un capteur à ultrason, bien connu des amateurs de robotique et d'Arduino : le HC-SR04.

❖ Caractéristiques

- Dimension : 45 mm x 20 mm x 15 mm
- Plage de mesure : 2 cm à 400 cm
- Résolution de la mesure : 0.3 cm
- Angle de mesure efficace : 15 °
- Largeur d'impulsion sur l'entrée de déclenchement : 10 μ s
- (Trigger Input Pulse width)

❖ Principe de fonctionnement du capteur

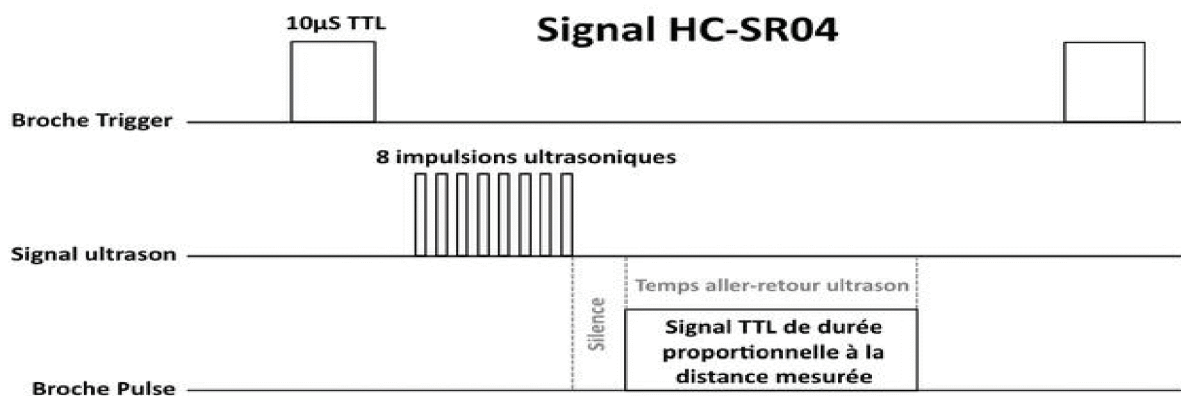


Figure II.3 Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement du capteur est entièrement basé sur la vitesse du son.

Voilà comment se déroule une prise de mesure :

On envoie une impulsion **HIGH** de 10 μ s sur la broche **TRIGGER** du capteur.

Le capteur envoie alors une série de 8 impulsions ultrasoniques à 40KHz (inaudible pour l'être humain, c'est quand plus agréable qu'un bip).

Les ultrasons se propagent dans l'air jusqu'à toucher un obstacle et retournent dans l'autre sens vers le capteur.

Le capteur détecte l'écho et clôture la prise de mesure.

Le signal sur la broche **ECHO** du capteur reste à **HIGH** durant les étapes 3 et 4, ce qui permet de mesurer la durée de l'aller-retour des ultrasons et donc de déterminer la distance.

II.4.2. Capteur température / humidité

DHT11 est un Capteur de Température et d'Humidité "deux en un". Il est capable de mesurer des températures de 0 à +50°C avec une précision de +/- 2°C et des taux d'humidité relative de 20 à 80% avec une précision de +/- 5%. Une mesure peut être réalisée toutes les secondes.

Le capteur d'humidité et de température est très répandu dans le contrôle de climatisation, il est constitué d'un capteur de température à base de CTN et d'un capteur d'humidité résistif, un microcontrôleur s'occupe de faire les mesures, les convertir et de les transmettre. [5]

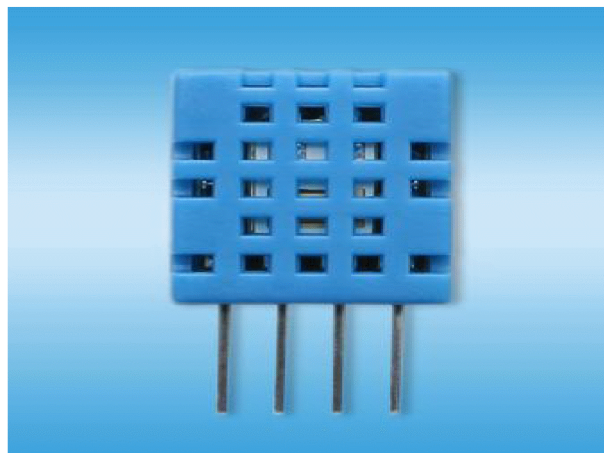


Figure II.4 capteur DHT11

Ce capteur est calibré en usine et ses paramètres de calibration sont stockés dans la mémoire OTP (Rom) du microcontrôleur. Chaque DHT11 sont étalonné avec précision en laboratoire. Le coefficient d'étalonnage est mémorisé dans la mémoire interne de l'OTP et cette valeur est utilisée par le processus de détection du signal interne du capteur. L'interface série monofilaire permet une intégration rapide et simple de ce capteur dans le système numérique.

L'interface physique du capteur est réalisée par un connecteur à 3 broches : +5V, GND et DATA. Les deux premières broches sont l'alimentation et la terre et sont utilisées pour alimenter le capteur, le troisième est le signal de sortie numérique de capteur.

Sa petite taille physique et son poids très léger font de ce capteur idéal pour la mise en œuvre de petits robots et de systèmes de surveillance d'ambiance.

❖ Caractéristiques

Alimentation : 3 à 5 Vcc

Consommation maxi : 2.5 mA

Plage de mesure :

-Température : de 0 à 50°C

- Humidité : de 20 à 100% HR

Précision :

- Température : +/- 2°C

-humidité : +/- 5% HR

Dimension : 16*12*7mm

II.4.3. Capteur de force résistif FSR

Les FSRs sont des senseurs qui permettent de détecter la pression physique, la torsion et le poids. Ils sont simples à utiliser et financièrement abordables. La photographie ci-dessous présente un FSR, le modèle Interlink 402 pour être précis. La partie circulaire d'un 12mm de diamètre est la partie sensible (le senseur).



Figure II.5 capteur FSR

Les capteurs FSR sont essentiellement une résistance qui va varier en fonction de la quantité de force appliquée sur le capteur.

Ce capteur est fabriqué dans un matériau très délicat, il faut donc prendre la plus grande précaution lorsqu'on l'utilise. Il vaut mieux utiliser une breadboard, un connecteur femelle ou des pour s'y connecter. Si vous tentez un soudure, il faudra être très rapide au risque de faire fondre le plastique et vous devez disposer d'un fer à souder d'excellente qualité.

-Nous déclinons ce capteur de pression en six versions :

- FSR grand-carré
- FSR carré
- FSR mini-rond
- FSR rond
- FSR long

➤ FSR très long

❖ **Caractéristiques**

- Longueur : 56.77mm
- Largeur : 18.48mm
- Epaisseur: 0,55 mm
- Poids : 0,26 g / 0,01 oz

Résistance à capteur de force (FSR)

La technologie FSR utilise une résistance variable pour mesurer la pression exercée sur la cellule d'un capteur. C'est une technologie très fiable qui peut être intégrée dans des applications minces et souples. La résistance FSR autorise un haut degré de liberté en matière de conception et s'adapte à une simple interface électronique.

❖ **point de vue technique**

Une tension électrique (signal sonore) est appliquée entre l'entrée (position zéro) et la sortie (position maximale) d'une résistance. Une partie de ce signal, qui est proportionnel à la position du curseur par rapport à la course totale, est prélevée.

Lorsque l'on applique une pression à une position donnée du capteur, celui-ci fournit un signal proportionnel au signal d'entrée directement fonction de la position relative d'appui par rapport à la course totale. Mais contrairement aux potentiomètres traditionnels, si aucune pression n'est appliquée, aucun signal de sortie n'est disponible.

Autre différence, il est possible d'appliquer une pression simultanée en plusieurs endroits de la piste. Dans ce cas, l'électronique peut facilement calculer la distance séparant les deux points de contact extrêmes.

Cette particularité peut facilement être exploitée dans de nombreuses applications comme par exemple dans l'industrie du vêtement. Imaginons que l'on doive mesurer en sortie de chaîne la longueur d'un pantalon, il suffit de poser celui-ci sur une table équipée de Sensofoil et de presser à la fois sur la ceinture et sur le bas du vêtement. Il ne reste à l'électronique plus qu'à calculer la distance entre les deux points.

II.4.4. Capteur de lumière numérique BH1750

BH1750 est un capteur Digital Light, qui est un capteur numérique de lumière ambiante IC pour interface bus I2C. Cette IC est le plus approprié pour obtenir les données de lumière ambiantes pour ajuster la puissance de rétro-éclairage LCD et clavier de téléphone Mobile. Il est possible de détecter une gamme large à haute résolution. (1 - 65535 lx).

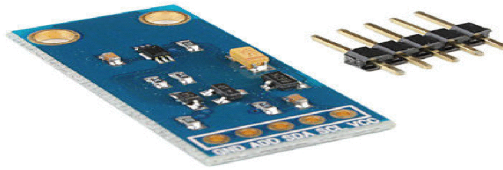


Figure II.6 capteur BH1750

❖ **Ce capteur a certains avantages tels que**

- 1) éclairage lumineux au convertisseur numérique
- 2) gamme large et haute résolution. (1 - 65535 lx)
- 3) faible courant de puissance vers le bas de la fonction
- 4) 50/60 Hz lumière reject-fonction de bruit
- 5) I2C bus Interface (f / s Mode Support)
- 6) aucun besoin des pièces externes
- 7) il est possible de sélectionner 2 type I2C esclave-Address.
- 8) il est possible de détecter min. 0,11 lx, max. 100000 lx à l'aide de cette fonction.

La fiche technique pour BH1750

- ❖ Tension d'alimentation : préférez utiliser 3,3V.
- ❖ Protocole I2C est utilisé pour communiquer avec microcontrôleur, avec horloge SCL fréquence 400KHz.

Mode de mesure : ce capteur a 3 modes de mesure :

- ❖ H-résolution avec une sensibilité 0,5 lux.
- ❖ H-résolution avec sensibilité 1 lux.
- ❖ L-résolution avec sensibilité 4 lux.

La fiche technique recommandée pour utiliser le Mode H-résolution en raison de la nature du bruit (y compris en 50/60 Hz bruit) est rejetée. Et le Mode de résolution H est 1 lx résolution ainsi qu'il convient pour l'obscurité (moins de 10 lx)

Le capteur de lumière du jour émet un signal de redstone proportionnel à la lumière du soleil qu'il capte ou à l'heure de la nuit.

Un capteur de lumière fait 0,375 bloc de haut (3/8° de bloc). Les capteurs de lumière du jour ne peuvent pas être déplacés par des pistons, et l'eau et la lave couleront autour des capteurs sans les affecter.

➤ **Mode normal**

Dans son mode par défaut, plus le soleil est haut dans le ciel, plus le capteur émettra un signal de forte intensité.

Vers midi et lorsqu'il fait beau, un capteur de lumière du jour exposé totalement à la lumière du soleil émet un signal d'une puissance de 15 blocs. Ce même capteur en soirée n'émet approximativement qu'un signal d'une puissance de cinq blocs, et aucun signal lorsque le niveau de lumière est inférieur à quatre, soit vers minuit. Dans ce dernier cas, faire basculer le capteur en « mode inversé » ou le relier à une porte NON permet de réaliser un détecteur de nuit (utile par exemple pour un construire un système de lumières qui s'allument automatiquement la nuit).

Tableau II.1 Niveaux de puissance du capteur de lumière du jour

Niveaux de puissance du capteur de lumière du jour									
Puissance	Clair			Pluie			Orage		
	Temps atteint	Temps de dissipation	Niveau de lumière	Temps atteint	Temps de dissipation	Niveau de lumière	Temps atteint	Temps de dissipation	Niveau de lumière
0	-	-	4-5	-	-	4-5	-	-	4-5
1	22340	13680	4-7	22340	13680	4-7	22340	13680	4-6
2	22800	13220	7-9	22800	13220	6-8	22960	13060	6-8
3	23080	12940	9-11	23240	12780	8-10	23360	12660	7-8
4	23300	12720	11-12	23520	12500	9-11	23700	12300	8-10
5	23540	12480	12-13	23760	12260	10-12	60	11940	10
6	23780	12240	13-14	0	12020	11-12	460	11560	10
7	23960	12040	15	400	11620	12	1040	10980	10
8	180	11840	15	900	11120	12	1740	10280	10
9	540	11480	15	1440	10580	12	2620	9400	10

10	940	11080	15	2080	9940	12	3960	8060	10
11	1380	10640	15	2880	9140	12	N/A	N/A	N/A
12	1880	10140	15	4120	7900	12	N/A	N/A	N/A
13	2460	9560	15	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
14	3180	8840	15	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
15	4300	7720	15	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

➤ Mode inversé

Le capteur de lumière du jour se transforme en « capteur de lumière du jour inversé » en effectuant un clic-droit dessus et prend alors une teinte bleutée. Cependant, la sortie du capteur de nuit n'est pas une simple inversion de la sortie du capteur de lumière du jour; il utilise un algorithme beaucoup plus simple qui ne dépend que du niveau de lumière du ciel. Plus précisément, il produit une force de signal de $15 - [\text{niveau de lumière actuel}]$, ce qui signifie qu'un capteur de lumière du jour inversé produira une force de 11 à minuit, s'il est en vue avec le ciel. Le capteur de nuit n'est pas affecté par le climat.

Détruire un capteur de lumière du jour inversé donnera un simple capteur de lumière du jour dans l'inventaire.

II.4.5. Capteur de poids

Capteur à jauge de contrainte permettant de mesurer une force jusqu'à 50 kg dans une seule direction. Ce capteur est associé avec le pont de Wheatstone. Il est utilisé dans les les pèse-personnes digitaux



Figure II.7 capteur de poids

❖ Caractéristique

Les caractéristiques liées à ce capteur sont données comme suit :

- Alimentation: 5 Vcc

- Plage de mesure: 0 à 50 kg
- Précision: 0,5 %
- Sortie linéaire et très précise.
- Fonctionnement par jauge de contrainte
- Montage en demi-pont, 3 fils de sortie
- Le capteur se déforme entre la partie en E et la fourche
- Dimensions 28 x 28 mm

❖ Précision du capteur

- Erreur de 0.2 % de la pleine échelle
- Répétitivité 0.1 %
- Non linéarité 0.2 %
- Hystérésis 0.2 %
- Dérive du zéro 0.1 % de pleine échelle / 1 min
- Résistance d'entrée 1000 ohm +/- 50
- Résistance de sortie 1000 ohm +/- 50
- Tension d'alimentation recommandée 5-10 V
- Plage de température de fonctionnement -10 à 50 °C
- Surcharge : 150 % de pleine échelle
- Sensibilité de 0.9 +/- 0.1 mV/V

❖ Description du produit

Jauge de fatigue demi-point 1000 ohms interne, capteur de pesée de 50 kg, structure demi-pont. Ce capteur est un groupe de jauge de fatigue demi-pont qui s'appuie sur l'une des trois méthodes suivante:

1. Utilisation d'un capteur avec la résistance externe pour une mesure de type pont complet, dans la plage 50 kg. Les exigences sont supérieures pour la résistance externe.
2. Utilisation de deux capteurs pour former un pont complet de mesure, conduit à une plage de mesure des deux capteurs : 100 kg (50 kg x 2).
3. Utilisation de quatre capteurs pour former un pont complet de mesure, permet d'avoir une plage de mesure des quatre capteurs : 200 kg (50 kg x 4).

Module amplificateur pour capteurs de force à pont de Wheatstone basé sur un convertisseur analogique-numérique HX711. Il permet la lecture des modifications de résistance des capteurs de force, ce qui vous procurera des mesures précises après calibration. Le HX711 utilise une interface 2 fils pour l'utilisation avec tout type de carte à microcontrôleur disposant d'entrées/sorties digitales. Ce module fonctionne via une librairie jointe en fiche technique.

Un capteur de force (ou d'effort) est un dispositif utilisé pour convertir une force (par exemple un poids) appliquée sur un objet en signal électrique. Le capteur est généralement construit en utilisant des jauges de déformation connectées en un pont approprié. Un amplificateur est normalement nécessaire pour lire le signal délivré par le transducteur.

II.5. Présentation sur l'Arduino

Au fil des années, l'Arduino est devenu un élément clé de milliers de projets, ces derniers varient du plus simple au plus complexe. De ce fait, une large communauté profite de cette plateforme à source libre. Il représente un pont tendu entre le monde réel et le monde numérique, et permet d'étendre les capacités de relations humaines/machines ou environnement/machine.

L'Arduino est une plateforme open source d'électronique programmée qui est basée sur une carte à microcontrôleur et un logiciel. Plus simplement, on peut dire que l'Arduino est un module électronique, doté d'un microcontrôleur programmable en langage C. Il peut être utilisé pour développer des objets interactifs, munis d'interrupteurs ou de capteurs, et peut contrôler une grande variété de lumières, moteurs ou toutes autres sorties matérielles. Arduino est basé sur le concept de l'open hardware, soit du matériel libre de droits. Ainsi, toute la plateforme matérielle et logicielle est libre de droits. N'importe qui peut donc développer et commercialiser un clone d'Arduino. Néanmoins, le nom et le logo Arduino sont des marques déposées, afin d'identifier le matériel officiel. Il y a donc cinq catégories de matériel: le matériel officiel, les clones, les dérivés, les compatibles et les contrefaçons. [6]

1. Réaliser le programme sur un ordinateur (grâce à l'ARDUINO IDE).
2. Connecter l'ordinateur à l'Arduino via une prise USB.
3. Envoyer le programme sur l'Arduino.
4. L'Arduino exécute enfin le programme de manière autonome.

II.6 Les gammes de la carte Arduino

Tableau II.2 Les gammes de la carte Arduino

Arduino	Micro-contrôleur	Flash ko	EEPROM ko	SRAM ko	Broches d'E/S numériques	...avec PWM	Broches d'entrée analogique	Dimensions mm
<u>Diecimila</u>	ATmega168	16	0,5	1	14	6	6	68,6 mm x 53,3 mm
<u>Duemilanova</u>	ATmega168/328P	16/32	0,5/1	½	14	6	6	68,6 mm x 53,3 mm
<u>Uno</u>	ATmega328P	32	1	2	14	6	6	68,6 mm x 53,3 mm
<u>Leonardo</u>	ATmega32U4	32	1	2,5	20	7	12	68,6 mm x 53,3 mm

<u>Mega</u>	ATmega1280	128	4	8	54	15	16	101,6 mm x 53,3 mm
<u>Mega2560</u>	ATmega2560	256	4	8	54	15	16	101,6 mm x 53,3 mm
<u>Due</u>	Atmel SAM3X8E	512	0	96	54	12	12	101,6 mm x 53,3 mm
<u>Fio</u>	ATmega328P	32	1	2	14	6	8	40,6 mm x 27,9 mm
<u>Nano</u>	ATmega168 ou ATmega328	16/32	0,5/1	½	14	6	8	43 mm x 18 mm
<u>LilyPad</u>	ATmega168 V ou ATmega328 V	16	0,5	1	14	6	6	50 mm ø
Yun ¹⁴	ATmega32u4	32	1	2,5	20	7	12	73 mm x 53 mm
<u>Esplora</u>	ATmega32U4	32	1	2,5	N/A	N/A	N/A	165,1 mm x 60,96 mm
101	Intel Curie	196	N/A	24	14	4	6	68,6 mm x 53,4 mm
Micro	ATmega32U4	32	1	2,5	20	7	12	48 mm x 18 mm
Zero	ATSAMD21 G18, 32-Bit ARM Cortex M0+	256	N/A	32	20	18	6	68 mm x 30 mm

II.7. Constitution de la carte Arduino

❖ Le microcontrôleur

C'est le cerveau de la carte. Il va recevoir le programme que nous allons créer et va le stocker dans sa mémoire avant de l'exécuter. Grâce à ce programme, il va savoir faire des choses, qui peuvent être : faire clignoter une LED, afficher des caractères sur un écran, envoyer des données à un ordinateur...etc. [7]

❖ L'alimentation

Pour fonctionner, une carte Arduino a besoin d'une alimentation. Le microcontrôleur fonctionnant sous 5V, la carte peut être alimentée en 5V par le port USB ou bien par une alimentation externe qui est comprise entre 7V et 12V. Un régulateur se charge ensuite de réduire la tension à 5V pour le bon fonctionnement de la carte. [7]

❖ La connectique

La carte Arduino ne possédant pas de composants (résistances, diodes, moteurs...) qui peuvent être utilisés pour un programme, il est nécessaire de les rajouter. Mais pour ce faire, il faut les connecter à la carte. C'est là qu'interviennent les connecteurs de la carte. [8]

II.8. Les Accessoires de la carte Arduino

La carte Arduino généralement est associée aux accessoires qui simplifient les réalisations.

❖ Communication

Le constructeur a suggéré qu'une telle carte doit être dotée de plusieurs ports de communications ; on peut éclaircir actuellement quelques types.

- **Le module Arduino Bluetooth**

Le Module Microcontrôleur Arduino Bluetooth est la plateforme populaire Arduino avec une connexion série Bluetooth à la place d'une connexion USB, très faible consommation d'énergie, très faible portée (sur un rayon de l'ordre d'une dizaine de mètres), faible débit, très bon marché et peu encombrant.

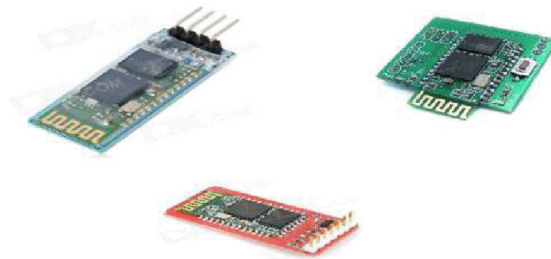


Figure II.8 Type de modules Bluetooth

- **Le module shield Arduino Wifi**

Le module Shield Arduino Wifi permet de connecter une carte Arduino à un réseau internet sans fil Wifi.



Figure II.9 shield Arduino wifi

- **Le Module XBee**

Ce module permet de faire de la transmission sans fil, faible distance /consommation /débit/ prix. [9]

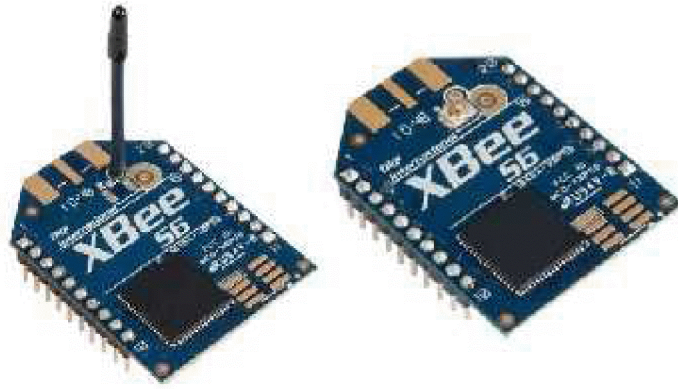


Figure II.10 Module XBee

❖ Les capteurs

Un capteur est une interface entre un processus physique et une information manipulable. Il ne mesure rien, mais fournit une information en fonction de la sollicitation à laquelle il est soumis. Il fournit cette information grâce à une électronique à laquelle il est associé. [10]

❖ Les drivers

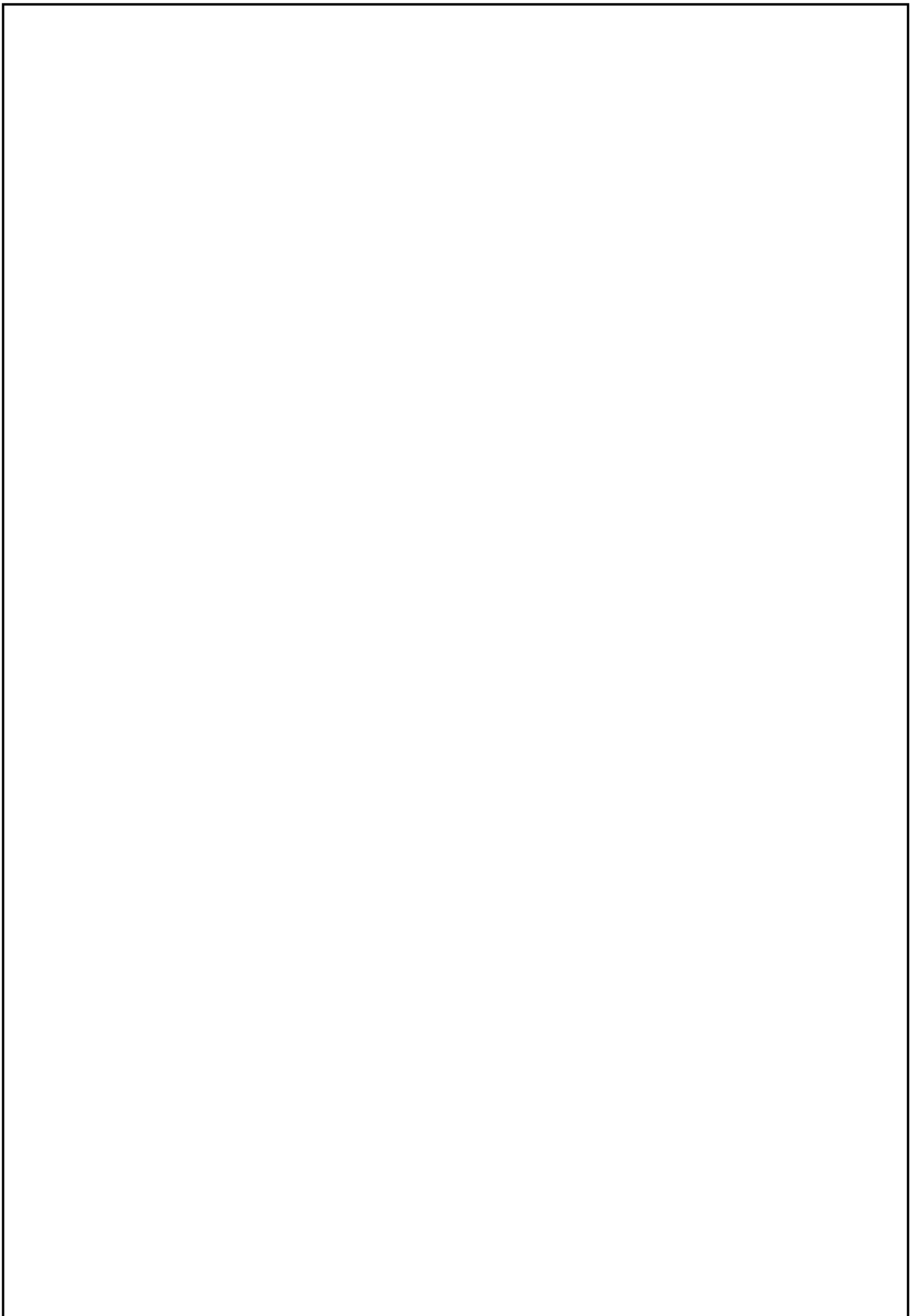
Il existe plusieurs drivers comme des cartes auxiliaires qui peuvent être attachées avec l'Arduino afin de faciliter la commande ; on peut citer la shield.

Arduino Ethernet Shield : cette carte vient s'empiler sur notre carte arduino Mega. La shield est basé sur une puce Wiznet W5100, qui permet de gérer les échanges de données avec le réseau. Elle contient 16 Ko de mémoire interne et permet jusqu'à 4connexions simultanées (UDP et TCP). [11]

II.9 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons pu exprimer clairement les objectifs de notre projet, ainsi que l'analyse associée de chaque capteur afin d'élaborer une carte de contrôle.

Le chapitre suivant sera dédié à la programmation. Où nous présenterons son architecture logicielle et matérielle, les outils de développement utilisés, ainsi que les interfaces de notre application.



Chapitre III : Réalisation et Implémentation

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons décrire le processus de réalisation de notre système qui n'est rien d'autre que la mise en application de ce qui a été énoncé dans le chapitre précédent. Ceci en mettant en évidence l'ensemble des environnements (logiciels et matériels) de développement, le fonctionnement du système.

III.2. Les outils et environnements de travail

Dans cette partie, nous allons détailler l'ensemble des outils matériels et logiciels ayant permis la mise en place de notre carte de contrôle. Nous parlerons des langages de Programmation d'IDEs, notamment d'Arduino.

III.2.1. Environnement matériel

Nous nous étalerons ci-dessous sur la carte Arduino Méga 2560, qui est L'élément majeur, ainsi que l'ensemble des capteurs que nous avons pu intégrer dedans.

III.2.1.1. Arduino Méga 2560

Cette carte (figure III-1) est l'élément principal de notre projet, c'est le centre névralgique sur lequel viennent se greffer un tas de capteurs et d'actionneurs. Elle a pour but d'exécuter l'ensemble des instructions indiquées lors sa programmation. C'est elle qui va recevoir les valeurs envoyées par nos capteurs, et c'est elle aussi qui va commander nos actionneurs. [9]

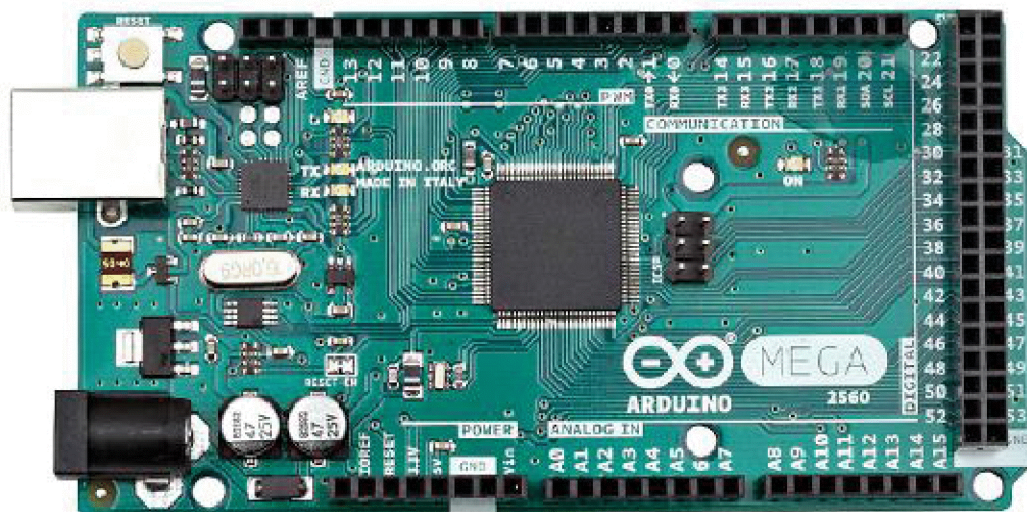


Figure III-1 Carte Arduino Méga 2560.

Parmi les caractéristiques de la carte nous pouvons citer:

Tableau III-1 Caractéristiques de la carte Arduino Méga 2560

Microcontrôleur	ATmega2560
Poids	37 g
Dimension (mm)	101,52 X 53,3
Vitesse de l'horloge	16MHz
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'entrée (recommandé)	7-12V
Tension d'entrée (limite)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (dont 15 fournissent du PWM)
Broches d'entrée analogique	16
DC Courant par I/O Pin	40 Ma
Courant DC pour 3,3 Pin	50 Ma
Mémoire Flash	256 Ko (ATmega2560) dont 8 Kb utilisé par Boot Loader
SRAM	8 Kb(ATmega2560)
EEPROM	4 Kb (ATmega2560)
Fréquence d'horloge	16 MHz

❖ Alimentation de la carte Arduino :

La carte Arduino Méga peut être alimentée via la connexion USB ou avec une alimentation externe. La source d'alimentation est sélectionnée automatiquement.

L'alimentation externe (non USB) peut provenir d'une alimentation sortie courant continu ou d'une batterie. L'adaptateur peut être connecté en branchant une fiche positive de 2,1 mm au centre dans la prise d'alimentation de la carte. Les fils provenant d'une batterie peuvent être insérés dans les connecteurs des broches Gnd et Vin du connecteur POWER [12]

❖ Entrées et sorties numériques :

54 entrées / sorties numériques, repérées de 0 à 53; chacune d'entre elles.

❖ Les sorties PWM

14 sorties PWM (La modulation de la largeur d'impulsion (MLI ou PWM), est une technique pour obtenir des effets d'allure analogique avec des broches numériques. Le contrôle numérique est utilisé pour créer une onde carrée, un signal basculant entre un niveau HAUT et BAS, 0V et 5V) . Avec les lignes de 0 à 13.[12]

❖ Brochage de la carte Arduino 2560 :

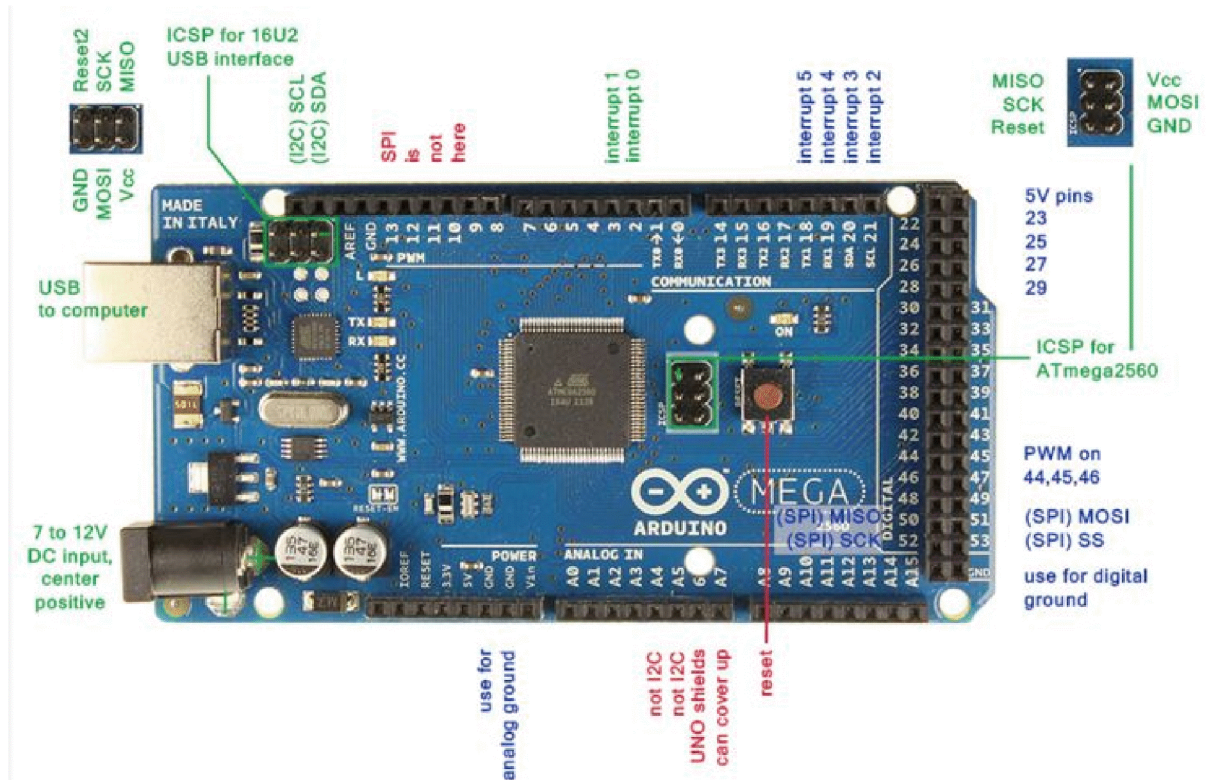


Figure III.2 connectique de la carte Arduino Méga 2560

❖ ATmega2560 :

Le microcontrôleur RISC Microchip 8 bits à haute performance et faible puissance combine mémoire flash ISP 256KB, SRAM 8KB, EEPROM 4KB, 86 lignes d'E / S à usage général, 32 registres de travail polyvalents, compteur temps réel, six minuteries flexibles / compteurs avec modes de comparaison, PWM, 4 USARTs, interface série à 2 fils orientée octet, convertisseur A / N 10 bits à 16 canaux et une interface JTAG pour le débogage sur puce. L'appareil atteint un débit de 16 MIPS à 16 MHz et fonctionne entre 4,5-5,5 volts.

En exécutant des instructions puissantes dans un cycle d'horloge unique, l'appareil atteint un débit approchant 1 MIPS par MHz, équilibrant la consommation d'énergie et la vitesse de traitement. [12]

❖ Les raisons et motivations du choix de la carte :

- Le cout : les cartes Arduino sont relativement peu coûteuses comparativement aux Autres plateformes propriétaires (Somfy, Legrand ... etc.).
- Open source et extensible : les cartes Arduino sont basées sur les microcontrôleurs Atmel ATMEGA8, ATMEGA168, ATMEGA 328, ... etc. Les schémas des modules sont

Publiés sous une licence Creative Commons, et les concepteurs de prototypes peuvent Réaliser leur propre version de cartes Arduino, en les complétant et en les améliorant et en les adaptant à leur contexte.

- La communauté : Arduino a de l'histoire, il existe depuis un bon moment déjà, du coup Une grande communauté s'est formée autour de lui. Sur le site officiel d'Arduino il est Possible de trouver des forums traitant de tous les problèmes rencontrés et de leurs Solutions. Sur le web nous avons pu trouver facilement des articles et des sites web entiers qui lui sont dédié. des gens de différents profils (électronicien, informaticien, Artiste...etc.) y font partie faisant ainsi d'Arduino la plateforme la plus convoitée.

- Le support logiciel : on peut trouver sur le site officiel d'Arduino des milliers de bibliothèques pour des usages divers, comme c'est le cas aussi sur d'autres sites tiers.

- La mémoire : ses 256KB de mémoire flash sont parfaitement adaptés au programme de ce projet.

- Versatilité : on peut le trouver dans des domaines divers, et utilisé par des profils variés

(de l'artiste créatif jusqu'à l'électronicien ingénieur).

- Le nombre de pins : la raison majeure pour laquelle on a choisi la carte Arduino Méga est en rapport avec le nombre de pin imposant (54 I/O pins, 16 entrées analogiques) faisant d'elle la carte la mieux adaptée pour ce genre de projet.[9]

III.2.1.2. Organes :

Des actionneurs, des actuateurs, des émetteurs/récepteurs radios, ainsi que des modules Viennent se greffer sur nos cartes Arduino. La figure ci-dessous (figure 3-2) illustre bien ça, nos éléments principaux sont au centre (Arduino Mega), et en leurs périphéries des organes hétérogènes.

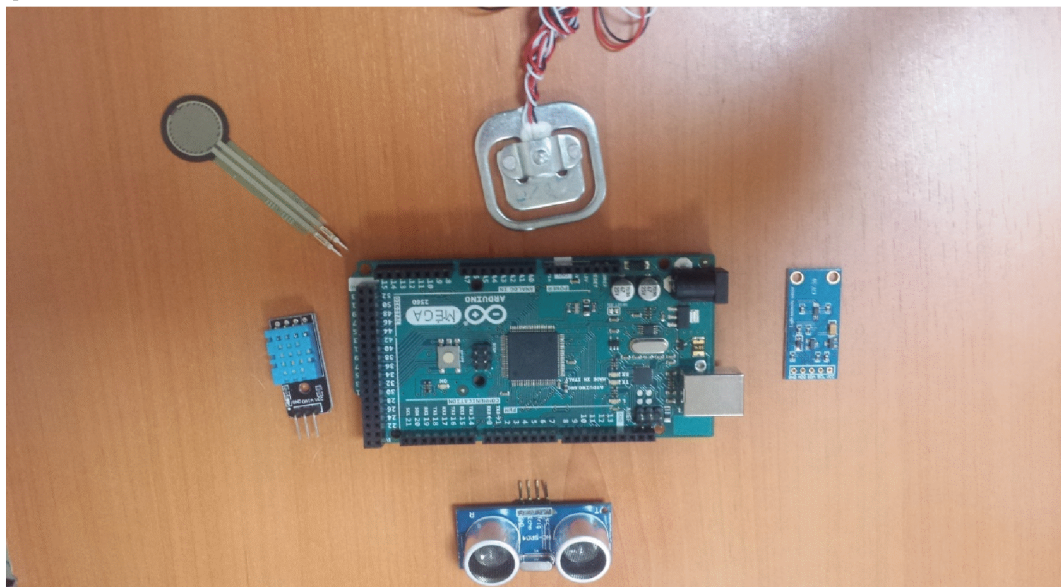


Figure III-3 Ensemble des composants matériels impliqués dans ce projet.

III.2.2. Environnement logiciel :

III.2.2.1. Langage de programmation :

Arduino IDE :

Le logiciel Arduino est un environnement de développement (IDE) open source et gratuit, téléchargeable sur le site officiel Arduino, cet IDE dédié aux cartes Arduino permet :

- d'éditer un programme : des croquis (sketch en Anglais),
- de compiler ce programme dans le langage « machine » de l'Arduino,
- de téléverser le programme dans la mémoire de l'Arduino,
- de communiquer avec la carte Arduino grâce au terminal. [12]

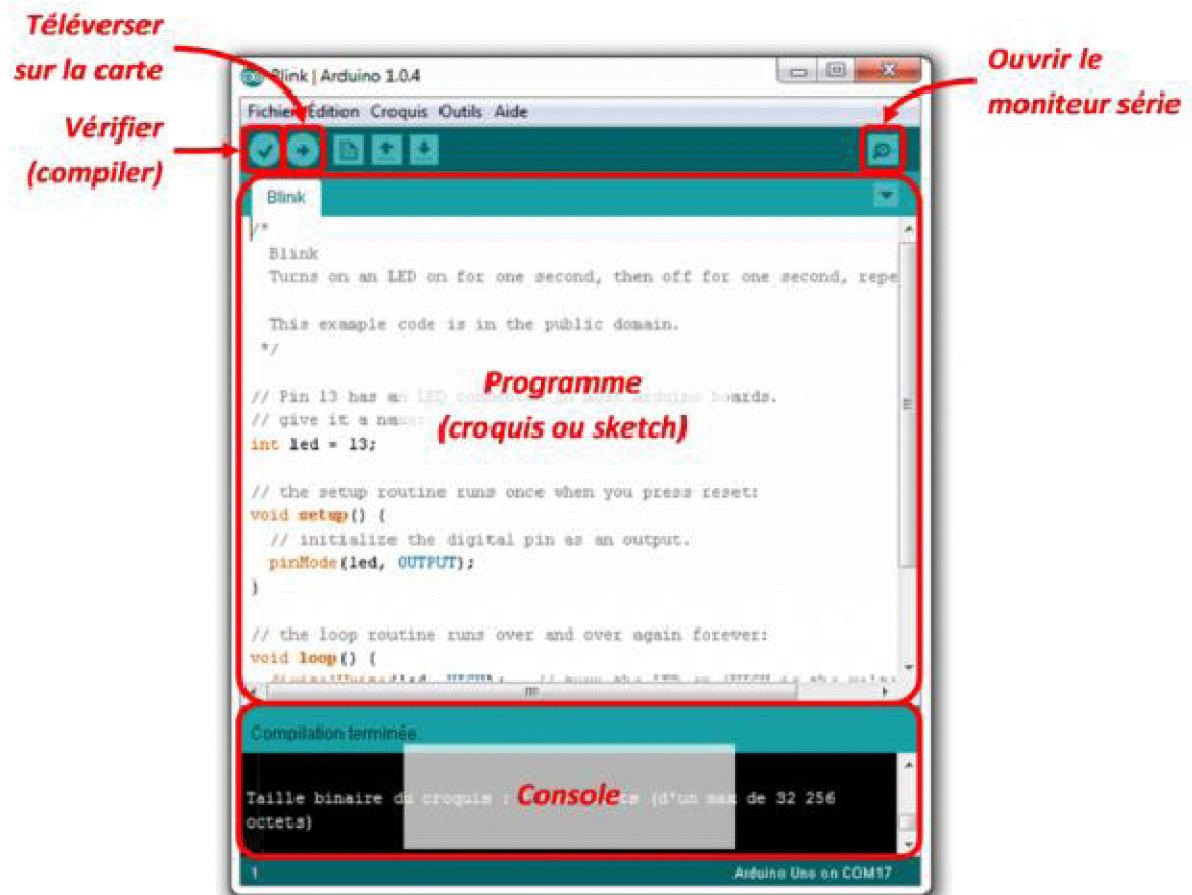


Figure III.4 Environnement Arduino

III.2.3. Réalisation de l'environnement logiciel de chaque capteur :

III.2.3.1. Capteur Ultrason HC-SR04 :

❖ Le montage :

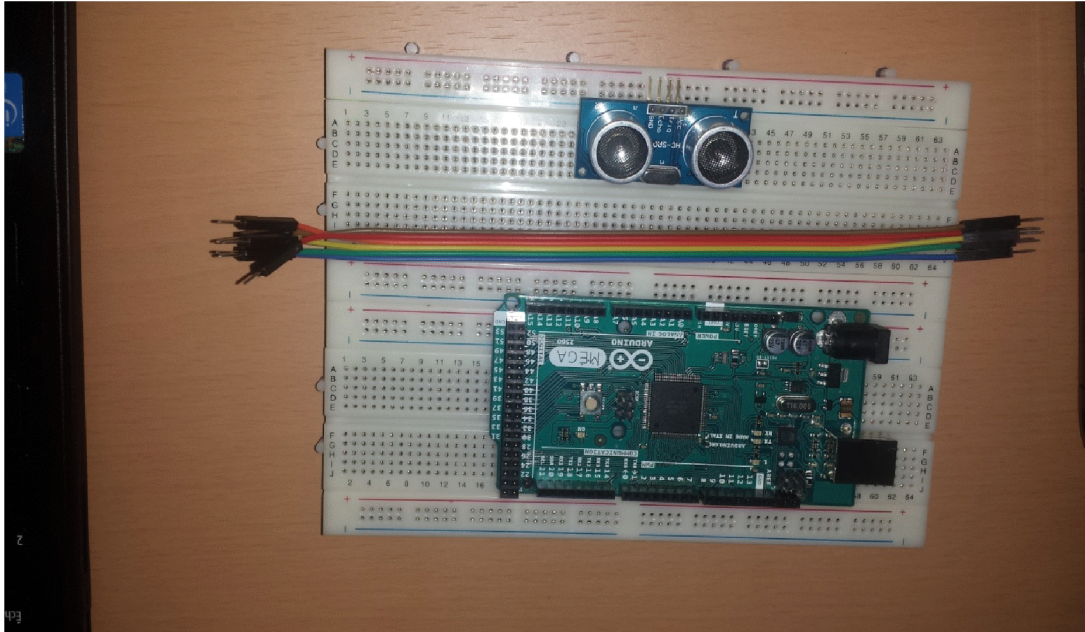


Figure III.5 capteur HC-SR04 avec Arduino

Pour réaliser ce premier montage, il va nous falloir :

- Une carte Arduino Méga 2560 (et son câble USB),
- Un capteur HC-SR04,
- Une plaque d'essai et des fils pour câbler notre montage.

❖ Broches de connexion :

Vcc : Alimentation.

Trig : Entrée de déclenchement de la mesure (Trigger input).

Echo : sortie de Mesure donnée en écho (écho output).

GND : masse de l'alimentation.

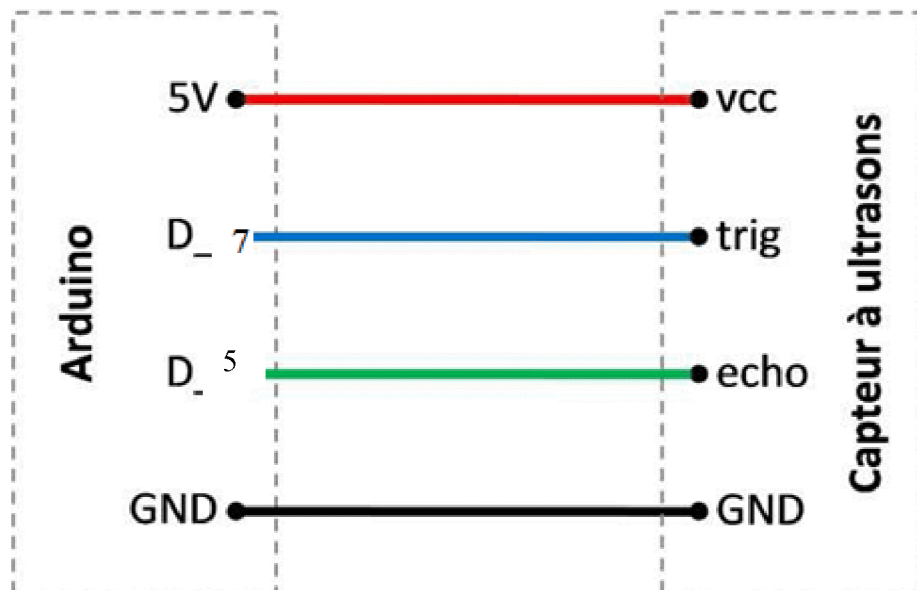


Figure III.6 connexion avec carte Arduino

vue prototypage du montage :

- L'alimentation 5V de la carte Arduino va sur la broche Vcc du capteur.
- La broche GND de la carte Arduino va sur la broche GND du capteur.
- La broche D7 de la carte Arduino va sur la broche TRIGGER du capteur.
- La broche D5 de la carte Arduino va sur la broche ECHO du capteur.

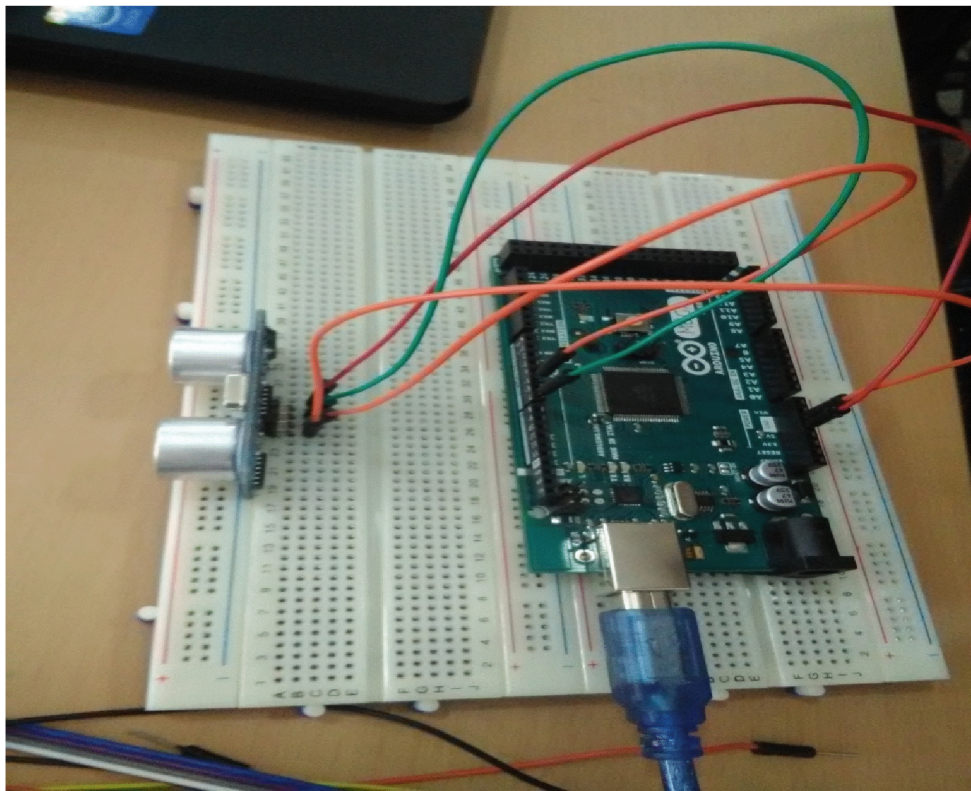


Figure III.7 branchement du capteur HC-SR04

Au final, le programme capteur ultrason HC-SR04 avec une carte arduino mega 2560 :

```
//definitions des broches utilisées
int trig =7;
int echo =5;
long lecture_echo;
long cm;
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:

  pinMode(trig,OUTPUT);
  digitalWrite(trig,LOW);
  pinMode(echo,INPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  digitalWrite(trig,HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trig,LOW);
  lecture_echo =pulseIn(echo, HIGH);
  cm = lecture_echo / 58;
  Serial.print("Distancem: ");
  Serial.println(cm);
  delay(500);
}
```

❖ Affichage sur monitor série :

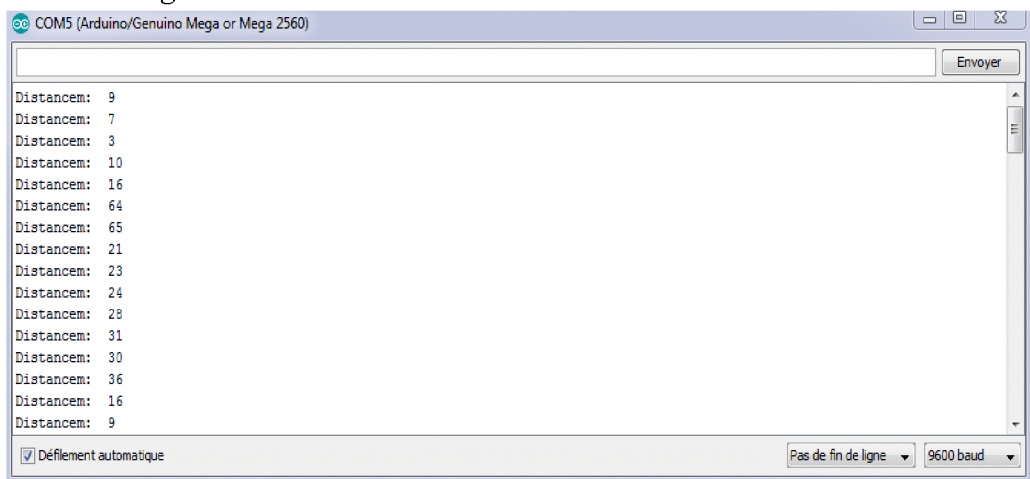


Figure III.8 résultats sur monitor série

III.2.3.2. Capteur de température et d'humidité DHT11

Le capteur DHT11 est capable de mesurer des températures de 0 à +50°C avec une précision de +/- 2°C et des taux d'humidité relative de 20 à 80% avec une précision de +/- 5%. Une mesure peut être réalisée toutes les secondes.

Les capteurs DHT11 communiquent avec le microcontrôleur via une unique broche d'entrée / sortie, dont on verra ensemble le protocole de communication dans le chapitre suivant.

❖ **Le brochage du capteur est le suivant**

- La broche n°1 est la broche d'alimentation (5 volts ou 3.3 volts).
- La broche n°2 est la broche de communication. Celle-ci doit impérativement être reliée à l'alimentation via une résistance de tirage de 4.7K ohms (il s'agit d'une sortie à collecteur ouvert).
- La broche n°4 est la masse du capteur (GND).

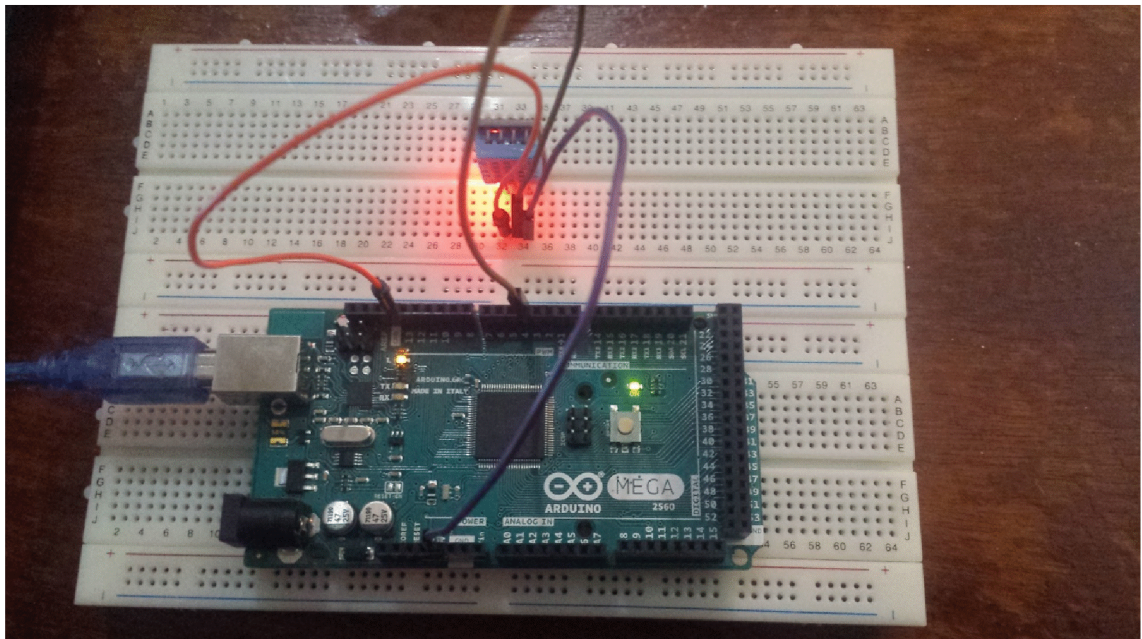


Figure III.9 branchement du capteur DHT11

❖ Le programme :



```

sketch_may02a | Arduino 1.7.10
Fichier Édition Croquis Outils Aide
sketch_may02a
#include <dht11.h>
dht11 DHT;
#define DHT11_PIN 4

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  DHT.read(DHT11_PIN);
  Serial.print("Humidity: ");
  Serial.println(DHT.humidity,1);
  Serial.println(DHT.humidity);
  Serial.print("Temperature: ");
  Serial.println(DHT.temperature,1);
  delay(1000);
}
  
```

❖ Affichage sur moniteur série :

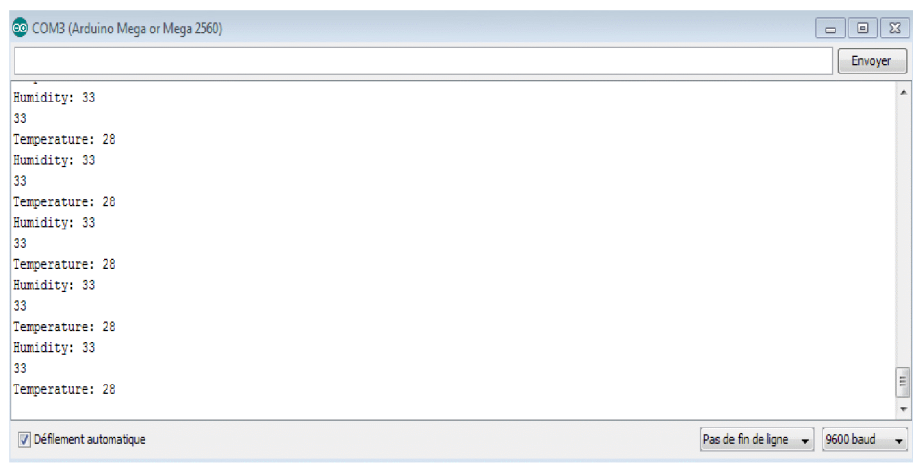


Figure III.10 résultat sur monitor série

III.2.3.3. Capteur de force résistif FSR

❖ Brancher un FSR

Puisque les FSRs sont des "résistances", ils ne sont pas polarisés. Cela signifie que vous pouvez les connecter indifféremment dans un sens ou dans l'autre, ils fonctionneront parfaitement!

❖ Dans un breadboard

Les FSRs sont souvent constitués de polymère équipé d'une sérigraphie à base de matériaux conducteurs. Cela signifie qu'ils sont en plastique et que le connecteur est serti sur ce matériau délicat.

La meilleure façon de connecter ces senseurs est encore de les enfoncer sur breadboard.

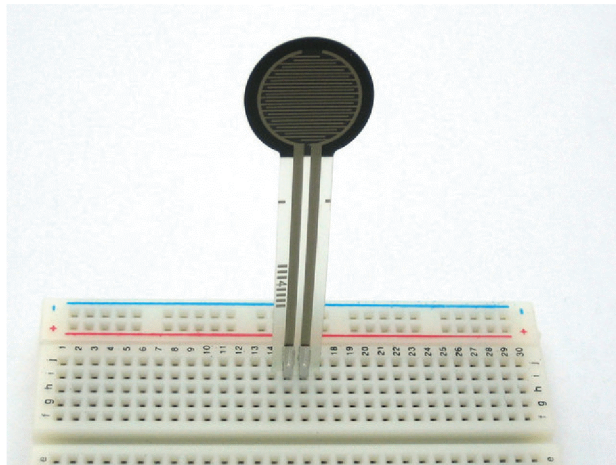


Figure III.11 connexion du capteur FSR sur la table d'essai.

❖ Utiliser un FSR

Méthode par lecture Analogique de la tension

Le procédé le plus simple pour mesurer un senseur résistif est de connecter une de ses bornes à l'alimentation et l'autre sur une résistance pull-down (elle même branchée sur la masse/GND).

Ensuite, le point situé entre la résistance pull-down et la résistance FSR est raccordée sur un entrée analogique du microcontrôleur (voir exemple ci-dessous mettant en œuvre un Arduino).

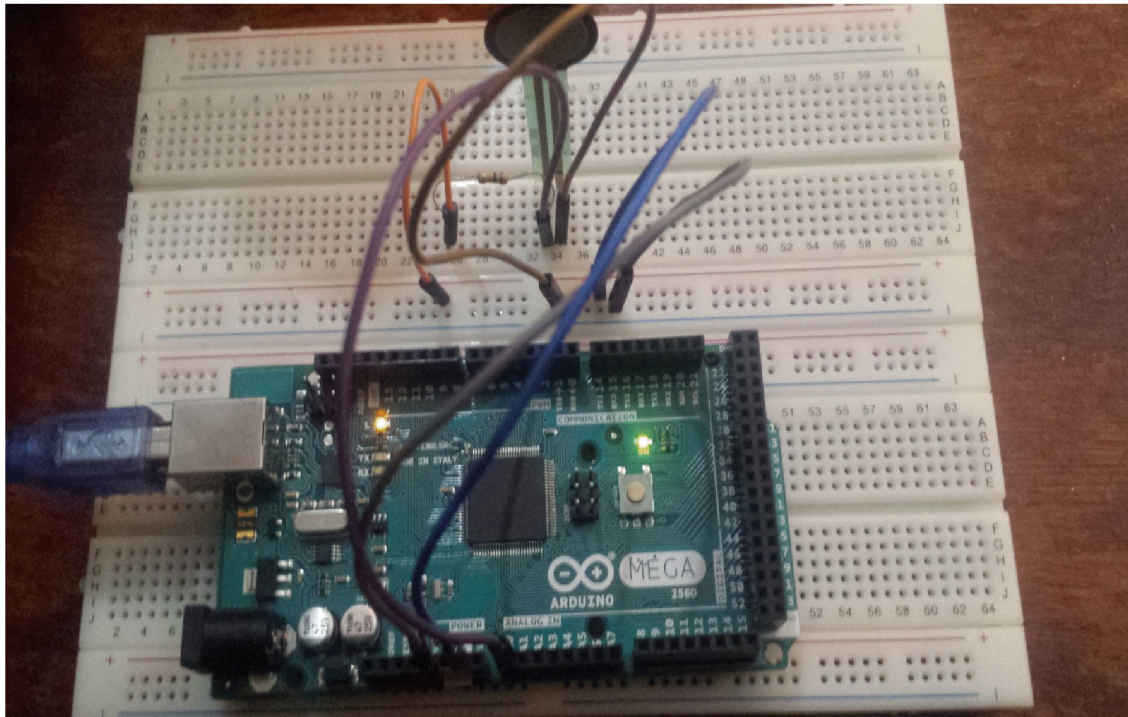


Figure III.12 branchement du capteur FSR

❖ Le programme

```
sketch_jun05a | Arduino 1.6.3
Fichier Édition Croquis Outils Aide
sketch_jun05a
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  int sensorValue=analogRead(A0);
  Serial.println(sensorValue);
  delay(100);
}
```

❖ Affichage sur moniteur série

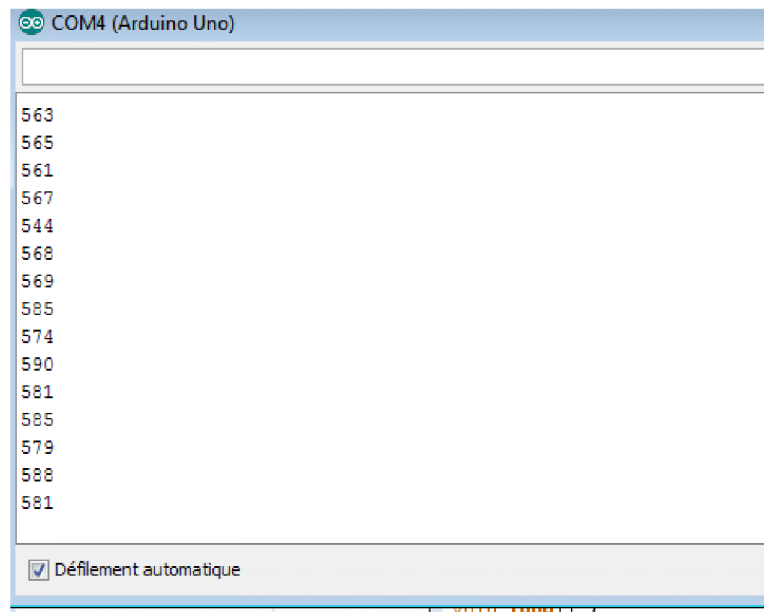


Figure III.13 résultat sur monitor série

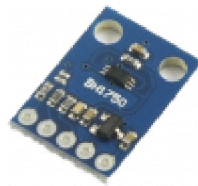
Evolution des données

en absence de tout appui, les données sont à la valeur maximale permise par l'interface utilisée (127 en Midi par exemple). Lorsqu'on appuie sur le capteur, les valeurs envoyées diminuent.

III.2.3.4. Capteur de lumière BH1750

1) Partie électronique

❖ **Le composant**



Le BH1750 est fourni monté sur une platine: Ce composant utilise le protocole I2C.

❖ **Le montage**

Le montage suivant prévoit deux fils (SDA et SCL) en plus de l'alimentation.

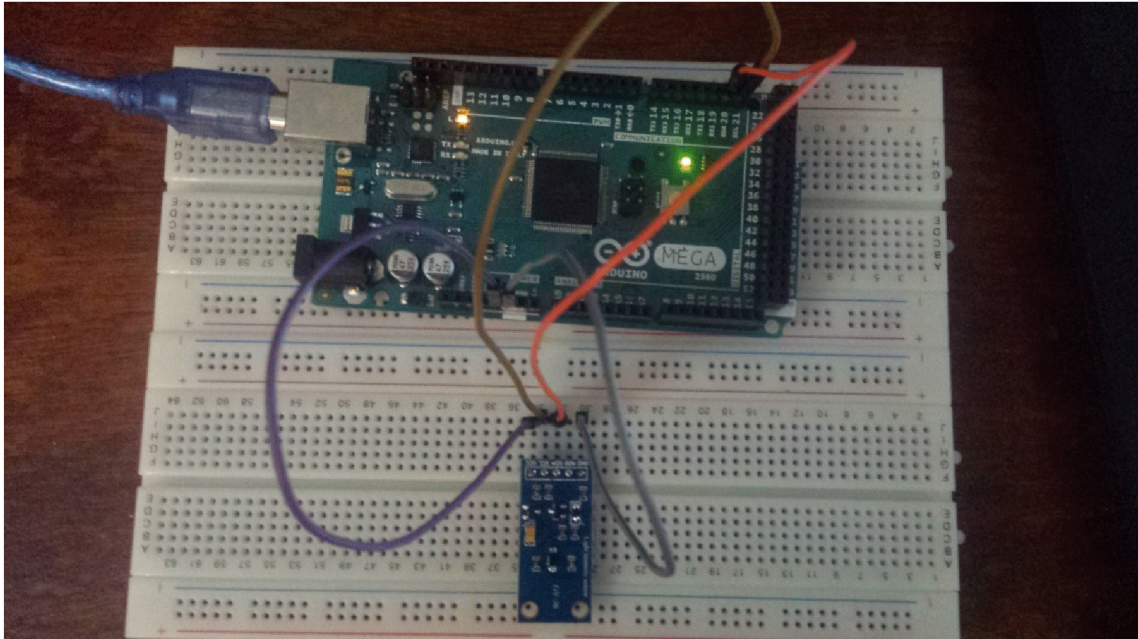
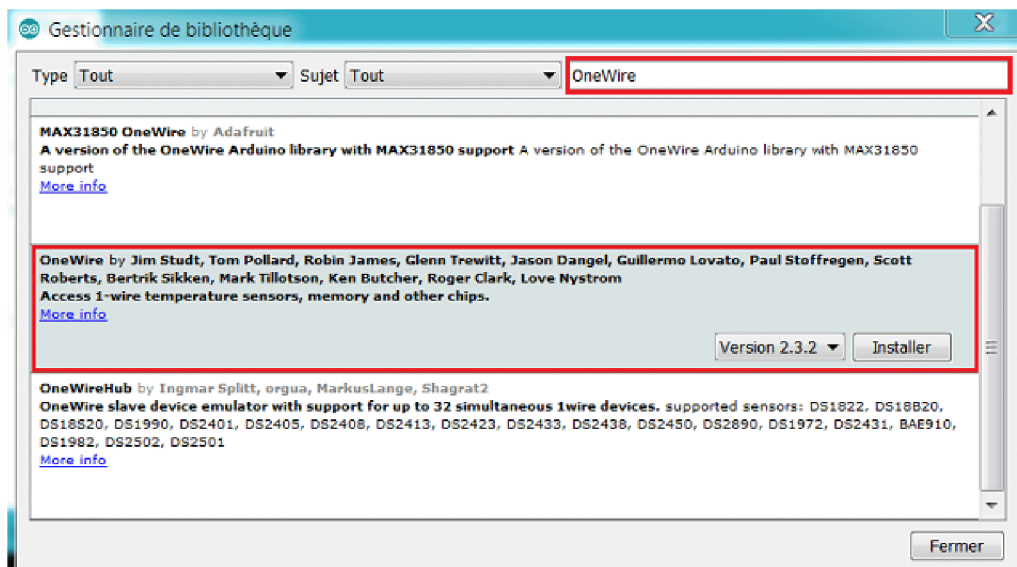


Figure III.14 branchement du capteur BH1750

2) Partie logicielle

❖ Importe des bibliothèques

Avant de continuer, il faut importer la bibliothèque nécessaire à l'utilisation du protocole 1-Wire ainsi que du capteur BH1750. La bibliothèque pour le BH1750 se trouve sur GITHUB et il faut l'importer au format zip.



❖ Récupérer la luminosité

Voila un exemple qui affiche le nombre de LUX :

```
include <Wire.h>
#include <BH1750.h>

BH1750 lightMeter(0x23);

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  lightMeter.begin(BH1750_CONTINUOUS_HIGH_RES_MODE);
  Serial.println(F("BH1750 Test"));
}

void loop() {
  uint16_t lux = lightMeter.readLightLevel();
  Serial.print("Light: ");
  Serial.print(lux);
  Serial.println(" lx");
  delay(1000);
}
```

❖ Affichage sur moniteur série :

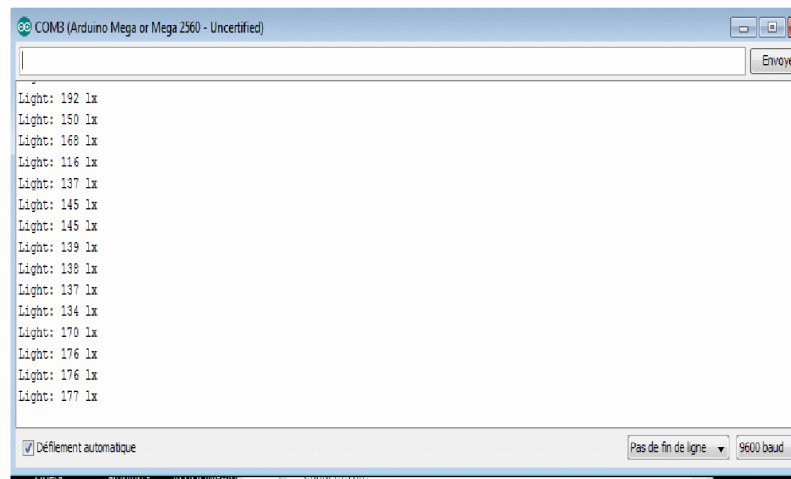


Figure III.15 résultat sur monitor série

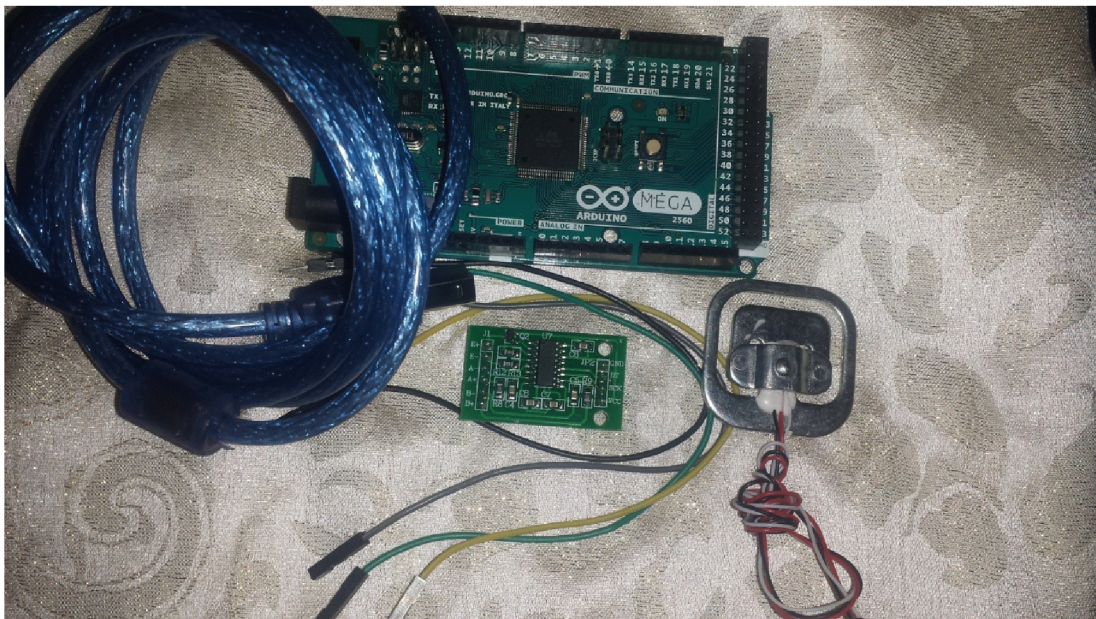
III.2.3.5. Capteur du poids



Connexion des fils :

- Rouge = signal (à lire sur une broche analogique de l'Arduino, par exemple) ;
- Noir = GND ;
- Blanc = VCC (5V de l'Arduino par exemple)

Étape 1: Préparation du matériel



On a besoin:

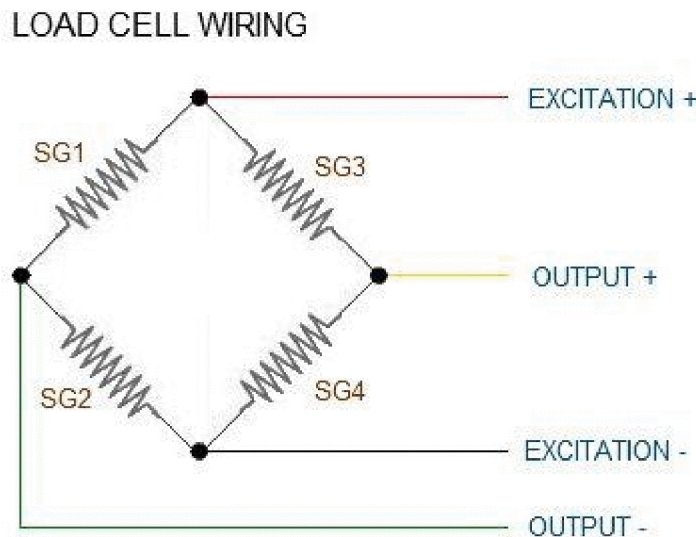
1. Carte Arduino Méga 2560 et USB
2. Capteur d'équilibre HX711
3. Cellule de charge (peut être n'importe quel poids de cellule de charge, par exemple 50KG,)
4. Cavaliers femelles masculins

5. IDE Arduino

Étape 2: Description de la broche HX711

Regulator Power	VSUP	1	16	DVDD	Digital Power
Regulator Control Output	BASE	2	15	RATE	Output Data Rate Control Input
Analog Power	AVDD	3	14	XI	Crystal I/O and External Clock Input
Regulator Control Input	VFB	4	13	XO	Crystal I/O
Analog Ground	AGND	5	12	DOUT	Serial Data Output
Reference Bypass	VBG	6	11	PD_SCK	Power Down and Serial Clock Input
Ch. A Negative Input	INNA	7	10	INPB	Ch. B Positive Input
Ch. A Positive Input	INPA	8	9	INNB	Ch. B Negative Input

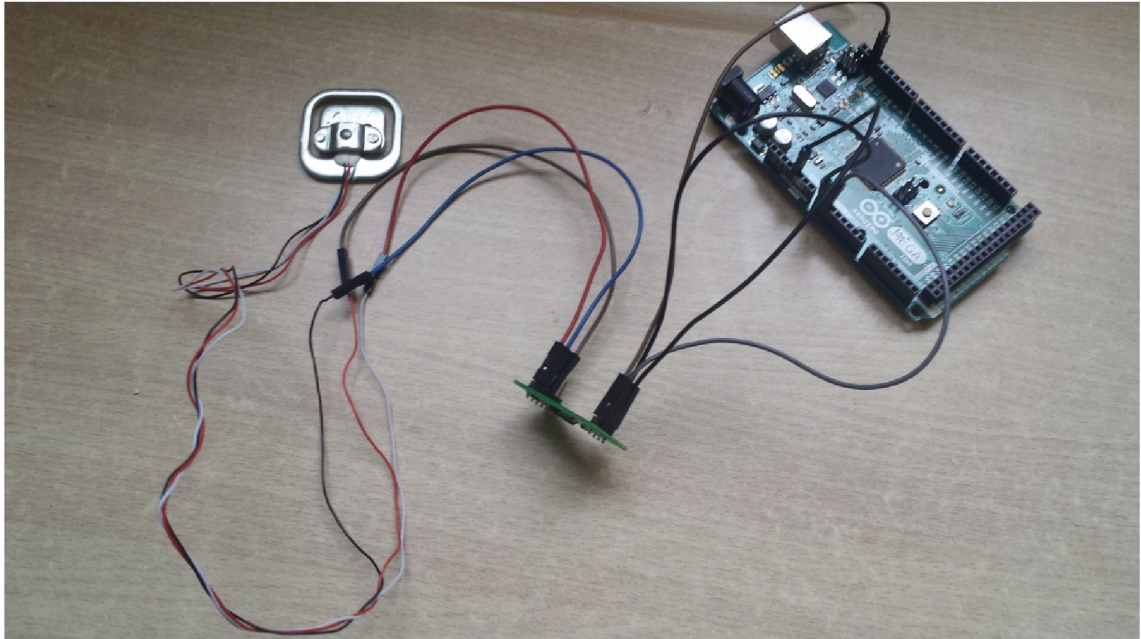
Étape 3: Connexion du fil de la cellule de charge



Les quatre fils sortant du pont de Wheatstone sur la cellule de charge sont habituellement:

- Excitation + (E +) ou VCC est rouge
- Excitation- (E-) ou la masse est noire
- Sortie + (O +), Signal + (S +) + ou Amplificateur + (A +) est blanc
- Sortie- (O-), Signal- (S -) + ou Amplificateur- (A-) est vert

Étape 4: Installation du matériel



HX711 à Arduino Méga 2560:

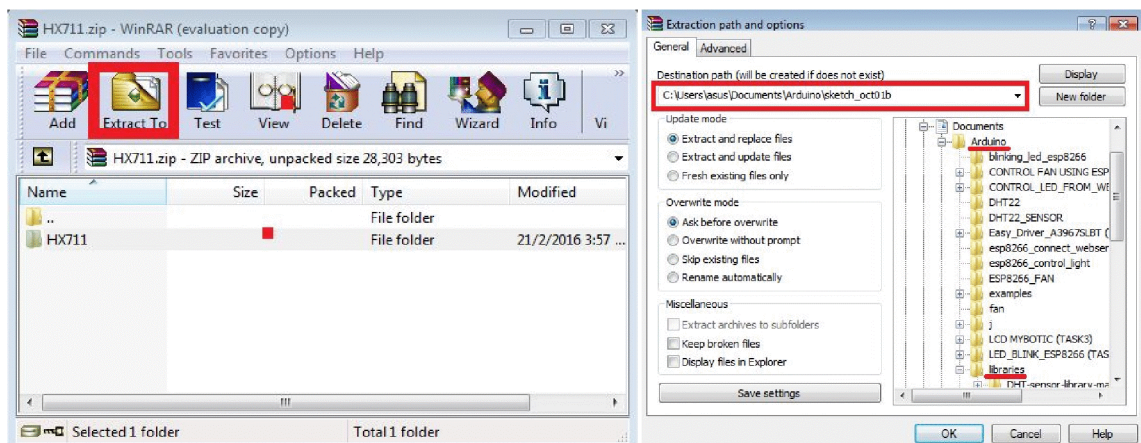
- VCC à 5V
- GND À GND
- SCK à D5
- DT à D6

Charger la cellule vers HX711

- E +: ROUGE
- E -: NOIR
- A +: BLANC

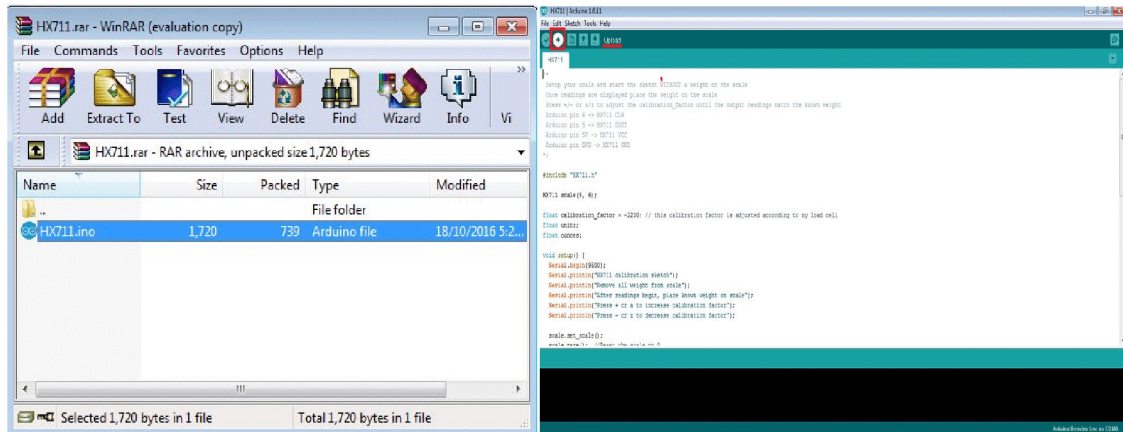
Ensuite, connectez votre carte Arduino Méga 2560 à votre ordinateur via USB.

Étape 5: Bibliothèque HX711



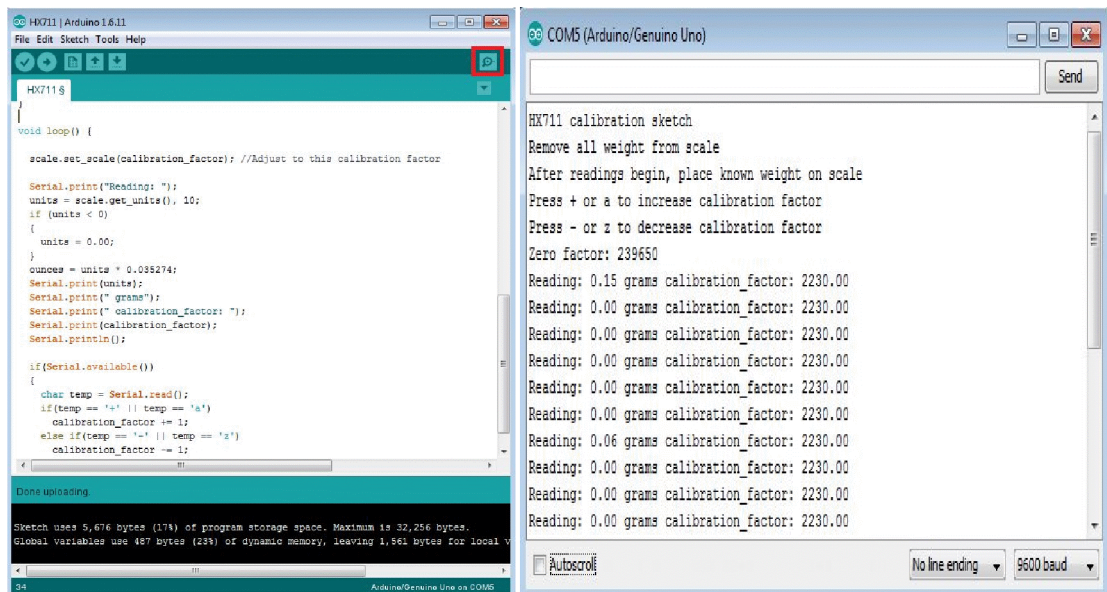
La communication avec le module d'équilibrage nécessite un pilote pour le capteur HX711. Le moyen le plus simple d'installer le pilote est de télécharger la bibliothèque HX711. Téléchargez le fichier ZIP > Ouvrir le fichier zip> Extraire dans votre dossier Bibliothèque Arduino Méga 2560.

Étape 6: Exemple de code source



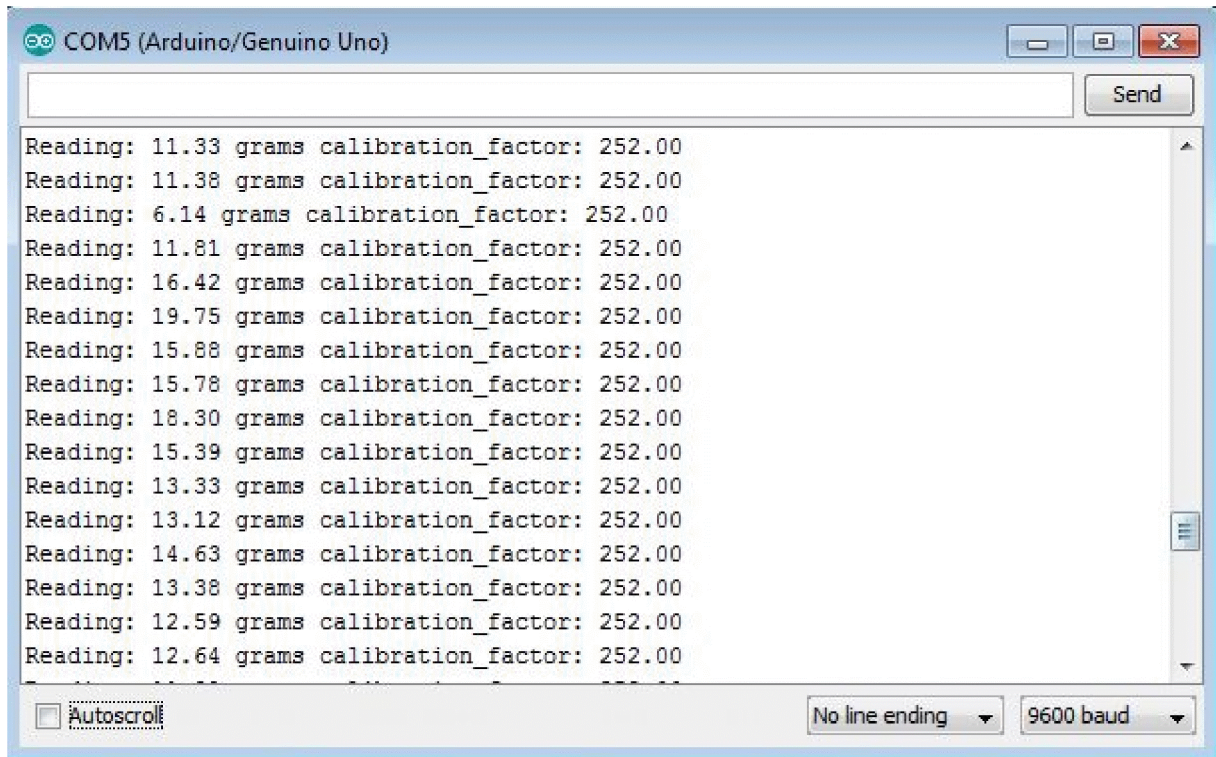
Téléchargez l'exemple de code source, ouvrez et téléchargez cet exemple de code source dans votre IDE Arduino.

Étape 7: Moniteur en série



Lorsque vous avez téléchargé avec succès l'exemple de code source dans votre carte Arduino Méga 2560. Ouvrez le moniteur série et il vous montrera comme montré dans l'image ci-dessus.

Étape 8: Résultat



The screenshot shows the 'COM5 (Arduino/Genuino Uno)' serial monitor window. The text area contains the following data:

```
Reading: 11.33 grams calibration_factor: 252.00
Reading: 11.38 grams calibration_factor: 252.00
Reading: 6.14 grams calibration_factor: 252.00
Reading: 11.81 grams calibration_factor: 252.00
Reading: 16.42 grams calibration_factor: 252.00
Reading: 19.75 grams calibration_factor: 252.00
Reading: 15.88 grams calibration_factor: 252.00
Reading: 15.78 grams calibration_factor: 252.00
Reading: 18.30 grams calibration_factor: 252.00
Reading: 15.39 grams calibration_factor: 252.00
Reading: 13.33 grams calibration_factor: 252.00
Reading: 13.12 grams calibration_factor: 252.00
Reading: 14.63 grams calibration_factor: 252.00
Reading: 13.38 grams calibration_factor: 252.00
Reading: 12.59 grams calibration_factor: 252.00
Reading: 12.64 grams calibration_factor: 252.00
```

At the bottom of the window, there is an 'Autoscroll' checkbox (unchecked), a 'No line ending' dropdown menu, and a '9600 baud' dropdown menu.

Lorsque le moniteur série donne une valeur ua pour la lecture, cela signifie que vous avez réussi à interfacer votre cellule de charge. Maintenant, vous pouvez définir votre propre facteur d'étalonnage en ajustant la valeur en utilisant '+' ou 'a' pour augmenter la valeur OU '-' ou 'z' pour diminuer la valeur. Vous devez calibrer une seule fois pour chaque cellule de charge.

III. 3 Réalisation matérielle :

La réalisation matérielle est faite en premier lieu, chaque partie est réaliser et testée séparément. Les montages sont d'abord construits sur des « breadboard ».

Après les avoir expérimentés et adaptés séparément, nous les avons regroupés et les réalisés parfaitement sur la carte Arduino méga 2560.

III.3.1 Circuit électrique :

Un circuit électrique est un ensemble simple ou complexe de conducteurs et de composantes électrique ou électronique parcourus par un courant électrique. Notre circuit électrique est composé de :

- Carte Arduino Mega 2560 ;
- Capteur ultrason HC-SR04 ;
- Capteur Température/Humidité DHT11 ;
- Capteur de lumière BH1750;

- Capteur de force FSR ;
- Capteur de poids.

III.3.2 Résultats :

Nous avons mis en service notre carte de contrôle et nous avons fini donc par obtenir les résultats enregistrés sur notre logiciel de commande « Multimètre DENZ » qui est programmé par le langage de programmation « DELPHI »

❖ Le langage de programmation « DELPHI » :

Delphi est à la fois un langage de programmation orienté objet et un environnement de développement intégré (EDI) pour ce langage.

L'EDI Delphi est un EDI propriétaire fonctionnant sous Windows créé en 1995 par Borland. À l'époque, créer des programmes graphiques sous Windows se faisait en grande majorité en utilisant soit la chaîne de compilation Visual C++, soit le RAD Visual Basic. Le premier outil étant excessivement complexe et le second assez peu structuré, Delphi apparut alors comme une alternative viable pour beaucoup de développeurs qui souhaitaient créer des programmes pour Windows.

Delphi implémente une version orientée objet du langage Pascal : le Pascal Objet, renommé Langage de programmation Delphi au fil des modifications apportées par Borland. Le Pascal Objet de Delphi possède plusieurs avantages qui améliorent la productivité du développeur par rapport au C++ : typage fort, contrôle strict du compilateur pour éviter les erreurs de mémoire, de débordement, gestion intégrée des chaînes de caractères et des tableaux dynamiques, etc. La compilation ne se fait qu'en une seule passe et il n'y a pas de séparation entre l'implémentation et l'interface comme en C ou en C++ : la génération d'un projet Delphi est donc très rapide, ce qui a accru à sa sortie la popularité de l'outil vite réputé pour ses temps de compilation record.

❖ Description du logiciel de commande « Multimètre DENZ » :

Afin de commander l'appareil et de récolter les valeurs de mesure des différents paramètres, nous avons conçu un logiciel facilement installable et facilement manipulable.

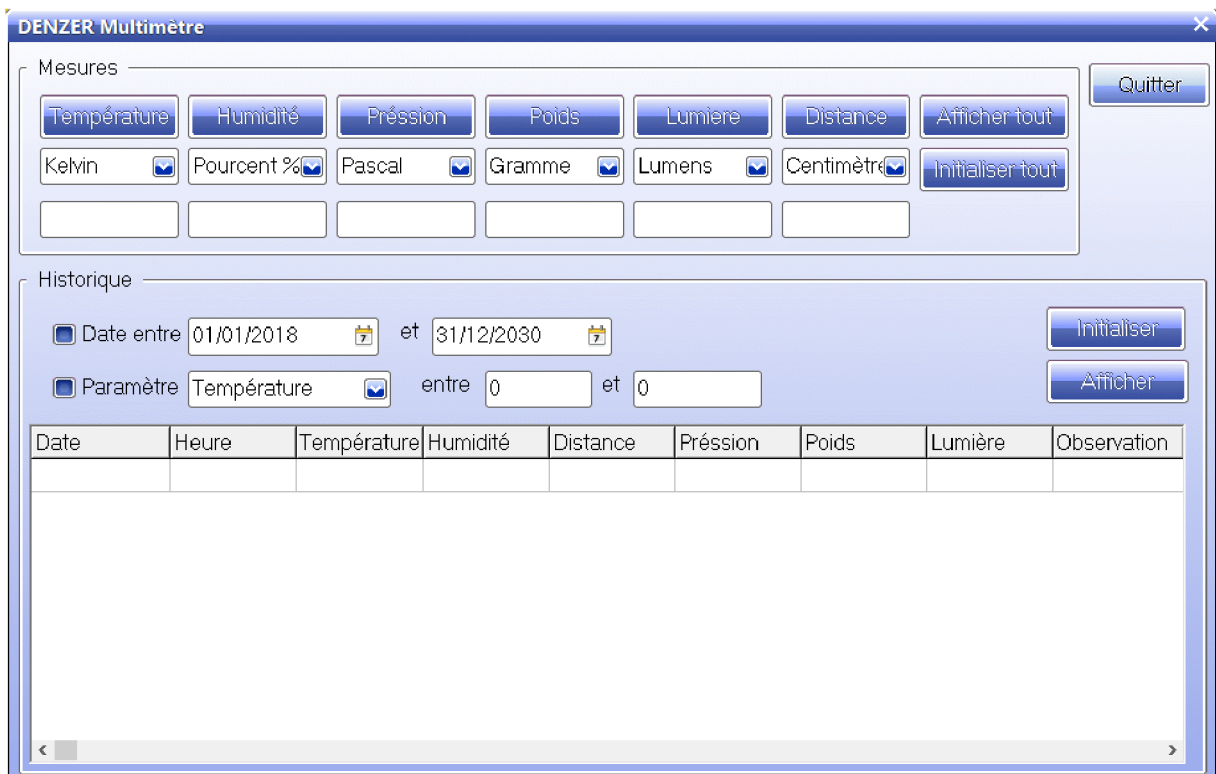


Figure III.16 logiciel de commande Multimètre DENZ

Le logiciel à été programmé avec le langage de programmation DELPHI. Il est subdivisé en deux volets :

- Volet « mesures » : ce volet sert à transmettre des commandes à l'appareil et à recevoir des valeurs mesurées par les capteurs. Ce volet porte six 06 boutons de commande à savoir : Température, Humidité, Pression, Poids, lumière, distance, ainsi que deux boutons, l'un pour faire fonctionner les capteurs en même temps, et recevoir les valeurs de mesures en même moment, l'autre bouton « Initialiser » sert à effacer les valeurs inscrites sur les différents champs de données.
- Volet « Historique » : dans ce volet, nous pourrons apercevoir toutes les données récoltées par les différents capteurs et à n'importe quel moment de la journée. Une recherche de données pourra se faire via deux critères : la date et le type de capteur.

Le logiciel est relié à une base de données conçue pour stocker les données de manipulation de l'appareil, la basse de données nommée « multimètre » est une base de données MySql, elle porte une seule table nommée « datas », la table porte les champs suivants : date, heure, température, humidité, pression, distance, poids, lumière et observations.

❖ **Fonctionnement du logiciel :**

a. Transmission des commandes à l'appareil :

Le logiciel est conçu pour se connecter à l'appareil via le port USB, la communication se fait par protocole RS232, l'Arduino porte un convertisseur RS232-USB intégré, d'où la nécessité d'installer sur Delphi une librairie COMPORT pour la communication via le port RS232.

Protocole de communication PC – Arduino sont :

- BaudRate (vitesse de transmission série) : 9600
- Databits (nombre de bits de chaque caractère émis) : 8 bits.
- Stopbits (Nombre de bits de stops de chaque caractère) : 1 bit.

Les paramètres du protocole de communication doivent être les même entre le logiciel et l'Arduino.

07 boutons sont mis en place pour commander l'appareil, dont 06 pour faire fonctionner les 06 capteurs séparément, le 07eme bouton fait fonctionner l'ensemble des capteurs un après l'autre.

L'envoi de la commande se fait par la commande Delphi writestr(' ')

Nous avons programmé le logiciel à envoyer une seule lettre pour chaque capteur selon le tableau suivant :

Tableau III.2 symbole de chaque capteur utilisé

Capteur	Lettre transmise	Symbole de réception
Température	T	@
Humidité	H	#
Préssion	P	&
Poids	O	*
Lumiere	L	§
Distance	D	^

Exemple : pour faire fonctionner le capteur de pression :

Writestr('p');

L'Arduino est programmé à ce qu'il fasse fonctionner le capteur de pression quand il recoit la lettre 'p' selon le programme Arduino suivant :

```

if (s==p) {
    nt FSRReading=analogRead (FSR_Pin)*5/1023;
    Serial. print ("&");
    Serial.println(FSRReading);
    s = 'n';
    delay(250);
}
    
```

A chaque fois qu'il y ait une réception de la lettre « p » et le déclenchement de la mesure de pression, on initialise la constante S vers la lettre « n » afin de ne pas effectuer plusieurs mesure avec l'envoi d'une seule commande.

III.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons abordé les différentes étapes logicielles qui nous ont permis de réaliser notre projet.

En effet nous avons pu créer notre programme de traitement et nous avons réalisé notre carte de contrôle et obtenu des résultats après avoir fait le test.

Nous allons donc passer à la conclusion générale.

Conclusion Générale :

Le travail que nous avons présenté dans ce mémoire vise d'une part à évaluer l'intérêt des capteurs dans la mesure des grandeurs physiques et d'autre part à examiner l'apport des cartes de type Arduino à ce problème.

Le système Arduino est un outil pour fabriquer des dispositifs qui peuvent capter et contrôler davantage de choses du monde matériel que votre ordinateur.

C'est une plateforme open-source d'électronique programmée qui est basée sur une simple carte à microcontrôleur, et un logiciel véritable environnement de développement intégré, pour écrire, compiler et transférer le programme vers la carte à microcontrôleur.

La programmation du microcontrôleur exige une connaissance en langage « C » comme soft et la maîtrise des outils « IDE », afin d'arriver à l'objectif souhaité.

Dans ce travail, un assemblage de plusieurs logiciels est fait afin de réaliser un tel résultat voir Chapitre 3.

Néanmoins, une telle réalisation n'est pas dénuée de difficultés. Il est à noter que nous nous sommes confrontés à plusieurs problèmes surtout dans la partie réalisation de la carte.

Cependant, on peut dire que malgré ces difficultés, les résultats obtenus à travers cette étude qu'ils soient pratiques ou théoriques, permettent d'ouvrir la porte à d'autres études.

En perspectives, nous souhaitons vivement que ce projet puisse servir comme élément de base pour d'autres études plus approfondies pour le faire intégrer sous des systèmes plus complexes.

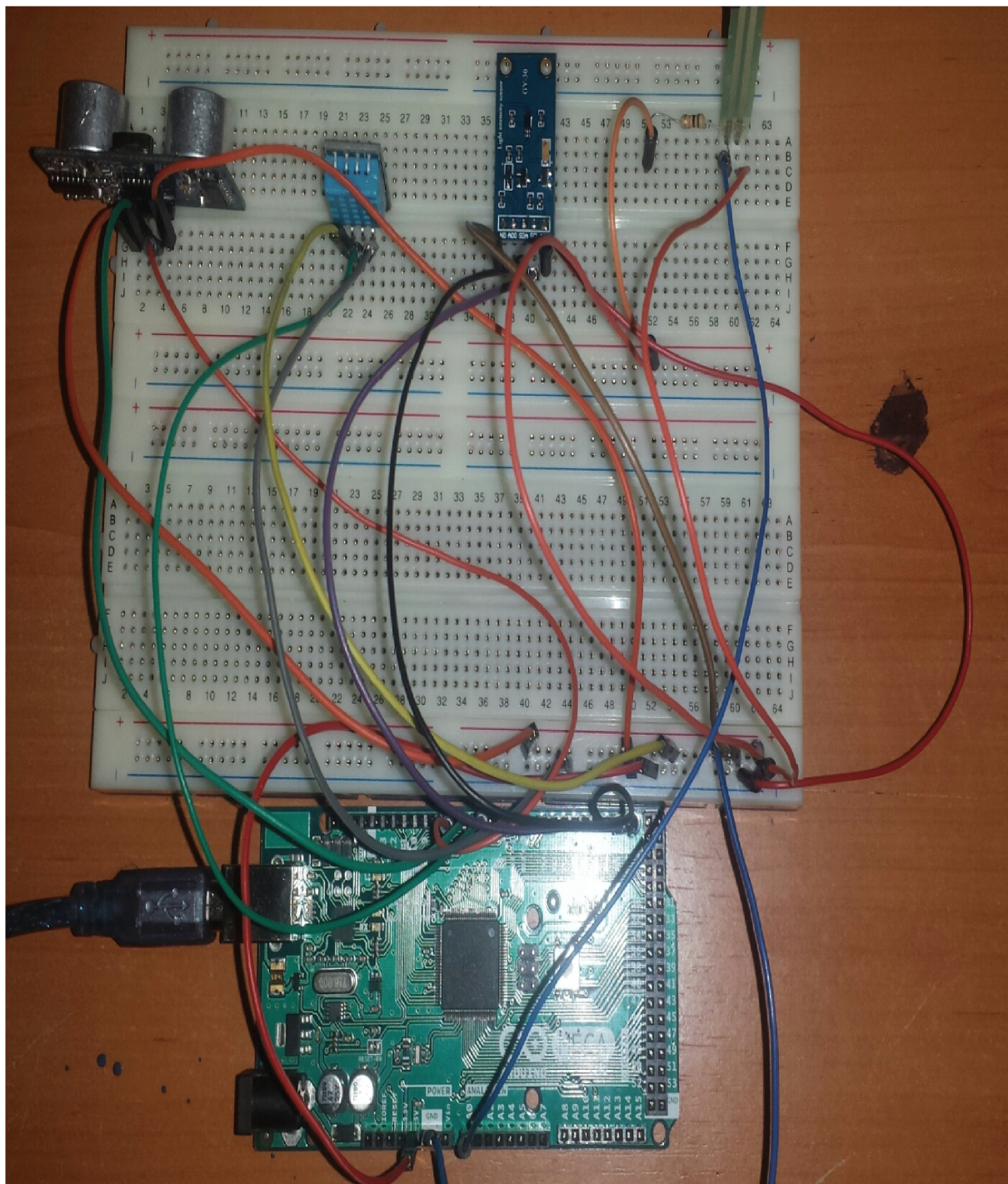
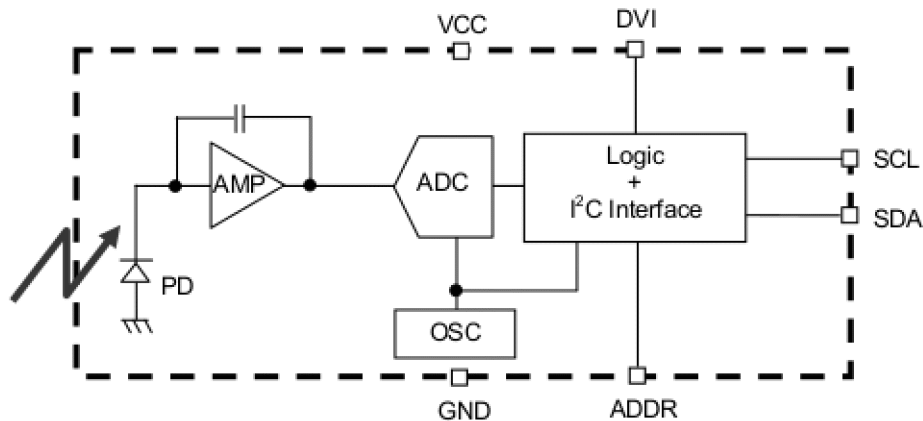


Photo de la réalisation pratique

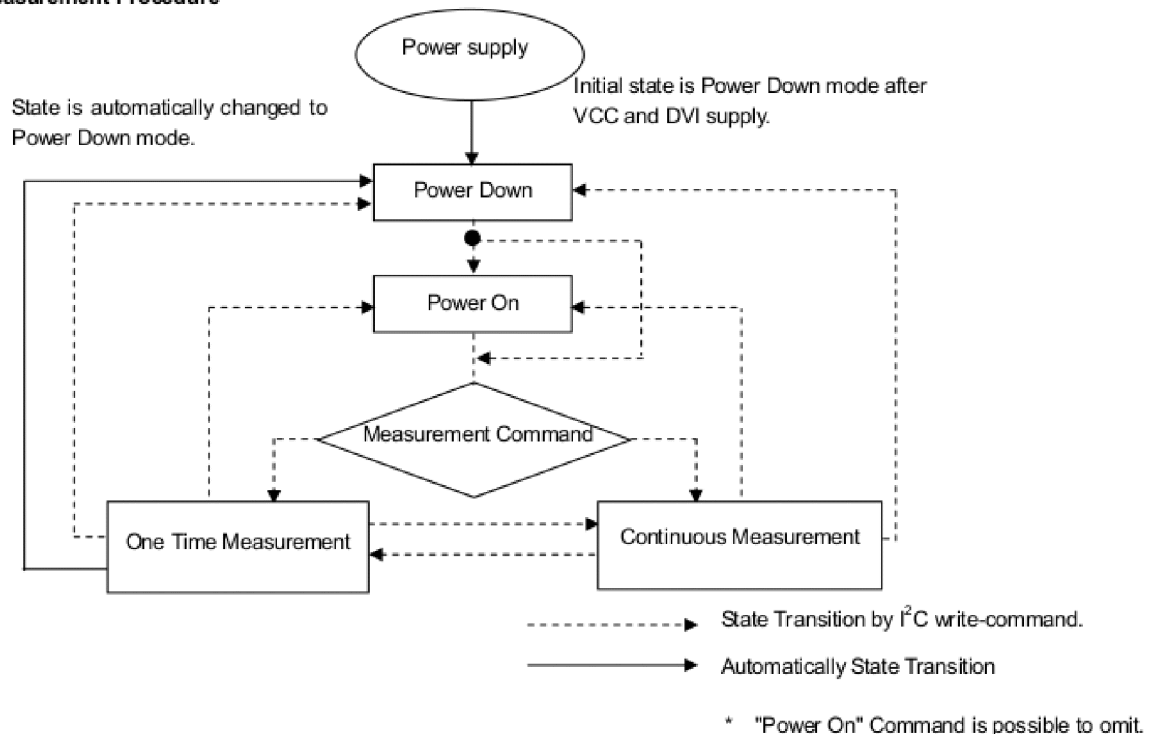
Capteur de lumière BH1750 :

C'est un capteur numérique de la lumière ambiante avec une interface I2C. Il est possible de détecter une large gamme à haute résolution (1-65535 lx).



Le principe d'une mesure est décrit dans la figure ci-dessous :

● Measurement Procedure



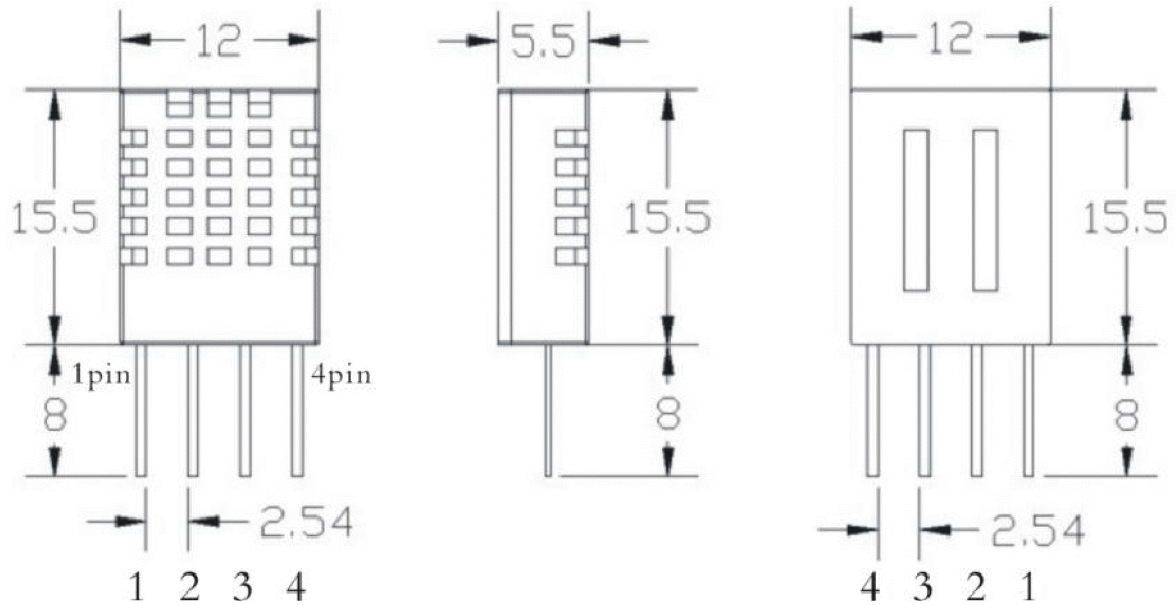
Capteur Ultrasons HC-SR04

Paramètres électriques :

http://www.robot-maker.com/shop/capteurs/13-telemetre-a-ultrasons-hc-sr04.html Tension d'alimentation	5V DC
Courant d'alimentation	15mA
Fréquence de travail	40Hz
Distance maximale de détection	4m
Distance minimale de détection	2cm
Angle de détection	15 degrés
Signal d'entrée de l'émetteur	Impulsion à l'état haut de 10µs
Signal de sortie du récepteur	Signal numérique à l'état haut et la distance proportionnellement
Dimension	45*20*15mm

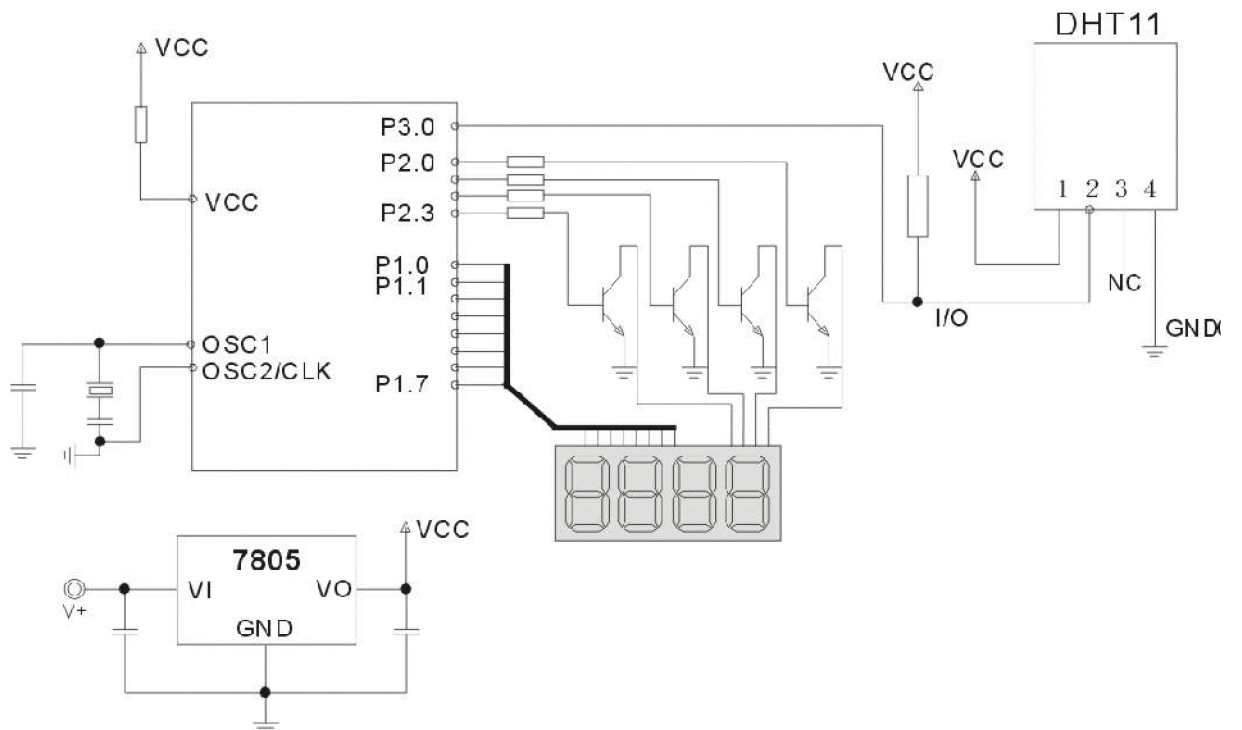
DHT11 Digital Temperature and Humidity sensor:

Product Overview



Aosong(Guangzhou) Electronics Co.,Ltd. TEL: 020-36042809 / 36380552 www.aosong.com

Typical circuit



Request Data Sheets(fsr)



Data Sheets Included in Download

- Force Sensing Resistor (FSR) 400 Series
- Force Sensing Linear Potentiometer (FSLP)
- Rotary Membrane Potentiometer (Ring Sensor)
- VersaPad (USB & PS/2 Touchpad)
- 4-Zone Mouse Sensor (4-Zone FSR)
- MicroJoystick
- MicroModule (USB & PS/2)
- MicroNav 360
- DuraPoint

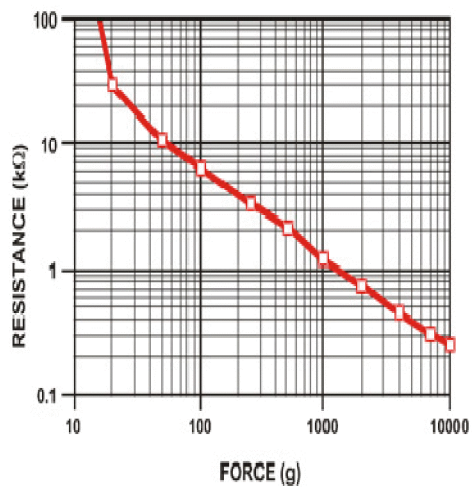


Figure 1 - Force Curve

www.interlinkelectronics.com

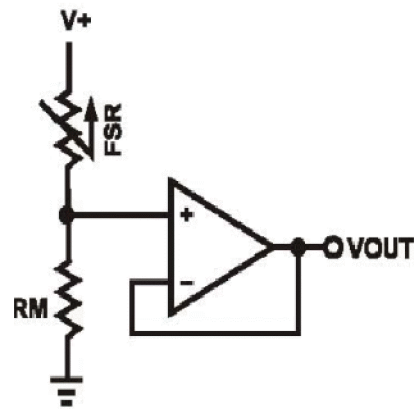


Figure 2 – Schematic

Bibliographie

[1] : livre « les capteurs en instrumentations industrielle», 5^{ème} édition, l'auteur Georger ASCH et collaborateurs.

[2] : G. Asch et collaborateurs. Acquisition de données, du capteur à l'ordinateur. Edition Dunod Ressource publiée sur EDUSCOL-STI : <http://eduscol.education.fr/sti/si-ens-cachan/>

[3]: <http://www.lagrottedubarbu.com/2010/07/14/open-source-hardware-oshwebauche-de-definition-traduction/>, janvier 2018.

[4] : <http://www.futura-sciences.com/tech/definitions/technologie-systeme-embarque-15282/>, Avril 2017.

[5] : <https://www.carnetdumaker.net/articles/utiliser-un-capteur-de-temperature-etdhumidite-dht11-dht22-avec-une-carte-arduino-genuino/>, Mai 2017.

[6] <http://www.generationrobots.com/fr/152-arduino>. consulter le: mars 2018.

[7] : http://www.edurobot.ch/?wpfb_dl=139, Mai 2017.

[8] : <https://www.gralon.net/articles/internet-et-webmaster/logiciel/article-open-source---definition-et-histoire--1803.htm>, Avril 2017.

[09] livre le grand livre d'Arduino 2^{ème} édition auteur ERIK Bartman.

[10] : Pierre Mayé, édition Dunod, Aide-mémoire composants électronique, Dunod, janvier 2015.

[11] : <https://openclassrooms.com/courses/perfectionnez-vous-dans-la-programmationarduino/decouvrez-le-shield-internet-et-le-lecteur-de-carte-sd>, Mai 2017.

[12] Jean- Noël, « livret Arduino en français », centre de ressources art sensitif.