



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur
et de la Recherche scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued
Faculté de Technologie

Mémoire de Fin d'Étude

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologie

Département: génie des procédés et pétrochimies

Spécialité : Raffinage

Thème

**REALISATION ET CONCEPTION DU
SYSTEM DE MESURE ET DE
DETECTION DE GAZ**

Réalisé par :

- TELLI Mourad
- CHAMSA Ibrahim

Soutenu en juin 2020 devant le jury composé de :

Dr.	MCA	Président
Dr.	MCA	Examineur
Dr.	MCA	Examineur
Dr. MOHREM Abdelkrim	MCA	Directeur du mémoire

Année Universitaire : 2019/2020

Remerciements

Après avoir rendu grâce à Allah le Tout puissant,

*Nos sincères remerciements à nos mères, nos pères, nos sœurs
et nos frères pour leur soutien et encouragements quand la
motivation et l'enthousiasme n'étaient plus de rigueur.*

*Nous adressons nos remerciements les plus sincères à notre
Encadreur, Monsieur MOHRAM Abd Elkarim, pour son aide
très précieuse, ses orientations, sa disponibilité à toute heure de
la journée et surtout ses judicieux conseils.*

*Nous remercions les membres de jury qui ont accepté de lire et
évaluer notre travail.*

*Nous adressons nos profonds remerciements à tous ceux qui ont
participés à la réalisation de ce mémoire.*

Dédicace

Nous dédions ce travail aux personnes les plus chers a notre cœur :

a nos parents

*que ce travail soit l'exaucement de vos vœux tant formules et le fruit de
vos innombrables sacrifices.*

puisse dieu, le très haut vous accorde sante, bonheur et longue vie.

a nos frères et sœurs

*merci d'être toujours la a nos cotes pour nous encourager et nous
soutenir dans les moments difficiles.*

*nous vous souhaitons une vie pleine de bonheur et du succès et que dieu
le tout puissant, vous protège et vous garde.*

*merci a toutes les personnes qui nous 'ont aidées de près ou de loin a la
réalisation de ce travail.*

الملخص :

في هذا المشروع قمنا بتصميم نظام للكشف عن الغازات الخطيرة استنادا بالمتحكم أردوينو وذلك باستخدام أنواع مختلفة من أجهزة استشعار الغاز للكشف عنه لمنع وقوع حوادث الاختناق والتسمم والانفجار الناتجة عن سوء التهوية، وسوء التركيب، وعدم احترام معايير الصيانة، من اجل ذلك يقوم النظام بقياس نسبة الغاز وعرضها على الشاشة في حالة حدوث تسرب أو وجود أحد هذه الغازات السامة ، مثل: أول أكسيد الكربون CO والميثان CH₄.

الكلمات المفتاحية : جهاز كشف الغاز، أردوينو، شاشة العرض، غاز الميثان، نسبة الغاز.

Résumé :

Dans ce projet nous avons présenté un system pour la détection d'un gaz dangereux à base d'une carte Arduino UNO pour prévenir les accidents d'asphyxie.

En utilisant des différent capteurs de gaz pour la détection, lorsque le système détecte que la concentration de gaz Pour éviter les accidents d'étouffement, d'empoisonnement et d'explosion résultant d'une mauvaise ventilation, d'une mauvaise installation et du non-respect des normes d'entretien.

Pour cela, le système mesure le pourcentage et l'affiche à l'écran en cas de fuite ou de présence de l'un de ces gaz toxiques, tels que: monoxyde de carbone CO et méthane CH₄.

Les mots clés : Système de détection, Carte Arduino, Afficheur LCD, CH₄, Pourcentage de gaz,.

Sommaire

Remerciements	I
Dédicas	II
Résumé	III
Sommaire	IV
Liste des Figures	VII
Liste des Tableaux	VIII
Liste des Apprivation	IX
Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur la sécurité	
Introduction	3
I.1 La définition de la sécurité	4
I.2 L'importance de la sécurité	4
I.3 La fonction sécurité dans l'entreprise	5
I.3.1 Définitions	5
I.3.1.1 Hygiène	5
I.3.1.2 Santé	6
I.3.1.3 La sécurité	6
I.3.1.4 Maladie professionnelle	6
I.3.1.5 Danger	7
I.3.1.6 Dommage	7
I.3.1.7 Risque	8
I.3.1.8 Situation dangereuse	8
I.3.1.9 Presque accident ou quasi accident	8
I.3.1.10 Un accident	8
I.3.2 Les risques professionnels	8
I.3.2.1 Les risques chimiques	9
I.3.2.2 Les risques d'incendie et d'explosion	9
I.4 L'incendie	10
I.4.1 La combustion	10
I.4.2 Triangle du feu	10

I.4.2.1 Les comburants	11
I.4.2.2 Les combustibles	12
A- Combustibles gazeux	13
B- Combustible liquide	13
C- Combustible solide	15
I.4.2.3 Source d'inflammation	15
I.4.3 Le phénomène d'explosion	16
I.4.3.1 Explosion due à une réaction chimique	16
I.4.3.2 Explosion due à une cause physique	16
I.4.3.3 Explosion nucléaire	18
I.4.3.4 Condition d'une explosion (l'hexagone de l'explosion)	18
a- Présence d'oxygène	18
b- Poussières combustibles	18
I.5 Conclusion	20
Chapitre II : Généralités sur les capteurs de différents types de gazes	
II.1 Introduction	21
II.2 Définition sur les capteurs	21
II.3 Classification des capteurs	22
a. Capteur actifs	22
b. Capteur passifs	22
II.4 Les capteurs de gaz	22
II.4.1 Les caractéristiques métrologiques des capteurs de gaz	23
II.4.1.1 La sensibilité	23
II.4.1.2 La stabilité (ou reproductibilité)	23
II.4.1.3 La sélectivité	24
II.4.1.4 La réversibilité	24
II.4.1.5 Le temps de réponse	24
II.4.1.6 La température de fonctionnement	25
II.4.2 Les différents types des capteurs MQ	25
II.4.2.1 Capteur MQ-2 smoke	25
II.4.2.2 Capteur MQ-3 Alcohol (ethanol)	26
II.4.2.3 Capteur MQ-4 de Methane	27

II.4.2.4 Capteur de gaz (MQ5)	27
II.4.2.5 Capteur MQ-7 Carbonmonoxide	28
II.4.2.6 Capteur MQ-8 Hydrogen	29
II.4.2.7 Capteur de gaz MQ-135	29
II.5 Conclusion	30
CHAPITRE III : Conception et réalisation du système de mesure et de détection	
III.1 Introduction	31
III.2 Schéma bloc du système réalisé	31
III.3 Circuit de commande: Arduino	33
III .3.1 Introduction	33
III .3.2 Présentation générale de module Arduino	34
III .3.3 Description technique	34
III .3.3.1 Alimentation	34
III.3.3.2 Horloge	35
III.3.3.3 Reset	35
III.3.3.4 Entrées/sorties	36
III.3.3.5 Mémoire	37
III .3.4 Les gammes de la carte Arduino	38
III.3.5 La carte Arduino Uno	40
III.3.5.1 Présentation	40
III.3.5.2 les Caractéristiques techniques	42
III.3.5.3 Avantages	43
III.4 Circuit de mesure : les capteurs de gaz	43
III.5 L'afficheur LCD (Liquide Crystal Display)	45
III.5.1 Module I2C pour LCD	47
III.6 Horloge DS3231 (RTC = Real Time Clock)	47
III.7 DHT22 Capteur température et du humidité	48
III.8 Simulation du système	50
III.9 Partie programme	51
III.9.1 L'environnement de la programmation (IDE ARDUINO)	51
III.10 Le code de programmation sur l'IDE	53
III.11 Moniteur série d'ARDUINO IDE:	56

III.12 Conclusion	57
Conclusion générale	58
Bibliographie	59

Liste des Figures

Figure I.1	Triangle du feu	11
Figure I.2	Atmosphère explosible ATEX	13
Figure I.3	l'hexagone de l'explosion	17
Figure I.4	Domaine d'explosivité	18
Figure I.5	Exemple de limites explosivités	19
Figure II.1	Principe général d'un capteur	22
Figure II.2	Schématisation de la sensibilité	23
Figure II.3	Schématisation de la stabilité	24
Figure II.4	Schématisation de la sélectivité	24
Figure II.5	Schématisation du temps de réponse	25
Figure II.6	Capteur de gaz MQ-2 smoke	26
Figure II.7	Capteur MQ-3 Alcohol (ethanol)	26
Figure II.8	CapteurMQ-4 methane	27
Figure II.9	Capteur de gaz (MQ5)	28
Figure II.10	Capteur MQ-7 carbonmonoxide	28
Figure II.11	Capteur MQ-8hydrogen	29
Figure II.12	Capteur de gaz MQ-135	30
Figure III.1	le schéma de bloc de notre carte électronique	32
Figure III.2	Schéma explicatif des différentes broches du microcontrôleur ATmega328	38
Figure III.3	Arduino UNO	39
Figure III.4	Arduino MEGA	39
Figure III.5	Arduino LEONARDO 49	39
Figure III.6	Arduino NANO	39
Figure III.7	Arduino DUE	39
Figure III.8	Arduino LilyPad	39
Figure III.9	Intel Galileo	39

Figure III.10	Description détaillée du brochage de la carte Arduino Uno	40
Figure III.11	Schéma de câblage d'un capteur MQx avec Arduino	44
Figure III.12	Circuit typique d'un capteur de gaz	44
Figure III.13	Schéma électrique des capteurs MQx utilisés	44
Figure III.14	Afficheur LCD 20*4 I2C.	45
Figure III.15	Schéma de câblage d'un LCD 20x4 avec Arduino	45
Figure III.16	Schéma de câblage d'un 20*4 I ² C avec Arduino	47
Figure III.17	Horloge DS3231 (RTC = Real Time Clock)	48
Figure III.18	Schéma de montage du Horloge DS3231 avec l'arduino	48
Figure III.19	Capteur de température et humidité DHT22	49
Figure III.20	Schéma de montage du capteur DHT22 avec l'arduino	50
Figure III.21	Simulation de notre système avec Isis Proteus	51
Figure III.22	Structure générale d'IDE Arduino	52
Figure III.13		

Liste des Tableaux

Tableau I.1	Point d'éclair de quelques produits	14
Tableau I.2	Energie minimale d'allumage de quelques gaz	16
Tableau I.3	Limites d'inflammabilités (en % vol. dans l'air à 20°C et l'atm.)	20
Tableau II.1	Différentes définitions de la sensibilité du capteur	23
Tableau III.1	Les caractéristiques de l'Arduino Uno.	42
Tableau III.2	Branchement de l'afficheur	46

Liste des Abréviation

HSE	Hygiène, Sécurité et Environnement
AT A	ccident du Travail
ERP	Etablissements Recevant du public
ATEX	Atmosphère Explosive
EMI	Energie Minimale d'inflammation
CLO	Concentration Limite en Oxygène
LIE	Limite Inférieure d' Explosion
LSE	Limite Supérieure d'Explosion
I'ISO	Organisation internationale de normalisation
MOX	d'oxydes métalliques
Ppm	Partie Par Million
CO	Monoxyde de Carbone
I2C	Inter Integrated Circuit Bus
IDE	Integrated Développent Environnent
LCD	Liquid Crystal Display
SCL	Serial Clock Line
SDA	Serial Data line
USB	Universel Serial Bus
GND	Ground
RTC	Real Time Clock

Introduction générale

Introduction générale

Aujourd'hui, les fuites de gaz nocives sont devenues la principale cause d'accidents industriels et de dommages aux travailleurs industriels. Cette raison affecte grandement la santé humaine et animale en réduisant les niveaux d'oxygène et en augmentant les niveaux de gaz nocifs tels que l'ammoniac, le monoxyde de carbone, le tri fluorure d'azote, l'hexafluorure de soufre, etc. Ces gaz sont principalement à l'origine d'une augmentation du nombre de polluants dans l'atmosphère. Ces polluants environnementaux sont principalement émis par les industries qui travaillent avec des produits chimiques. La direction des industries ne se préoccupe que des profits et considère la sécurité environnementale comme la moindre priorité, Qui à son tour affecte l'atmosphère et la santé des travailleurs industriels qui vivent dans et autour des industries. Tandis que le niveau de gaz nocifs est élevé autour des zones industrielles par rapport aux lieux de vie normaux en raison de la population dépend davantage de l'utilisation du pétrole, du gaz et du charbon pour produire de l'électricité afin de répondre à la demande d'énergie en augmentant la population. , Les rejets de polluants nocifs augmentent de jour en jour. Les propriétaires de l'industrie se concentrent entièrement sur le profit. Ils ne se concentrent pas non plus sur les travailleurs, la sécurité des personnes et la sécurité environnementale. En général, les industries sont situées en dehors des villes. Mais certaines industries existent au milieu des villes et des villages pour des raisons de transport ou de disponibilité des matières premières. En raison d'une erreur humaine, d'une défaillance de la machine, etc., L'utilisation de ces gaz expose tous ces endroits à un danger ce qui entraîne des dommages à la vie et aux biens dus à tout type de fuite de ces gaz.

Ici, la sécurité devient de la plus haute importance. Elle doit être traitée efficacement à l'aide des capteurs de gaz, Ce facteur conduit à la nécessité d'installer un système de détection de gaz dans de tels endroits pour surveiller la qualité de l'air industriel à risque d'accident pour surveiller et contrôler régulièrement l'atmosphère du lieu de travail Afin de maintenir un environnement d'air pur et d'éviter les explosions et les accidents d'empoisonnement . Et la surveillance constante de tout type de fuite qui ne peut être détecté par les sens humains.

L'appareil proposé dans notre projet détectera divers gaz dangereux à l'aide d'Arduino

Ils sont conçus pour les zones industrielles et ce système peut également être utilisé dans les maisons et les lieux de travail.

Introduction générale

L'objectif principal de notre travail est de réaliser un système de détection de gaz dangereux basé sur l'Arduino à l'aide des capteurs de gaz tels que: Monoxyde de carbone, méthane, ammoniac et certains autres gaz, Ces gaz sont détectés et les concentrations affichées sous forme de pourcentage par l'écran LCD.

Chapitre I

Généralités sur la sécurité

Introduction

Dans le monde du travail de nos sociétés modernes, la mise en œuvre d'une politique «Hygiène, sécurité et environnement (HSE)» est devenue indispensable tant les enjeux sont multiples. L'intérêt HSE s'est fortement accru au sein des entreprises. Il y a d'abord l'application plus stricte de la réglementation (code du travail). La préservation de l'intégrité physique des salariés, de leur sécurité et de la protection de l'environnement relève de la responsabilité du chef d'entreprise. Les entreprises reconnaissent l'importance d'une politique HSE car son efficacité permet de réduire les risques d'accidents, les nuisances de l'environnement (la population, l'eau, le sol, la faune et la flore). En outre elle procure des avantages:

- Economiques, en minimisant les coûts liés aux accidents de travail, maladie professionnelle et les arrêts de travail;
- Sociaux, comme l'amélioration du dialogue social, de la communication interne, de l'image de l'entreprise et sa pérennité;
- Travailler dans de bonnes conditions et dans un environnement sain.

Ainsi, la politique HSE, intégrée à l'ensemble des activités et ce, depuis la conception, permet d'éviter les accidents ou situations catastrophiques, d'être socialement responsable et économiquement compétitive.

La sécurité signifie l'absence des accidents ou du risque inacceptable. L'accident est une manifestation du risque qui est susceptible d'engendrer des dommages sur des personnes, des installations et/ou de l'environnement. C'est de cela que nous nous intéressons dans ce thème pour développer une politique HSE au sein des activités professionnelles. Cette politique HSE a pour objectif de mettre en œuvre des mesures de prévention et de protection de la santé des travailleurs et des populations, de la préservation des installations et de l'environnement [1].

I.1 La définition de la sécurité :

Définition 1 :

La sécurité signifie l'absence des accidents ou du risque inacceptable. L'accident est une manifestation du risque qui est susceptible d'engendrer des dommages sur des personnes, des installations et/ou de l'environnement [1].

Définition 2 :

La sécurité fait souvent référence à des notions telles que le risque, le danger, la prévention, la protection mais aussi la responsabilité et l'assurance. La sécurité au travail est de l'ordre de la protection et la prévention des accidents et des maladies dans le monde professionnel. Santé et sécurité sont indissociables et font l'objet d'une même politique. La préservation de la santé et de la sécurité au travail est un enjeu majeur de santé publique mais également un enjeu économique décisif en raison du nombre de jours de travail perdus du fait des accidents du travail [2].

I.2 L'importance de la sécurité :

L'importance d'assurer la sécurité et la santé au travail a pour rôle d'atteindre les objectifs suivants:

- Protéger les travailleurs et l'élément humain environnant associé au travail des blessures résultant des dangers du milieu de travail et éviter qu'ils ne soient exposés à des accidents, des blessures et des maladies professionnelles.
- Préserver les gains matériels représentés dans les installations et les équipements qu'elles contiennent, des dommages ou pertes résultant d'accidents.
- Fournir et mettre en œuvre toutes les conditions de sécurité et de santé au travail dans le cadre d'une approche scientifique.
- La sécurité et la santé au travail contribuent à réduire les coûts de production résultant d'une réduction des taux d'accidents du travail et de blessures, résultant également de la réduction de l'absentéisme et des périodes d'interruption de travail en raison du manque d'un environnement de travail sain.
- La sécurité et la santé au travail contribuent à réduire les coûts de production résultant de la réduction des déchets des matériels dommages résultant de l'utilisation de systèmes automatiques et mécaniques avancés, la présence de ces systèmes et de ces matériaux contribue à réduire les arrêts de production et à ne pas être perturbé par des systèmes de réparation et de maintenance soudaines
- Un système efficace de sécurité et de santé au travail contribue à attirer des travailleurs qualifiés et des compétences distinguées.
- Stabilité de l'emploi au travail, c'est-à-dire augmentation du degré de satisfaction du travailleur vis-à-vis de son travail et de son association étroite avec la machine et

l'environnement dans lequel il travaille, ce qui entraîne une diminution des taux de rotation du travail.

- L'excellente sécurité et santé au travail permet d'obtenir une efficacité de production inégalée grâce à la présence de production de haute qualité et abordable.
- En relation avec ce qui précède, la stratégie de la sécurité et santé au travail atteint des objectifs directs pour les travailleurs afin de les protéger des maladies et des incapacités et de préserver leur potentiel physique et psychologique, car elle leur apporte de grands gains matériels résultant d'augmentation de la production [3].

I.3 La fonction sécurité dans l'entreprise :

L'Hygiène, la Santé et la Sécurité au Travail tiennent aujourd'hui une place de plus en plus prépondérante dans la stratégie et le management de l'entreprise, car au-delà du drame humain et social qu'occasionnent un Accident du Travail (AT) ou une maladie professionnelle (MP), les impacts économiques et juridiques sont souvent non négligeables.

Afin de sauver des vies au sein d'une entreprise, des dispositions pénales se sont renforcées ces dernières années, pouvant aller jusqu'à engager la responsabilité civile, voire pénale du chef d'entreprise. L'objectif consiste à lui faire prendre conscience de son rôle moteur dans la politique de prévention et de maîtrise des risques au sein de l'activité qu'il dirige. Une politique de prévention des risques doit être entamée où il s'agit d'identifier les dangers, évaluer, maîtriser et gérer les risques afin d'éviter les accidents. Dans le travail, les salariés sont exposés aux différents risques sans connaître véritablement leur incidence (impact) à long terme sur la santé humaine (MP). La prise de conscience des situations dangereuses auxquelles peuvent être exposés les salariés est une nécessité pour maîtriser les risques associés et concrétiser leur sécurité et celle des biens et de l'environnement [1].

I.3.1 Définitions :

On parle depuis longtemps d'hygiène, de sécurité, d'accident du travail et de maladies professionnelles et on les utilise souvent dans des différentes situations. Pour une meilleure compréhension on doit définir ces termes :

I.3.1.1 Hygiène :

C'est l'ensemble des moyens collectifs ou individuels, les principes et les pratiques visant à préserver ou à favoriser la santé;

- Il en est ainsi des mesures préventives à mettre en œuvre dans le cadre de la lutte contre les

maladies contagieuses.

- En milieu professionnel, on cite, par exemple:

- 1) Exécution des contrats de nettoyage;
- 2) Amélioration des conditions d'hygiène et de santé;
- 3) Interdiction de prendre des repas dans les locaux des services;
- 4) Aération des locaux de travail [1].

I.3.1.2 Santé :

La santé est une notion de nature polysémique et évolutive, c'est à la fois :

- L'absence de maladie;
- Un état biologique souhaitable;
- Un état complet de bien-être physique, mental et social (définition de l'OMS – 1946);
- La capacité d'une personne à gérer sa vie et son environnement, c'est-à-dire à mobiliser les ressources personnelles (physiques et mentales) et sociales en vue de répondre aux nécessités de la vie.

La santé au travail est le résultat de l'influence de l'environnement professionnel sur un individu [2].

I.3.1.3 La sécurité :

Définition :

C'est la situation dans laquelle quelqu'un ou quelque chose n'est exposé :

- À aucun danger,
- À aucun risque d'agression physique, d'accident, de vol ou de détérioration.

I.3.1.4 Maladie professionnelle :

Parfois, un travailleur peut être malade à cause du travail qu'il fait ou des produits auxquels il est exposé. Il se peut que la maladie ne se manifeste qu'après une plus longue période, parfois, même alors que le travailleur n'est plus exposé au produit ou qu'il n'effectue plus ce travail. Exemple : une personne travaille ou travaillait dans un environnement bruyant et a une perte de l'audition. Une maladie est une maladie professionnelle quand on trouve sa cause dans le travail que la personne concernée effectue. Chaque métier connaît ses maladies professionnelles. Burn out chez les enseignants et les représentants, infection du travailleur dans les égouts, maladie de Lyme chez les travailleurs forestiers, syndrome psycho organique chez les

peintres, hernies chez les paveurs, eczéma chez les maçons, cancers dans l'industrie d'amiante, surdité dans l'industrie chez les travailleurs sur machine, etc.

I.3.1.5 Danger :

Définition 1 :

Un danger est une propriété intrinsèque ou le pouvoir d'un objet, d'un procédé, d'une situation, d'une méthode de travail, d'une personne, d'une habitude... qui peut mener à des conséquences néfastes. Cette propriété en elle-même n'entraîne pas de dommage pour la santé. Par exemple la toxicité d'un produit toxique.

Définition 2 :

Le «danger» est une situation, une condition ou une pratique qui comporte en elle-même un potentiel à causer des dommages aux personnes, aux biens ou à l'environnement.

Définition 3 :

Danger (ou phénomène dangereux) : Cause ou source ayant le potentiel de provoquer des préjudices ou des dommages: des blessures humaines, un mauvais état de santé, des dégâts matériels, des dommages à l'environnement ou plusieurs de ces causes.

Les dangers peuvent se matérialisés par des :

- Produits dangereux : inflammables, toxiques, explosifs...
- Réactions chimiques dangereuses : incompatibilité, corrosion, dégagement des produits toxiques.
- Conditions opératoires extrêmes : pression, températures, rayonnement, électricité...
- Erreurs de conception non détectées.
- Énergie potentielle : La hauteur.
- Énergie électrique : Conducteur nu sous tension.
- Énergie pneumatique : Gaz sous pression.
- Énergie mécanique : Organe mobile.

I.3.1.6 Dommage :

Le dommage est lésion physique ou atteinte à la santé, aux biens ou à l'environnement :

- Fractures.
- Allergie.
- Intoxication.

- La mort.

I.3.1.7 Risque :

Le «risque» est la possibilité de survenance d'un dommage résultant d'une exposition à un danger. Le risque est la composante de deux paramètres : la «gravité» et la «probabilité». Plus la gravité et la probabilité d'un événement sont élevées, plus le risque est élevé.

I.3.1.8 Situation dangereuse :

Une situation dangereuse immédiate sur le lieu de travail qui, si l'on n'y fait rien, peut avoir un accident comme conséquence. Par exemple : un couvercle de puits non placé, un trou dans le sol qui n'est pas protégé, un échafaudage sans balustrade, etc.

I.3.1.9 Presque accident ou quasi accident :

Un événement non voulu, qui n'a pas eu de lésion ni de dégât comme conséquence mais qui aurait pu, dans des circonstances moins favorables, mener à un accident. Par exemple : sur un chantier, un marteau tombe de l'échafaudage et manque d'un cheveu un travailleur occupé à travailler en dessous de l'échafaudage. Il n'y a pas de dégât ou de lésion mais cela aurait été le cas dans des circonstances moins favorables.

I.3.1.10 Un accident :

Un événement non voulu qui a mené à une lésion (chez les hommes) ou à des dégâts (pour le matériel), on comprend ici les pertes de production et les arrêts de travail. Par exemple : dans l'exemple ci-dessus, si le marteau n'est pas tombé sur le sol mais sur la personne ou sur une voiture qui était parquée là. Dans le premier cas, on parle de lésion et dans le second, de dégât.

On peut définir les accidents du travail comme étant «des événements violents et imprévus reliés à l'environnement, à l'équipement ou à l'individu, et qui provoquent des brûlures, coupures, chocs électriques ou fractures pouvant entraîner la mort» [2].

I.3.2 Les risques professionnels

Il existe de nombreuses classifications des risques professionnels tels que les risques physiques et électriques et le bruit, et nous nous concentrerons à ce chapitre sur les risques chimiques et les risques d'incendie et d'explosion.

I.3.2.1 Les risques chimiques :

Ces risques concernent les produits, émissions, déchets chimiques (peintures, diluants, white spirit, essence de térébenthine, pyrèthres, amines aliphatiques, acétone, xylène, acétate de butyle, solvants, pentachlorophénol, formaldéhyde...).

Sont inclus aussi dans cette famille de risques les lubrifiants, fluides de coupe ou de laminage, acides ou bases, liquides cryogéniques, gaz sous pression, résines synthétiques (époxy, polyuréthanes, polyesters non saturés, etc.), les produits phytosanitaires (pesticides, herbicides, fongicides...), etc. De la même façon les batteries de traction pour les véhicules électriques (chariots élévateurs) et/ou les batteries stationnaires pour l'alimentation en énergie, etc. appartiennent aux risques chimiques. Les fumées (soudure, gaz d'échappement...), les produits volatiles (huile chaude...) ou les poussières (ciment, farine, sciure de bois...), tout comme l'utilisation d'outils en nickel, chrome ou cobalt et les gants en latex font partie de cette famille de risques.

Sont aussi concernés les produits d'entretien et les produits chimiques d'usage courant (colles, acétone, alcool...) également certains produits d'usage professionnel par exemple les produits utilisés par les coiffeurs (teintures, décolorants, laques et autres produits cosmétiques...), par les peintres (peinture, décapant...), les menuisiers (colles...), etc. Les conséquences des accidents liés aux risques chimiques sont multiples et peuvent être graves : brûlures, intoxications, allergies, irritations cutanées, atteintes des voies respiratoires, etc.

I.3.2.2 Les risques d'incendie et d'explosion :

Les risques d'incendie et d'explosion sont des sujets permanents de préoccupation pour de nombreuses entreprises. En effet, les incendies et les explosions sont à l'origine de blessures graves voire de décès, et de dégâts matériels considérables. Chacun de ces risques fait l'objet d'une démarche de prévention spécifique dont l'objectif prioritaire est d'agir avant que le sinistre ne survienne. L'incendie est le sinistre le plus connu de tous et sans doute celui pour lequel il existe le plus grand nombre de moyens de prévention. Dans le milieu industriel, les causes de sinistres incendie se répartissent ainsi : criminel : 40%, électrique : 25%, défaillance technique : 14%, négligence humaine : 9%, travaux à feu nu : 7%, chauffage : 5%. (En France) Même si depuis quelques années, on constate une baisse globale du nombre d'incendies industriels (sans doute due à l'effet incitatif des primes d'assurance), il y a paradoxalement une augmentation du nombre de gros sinistres (ceux dont le coût est supérieur à 8 M€). 70 % des entreprises qui

connaissent un sinistre important disparaissent dans les 3 ans qui suivent et ce pour diverses raisons telles que : destruction des locaux, des stocks et outils de production, la perte de données informatiques non sauvegardées, les sous-traitants qui se tournent vers d'autres fournisseurs, etc[2].

I.4 L'incendie :

L'incendie est un phénomène de combustion qui peut dégénérer rapidement. Il est souvent dévastateur car il peut entraîner de nombreuses victimes et des dégâts importants avec des coûts élevés, particulièrement dans les installations industrielles, les entrepôts et les établissements recevant du public (ERP) dont les magasins de ventes sont les plus nombreux. Tout est réduit en fumée en un temps très court; c'est l'accident le plus redouté. L'explosion, une réaction chimique violente et accompagnée de dégagement gazeux, est aussi souvent à l'origine d'incendies. Les origines d'incendies peuvent être nombreuses : réactions chimiques dangereuses, incompatibilités de produits, explosifs, emballement thermique, fuite de gaz, électricité (surtension, appareils défectueux), malveillance, imprudence, ignorance....

La lutte contre le feu est un élément déterminant pour la sauvegarde des personnes et des biens. Nous rappelons ici les éléments à l'origine des phénomènes d'incendie et d'explosion[1].

I.4.1 La combustion :

L'incendie et l'explosion font partie du risque chimique important et fréquent. Ils sont la conséquence d'une réaction dangereuse, la combustion. La combustion est une réaction chimique qui se produit entre deux corps un combustible et un comburant et s'accompagne d'un dégagement de chaleur. La combustion peut être lente (cas de la rouille) ou vive avec apparition de flamme. Cette dernière est instantanée, elle provoque un échauffement des produits et les décompose en partie avec une augmentation de fortes pressions de gaz et de vapeurs entraînant l'explosion.

I.4.2 Triangle du feu :

La combustion ne peut avoir lieu que si les trois éléments suivants sont réunis simultanément:

- Un comburant.
- Un combustible.
- Une source d'inflammation ou source de chaleur ou énergie d'activation.

On appelle ceci le « **Triangle du feu** ».L'incendie se déclare chaque fois les trois éléments sont en présence.

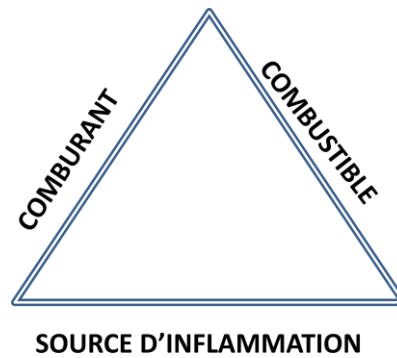


Figure. I.1 Triangle du feu

Lorsque l'un des trois éléments n'est pas présent, la combustion ne peut pas se réaliser.

I.4.2.1 Les comburants:

Oxygène de l'air:

Le comburant le plus courant est **l'oxygène de l'air**, sa composition volumique dans l'air est approximativement la suivante :

$$\text{Air} \begin{cases} 21\% \text{ Oxygène} \\ 79\% \text{ Azote} \end{cases}$$

L'oxygène est un comburant d'autant plus puissant que sa concentration est plus élevée dans le mélange gazeux.

Ainsi, l'oxygène liquide un pouvoir comburant considérable. Les corps combustibles poreux ou adsorbants imprégnés d'oxygène liquide sont des explosifs extrêmement puissants.

L'azote est un gaz inerte et ne participe pas à la combustion, aussi l'un des moyens pour éteindre un feu va consister à priver le feu d'oxygène à l'aide de la mousse, un gaz inerte (CO_2 , N_2 , ...) ou de la vapeur d'eau.

Autres comburants : Certains corps chimiques contenant ou non de l'oxygène sont des comburants car ils réagissent violemment avec les matières combustibles et organiques. Exemples :

- L'acide nitrique, le peroxyde d'hydrogène (ou eau oxygénée) concentrés enflamment la plupart des matières organiques.
- Les matières organiques imprégnées de chlorate de sodium sec peuvent facilement s'enflammer sous l'effet d'un frottement, d'un choc ou d'une élévation de température.
- Le fer brûle dans le chlore humide et chaud ($T > 120^\circ$).

- Le fluor est un comburant plus actif que l'oxygène et enflamme la plupart des produits.

I.4.2.2 Les combustibles :

Appelé aussi substances inflammables sont des produits qui ont la propriété de se combiner à l'oxygène pour conduire à une réaction de combustion. La grande majorité des produits organiques contenant du carbone et de l'hydrogène sont combustibles. Plusieurs produits minéraux : l'hydrogène, l'oxyde de carbone, l'ammoniac, l'hydrogène sulfuré, l'acide cyanhydrique, le sulfure de carbone sont également combustibles même s'ils ne renferment pas toujours du carbone et de l'hydrogène. Les principaux produits formés lors des combustions sont la vapeur d'eau et le gaz carbonique. Les produits azotés dégagent en plus des oxydes d'azote et les produits soufrés de l'anhydride sulfureux. La combustion des produits naturels (charbon, dérivés du pétrole, alcools, etc.) dégage de la chaleur, de la vapeur d'eau et du gaz carbonique. La combustion ne peut se produire qu'aux conditions suivantes:

- Le combustible, d'une façon générale, se trouve en phase gazeuse. Il n'existe que peu de corps susceptibles de brûler à l'état solide (phosphore, sodium).
- Le combustible et le comburant doivent être dans des proportions convenables. De nature très variée, les combustibles peuvent se trouver sous forme:
 - ✓ De gaz ou de vapeurs : hydrogène, hydrocarbures gazeux, H_2S ,...
 - ✓ De gaz liquéfiés : propane, ammoniac,...
 - ✓ De liquides, de gouttelettes, d'aérosols : alcools, cétones, aldéhydes, hydrocarbures liquides, soufre liquide, solvants.
 - ✓ De poussières : polystyrène, polyéthylène, soufre, farine ainsi que certains métaux (sodium, fer, aluminium, magnésium).
- La condition nécessaire à la combustion « ATMOSPHERE EXPLOSIVE »

Une zone dangereuse est définie comme une zone dans laquelle des atmosphères sont - ou sont susceptibles - d'être présentes dans des quantités telles qu'elles nécessitent une prise de précaution particulière lors de la construction et de l'utilisation de matériel électrique. On appelle **“atmosphère explosive” ou ATEX**, le mélange avec l'air, dans les conditions atmosphériques de substances inflammables sous forme de gaz, vapeurs, brouillards ou poussières dans lequel, après inflammation, la combustion se propage à l'ensemble du mélange non brûlé [1].



Figure. I.2. Atmosphère explosible ATEX

Exemples d'atmosphères explosives : En exploitation courante ou en situation accidentelle, ces atmosphères explosives peuvent se former:

- Dans les installations de combustion (fours, chaudières,...) en particulier en cas d'extinction de flammes si le combustible n'est pas coupé.
- Au voisinage d'équipement : pompes, compresseurs, réacteurs, échangeurs de chaleurs,.....
- Dans les installations elles-mêmes: remplissage de réservoir.
- A l'air libre: vapeurs de solvants lors de nettoyage, dégraissage, travaux de peinture,.....

A- Combustibles gazeux :

- Développement de la combustion :

La réaction de combustion amorcée en un point du mélange par une source d'inflammation libère de l'énergie sous forme de chaleur. Si cette chaleur dégagée est assez grande pour porter les couches voisines du mélange combustible-comburant à une température suffisante, la combustion se propage de proche en proche dans une zone lumineuse et de faible épaisseur constituant la flamme puis progresse dans le mélange de gaz frais. Les gaz produits sont portés à haute température et pression. Suivant la vitesse d'avancement du front de flamme, on parle d'inflammation ou d'explosion.

- Limites d'inflammabilité:

Il existe une zone, appelée zone d'inflammabilité (définie par les limites d'inflammabilité ou d'explosivité) où la propagation de la flamme est possible. En deçà et au-delà de cette zone la combustion ne peut se développer.

B- Combustible liquide :

a. Température de point d'éclair ou point de flash:

☐ **Liquide au repos :**

La température de point d'éclair est la température minimale à laquelle un combustible liquide émet assez de vapeurs pour permettre une courte inflammation en présence d'une

flamme. Les vapeurs s'enflamment et s'éteignent aussitôt.

Le tableau ci-après donne les valeurs des spécifications de point d'éclair de quelques produits.

Tableau I.1 Point d'éclair de quelques produits

Produits	Point éclair (°C) Spécifications
Pétroles bruts	< 55 non spécifié
Essence auto	– 40 environ
Gazole moteur	> 55°C et < 120°C
Huile de graissage	> 160°C
Benzène	– 1
Hexane	– 22
White spirit (solvant)	27
Méthanol	11°C
Acétone	– 18°C

La température de point d'éclair reflète bien entendu le danger d'inflammation que peut représenter un combustible liquide au repos des opérations de transport ou de stockage.

Ce danger est en relation directe avec la volatilité du combustible c'est-à-dire sa tendance à donner des vapeurs. Cette volatilité peut être caractérisée par la tension de vapeur aux diverses températures.

❑ Liquide en mouvement :gouttelettes

Dans un liquide pulvérisé sous forme de fines gouttelettes, à une température inférieure au point d'éclair, si l'énergie apportée est suffisante pour transformer en vapeur quelques gouttelettes il peut y avoir:

- Allumage.
- Propagation de la flamme de proche en proche.
- “explosion”.

Le point d'éclair ne reflète donc que le risque d'inflammation d'un liquide au repos.

b. Point d'inflammation :

C'est la température à laquelle les vapeurs sont émises en quantité suffisante pour alimenter la combustion. Il y a non seulement allumage, mais continuation de la combustion. Le renvoi par la flamme d'une partie de son rayonnement vers la surface du liquide est suffisante

pour entretenir un régime de combustion avec flamme jusqu'à épuisement du combustible.

Le point d'inflammation se situe, de quelques degrés à quelques dizaines de degrés, au-dessus du point d'éclair. Il a peu d'utilisation pratique.

C- Combustible solide:

Conditions nécessaires à la combustion : Pour brûler les combustibles solides doivent :

- Subir une oxydation de surface (cas des métaux).
- Emettre des vapeurs combustibles ou gaz de distillation par pyrolyse.

La pyrolyse est la décomposition chimique irréversible d'un matériau produite par une élévation de température sans réaction avec l'oxygène.

La rapidité de la combustion va dépendre :

- De la capacité calorifique.
- De l'état plus ou moins divisé du solide (solide massif, particules, poussières).
- De la température.
- Du degré d'humidité.
- De l'imprégnation éventuelle du solide par un liquide à bas point d'éclair.

b. Poussières :

L'inflammation d'un nuage de poussières nécessite les éléments suivants :

- Présence d'un solide combustible suffisamment divisé (granulométrie $< 200 \mu\text{m}$).
- Présence d'un comburant.
- Source d'énergie suffisante.
- Concentration suffisantes.

- **Différents types de combustion :** On parle assez couramment:

- **D'incendie :** Le gaz brûle au dessus d'un liquide ou d'un solide
- **D'explosion :** l'ensemble du mélange gazeux brûle.

I.4.2.3 Source d'inflammation :

Une énergie suffisante est nécessaire pour permettre l'allumage d'un nuage explosible.

Les paramètres caractéristiques des phénomènes d'inflammation sont :

- ☐ Température d'auto-inflammation, annotée TAI.
- ☐ Énergie minimale d'inflammation, annotée EMI.

Alors que la TAI des poussières est généralement comprise entre 300 et 700°C ; l'EMI varie de 5

mJ à plus de 1 J selon les poussières.

Lorsqu'un mélange inflammable n'est pas porté à sa température d'auto inflammation, une énergie d'activation est nécessaire pour démarrer la combustion.

- Les sources d'inflammation: Energie minimale d'allumage:

Lorsque les vapeurs de combustibles ou les poussières et l'air sont dans des proportions correspondant à la zone d'inflammabilité, un apport d'énergie, même très faible, déclenche le mécanisme de combustible. Tableau suivant représente Energie minimale d'allumage de quelques gaz :

Tableau I.2 Energie minimale d'allumage de quelques gaz

Gaz	Energie minimale d'inflammation (mJ)
Acétylène	0.017
Ethylène	0.07
Hydrogène	0.017
Sulfure de carbone	0.009
Oxyde d'éthylène	0.1

I.4.3 Le phénomène d'explosion :

Généralités :

Le phénomène d'explosion correspond en fait à une brutale libération d'énergie. La violence de l'explosion est essentiellement fonction de la qualité d'énergie libérée et de la cinétique du processus de libération. L'énergie libérée peut avoir différentes origines :

I.4.3.1 Explosion due à une réaction chimique:

Réaction entre deux composés chimiques réactifs entre eux avec une vitesse de réaction très rapide et une énergie libérée très importante. Le système déclenche lui-même le processus d'explosion, les causes de la réaction peuvent être:

- ✓ Mise en présence accidentelle.
- ✓ Présence d'impuretés dans une cuve de stockage, une canalisation...

I.4.3.2 Explosion due à une cause physique:

Le système reçoit un apport d'énergie de l'extérieur. Le système est stable ou stabilisé dans les conditions normales d'utilisation • L'instabilité peut être due à un point chaud, un choc...

I.4.3.3 Explosion nucléaire:

La désintégration de noyaux atomiques lourds en éléments plus légers a lieu en libérant une énergie considérable.

I.4.3.4 Conditions d'une explosion : (l'hexagone de l'explosion)

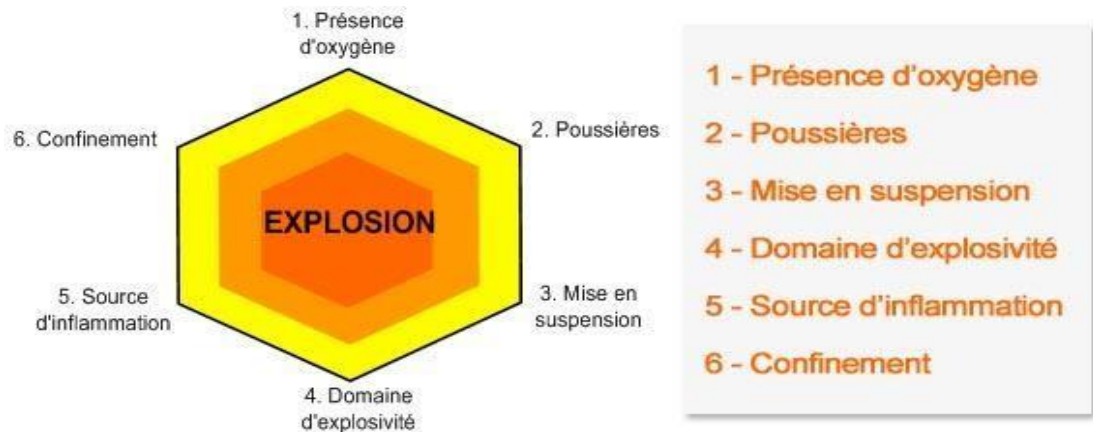


Figure. I.3. l'hexagone de l'explosion

a- Présence d'oxygène:

- ❑ Lorsque la teneur en oxygène dans le nuage < à une valeur critique, l'explosion ne peut pas se développer. La teneur seuil en oxygène est appelée **CLO** (Concentration Limite en Oxygène). La CLO est de l'ordre de 10% pour la plupart des poussières organiques.
- ❑ Il est possible d'influer sur la CLO par inertage. En effet l'ajout d'un gaz inerte avec l'air abaisse la teneur en oxygène de l'atmosphère, et de ce fait rend la combustion du mélange air -poussière impossible. Les gaz inertes les plus employés sont l'azote (N_2), le dioxyde de carbone (CO_2) et la vapeur d'eau.

b- Poussières combustibles:

- ❑ Poussières = Particules de diamètre < 0,5 mm [500 μm], qui dans l'atmosphère reste en suspension un certain temps en se déposant sous l'effet de leur propre poids.
- ❑ **Pour exploser, les poussières doivent être des poussières combustibles**, c'est-à-dire qu'elles puissent réagir avec l'oxygène de l'air en dégageant de la chaleur, exemples : le bois, le charbon, les matières plastiques et des métaux sous forme fine (laine d'acier, poussières d'aluminium). (**Exemple de poussière incombustible : le sable**)

La puissance de combustion développée par la poussière dépend de:

- Sa granulométrie (la vitesse de combustion augmente si D diamètre de particule diminue).
- Son humidité H (la vitesse de combustion augmente si H diminue).

c- Mise en suspension (gaz, poussières, aérosols..):

- ❑ Pour que l'explosion puisse se développer : il faut que les particules de poussières doivent être maintenues en suspension un temps suffisant.
- ❑ La "stabilité d'un nuage" : est sa capacité à rester en suspension dans l'air. Elle est caractérisée par le "pouvoir de re-suspension".
 - Pouvoir de re-suspension augmente : Le nuage reste en suspension ;
 - Pouvoir de re-suspension diminue : Le nuage sédimente (forme dépôt).
- ❑ Le pouvoir de re-suspension dépend de:
 - La densité du nuage de poussières (concentration de la poussière dans l'air);
 - La masse, la forme et la taille des particules.
 - Des conditions ambiantes (humidité relative et température).

Domaine d'explosivité - Concentration de poussière:

- ❑ Pour qu'un nuage de poussières soit un "nuage explosible", la concentration de poussières dans l'air doit être située entre 2 valeurs:
 - La LIE (Limite [C] Inférieure d' Explosion).
 - La LSE (limite [C] Supérieure d'Explosion).

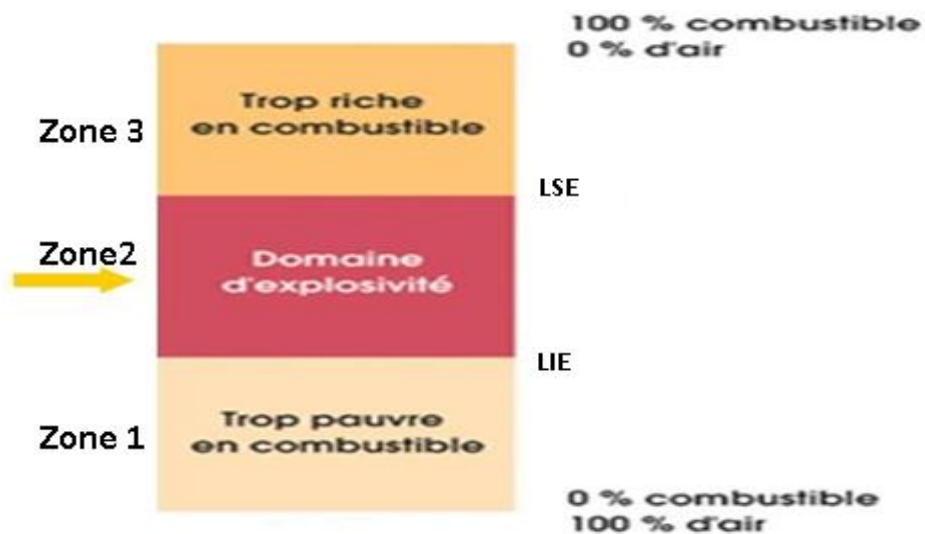


Figure. I.4 Domaine d'explosivité

Zone 1 : Mélange air-combustible gazeux trop pauvre en gaz, la combustion est impossible :

- L'air (21 % O₂, 79 % N₂) encombre le milieu réactionnel et gêne les rencontres entre molécules d'oxygène et de combustible.
- La quantité de chaleur dégagée par la réaction amorcée en un point est dissipée dans volume inerte entourant ce point. La température atteinte n'est pas suffisante pour que les

molécules des couches voisines puissent réagir entre elles. Les combustions 'arrête.

Zone 2 : Mélange air-combustible gazeux en proportions convenables, la combustion peut se développer. Le "domaine d'explosivité" se situe entre ces deux valeurs de concentration.

- ✓ **LSE (Limite supérieure d'explosivité)** : Concentration maximale au-dessous de laquelle le mélange peut être enflammé, ou encore, c'est la limite au-dessus de laquelle l'onde explosive ne se propage pas, le gaz et les vapeurs brûlent sans exploser.
- ✓ **LIE (Limite inférieure d'explosivité)** : Concentration minimale au-dessus de laquelle le mélange peut être enflammé.

Zone 3 : Mélange air-combustible trop riche en gaz, la combustion est impossible :

- Le combustible encombre le milieu réactionnel.
- La chaleur dégagée est insuffisante pour propager la combustion.

- Exemple de limites d'explosivités:

Un mélange composé de Méthane et d'air, comprenant au minimum 5% de Méthane et au maximum 14% de Méthane, est susceptible de propager la flamme 5% correspond à la Limite inférieure d'inflammabilité L.I.I du Méthane dans l'air ou la Limite inférieure d'explosivité LIE.

- 14% correspond à la Limite supérieure d'inflammabilité L.S.I ou Limite supérieure d'explosivité LSE du Méthane dans l'air. Le tableau suivant représente les limites d'inflammabilité de quelques gaz [1].

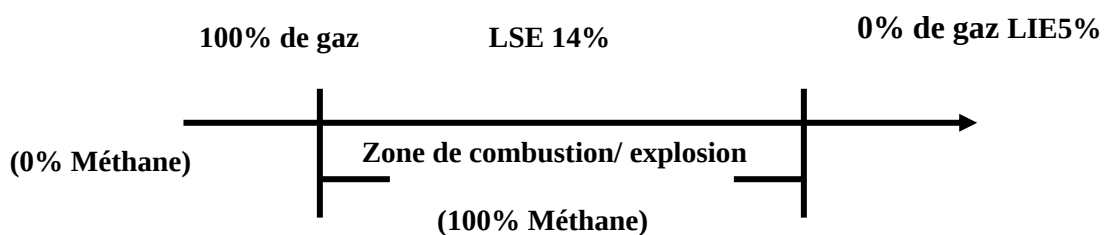


Figure. I.5 exemple de limites explosivités

Tableau I.3. Limites d'inflammabilités (en % vol. dans l'air à 20°C et l'atm.)

	L.I.E	L.S.E
Ammoniac	16	25
Oxyde de carbone CO	12.5	74
Hydrogène H ₂	4	75
Hydrogène sulfuré H ₂ S	4.3	45
Acétylène C ₂ H ₂	3.3	80
Ethanol	3.3	19
Méthane CH ₄	-	14
Propane C ₃ H ₈	2.2	9.5
n-Butane nC ₄ H ₁₀	1.9	8.5
Vapeurs d'essence auto	1.5	8

I.5 Conclusion

Dans ce chapitre et après avoir pris connaissance de l'importance de la sécurité dans les entreprises , il était nécessaire d'installer des alarmes d'incendie des gaz toxiques dans chaque entreprise pour préserver la vie des personnes et des biens.

Dans le chapitre suivant, nous discuterons sur de la définition des différents types des capteurs des gazes qui nous permettent de réaliser ce projet, qui est la conception d'un dispositif d'alarme spécial. Détection des gazes toxiques et des gazes provoquant un incendie et une explosion.

CHAPITRE II

Généralités sur les capteurs de différents types de gazes

II.1 Introduction :

Le détecteur de gaz est un appareil fait pour donner une alarme lorsque l'atmosphère devient explosible (présence d'un gaz combustible) ou toxique (présence d'un gaz dangereux pour la santé, ou absence d'oxygène). Le détecteur de gaz combustible, combustible gas detector en anglais, est aussi appelé « explosimètre » en français.

Pour définir un seuil de danger avec précision, l'appareil doit réaliser une mesure : il mesure la concentration du gaz présent, ou la plupart du temps sa pression partielle. Ce type d'appareil est donc utilisé en surveillance de l'atmosphère, et non en contrôle de processus, ce qui le différencie des analyseurs qui sont plus précis et donc plus coûteux. Son usage est le plus souvent de nature industrielle ; des tentatives existent cependant pour le faire entrer dans les usages domestiques (détecteur de fuites de méthane).

L'utilisation des microprocesseurs permet d'élargir son domaine à l'hygiène industrielle et même au contrôle de pollution ; il devient possible de mémoriser les mesures, de calculer des moyennes dans le temps... Cependant ces mesures, bien souvent réglementaires, exigent des précisions ou des règles spécifiques de mesurage qui ne peuvent pas toujours être obtenues ou utilisées avec ce type d'appareil. Méthodes et spécifications sont en cours d'élaboration au niveau des Communautés européenne et internationale (travaux du CEN – Comité européen de normalisation – et de l'ISO – Organisation internationale de normalisation).

Il convient donc d'être prudent dans le choix de tels appareils pour des mesures autres que de simples indications de présence ou d'absence de gaz [4].

II.2 Définition sur les capteurs:

Par définition, un capteur est un dispositif permettant l'acquisition d'une grandeur physique, le mesurande, et transformant celle-ci en une autre grandeur, image de la précédente [5]. On peut définir un capteur de façon plus générique : « Est appelé capteur, tout dispositif qui produit une sortie utilisable, en réponse à un mesurande spécifique ». Un capteur peut alors se schématiser par la Figure (II.1).

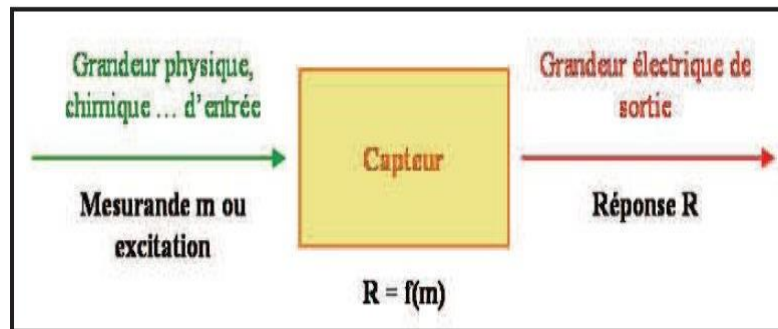


Figure. II .1 : Principe général d'un capteur

II.3 Classification des capteurs

Les capteurs sont séparés conventionnellement en deux catégories:

a. Capteur actifs :

- Les capteurs actifs fonctionnant comme des générateurs de courant ou tension en convertissant la forme d'énergie propre au mesurande en énergie électrique.

b. Capteur passifs

- Les capteurs passifs qui sont des impédances (très souvent des résistances) dont l'un des paramètres déterminants est sensible au mesurande.

Cette distinction entre capteur actif et passif traduit une différence fondamentale dans la nature même des phénomènes physiques mis en jeu [6].

II.4 Les capteurs de gaz

Pour les capteurs de gaz, le mesurande est de nature chimique (molécules gazeuses à une certaine concentration) et le signal de sortie est de nature électrique. D'une manière générale, un capteur se schématise par deux éléments principaux : l'élément sensible et le transducteur. L'élément sensible constitue le cœur du capteur, puisque la réaction d'adsorption du gaz à détecter se passe sur sa surface. La conversion du résultat de la réaction entre le gaz et l'élément sensible en un signal facilement mesurable (signal électrique ou optique) est réalisée par le transducteur. L'élément sensible et le transducteur peuvent être confondus, comme dans les capteurs à base d'oxydes métalliques (MOX). Le capteur de gaz doit avoir un double rôle pour assurer sa fonction :

- Un rôle d'identification du mesurande. Il doit détecter et isoler l'action d'un gaz quand celui-ci est présent dans un mélange avec des gaz interférents. Dans ce cas, on dit que le capteur est sélectif ;
- Un rôle de quantification de la teneur en gaz. Il doit mesurer les concentrations en

espèces gazeuses à étudier et fournir en sortie un signal fonction de ces concentrations.

II.4.1 Les caractéristiques métrologiques des capteurs de gaz

L'évaluation des performances d'un capteur de gaz repose sur différents critères. Trois paramètres génèrent la règle des trois S et sont les caractéristiques prépondérantes d'un capteur: la sensibilité, la stabilité (ou reproductibilité) et la sélectivité. Mais il existe d'autres facteurs qu'il faut également prendre en comptes tels que la réversibilité ou le temps de réponse [5].

II.4.1.1 La sensibilité

La sensibilité S représente le quotient de la variation de la réponse électrique du capteur par la variation de la concentration du gaz.

Cependant, on utilise parfois d'autres paramètres pour traduire la sensibilité du capteur (Tableau. II.1) [5]. Quelle que soit la définition utilisée, la valeur du paramètre est maximale quand une faible variation de concentration génère une grande fluctuation du signal de sortie. Il est à noter que le matériau sensible et les conditions opératoires influencent ce critère.

Tableau. II.1 : Différentes définitions de la sensibilité du capteur

Type	Mesure
Différence	$R_s - R_0$
Relative	-
Fractionnelle	-
Logarithmique	-

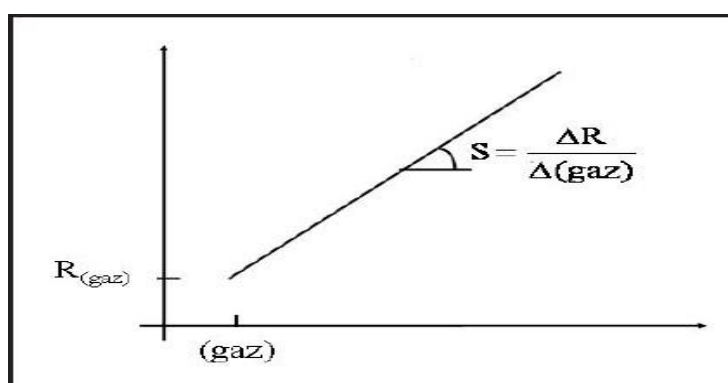


Figure. II.2 : Schématisation de la sensibilité

II.4.1.2 La stabilité (ou reproductibilité)

La reproductibilité (ou stabilité) traduit l'aptitude du capteur à fournir, pour une exposition à un même environnement gazeux, un comportement identique au cours du temps (Figure II.3).

Dans le cas d'un capteur chimique, ce paramètre s'avère difficile à satisfaire en raison de «l'empoisonnement» possible et du vieillissement inévitable.

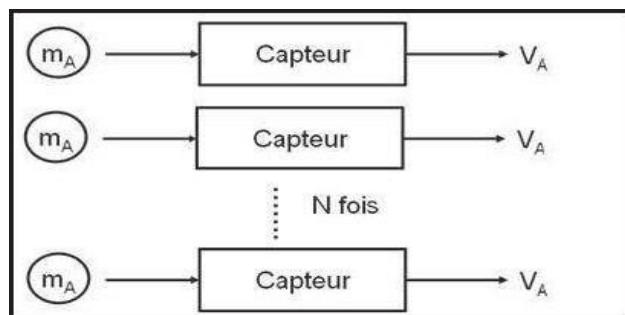


Figure. II.3 : Schématisation de la stabilité

II.4.1.3 La sélectivité

La sélectivité définit l'aptitude d'un capteur à n'être sensible qu'à une seule espèce gazeuse parmi plusieurs (Figure II.4). Ce paramètre est particulièrement délicat à obtenir compte tenu de la nature des Processus physico-chimiques intervenant dans la majorité des capteurs de gaz qui ne permettent pas une sélectivité complète. De plus, les capteurs sont souvent utilisés pour détecter un gaz parmi plusieurs gaz.

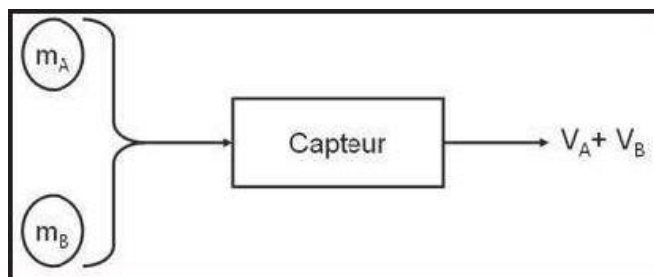


Figure. II.4 : Schématisation de la sélectivité

II.4.1.4 La réversibilité

La réversibilité caractérise le fait qu'un capteur fournisse la même indication pour une même valeur de la grandeur mesurée selon une variation croissante continue ou par variation décroissante continue de la grandeur. En cas d'indications différentes, on parle d'erreurs d'hystérésis, qu'on exprime aussi en pourcentage de l'étendue de mesure. En résumé, c'est « la faculté d'un capteur à revenir à son état initial dès que cesse l'action du gaz lors d'un créneau de concentration ». Ce paramètre influe sur la reproductibilité des mesures.

II.4.1.5 Le temps de réponse

Le temps de réponse représente le temps nécessaire pour que la réponse du capteur atteigne 90% de son amplitude maximale lorsqu'il est exposé au gaz (figure II.5). Ce temps doit être le

plus court possible afin d'avoir un fonctionnement en temps réel, utile pour la détection de gaz dangereux. En revanche, il dépend de plusieurs paramètres tels que la température de fonctionnement du capteur et la cinétique de réponse au gaz.

Le temps de paralysie est le temps nécessaire au capteur pour retrouver ses paramètres caractéristiques originaux après avoir été soumis à des concentrations en gaz en dehors des limites d'utilisation habituelles. Ce temps doit être très court pour permettre au capteur de reprendre des mesures après avoir subi des pics de concentrations anormalement élevées.

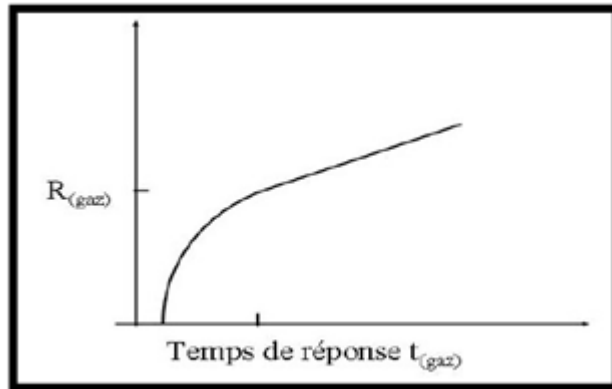


Figure.II.5 : Schématisation du temps de réponse

II.4.1.6 La température de fonctionnement

Le processus d'adsorption et de désorption des molécules de gaz à la surface du capteur peut dépendre de sa température de fonctionnement, en particulier pour les capteurs à base d'oxydes métalliques (MOX). Ainsi, afin de garantir une bonne réversibilité des phénomènes d'adsorption et de désorption, ces capteurs fonctionnent à température élevée, typiquement entre 300 °C et 500 °C, la réduction de la température de fonctionnement entraînant une diminution de la puissance électrique consommée [5].

II.4.2 Les différents types des capteurs MQ :

II.4.2.1 Capteur MQ-2 smoke:

Module basé sur le capteur de gaz MQ2 permettant de détecter le GPL, le butane, le propane, le méthane, l'alcool, l'hydrogène et la fumée. Il est caractérisé par sa haute sensibilité et son temps de réponse rapide. La sensibilité est réglable par potentiomètre. Ce module se raccorde sur une entrée analogique d'une carte compatible Arduino, comme on peut brancher sa sortie digitale directement à une entrée/sortie digitale de la carte Arduino [7].

Caractéristiques électriques de capteur MQ2:

- Entrée 5V.

- Sortie analogique
- Sortie digitale TTL
- Puissance : 800mw en chauffe.
- Détecte : la fumée, le propane, le butane, le méthane, l'alcool, l'hydrogène [7].



Figure.II.6 Capteur de gaz MQ-2 smoke

II.4.2.2 Capteur MQ-3 Alcool (éthanol):

Le **MQ-3 Capteur de Gaz Alcool** est un semi-conducteur capteur de gaz qui détecte la présence du gaz Alcool à des concentrations de 0.05 mg/L à 10 mg/L, une gamme appropriée pour faire un alcootest. Le simple interface de tension analogique du capteur ne nécessite qu'une seule broche d'entrée analogique de votre microcontrôleur.

Le capteur de gaz Alcool MQ-3 détecte la concentration de alcool dans l'air et sorties le résultat comme une tension analogique. La concentration de détection gamme de 0.05 mg/L a 10 mg/L, une gamme appropriée pour faire un alcootest. Le capteur peut fonctionner à des températures allant de -10 à 50 ° C et consomme moins de 150 mA à 5 V [8].



Figure. II.7: Capteur MQ-3 Alcool (éthanol)

II.4.2.3 Capteur MQ-4 de Méthane:

Le MQ-4 Capteur de Gaz Méthane est un semi-conducteur capteur de gaz qui détecte la présence du gaz méthane (CNG) à des concentrations de 200 ppm à 10000 ppm, une gamme appropriée de détection des fuites de gaz. Le simple interface de tension analogique du capteur ne nécessite qu'une seule broche d'entrée analogique de votre microcontrôleur. Le capteur de gaz méthane MQ-4 détecte la concentration de méthane dans l'air et sorties le résultat comme une tension analogique. La concentration de détection gamme de 200 ppm à 10000 ppm est appropriée pour la détection des fuites. Par exemple, le capteur peut détecter si quelqu'un a laissé une cuisinière à gaz fonctionne, mais pas allumé. Le capteur peut fonctionner à des températures allant de -10 à 50 ° C et consomme moins de 150 mA à 5 V[9].



Figure.II.8: Capteur MQ-4 méthane

II.4.2.4 Capteur de gaz (MQ5):

En général, les capteurs à semi-conducteurs sont utilisés pour détecter le gaz GPL. Le capteur semi-conducteur MQ5 est utilisé dans ce système. Le matériau sensible du capteur de gaz MQ-5 est le SnO₂, qui a une conductivité inférieure dans l'air propre. Lorsque le gaz combustible cible existe. La conductivité du capteur augmente avec l'augmentation de la concentration de gaz. Le capteur de gaz MQ-5 a une sensibilité élevée au propane, au butane et au GPL, ainsi qu'une réponse au gaz naturel. Le capteur pourrait être utilisé pour détecter différents gaz combustibles, en particulier le méthane; c'est à faible coût et adapté à différentes applications. Le MQ-5 peut détecter des concentrations de gaz de 200 à 10000 ppm. La sortie du capteur est une résistance analogique [10].



Figure.II.9: Capteur de gaz (MQ5):

II.4.2.5. Capteur MQ-7 Carbonmonoxide:

Le MQ7, capteur de gaz monoxyde de carbone, est un semi-conducteur capteur de gaz qui détecte la présence du gaz monoxyde de carbone à des concentrations de 10 ppm à 10000 ppm dans l'air et fait sortir le résultat comme une tension analogique. Le capteur est composé d'un micro-tube en céramique AL_2O_3 , d'une couche sensible au dioxyde d'étain (SnO_2). Le capteur est enfermé dans deux couches de maillage fin en acier inoxydable appelé réseau anti-explosion. Cela garantit que l'élément chauffant à l'intérieur du capteur ne provoquera pas d'explosion, car nous détectons des gaz inflammables. Le capteur peut fonctionner à des températures comprises entre -10 et 50 °C et consomme moins de 150 mA à 5 V [11].



Figure.II.10: Capteur MQ-7 Carbonmonoxide.

II.4.2.6 Capteur MQ-8 Hydrogène :

Description

- Capteur de gaz d'hydrogène simple à utiliser.
- Utilisé dans des équipements de détection des fuites de gaz dans des applications individuelles et industrielles.
- Préviens les émanations d'alcool, les vapeurs de cuisson, de GPL et de monoxyde de carbone
- La sensibilité peut être ajustée au moyen d'un potentiomètre [12].

Spécifications

- Alimentation : 5 V.
- Type d'interface : analogique.
- Définition des broches : 1-Sortie 2-GND (masse) 3-VCC.
- Haute sensibilité à l'hydrogène (H₂).
- Stable et durable.



Figure.II.11 : Capteur MQ-8hydrogen

II.4.2.7 Capteur de gaz MQ-135:

Le capteur de gaz MQ-135 (Waveshare 2015) a une sensibilité élevée pour détecter différents types de gaz. Ils sont utilisés dans les équipements de contrôle de la qualité de l'air pour les bâtiments / bureaux, conviennent à la détection de NH₃, NO_x, alcool, benzène, fumée, CO₂, etc. Le matériau délicat utilisé dans le capteur de gaz MQ-135 est le dioxyde d'étain

(SnO_2), qui a une conductivité plus faible dans un milieu d'air propre. Au moment où le gaz cible est détecté, la conductivité du capteur augmente et augmente proportionnellement à l'augmentation du gaz. Le capteur de gaz MQ-135 a été choisi pour une plage de détection haute performance (c'est-à-dire) 10 ppm-300 ppm NH_3 10 ppm-1000 ppm de benzène, 10 ppm-300 ppm d'alcool qui a son temps de réponse rapide et est un appareil de faible puissance ($<5 \text{ V}$) [13].

Ce capteur a une valeur de résistance différente dans différentes concentrations. L'image du capteur de gaz MQ-135 est illustrée à la **Figure.II.12**.



Figure.II.12: Capteur de gaz MQ-135

II.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la définition sur les capteurs et leur classification et les Principaux paramètres d'un capteur de gaz.

Aussi pour le circuit de mesure, nous avons présenté les caractéristiques des différents capteurs qui permettent de détecter plusieurs types de gaz.

Dans le prochain chapitre on fait la Conception et la réalisation du système de mesure et de détection des gazes.

CHAPITRE III

Conception et réalisation du système de mesure et de détection

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, on présentera la partie réalisation et conception de notre travail «Conception et réalisation du système de mesure et de détection de gas ».

Après avoir exposé, dans le chapitre précédent, une description pour les capteurs qui nous allons utiliser, on décrit le module commande Arduino et on va procéder à l'application expérimentale qui contient le câblage de chaque dispositif avec l'arduino et on fait la simulation à l'aide du programme Proteus.

III.2 Schéma bloc du système réalisé :

Le schéma ci-dessous représente le schéma bloc du système réalisé. Le système de détection est centré sur une carte Arduino avec les capteurs de gaz MQ2, MQ3, MQ4, MQ5, MQ7, MQ8, MQ135, le capteur de humidité et température DHT11, une DS (real time clock) , l'afficheur LCD,.

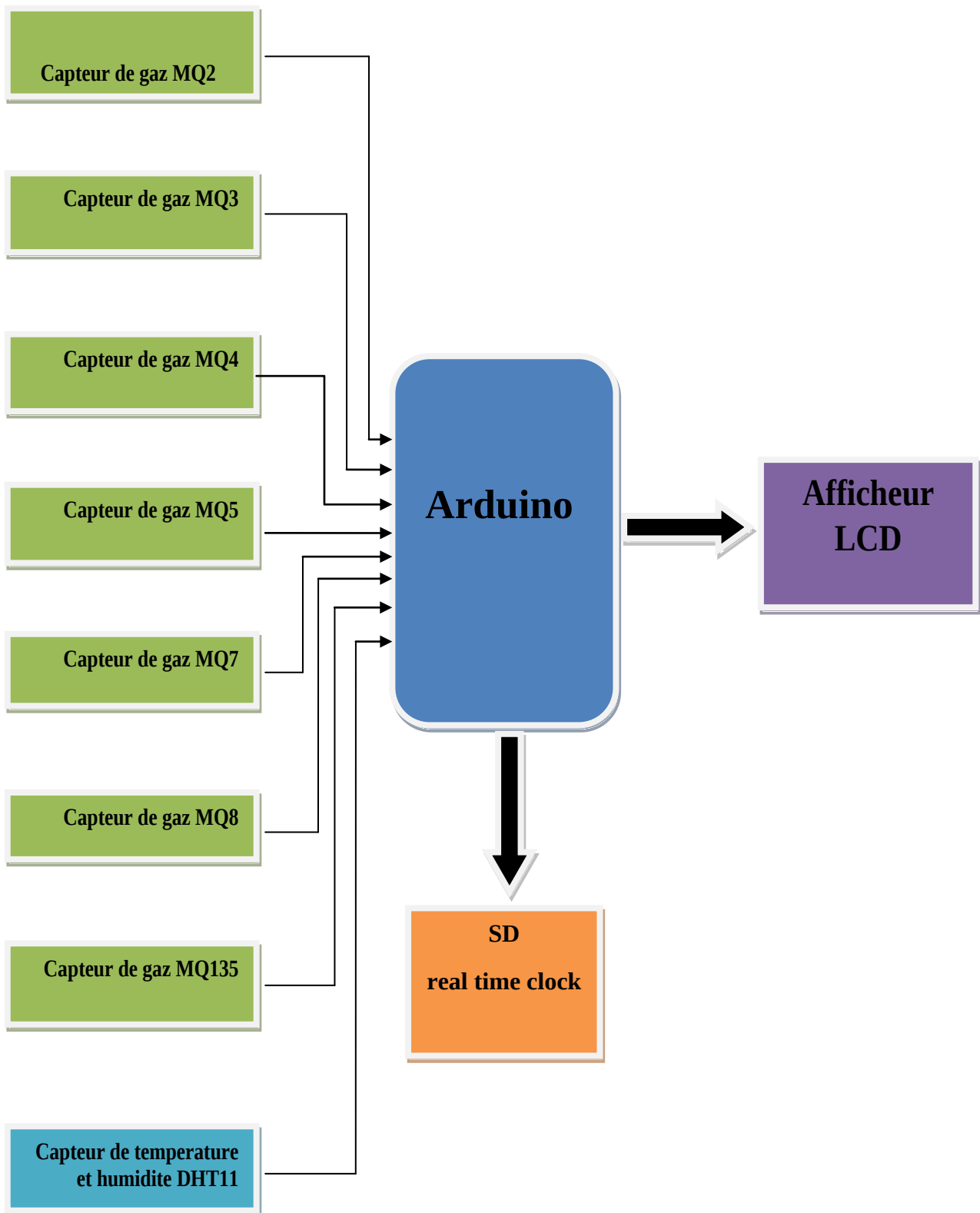


Figure III.1 : Le schéma de bloc de notre carte électronique

III.3 Circuit de commande Arduino :

III .3.1 Introduction :

Les cartes Arduino sont conçues pour réaliser des prototypes et des maquettes de cartes électroniques pour l'informatique embarquée. Ces cartes permettent un accès simple et peu coûteux à l'informatique embarquée. De plus, elles sont entièrement libres de droit, autant sur l'aspect du code source (Open Source) que sur l'aspect matériel (Open Hardware). Ainsi, il est possible de refaire sa propre carte Arduino dans le but de l'améliorer ou d'enlever des fonctionnalités inutiles au projet.

Le langage Arduino se distingue des langages utilisés dans l'industrie de l'informatique embarquée de par sa simplicité. En effet, beaucoup de bibliothèques et de fonctionnalités de base occulte certains aspects de la programmation de logiciel embarquée afin de gagner en simplicité. Cela en fait un langage parfait pour réaliser des prototypes ou des petites applications dans le cadre de hobby [14].

L'Arduino fournit un environnement de développement s'appuyant sur des outils open source comme interface de programmation. L'injection du programme déjà converti par l'environnement sous forme d'un code « HEX » dans la mémoire du microcontrôleur se fait d'une façon très simple par la liaison USB. En outre, des bibliothèques de fonctions "clé en main" sont également fournies pour l'exploitation d'entrées-sorties. Cette carte est basée sur un microcontrôleur ATmega 328 et des composants complémentaires. La carte Arduino contient une mémoire morte de 1 kilo. Elle est dotée de 14 entrées/sorties digitales (dont 6 peuvent être utilisées en tant que sortie PWM), 6 entrées analogiques et un cristal à 16 MHz, une connexion USB et Possède un bouton de remise à zéro et une prise jack d'alimentation[15].

Le système Arduino permet de : [16]

- Contrôler les appareils domestiques.
- Fabriquer votre propre robot.
- Faire un jeu de lumières.
- Communiquer avec l'ordinateur.
- Télécommander un appareil mobile (modélisme) etc...

III .3.2 Présentation générale de module Arduino :

Arduino est une gamme de circuits électroniques open source basés pour la plupart sur un microcontrôleur du fabricant Atmel. Ces circuits intègrent les composants nécessaires pour permettre une utilisation rapide et simple du microcontrôleur. Cette simplification vise à rendre accessibles à tous : la création et la programmation d'objets ou dispositifs interactifs. Ces objets peuvent contenir toutes sortes de capteurs, d'indicateurs lumineux ou d'interrupteurs que l'on souhaite faire intervenir.

Entre autres, les cartes Arduino sont équipées de connecteurs standardisés pour brancher des modules compatibles appelés 'shields'. Ces derniers sont des circuits d'une taille plus ou moins semblable à celle de l'Arduino et qui viennent s'empiler sur ces connecteurs. Ils proposent des extensions matérielles qui permettent d'ajouter des fonctionnalités originales à son projet. En plus de ces connecteurs, les cartes possèdent toutes une connectique USB permettant de programmer facilement le microcontrôleur qu'elles embarquent.

Arduino propose en plus gratuitement un environnement de développement intuitif avec lequel la création de programmes est simple, même pour les débutants. De plus, cet environnement est compatible avec les principaux systèmes d'exploitation : Windows, Mac OS et Linux.

Il existe en plus une grande variété de cartes Arduino qui possède chacune leurs avantages et inconvénients. Il faudra alors adapter son choix en fonction du projet que l'on souhaite réaliser [17].

III .3.3 Description technique :

Comme énoncé précédemment, il existe beaucoup de cartes Arduino différentes, mais elles possèdent toutes des éléments en commun.

III .3.3.1 Alimentation :

Le microcontrôleur présent en général sur les cartes Arduino est alimenté par une tension de 5V. En fonction du modèle de la carte, cette tension peut être fournie soit par une des prises d'alimentation présentes sur la carte, soit par la prise USB utilisée pour la connecter à un ordinateur. La valeur de la tension à fournir sur une des prises d'alimentation doit être comprise entre 7 et 12V mais cette tension n'a pas besoin d'être stabilisée en raison de la présence d'un régulateur de tension sur la carte.

Il peut exister deux prises d'alimentation sur une carte Arduino. La première prise est souvent la plus simple à mettre en place. Il s'agit d'une simple prise jack standard, présente sur les cartes Arduino Uno et Arduino Mega, sur laquelle il suffit de raccorder un bloc d'alimentation fournissant la tension requise pour démarrer sa carte. Cette prise n'est pas présente sur toutes les cartes Arduino, notamment pour les cartes les plus petites pour lesquelles ces prises n'étaient pas vitales.

La seconde prise en revanche est présente sur tous les modèles. Il s'agit d'une broche nommée Vin présente sur un des cotés de la carte. Il suffit alors de raccorder la branche positive de son alimentation à cette broche, comme on le ferait pour une pile, et la branche négative sur une broche GND.

La carte possède également deux broches de tensions stabilisées de 3,3V et de 5V. Ces deux tensions sont généralement utilisées pour alimenter les shields qui viendront s'ajouter sur l'Arduino mais elles peuvent être utilisées pour d'autres circuits.

III.3.3.2 Horloge :

L'horloge détermine la fréquence ou la rapidité à laquelle les instructions seront exécutées par le microcontrôleur. Cette vitesse peut varier d'un microcontrôleur à l'autre et est exprimée en hertz(Hz). Si les PC et Mac peuvent atteindre des fréquences de plusieurs gigahertz, la fréquence est en revanche beaucoup plus faible pour les microcontrôleurs, avec des fréquences de quelques mégahertz seulement. Cette fréquence est déterminée par un oscillateur à quartz ou résonateur céramique. Ces composants électroniques sont les seuls capables de délivrer un signal électrique carré stable (signal alternant rapidement entre deux valeurs hautes et basses) nécessaire au bon fonctionnement du microcontrôleur. Sur les cartes Arduino, l'horloge est généralement cadencée à 16 MHz.

III.3.3.3 Reset :

La reset est une fonction physique permettant au microcontrôleur, comme son nom l'indique, de réinitialiser son état. Un microcontrôleur exécute en effet les instructions contenues dans sa mémoire de manière cyclique et infinie. Il n'est ainsi pas rare, notamment lors de la conception de son circuit et infinie. Il n'est ainsi pas rare, notamment lors de la conception de son circuit, que le programme soit soumis à une erreur bloquant le bon déroulement du programme.

La fonction reset permet alors d'interrompre le programme et de le remettre à zéro. Il est possible d'effectuer cette même opération en coupant et en remettant le courant sur la carte Arduino. Lors de sa mise sous tension, elle commencera toujours par reprendre le programme du début, ce qui équivaut donc à une réinitialisation. Il est toutefois plus aisé d'utiliser cette fonction reset matérialisée sur la carte par un bouton poussoir.

III.3.3.4 Entrées/sorties:

Les entrées et sortie sont les moyens que possède le microcontrôleur pour communiquer avec le monde extérieur. Typiquement, on appelle entrées / sorties les pattes métalliques qui donnent cette forme familière aux puces électroniques. Ces pattes reçoivent ou émettent des signaux logiques qui peuvent alors être interprétés par le microcontrôleur ou d'autres circuits. Les cartes Arduino facilitent l'accès à ces entrées / sorties en les reportant sur le pourtour du circuit. En utilisant des connecteurs femelles standards, d'un pas de 2,54mm, il devient très simple d'ajouter ou de retirer des composants sans devoir forcément passer par une étape de soudure. C'est sur ces connecteurs que se branchent les shields et les différents circuits additionnels employés.

Le nombre de broches peut varier d'un microcontrôleur à l'autre, et même d'une carte Arduino à l'autre et il peut être intéressant d'étudier les différentes cartes avant de choisir celle adaptée à son projet. Généralement, ces broches fonctionnent sous une tension maximale de 5V et ne peuvent recevoir et fournir que 40 mA de courant.

On peut ranger ces broches par catégorie suivant leur fonctionnalité :

Les broches digitales : ces broches fournissent des données digitales sous forme de signaux logiques. Elles ne peuvent donc contenir que deux valeurs, une 0 logique correspondant à une absence de tension et une 1 logique correspondant à une tension de 5V. certaines de ces broches digitales possèdent une seconde fonctionnalité. C'est le cas notamment des broches PWM (pulsed Width Modulation ou modulation de large impulsion) ou de certaines broches de communication. Sur les cartes Arduino, les broches digitales sont généralement nommées par un simple numéro, sauf dans le cas de l'Arduino Nano sur laquelle ce numéro est précédé de la lettre D.

Les broches analogiques : ces broches ne fonctionnent qu'en entrée, c'est-à-dire qu'elles ne servent qu'à la lecture de données. Elles acceptent des tensions comprises entre 0 et 5V. Ces tensions sont ensuite utilisées par un convertisseur analogique/numérique qui s'occupe de

traduire ces valeurs physiques en données numériques sur 10 bits, soit des données comprises entre 0 et 1023. Les broches analogiques sont nommées sur les cartes Arduino par un chiffre précédé de la lettre A.

Les broches d'alimentation : ces broches servent à alimenter des shields ou circuits externes. Elles permettent également d'alimenter la carte Arduino sans passer par la prise jack présente sur certains modèles. Ces broches sont réunies sous l'étiquette POWER.

Les broches de communication : il existe trois ports de communication sur les cartes Arduino : le port série, le port I²C et le port SPI. Ces ports ne disposent pas de broches dédiées à leur fonctionnement. Ils partagent en revanche leur fonctionnalité avec d'autres broches. Les broches partagées sont différentes d'une carte à l'autre et c'est pourquoi il est recommandé de consulter la documentation de chaque carte afin de connaître les numéros des broches correspondant à ces ports.

III.3.3.5 Mémoire:

Les microcontrôleurs ATmega dont sont équipées la plupart des cartes Arduino disposent de trois types de mémoires : la mémoire flash, la SRAM (static Random Access Memory ou mémoire vive statique) et le EEPROM (Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory ou mémoire morte effaçable électriquement et reprogrammable).

La mémoire flash et l'EEPROM sont deux mémoires non volatiles dites mortes, c'est-à-dire qu'elles conservent leurs données même en l'absence de courant électrique. C'est d'ailleurs dans la mémoire flash qu'est contenu le programme qui sera exécuté par le microcontrôleur lors de chaque mise sous tension. Cette mémoire flash contient également un bootloader, ou chargeur d'amorçage, sur quelques octets.

Le bootloader est un programme s'exécutant au démarrage de chaque machine, habituellement pour choisir quel système d'exploitation utiliser.

Dans le cas de l'Arduino, le bootloader présent initialement sur chaque carte permet de simplifier le transfert de programmes sur le microcontrôleur. De manière simple, lors de la mise sous tension de la carte, le bootloader vérifie s'il y a une tentative d'écriture d'un nouveau programme. Si c'est le cas, le programme présent dans la mémoire flash sera remplacé, sinon, le programme présent sur la mémoire flash est démarré. Il est possible de se passer de ce bootloader pour gagner un peu d'espace dans la mémoire mais il sera nécessaire dans ce cas de passer par un programmeur spécifique.

L'EEPROM sert quant à elle à stocker des variables que l'on souhaite conserver d'une mise hors tension à l'autre. Elle peut être utile si l'on souhaite stocker des données globales qui sont susceptibles d'être réutilisées tout au long de la durée de vie de son projet.

Ces deux types de mémoires mortes présentent l'avantage de la conservation de données, mais la technologie employée pour ce genre de mémoire réduit significativement leur durée de vie. On estime ainsi que ces deux mémoires ne peuvent supporter que 100000 écritures. Les zones de la mémoire qui auront dépassé leur espérance de vie deviendront simplement inutilisables. Malheureusement, dans les rares cas de pannes, aucune erreur ne sera relevée et le comportement du programme en cours d'exécution risque d'être aléatoire. La lecture de ces mémoires n'affecte pas leur durée de vie et est donc illimitée [17].

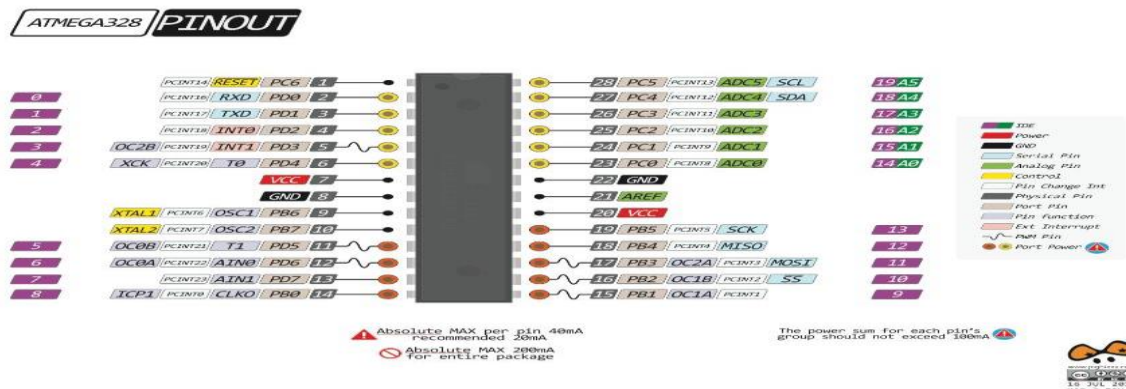


Figure III.2: Schéma explicatif des différentes broches du microcontrôleur ATmega328

III .3.4 Les gammes de la carte Arduino:

- Arduino Uno.
- Arduino Mega.
- Arduino Nano.
- LilyPad Arduino.
- Arduino Leonardo.
- Arduino DEU.
- Arduino Inetl Galileo [18].

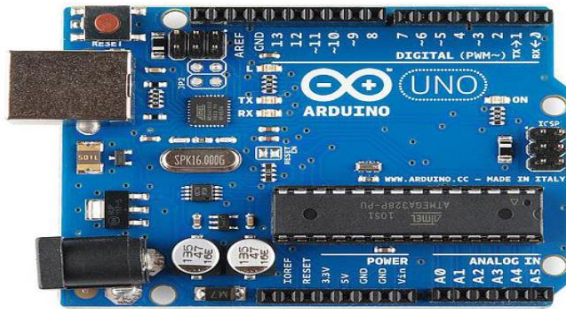


Figure III.3 Arduino UNO



Figure III.4: Arduino MEGA

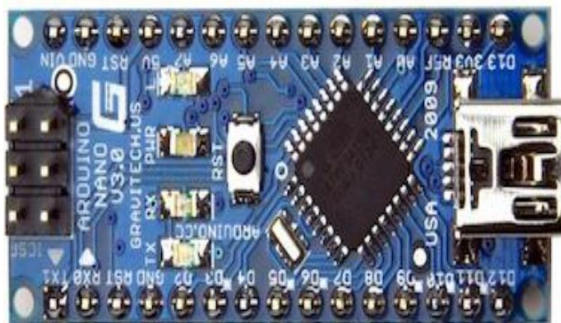


Figure III.6: Arduino NANO



Figure III.5: Arduino LEONARDO

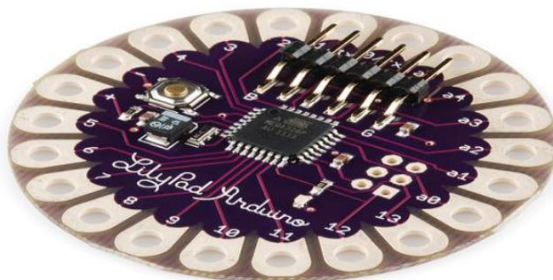


Figure III.8: Arduino LilyPad

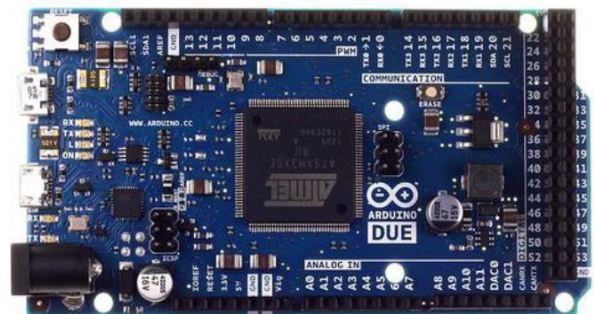


Figure III.7: Arduino DUE



Figure III.9: Intel Galileo

III.3.5 La carte Arduino Uno:

III.3.5.1 Présentation:

La carte Arduino Uno est le produit populaire parmi les cartes Arduino. Parfaite pour débiter la programmation Arduino, elle est constituée de tous les éléments de base pour construire des objets d'une complexité relativement faible.

La carte Arduino Uno, comme son nom l'indique, a été la première à utiliser la version de programmation Arduino 1.0, et elle est devenue le symbole de l'univers Arduino.

La carte Arduino Uno est constituée de 14 broches d'entrées/sorties digitales, dont six sont utilisables en PWM, de 6 broches d'entrées analogiques, d'une connectique USB, d'une connectique d'alimentation, d'un port ICSP et d'un bouton RESET.[19]

La description de toutes les connectiques de la carte Arduino UNO est présentée dans l'image ci-dessous :

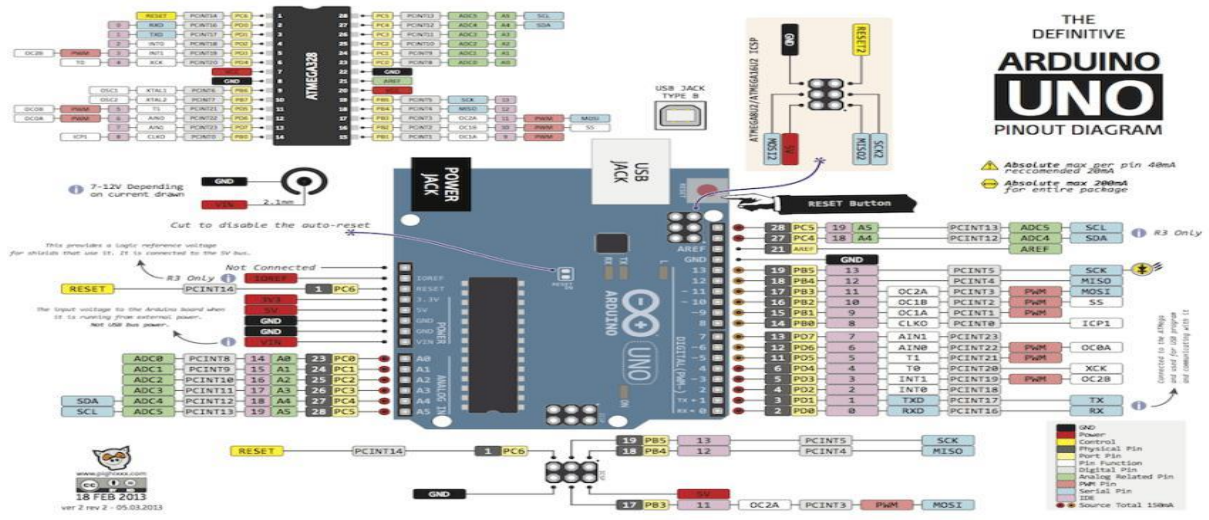


Figure III.10: Description détaillée du brochage de la carte Arduino Uno

L'alimentation de la carte Arduino Uno se fait normalement entre 7V et 12V de courant continu. Cependant, il est possible de faire fonctionner la carte Arduino Uno au maximum entre 6V et 20V. En deca de 6V, la carte n'est plus stable. Au-delà de 20V, le régulateur de tension surchauffe, et peut endommager la carte.

L'alimentation de la carte peut se faire à travers le port USB lorsqu'il est branché sur l'ordinateur, ou via la connectique d'alimentation avec le port jack ou l'entrée d'alimentation. L'alimentation est sélectionnée de manière automatique par la carte Arduino. La source

d'alimentation fournissant le meilleur voltage sera sélectionnée comme source d'alimentation par la carte.

En utilisant la connectique d'alimentation, une batterie ou un chargeur spécifique délivrant un courant continu de 9V convient parfaitement pour alimenter d'autres éléments.

L'entrée d'alimentation (VIN) permet d'utiliser une broche afin d'alimenter votre carte Arduino en électricité. Il est conseillé d'utiliser une alimentation entre 7V et 12V de courant continu pour ne pas endommager la carte.

La broche 5V est une connexion de sortie permettant de récupérer un courant généré par le régulateur de la carte. La broche 3.3V permet aussi de récupérer un courant mais de 3.3V et de 50 mA au maximum.

Les prises de terre ou GND permettent de fermer le circuit.

Les broches d'entrées et sorties pour la carte Arduino Uno peuvent être décrites en deux parties.

Les 14 broches d'entrées et sorties digitales sont utilisables comme leur nom l'indique en entrée ou en sortie en utilisant comme leur nom l'indique en entrée ou en sortie en utilisant les fonctions `pinMode`, `Digital Read`/ ou `Digital Write`. Chaque broche opère à 5V et peut fournir ou recevoir au maximum 40mA. De plus, chaque broche dispose d'une résistance interne de 20 à 50 k Ω , non connectée par défaut.

Parmi ces broches, plusieurs possèdent des rôles plus étendus :

- Broches couplées de liaison série : broches 0 (RX) et 1(TX). Ces broches sont particulières puisque leur rôle peut être étendu à une entrée série (RX) et une sorties séries (TX).
- Broches interrupteurs : broches 2 et 3. Ces broches peuvent jouer le rôle d'interrupteurs sur différents composants en utilisant la fonction `attach Interrupt()`.
- Broches PWM : broches 3, 5, 6, 9, 10 et 11. Ces broches sont utilisées comme sorties PWM en utilisant la fonction `analog Write ()`.
- Broche SPI : 10(SS), 11(MOSI), 12(MISO) et 13(SCK). Ces broches peuvent être utilisées pour gérer une communication SPI.

- Broche Led-13 : sur la carte Arduino UNO, il existe une LED qui est contrôlable directement à travers la broche 13 en utilisant les valeurs HIGH pour allumer et LOW pour éteindre la LED.

La carte Arduino UNO possède également six broches d'entrées analogiques étiquetées de A0 à A5. Elles mesurent l'entrée de courant sur 5V sur une résolution de 10 bits, soit sur une échelle de 0 à 1023.

Sur les broches A4, appelée aussi broche SDA, et A5, appelée broche SCL, il est possible de gérer la communication I²C.

D'un point de vue plus technique, cette carte se base sur le processeur ATmega328, un puissant microcontrôleur disposant d'une mémoire flash qui donne des performances très élevées tout en ayant une basse consommation.

Il dispose d'une mémoire de 32 Ko, et de 2 Ko de SRAM. Il possède également une mémoire de 2 Ko d'EEPROM, programmable en utilisant la librairie EEPROM [17].

III.3.5.2 les Caractéristiques techniques:

TabIII.1: Les caractéristiques de l'Arduino Uno. [20]

Microcontrôleur	ATmega328
Tension de fonctionnement	5v
Tension d'Input (recommandée)	7-12v
Tension d'Input (limites)	6-20v
Pins I /O digitales	14 (dont 6 fournissent une sortie PWM)
Pins d'E / S numériques PWM	6
Pins Input Analogiques	6
Courant DC par pin I/O	20 mA
Courant DC pour la broche 3.3V	50 mA
Mémoire flash	32 Ko (ATmega328P)
	Dont 0,5 Ko utilisé par bootloader
SRAM	2KB(ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Vitesse de l'horloge	16 MHz
LED_BUILTIN	13

Longueur	68.6 mm
Largeur	53.4 mm
Poids	25 g

III.3.5.3 Avantages:

- Pas cher.
- Environnement de programmation clair et simple.
- Multiplateforme : tourne sous Windows, Macintosh et Linux.
- Nombreuses bibliothèques disponibles avec diverses fonctions implémentées.
- Logiciel et matériel open source et extensible.
- Nombreux conseils, tutoriaux et exemples en ligne (forums, site perso etc...)
- Existence de « shield » (boucliers en français) : ce sont des cartes supplémentaires qui se connectent sur le module Arduino pour augmenter les possibilités comme par exemple :

Afficheur graphique couleur, interface et hernet, GPS, etc...

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

On constate sur la toile, que par le biais d'Arduino, de nombreux curieux redécouvrent l'électronique [19].

III.4 Circuit de mesure : les capteurs de gaz

Dans le chapitre précédent, nous avons expliqué les différents types de capteurs de gaz que nous utiliserons dans notre projet et dans ce chapitre en présenter le circuit typique d'un capteur de gaz de type **MQx** et comment fait le câblage avec la carte Arduino.

- Par exemple on fait le câblage de capture Q-2 comme suite connectez les quatre broches du capteur à l'Arduino que vous utilisez en suivant le schéma de câblage suivant : voir figure **III.11**
 - Reliez les Pins Vcc et GND du capteur au 5V et au GND de l'Arduino.
 - Reliez le Pin D0 du capteur à l'entrée analogique A0 de l'Arduino.

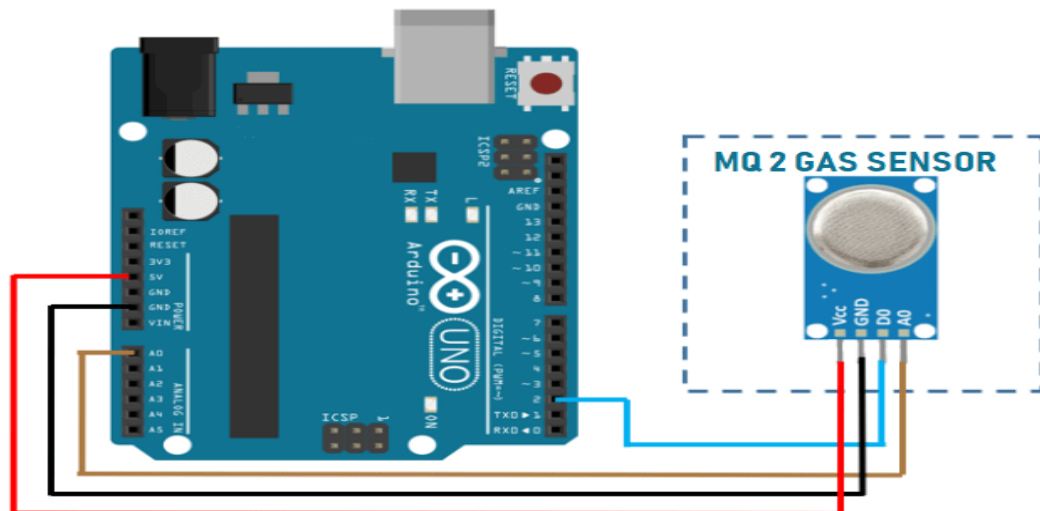


Figure III.11 Schéma de câblage d'un capteur MQx avec Arduino

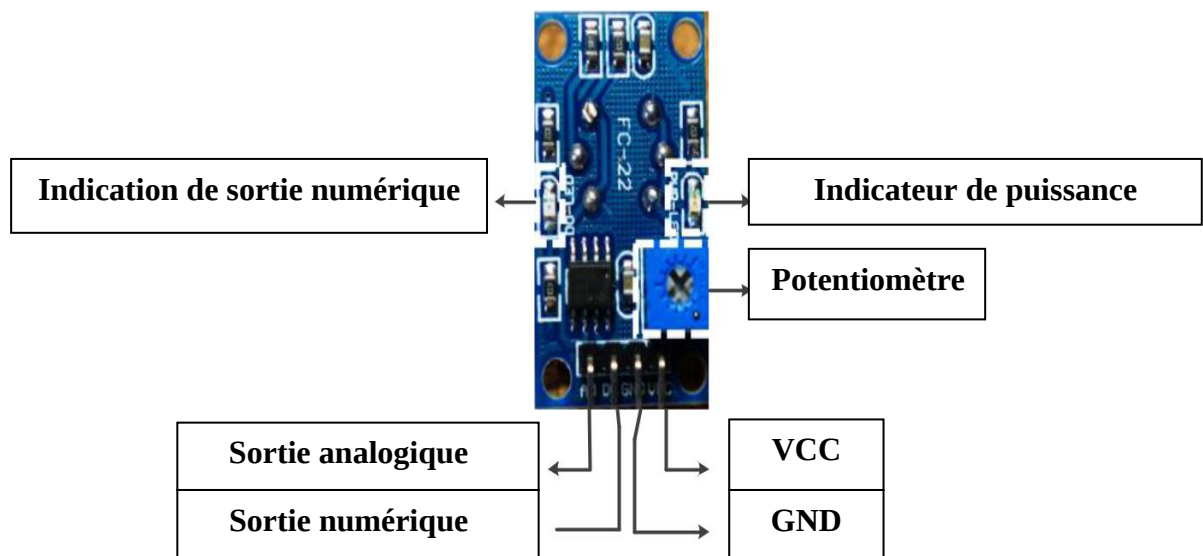


Figure III.12: Circuit typique d'un capteur de gaz

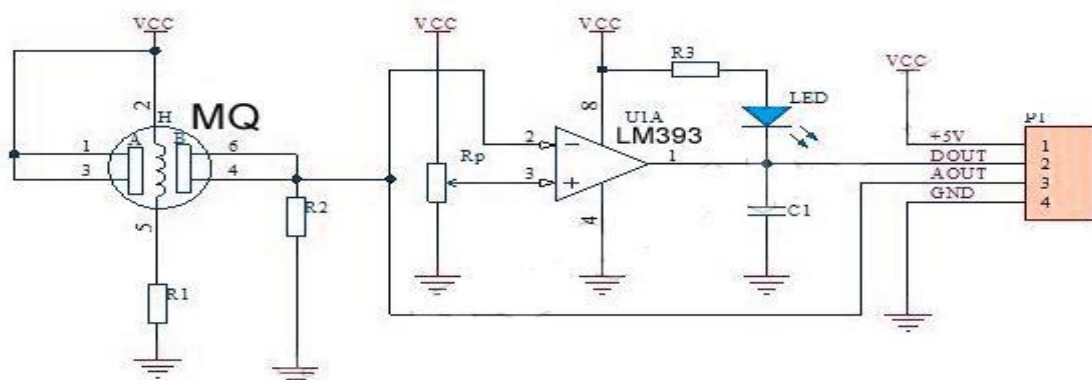


Figure III.13: Schéma électrique des capteurs MQx utilisés.

III.5 L'afficheur LCD (Liquide Crystal Display)

L'afficheur a été utilisé pour affichage de le Pourcentage du gaz, cette information est surtout nécessaire pour une personne qualifiée, qui peut vérifier les mesures issues des différents capteurs sans avoir besoin de brancher un PC à la carte Arduino et utiliser un logiciel spécialisé.

Les écrans LCD ou écrans à cristaux liquides sont de plus en plus courants dans notre environnement, que ce soit pour afficher des informations utiles ou pour servir de sélecteur de commande. Il existe des écrans de tout type allant du simple afficheur de caractères aux écrans géants couleur.

Les écrans les plus couramment utilisés dans des applications Arduino sont les écrans à caractères alphanumérique [17].



Figure III.14: Afficheur LCD 20*4 I2C.

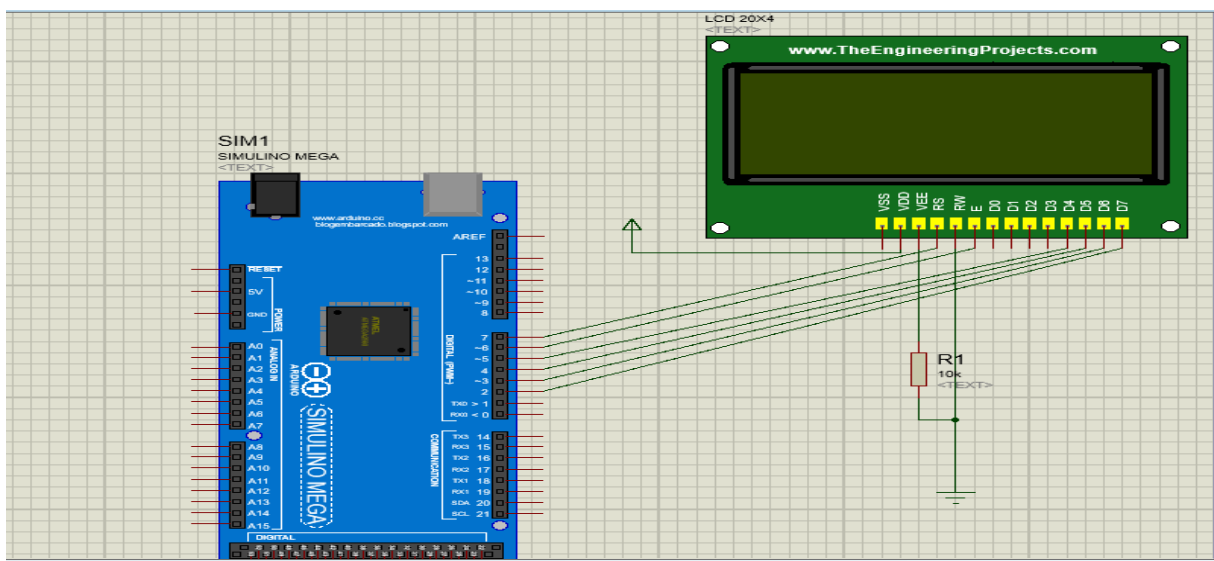


Figure III.15 Schéma de câblage d'un LCD 20x4 avec Arduino

Tab III.2: branchement de l'afficheur LCD

N°	NOM	Rôle
1	VSS	Masse
2	VDD	+5V
3	VO	Réglage du contraste
4	RS	Sélection du registre (commande ou donnée)
5	R/W	Lecture ou écriture
6	E	Entrée de validation
7 à 14	D0 à D7	Bits de données
15	A	Anode rétroéclairage (+5V)
16	K	Cathode rétroéclairage (masse)

Généralement, pour tous les écrans LCD (non graphiques) ce brochage est le même.

Les broches utiles qu'il faudra relier à l'Arduino sont les broches 4, 5 (facultatives), 6 et les données (7 à 14 pouvant être réduite à 8 à 14) en oubliant pas l'alimentation et la broche de réglage du contraste. Pour envoyer des données sur l'écran, Il suffit de:

1. Placer la broche RS à 1 ou 0 selon que l'on veut envoyer une commande.
2. Place sur les 8 broches de données (D0 à D7) la valeur de la donnée à afficher.
3. Faire une impulsion sur E d'au moins 450 ns pour indiquer à l'écran que les données sont prêtes.

La communication parallèle prend beaucoup de broches, il existe un mode "semi-parallèle". Ce dernier se contente de travailler avec seulement les broches de données D4 à D7 (en plus de RS et E) et il faudra mettre les quatre autres (D0 à D3) à la masse. Il libère donc quatre broches. Dans ce mode, on fera donc deux fois le cycle "envoi des données puis impulsion sur E" pour envoyer un octet complet. On utilisera une librairie nommée *Liquide Crystal* qui se chargera de gérer les timings et l'ensemble du protocole.

L'afficheur LCD utilise 6 à 10 broches de données ((D0 à D7) ou (D4 à D7) + RS + E) et deux d'alimentations (+5V et masse). La plupart des écrans possèdent aussi une entrée analogique pour régler le contraste des caractères. On branchera dessus un potentiomètre de 10 k Ω . Les 10 broches de données peuvent être placées sur n'importe quelles entrées/sorties numériques de l'Arduino [21].

III.5.1 Module I²C pour LCD :

Les normes I²C (Inter-Integrated Circuit) et SPI (Serial Peripheral Interface) ont été créées pour fournir un moyen simple de transférer des informations numériques entre des capteurs et des microcontrôleurs.

Les bibliothèques Arduino pour I²C et SPI facilitent l'utilisation de ces deux protocoles. Le choix entre I²C et SPI est en général déterminé par les périphériques que l'on souhaite connecter. Certains appareils offrent les deux standards, mais habituellement un périphérique ou une puce ne supporte qu'une seule des deux normes.

Les deux connexions du bus I²C se nomment SCL (Serial Clock Line) et SDA (Serial Data line). Elles sont disponibles sur une carte standard Arduino en employant la broche analogique 5 pour SCL qui fournit un signal d'horloge, et la broche analogique 4 pour SDA, qui s'occupe du transfert des données [22].

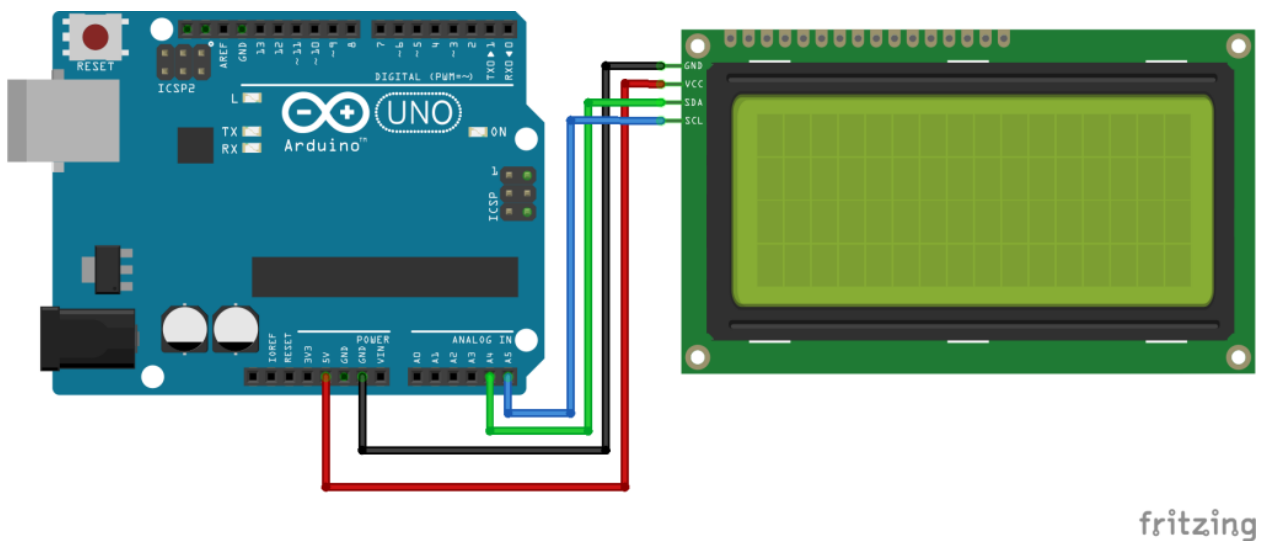


Figure III.16 Schéma de câblage d'un 20*4 I²C avec Arduino

III.6 Horloge DS3231 (RTC = Real Time Clock) :

- Le Module Horloge (ou DS3231) est un module qui mesure l'heure, en fonction ou indépendamment de sa carte Arduino à travers sa cellule.
- La carte Arduino mesure le temps écoulé depuis la mise sous tension du module (en ms).
- Le module est livré prêt à l'emploi, avec batterie (fournie).
- le composant DS3231 est une horloge temps réel (RTC) qui contient le quartz

compensée pour les dérives suivant la température.

- la communication se fait via le bus i2C (broches SDA & SCL).
- les dates et heures sont mémorisées grâce à une pile CR2032.
- les dates et heures sont mémorisées grâce à une pile CR2032 [23].

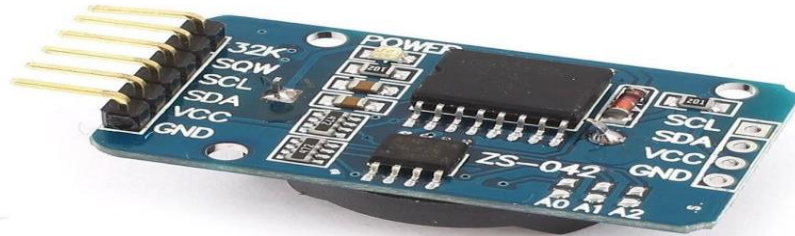


Figure III.17 Horloge DS3231 (RTC = Real Time Clock)

Schéma :

Le module DS3231 utilise la communication I2C pour s'interfacer avec le microcontrôleur.

Nous branchons donc:

- SCL à la broche A4.
- SDA à la broche A5.
- VCC à la broche 5V.
- GND à la broche GND.

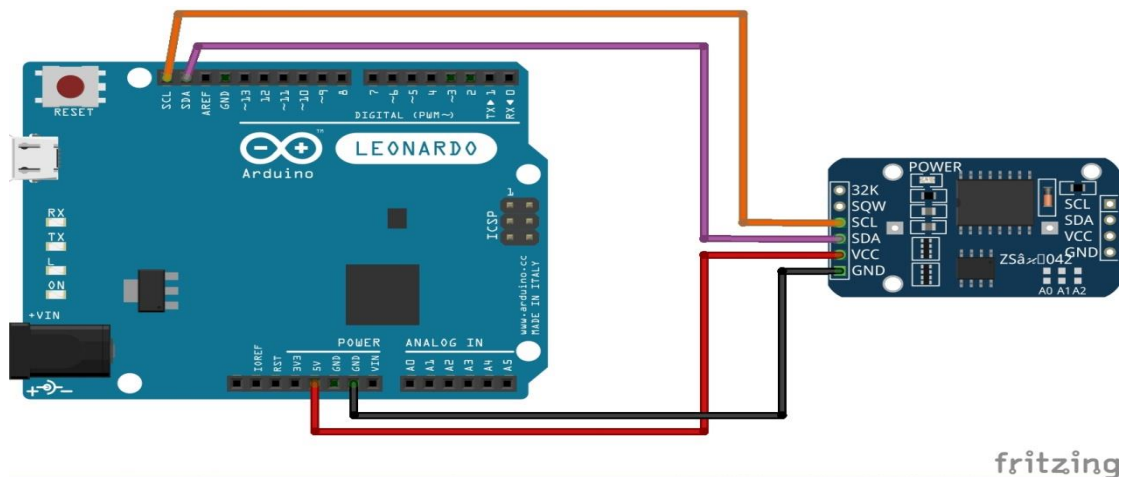


Figure III.18 Schéma de montage du Horloge DS3231 avec l'arduino

III.7 DHT22 Capteur température et du humidité :

Description :

La DHT22 est un capteur à bas coût permettant d'acquérir une température et une humidité ambiante d'une manière numérique. Il utilise un capteur d'humidité capacitif et une

thermistance pour mesurer la température et l'humidité de l'air et la transmettre d'une manière numérique sur un bus série. Les données sont actualisées toutes les 2 secondes.

La connexion de ce capteur est très simple, il suffit de relier la première pin à gauche à l'alimentation (3V à 5V), la pin centrale sur une pin arduino déclarée en entrée (INPUT) et la pin de droite à la masse (GND).

Ce capteur est semblable au DHT11 mais il dispose d'une plus grande précision et plage de mesure, par contre il est un peu plus cher et un peu plus gros.

Ce capteur est vendu avec une résistance de pull-up entre 4,7K Ω et 10K Ω pour relier le pin DATA au VCC.

Caractéristiques:

- Bas coût.
- Alimentation : 3 to 5V alimentation et data.
- Consommation : 2.5mA max pendant la conversion.
- Etendue de mesure humidité : de 0% à 100% avec une précision à 2-5%.
- Etendue de mesure température : de -40°C à 80°C avec une précision $\pm 0.5^\circ\text{C}$.
- Échantillonnage à 0.5 Hz (toutes les 2 secondes).
- Dimension : 27mm x 59mm x 13.5mm (1.05" x 2.32" x 0.53").
- 4 pins, 0.1" spacing [24].

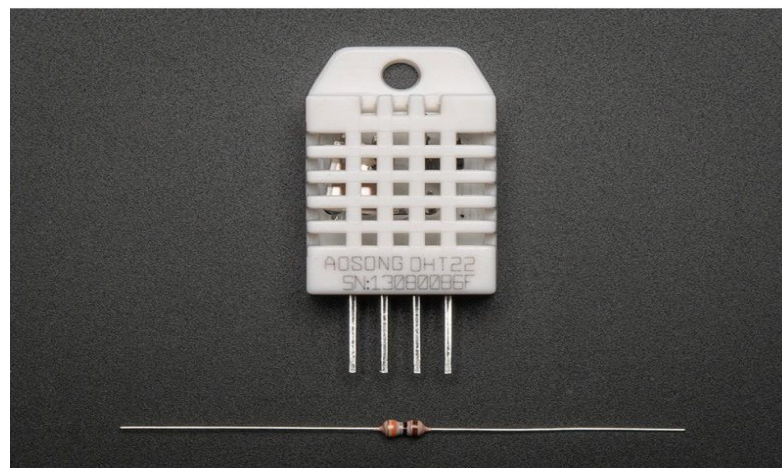


Figure III.19 Capteur de température et humidité DHT22

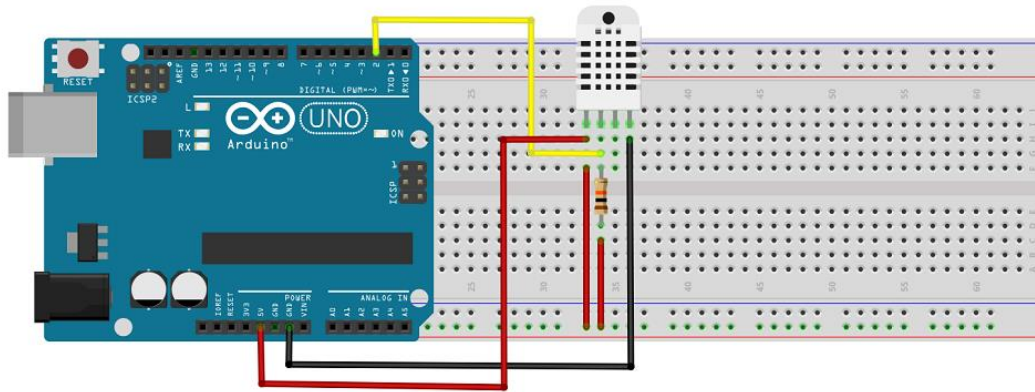


Figure III.20 Schéma de montage du capteur DHT22 avec l'arduino

III.8 Simulation du système :

Avant de passer à la réalisation **pr**atique, nous avons utilisé un CAO (logiciel de Conception Assistée par Ordinateur) : il s'agit d'ISIS- PORTEUS, c'est un CAO pour l'électronique conçu par "Labcenter Electronics" qui permet de dessiner des schémas électroniques, de les simuler et de réaliser le circuit imprimé correspondant. Le CAO électronique « PROTEUS », se compose de nombreux outils regroupés en modules au sein d'une interface unique [25].

Pour notre système, nous avons conçu au premier lieu le montage avec Isis Proteus pour vérifier son fonctionnement avant de passer à la réalisation pratique. **Figure III.21** représente le schéma d'une partie du montage de notre système simulé avec Isis Proteus.

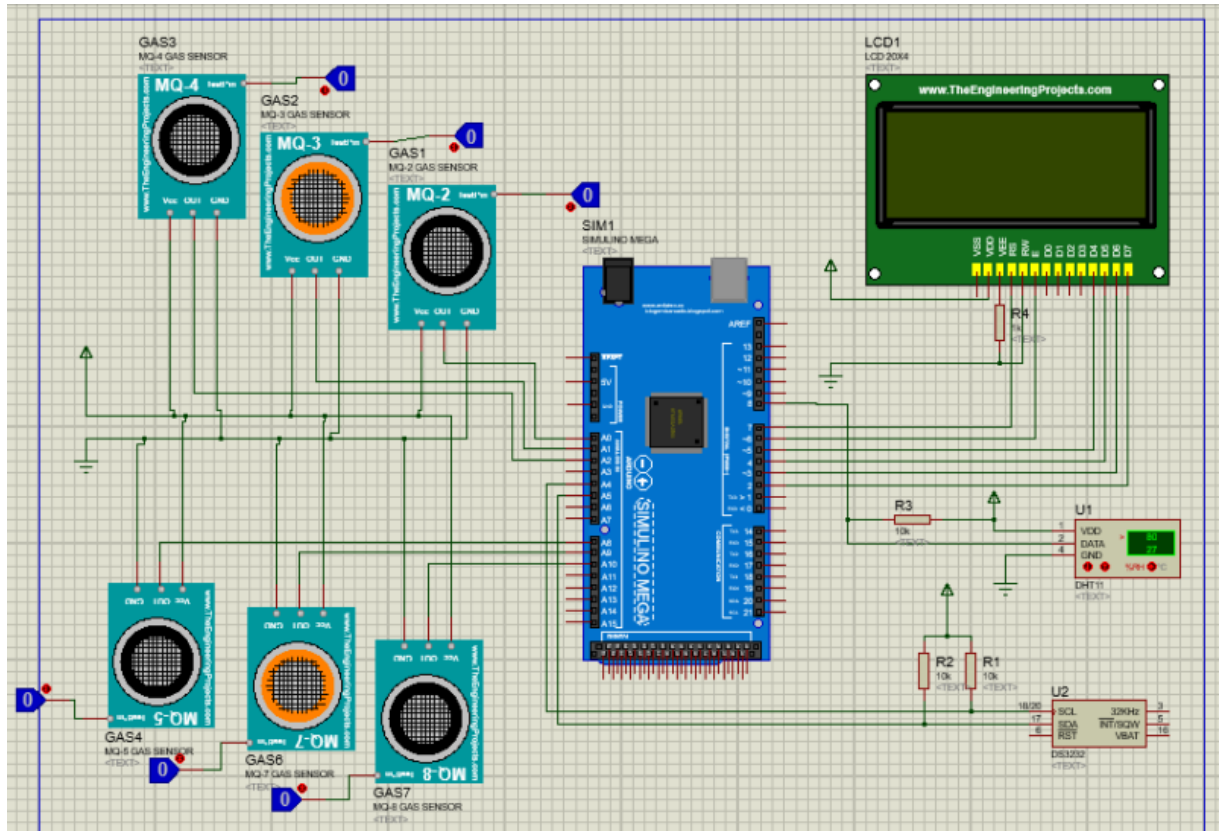


Figure III.21 : Simulation de notre système avec Isis Proteus

III.9 Partie programme :

La carte Arduino peut être programmée par Arduino IDE, l'environnement de programmation open-source pour Arduino téléchargeable gratuitement (pour Mac OS X, Windows, et Linux).

III.9.1 L'environnement de la programmation (IDE ARDUINO):

L'environnement de développement intégré (IDE) Arduino est une application multiplateforme (pour Windows, mac OS, Linux) écrite en langage de programmation Java. Il est utilisé pour écrire et télécharger des programmes sur des cartes compatibles Arduino, mais aussi, avec des cartes de développement d'autres fournisseurs. L'IDE Arduino supporte les langages C et C++ en utilisant des règles spéciales de structuration du code. L'IDE Arduino fournit une bibliothèque de logiciels du projet, qui fournit de nombreuses procédures d'entrée et de sortie communes. Le code écrit nécessite seulement deux fonctions de base, pour le démarrage de l'esquisse et de la boucle du programme principal, qui sont compilées et liées à un talon de programme `main()` dans un programme exécutable cyclique avec la chaîne d'outils `Loop()`, également incluse dans la distribution IDE. L'IDE Arduino utilise le programme AVRDUDE pour convertir le code exécutable en un fichier texte au codage

hexadécimal chargé dans la carte Arduino par un programme de chargement dans le microprogramme de la carte.[26]

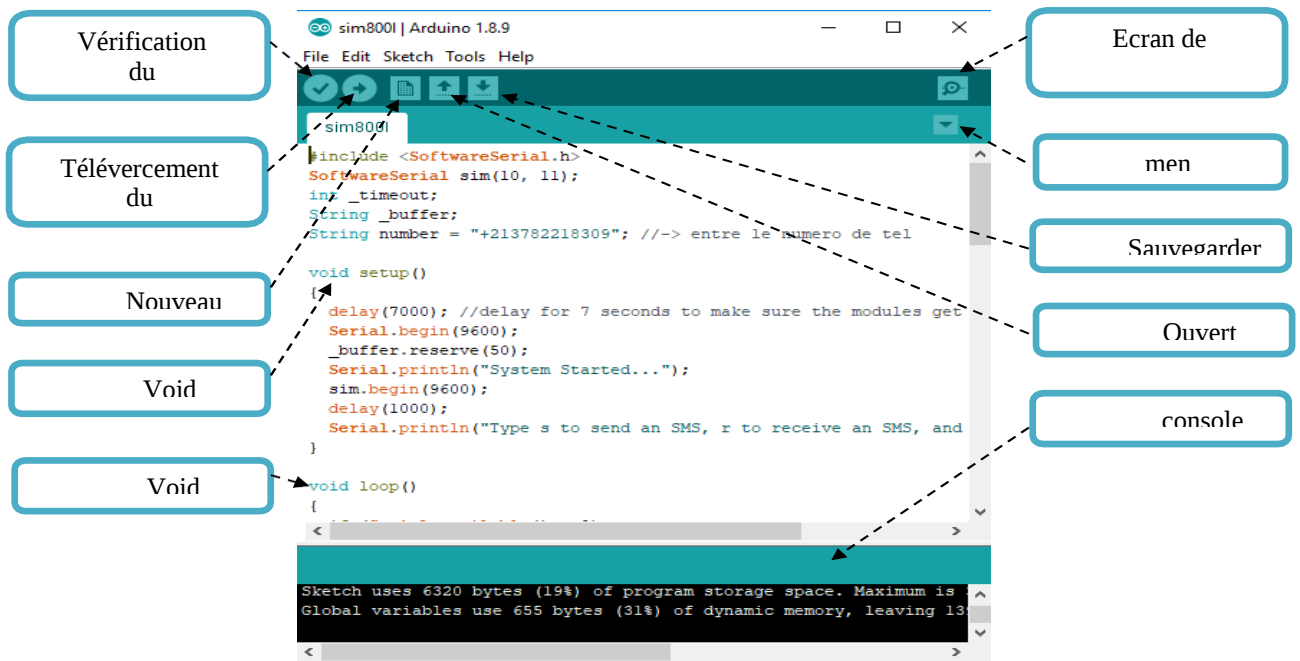


Figure III.22 : Structure générale d'IDE Arduino.

III.10 Le code de programmation sur l'IDE:

Pour programmer les étapes de fonctionnement de notre système, l'environnement Arduino

- IDE est utilisé. Notre programme comporte différentes routines ; chacune est destinée à remplir une tâche spécifique :

La première étape consiste à définir les variables et les constantes:

Le code commence par identifier le port de l'Arduino auquel le port analogique du capteur de gaz MQ2 est connecté. Et définit une variable appelée **QValue**.

La deuxième étape consiste à définir les entrées et les sorties:

Dans la fonction "setup": nous configurons les communications série avec l'ordinateur.

La troisième étape consiste à écrire les commandes de base du programme

Dans la fonction "loop", c'est-à-dire la fonction d'itération: La valeur du capteur est lue par la fonction analogRead () et affichée sur le moniteur série.

```
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2);
int Q2Pin = A0;
int Q3Pin = A1;
int Q4Pin = A2;
int Q5Pin = A3;
int Q7Pin = A4;
int Q8Pin = A5;
int valueQ2;
int valueQ3;
int valueQ4;
int valueQ5;
int valueQ7;
int valueQ8;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(20,4);
```

```
pinMode(A0, INPUT);
pinMode(A1, INPUT);
pinMode(A2, INPUT);
pinMode(A3, INPUT);
pinMode(A4, INPUT);
pinMode(A5, INPUT);
}

void loop()
{
  int ValueQ2 = analogRead(Q2Pin);
  valueQ2 = analogRead(A0);
  lcd.print("Smoke:");
  lcd.print(valueQ2);
  Serial.print(valueQ2);

  int ValueQ3 = analogRead(Q3Pin);
  valueQ3 = analogRead(A1);
  lcd.print("Alcohol:");
  lcd.print(valueQ3);
  Serial.print(valueQ3);

  int ValueQ4 = analogRead(Q4Pin);
  valueQ4 = analogRead(A2);
  lcd.print("Methane:");
  lcd.print(valueQ4);
  Serial.print(valueQ4);

  int ValueQ5 = analogRead(Q5Pin);
  valueQ5 = analogRead(A3);
  lcd.print("GPL:");
```

```
lcd.print(valueQ5);  
Serial.print(valueQ5);  
  
int ValueQ7 = analogRead(Q7Pin);  
valueQ7 = analogRead(A4);  
lcd.print("CO:");  
lcd.print(valueQ7);  
Serial.print(valueQ7);  
  
int ValueQ8 = analogRead(Q8Pin);  
valueQ8 = analogRead(A5);  
lcd.print("Hyr:");  
lcd.print(valueQ8);  
Serial.print(valueQ8);  
delay(500);  
lcd.clear();  
}
```

III.11 Moniteur série d'ARDUINO IDE:

Arduino a une caractéristique principale, la communication avec notre ordinateur via le port série. Ceci est connu sous le nom de communication série. Parce que l'utilisation de ce port a été quelque peu désaffectée au profit de la technologie USB, Arduino dispose d'un convertisseur Série-USB qui permet à notre carte d'être reconnue par notre ordinateur comme un périphérique connecté à un port COM, même lorsque la connexion physique avec USB.

Arduino IDE nous fournit un outil qui nous permet d'envoyer et d'afficher les données traitées via le port série. Cet outil s'appelle Serial Monitor et se trouve dans le menu Outils, dans l'option "Serial Monitor". C'est le moyen le plus simple d'établir une communication série avec Arduino.

À travers cette fenêtre, vous pouvez envoyer ou recevoir des informations via le port série. Notez que pour ouvrir cette fenêtre, il est nécessaire que notre carte Arduino soit connectée à notre PC via USB.

Nous avons établi certaines commandes dans l'IDE Arduino, puis les télécharger sur le microcontrôleur. Pour démarrer la communication série avec Arduino à l'aide du moniteur série,

Dans la fonction de configuration, nous initialisons la communication série avec l'instruction `Serial.begin(9600)`. Le 9600 indique le débit en bauds ou le nombre de bauds que le port série gérera. Le Baud est défini comme une unité de mesure, utilisée dans les télécommunications, qui représente le nombre de symboles par seconde dans un support de transmission, analogique ou numérique.

Pour nos besoins, nous utiliserons couramment une vitesse de symbole de 9600. Chaque fois que nous allons communiquer avec Arduino via un port série, nous devons appeler l'instruction **`Serial.begin(9600)`**.

Si nous téléchargeons le code de notre programme sur Arduino, nous pouvons observer le comportement de notre algorithme via le moniteur série avec l'appel de la fonction **`Serial.println`**.

En fin de compte, nous avons un programme intégré pour notre système, et nous n'avons qu'à connecter l'équipement réel et le connecter à l'ordinateur via USB et démarrer le système.

III.12 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre, les phases de conception et réalisation de notre carte électronique de son côté Hardware : le choix du matériel et les considérations pratiques, et du côté software : le mode d'emploi d'application Android. L'expérience menée durant ce chapitre nous a permis d'acquérir plusieurs concepts, et a permis la réalisation d'un système efficace pour la détection, la mesure de concentration des différents gaz C, de prévention et d'alarme à base d'Arduino.

Conclusion générale

Conclusion générale

La sécurité humaine joue un rôle important dans le monde d'aujourd'hui et des systèmes de sécurité efficaces doivent être installés dans les environnements domestiques et industriels et dans les établissements d'enseignement.

Des chiffres inquiétants ont été enregistrés dans le monde entier sur le phénomène des décès par étouffement par des gaz dangereux tels que l'intoxication au monoxyde de carbone, ainsi que sur l'explosion et l'empoisonnement résultant de la pollution de l'air. L'origine de cette catastrophe a plusieurs causes, que l'on peut citer: une mauvaise ventilation, des gauchissements, de mauvaises installations et un non-respect des normes d'entretien. En plus de ce risque Il existe des risques associés aux fuites de gaz naturel inflammable tel que le méthane, qui représentent des risques d'explosion mettant en danger les personnes et les bâtiments.

Dans ce contexte, nous avons proposé un système de la détection et de la mesure de concentration de gaz toxiques tels que le monoxyde de carbone et le méthane. Ce système peut également être très important dans les environnements domestiques et industriels, ce qui peut aider à sauver des vies humaines et à conserver les biens.

Sera utilisé les microcontrôleurs de cette mémoire permettront de concevoir un système basé sur : la carte Arduino et différents types de capteurs, pour détecter et mesurer en cas de fuite ou de présence d'un de ces gaz toxiques.

Pour développer cette application, plusieurs étapes progressives ont été entamées, puis finalisées par l'application globale, deux partie pour la conception sont faites une partie software : qui consistait en la programmation en langage C dans l'environnement Arduino IDE ; et une partie hardware : qui consistait à simuler nos circuits sur une plateforme de simulation (ISIS PROTEUS) .

Les résultats de la simulation complète montrent la réponse du système à la détection de la présence de gaz dangereux et à la mesure de son pourcentage, ainsi que de son extensibilité à d'autres types de gaz.

Comme travail futur nous installerons l'appareil réel et nous envisagerons d'améliorer les performances de l'application .

Bibliographie

Bibliographie :

- [1] https://www.univ-usto.dz/images/coursenligne/HSE_AAOURIDA.pdf
- [2] <https://www.technologiepro.com/cours-genie-mecanique/cours-31-securite-industrielle/>
- [3] <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/aegypten/13321.pdf>
- [4] <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mesures-analyses-th1/metrologie-relative-aux-gaz-42539210/explosimetres-detecteurs-de-gaz-r2380/>
- [5] L. Mazet, “Réalisation et caractérisations de structures micro-électroniques à base de semi-conducteurs III-V (InP). Application capteur de gaz,” Thèse de Doctorat, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 2004.
- [6] J. W. Gardner, Electronic noses: principles and applications. Oxford ; New York: Oxford University Press, 1999.
- [7] <https://www.gotronic.fr/art-capteur-de-gaz-mq2-sen0127-22964.htm>
- [8] <https://fr.hobbytronics.co.uk/mq3-alcohol-gas-sensor>
- [9] <https://www.sly-pro.com/shop-1/capteur-gaz-mq4-methane>
- [10] <https://doi.org/10.32628/CSEIT1951128>
- [11] <http://fr.hobbytronics.co.uk/mq7-carbon-monoxide-sensor>
- [12] <https://www.robotshop.com/be/fr/capteur-analogique-hydrogene-mq8.html>
- [13] Journal of Modern Science and Technology Vol. 4. No.1. September 2016 Issue. P86–96
- [14] https://fablab.univ-tlse3.fr/wiki/images/9/.../Cours_arduino_v0.2.pdf
- [15] C. Tavernier, « Arduino applications avancées ». Version Dunod.
- [16] projet.eu.org/pedago/sin/tutos/arduino.odt
- [17] Nicolas GOILAV Geoffrey LOI «Arduino» (page12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 267, 268, 302, 303)
- [18] <http://www.ShieldList.org/>
- [19] <http://www.louisreynier.com> « c’est quoi Arduino ».
- [20] <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>
- [21] projet.eu.org/pedago/sin/tutos/arduino.odt
- [22] electroniqueveynes.free.fr/IMG/pdf/Bus_I2C.pdf
- [23] <https://create.arduino.cc/projecthub/MisterBotBreak/how-to-use-a-real-time-clock-module-ds3231-bc90fe>

[24] <https://boutique.semageek.com/fr/416-dht22-capteur-de-temperature-et-humidite-digital.html>

[25] <http://www.labcenter.com/> , consulté le 19 mars 2017

[26] AHMED, BOUCHERIT et MOULOUD, MERAIMI. Etude et réalisation d'une carte de contrôle par Arduino via le système Android. 2018.