

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département d'Électromécanique

Mémoire

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

En : Électromécanique

Spécialité : Électromécanique

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

Par :

- **ChenitiDerradji**
- **Cheniti Mourad**

Intitulé

Développement d'un système d'amélioration de la qualité d'air dans les espaces fermés

Soutenu le : 19/11/2024

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>M.Reffas ABDERRAHIM</i>	<i>MCA</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. Bennia ABDERAZAK</i>	<i>MCA</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. Belkadi AHMED ABDERRAOUF</i>	<i>MCA</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. Benhadouga SEDDIK</i>	<i>PROFESSEUR</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. Bensidhoum TAREK</i>	<i>MCB</i>	<i>Incubateur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2023/2024

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu, le seul Miséricordieux, de nous avoir aidés à surmonter toutes les difficultés lors de nos études, et qui nous a donné l'énergie, la volonté et surtout le courage pour terminer ce modeste travail. Nous tenons à adresser nos plus chaleureux remerciements à monsieur **AbderazakBennia** et monsieur **Ahmed AbderraoufBelkadi** d'avoir accepté de diriger ce travail. Surtout pour leur patience et leur confiance, grâce à leurs orientations, leur disponibilité à tout moment. Leur soutien constant et leurs conseils précieux nous ont été d'une grande aide tout au long de ce travail. Nous sommes très reconnaissants envers eux pour leur aide, ainsi que pour leur bonne humeur. Nos vifs remerciements vont aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche, en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions. Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à nos proches et amis, qui nous ont toujours encouragés au cours de la réalisation de ce mémoire. Nous n'oublions pas nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

Dédicace

C'est avec un immense plaisir que je dédie ce modeste travail :

A ma très chère mère Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit.

Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles

A mon très cher père (Lakhder) Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.

Un grand merci également à mes amis, qui ont partagé avec moi les défis et les moments difficiles. À vous tous, cet accomplissement est le fruit de votre soutien et de vos encouragements. Merci de tout cœur.

Je tiens également à exprimer toute ma gratitude à mon frère Hamza, ainsi qu'à ma famille CHENITI et BLOUAER, pour leur soutien inébranlable et leur présence constante. Votre amour et vos encouragements ont été une véritable source de force et de motivation tout au long de cette aventure.

Je dédie également ce travail aux professeurs Abderrazak Benia, Ahmed Abderraouf Belkadi, et Riyad Khnefer, pour leur guidance, leurs conseils précieux et leur soutien constant. Leur expertise et leur encouragement ont été essentiels dans l'aboutissement de ce projet.

Derradji

Dédicaces

Je dédie ce présent travail à ma petite famille, à mes enfants (MERIEM , TAHA, ABDELHAY) pour leurs sacrifices consentis.

À mes frères (ZOHIR, ABDELKHALID, HASSAN, KAMEL) pour leurs encouragements, ainsi qu'à tous les membres de ma famille (BELKACEM, FATIMA) .

À tous mes amis et à toute personne ayant participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Mourad

Résumé

Ce mémoire présente le développement d'un détecteur de gaz intelligent visant à améliorer la qualité de l'air intérieur et assurer la sécurité dans les espaces clos. Le prototype utilise des capteurs de gaz (MQ2, MQ6, MQ135) pour détecter des gaz toxiques comme le monoxyde de carbone et le méthane, et réagit en activant des ventilateurs pour évacuer l'air contaminé. Les résultats montrent une détection rapide et efficace des gaz dangereux, accompagnée de systèmes d'alerte et de ventilation automatiques pour maintenir un environnement sûr. Ce projet propose une solution prometteuse pour la gestion de la pollution de l'air intérieur, avec des perspectives d'optimisation pour des applications futures.

Mots clés : Détecteur de gaz intelligent, Qualité de l'air intérieur, Sécurité des espaces clos , Capteurs de gaz, Monoxyde de carbone, Méthane, Systèmes d'alerte

ملخص:

يقدم هذا البحث تطوير جهاز ذكي للكشف عن الغازات، يهدف إلى تحسين جودة الهواء الداخلي وضمان السلامة في الأماكن المغلقة. يستخدم النموذج الأولي حساسات غازات (MQ2، MQ6، MQ135) للكشف عن الغازات السامة مثل أول أكسيد الكربون والميثان، ويستجيب تلقائيًا بتشغيل مراوح لطرد الهواء الملوث. أظهرت النتائج أن الجهاز يتميز بالكشف السريع والفعال عن الغازات الخطرة، مدعومًا بأنظمة إنذار وتهوية تلقائية للحفاظ على بيئة آمنة. يوفر هذا المشروع حلاً واعدًا لإدارة تلوث الهواء الداخلي مع إمكانية تحسينه لتطبيقات مستقبلية.

الكلمات المفتاحية: كاشف غاز ذكي، جودة الهواء الداخلي، سلامة الأماكن المغلقة، مستشعرات الغاز، أول أكسيد الكربون، الميثان، أنظمة الإنذار.

Abstract

This thesis presents the development of an intelligent gas detector aimed at improving indoor air quality and ensuring safety in confined spaces. The prototype uses gas sensors (MQ2, MQ6, MQ135) to detect toxic gases such as carbon monoxide and methane, responding by automatically activating fans to expel contaminated air. The results demonstrate quick and effective detection of hazardous gases, supported by automatic alert and ventilation systems to maintain a safe environment. This project offers a promising solution for managing indoor air pollution, with potential for further optimization for future applications.

Keywords: Smart gas detector, Indoor air quality, Safety of confined spaces, Gas sensors, Carbon monoxide, Methane, Alarm systems

Sommaire

Résumé.....	0
Introduction générale.....	0
I. Chapitre 1 :	2
Etudebibliographique	2
I.1. Introduction.....	3
I.2. Contexte et justification de l'étude.	3
I.3. Problématique et enjeux.	3
I.4. Objectifs de la recherche.....	3
I.5. Principaux polluants de l'air et leurs effets.....	4
I.5.1. Principaux polluants de l'air.	4
I.5.2. Effets de la pollution de l'air sur la santé et l'environnement.	4
I.5.3. Impacts sur la santé humaine.	5
I.5.4. Impacts sur l'environnement.....	5
I.6. Importance de la qualité de l'air intérieur.	6
I.6.1. Principaux enjeux liés à la qualité de l'air intérieur.	6
I.7. Normes et réglementation.	6
I.8. Système d'amélioration de l'air.....	7
I.8.1. Exemples de systèmes d'amélioration de l'air.	7
I.9. Technologies innovantes pour l'amélioration de la qualité de l'air.....	8
I.10. Définition des gaz toxiques.....	8
I.11. Liste des gaz toxiques.	9
I.12. Définition de certains gaz toxiques.....	10
I.12.1. Sulfure d'hydrogène.....	10
I.12.2. Méthane.....	10
I.12.3. Ammoniac.....	10

I.12.4. Monoxyde de carbone.....	10
I.12.5. Dioxyde de carbone.	11
I.12.6. Dioxyde d’azote.	11
I.12.7. Le radon.	11
I.12.8. Chlorure d'hydrogène.....	12
I.12.9. Le chlore.	12
I.12.10. Dioxyde de soufre.	12
I.12.11. Cyanure d’hydrogène.....	13
II. Chapitre 2 : Capteurs de gaz et techniques de ventilation et stérilisation de l'air	14
II.1. Introduction.	15
II.2. Les capteurs de gaz :	15
II.2.1. Définition et classification :.....	15
II.2.2. Types de capteurs de gaz.	15
II.3. Les Détecteurs de gaz toxiques.	22
II.3.1. Définition.....	22
II.3.2. Types des Détecteurs de gaz toxiques :	22
II.3.3. Détecteur de gaz fixe.	22
II.4. Extraction et aspiration des gaz.....	23
II.4.1. Définition l’extraction et l’aspiration des gaz.	23
II.4.2. Les types de l’extraction et l’aspiration des gaz :	24
II.5. Injection d’air.	24
II.5.1. Définition.....	24
II.5.2. Méthodes d'injection d'air dans un local fermé.	24
II.5.3. Le choix de la méthode d'injection d'air.	25
II.6. Les Ventilateur.....	26
II.6.1. Définitions.	26
II.6.2. Les différents types de ventilateurs.	27

II.6.3. Les ventilateurs axiaux.	28
II.6.4. Constitution.	29
II.6.5. Principe de fonctionnement d'un ventilateur axial.	29
II.6.6. Utilité des ventilateurs axiale :	30
II.6.7. Avantages et inconvénients des ventilateurs :	30
II.7. La stérilisation et la désinfection de l'air.	31
II.7.1. Définitions.	31
II.7.2. Les différentes techniques de stérilisation et la désinfection l'air.	32
II.8. Conclusion.	34
Chapitre 3 : Conception d'un système de détection de gaz intelligent : Étude des composants électroniques.	35
III.1. Introduction.	36
III.2. Prototype proposé.	36
III.3. Composition de notre système.	36
III.3.1. Carte Arduino nano.	36
III.3.1.1. Description de la carte Arduino nano.	37
III.3.1.2 Caractéristiques Arduino nano.	37
III.3.2. Capteurs de gaz.	38
III.3.2.1 Définition d'un capteur de gaz MQ-135.	38
III.3.2.2 Définition d'un capteur de gaz MQ-2.	39
III.3.2.3 Définition d'un capteur de gaz MQ-6.	40
III.3.2.4. Comment fonctionne un capteur de gaz MQ-135, MQ-2 et MQ-6.	41
III.3.3. Capteur de température et d'humidité.	42
III.3.3.1 Définition d'un capteur DHT 22.	42
III.3.4. Capteur de flamme.	43
III.3.4.1. Définition.	43
III.3.5. Afficheurs LCD.	44

III.3.5.1.Définition.	44
III.3.7. Diode électroluminescente (LED).....	45
III.3.7.1 Définition.	45
III.3.8. Relais électrique.	46
III.3.8.1. Définition.	46
III.3.9.Buzzer.....	46
III.3.9.1 Définition.	47
III.3.10. Ventilateurs.....	47
III.3.10.1 Définition.	48
III.3.10. Filtres.....	48
III.3.10.1. Définition Filtre HEPA 13.	49
III.3.11. Carte alimentation 12 Vcc.	49
III.4. Conclusion.....	50
Chapitre 4 Réalisation d'un système de détection de gaz intelligent : Conception, essais et validation.....	51
IV.1 Introduction.	52
IV.2 Description des blocs du prototype.	52
IV.2.1 Bloc de détection.	53
IV.2.1.1Bloc de détection de gaz.	53
IV.2.1.2Bloc de détection de flamme.....	54
IV.2.2Bloc d'activation d'alarme.....	55
➤ Connexion de la LED verte :	55
➤ Connexion de la LED jaune :	55
➤ Connexion de la LED rouge :.....	55
➤ Connexion du buzzer :.....	55
IV.2.3.Bloc d'action automatique.....	56
IV.2.4BlocAffichage (LCD, Température et humidité).	57

IV.3.Description globale du prototype.	58
IV.4Circuit imprimé.....	60
IV.5Testset évaluation du prototype.	61
IV.5.1 Testde détection de gaz.	63
La concentration de détection des gaz plus de 300 PPM (il a été approuver par les fiches techniques des capteurs et les essais)	64
La concentration de détection des gaz plus de 300 PPM (il a été approuver par les fiches techniques des capteurs et les essais).	66
Le cas de manque d'oxygène :	66
L'indicateur LED jaune s'allume.La concentration de l'oxygène moins de 80 PPM.....	66
IV.5.2 Test d'actionneurs.	66
IV.6 Evaluation des performances.....	69
IV.6.1 Sensibilité aux gaz.	69
IV.6.2 Fiabilité des actions automatiques	69
IV.7. Conclusion	69
Conclusion générale	70
Références	71

Liste des Tableaux

Tableau I. 1 Liste des gaz toxique [8].	9
Tableau II. 1 Présente classification du ventilateur Selon la pression.	28
Tableau III. 1 Caractéristiques techniques capteur de gaz MQ-135.	39
Tableau III. 2 Caractéristiques techniques capteur de gaz MQ-2.	40
Tableau III. 3 Caractéristiques techniques capteur de gaz MQ-6 [12].	41
Tableau IV. 1 Tableau montrant les résultats des tests de notre prototype.	68

Liste des figures

Figure II. 1 Electrodes Capteur de gaz électrochimique schéma de la structure.	16
Figure II. 2 Résonateur SAW sur une plaquette intégrant la couche sensible de ZnO pour la détection de NO ₂ .	17
Figure II. 3 Capteur de gaz catalytique avec deux membranes séparées pour diminuer l'interaction.	18
Figure II. 4 Schéma et éléments constitutants d'un capteur à conductance thermique.	19
Figure II. 5 Schéma d'un dispositif expérimental de détection de gaz à absorption infrarouge.	20
Figure II. 6 Capteur à photoionisation micro fluidique.	20
Figure II. 7 Capteur à onde évanescente de la fibre sensible conduisant la lumière rouge.	21
Figure II. 8 Capteur à oxydes métalliques (MOX) à base des nanofils d'In ₂ O ₃ .	22
Figure II. 9 Types de ventilateurs.	27
Figure II. 10 Ventilateur axial et ventilateur centrifuge.	27
Figure II. 11 Ventilateur axial.	28
Figure II. 12 Déplacement d'air produit par ventilateur axial.	30
Figure III. 1 Carte Arduino nano.	37
Figure III. 2 Capteur de gaz MQ-135.	38
Figure III. 3 Capteur de gaz MQ-2.	39
Figure III. 4 Capteur de gaz MQ-6.	40
Figure III. 5 Variation de tension de sortie : a) absence du gaz. b) présence du gaz [7].	42
Figure III. 6 Capteur de température et l'humidité DHT 22.	43
Figure III. 7 Capteur de flamme KY-026.	44
Figure III. 8 Ecran LCD 20x4.	45
Figure III. 9 Diodes électroluminescentes (Rouge, Jaune, Vert).	45

Figure III. 10 Relais électrique.....	46
Figure III. 11 Buzzer piézo-électrique.....	47
Figure III. 12 Ventilateur.	48
Figure III. 13 Filtre HEPA 13.	49
Figure III. 14 Carte alimentation 12vcc.	49
Figure IV. 1 Représentation schématique du prototype.....	52
Figure IV. 2 Bloc de détection des gaz sous fritzing.	54
Figure IV. 3 Bloc de détection des flammes sous fritzing.....	55
Figure IV. 4 Bloc d'activation d'alarme sous fritzing.	56
Figure IV. 5 Bloc d'action automatique sous fritzing.	57
Figure IV. 6 Bloc d'affichage sous fritzing.	58
Figure IV. 7 Branchement globale du prototype sous Fritzing.....	59
Figure IV. 8 Prototype finale.	59
Figure IV. 9 Circuit imprimé sous Proteus.	60
Figure IV. 10 Circuit imprimé.	61

Introduction générale

Dans un contexte où les préoccupations concernant la qualité de l'air intérieur et la santé publique sont de plus en plus présentes, la conception de solutions technologiques permettant de surveiller et d'améliorer cet environnement est devenue cruciale. Ce mémoire vise à présenter le développement d'un détecteur de gaz intelligent, capable de répondre aux risques liés à la pollution de l'air dans les espaces clos. En intégrant des capteurs de gaz de haute précision et des systèmes d'alerte automatiques, cette étude propose une solution innovante pour assurer une qualité d'air saine et garantir la sécurité des occupants. Le système est conçu pour détecter rapidement les gaz toxiques et inflammables, activer des mécanismes de protection et ajuster la ventilation afin de préserver un environnement intérieur optimal.

Le mémoire est structuré en plusieurs chapitres qui détaillent les aspects théoriques et techniques du projet :

- **Chapitre 1 : Étude bibliographique**

Ce chapitre présente le cadre théorique de la recherche, en définissant la qualité de l'air intérieur, les normes et réglementations en vigueur, ainsi que les principaux polluants. Une analyse approfondie est faite sur les effets de ces polluants sur la santé et sur les différentes technologies existantes pour améliorer la qualité de l'air.

- **Chapitre 2 : Capteurs et systèmes de ventilation**

Dans ce chapitre, les différents types de capteurs de gaz sont explorés en détail, avec une attention particulière sur leurs principes de fonctionnement et leurs applications dans la détection des gaz toxiques. Les systèmes d'extraction et d'aspiration des gaz, ainsi que les méthodes d'injection d'air, y sont également abordés pour garantir une gestion efficace de la qualité de l'air.

- **Chapitre 3 : Conception et développement du prototype**

Ce chapitre présente la conception du prototype de détecteur de gaz intelligent. Il détaille les composants électroniques utilisés, notamment les capteurs de gaz, les ventilateurs, les systèmes d'alarme et les éléments de commande. Le fonctionnement du prototype est décrit, en expliquant les différentes étapes de détection et de réaction aux gaz dangereux.

- **Chapitre 4 : Résultats expérimentaux et validation**

Le dernier chapitre se concentre sur l'évaluation expérimentale du prototype. Les résultats des tests menés dans différentes conditions de pollution de l'air sont analysés, en mettant en évidence l'efficacité et la réactivité du système face aux concentrations

de gaz toxiques. Les performances du prototype sont également comparées à celles des systèmes existants.

Chapitre 1 :

Etude bibliographique

I.1. Introduction.

Ce premier chapitre a pour objectif de situer le contexte de cette étude. Pour ce faire, nous commencerons par définir la qualité de l'air intérieur ainsi que les normes et réglementations en vigueur. Ensuite, nous nous pencherons sur les principaux polluants de l'air intérieur et leurs impacts sur la santé. Enfin, nous aborderons les systèmes de traitement de l'air intérieur, en incluant les technologies et méthodes employées pour assainir l'air intérieur.

I.2. Contexte et justification de l'étude.

Cette étude se concentre sur le développement d'un système innovant pour améliorer la qualité de l'air dans les espaces fermés. Ce sujet revêt une importance croissante, car la qualité de l'air intérieur a un impact majeur sur la santé et le bien-être des individus. De nombreux environnements clos font en effet face à des défis importants en termes de pollution de l'air.

Cette recherche se justifie par la nécessité de garantir des environnements intérieurs sains et sûrs, face à la sensibilisation grandissante aux risques liés à la pollution de l'air. Préserver la qualité de l'air intérieur est essentiel pour la santé publique et la productivité des occupants. En analysant les impacts de la pollution sur la santé, cette étude vise à contribuer à l'amélioration des conditions de vie dans les espaces clos.

I.3. Problématique et enjeux.

La problématique centrale de ce travail est de concevoir un système efficace pour réduire les niveaux de pollution et garantir un air intérieur sain. Les enjeux sont multiples, allant de la santé des occupants à l'efficacité énergétique et la durabilité des solutions proposées. L'objectif est de trouver un équilibre optimal entre performance, coût et impact environnemental.

I.4. Objectifs de la recherche.

Les objectifs spécifiques de cette recherche sont de concevoir, développer et tester un système innovant d'amélioration de la qualité de l'air intérieur. Il s'agit de proposer des solutions technologiques avancées pour filtrer, ventiler et désinfecter l'air, tout en assurant des performances optimales. Le but final est de contribuer à la création d'environnements intérieurs sains, sûrs et confortables.

I.5. Principaux polluants de l'air et leurs effets.

I.5.1.Principaux polluants de l'air.

Les polluants de l'air sont nombreux et diversifiés. Une grande variété de gaz, de matières et de produits peuvent contribuer à la pollution de l'air, dans la mesure où ils sont suffisamment volatils ou fins pour rester temporairement ou de manière permanente en suspension dans l'atmosphère. Ces différents types de substances polluantes peuvent ainsi se retrouver dans l'air ambiant et affecter la qualité de l'air que nous respirons. On peut distinguer quatre grandes familles de polluants de l'air :

- **Les gaz à effet de serre.**

Principaux représentants : le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O) et l'ozone (O₃). Ces gaz jouent un rôle majeur dans le réchauffement climatique en piégeant la chaleur dans l'atmosphère.

- **Les métaux lourds.**

Exemples : le mercure (Hg), le zinc (Zn), le cuivre (Cu), le plomb (Pb), le chrome (Cr), le sélénium (Se), l'arsenic (As). Ces substances toxiques peuvent s'accumuler dans l'environnement et la chaîne alimentaire, avec des impacts néfastes sur la santé.

- **Les polluants organiques et biologiques.**

Incluent une large gamme de composés organiques volatils (COV), de pesticides, de dioxines et de microorganismes. Peuvent être cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour les écosystèmes.

- **Les particules fines.**

Désignées par les sigles PM₁₀ et PM_{2.5}, elles correspondent respectivement aux particules de diamètre inférieur à 10 et 2,5 micromètres. Très nocives pour la santé, pénétrant en profondeur dans les voies respiratoires.

Les polluants primaires sont directement émis par les sources de pollution, comme les oxydes de carbone, de soufre et d'azote, les hydrocarbures légers, les COV et les particules. Les polluants secondaires, quant à eux, se forment par réaction des polluants primaires dans l'atmosphère, comme l'ozone troposphérique par exemple[1].

I.5.2.Effets de la pollution de l'air sur la santé et l'environnement.

La pollution de l'air représente un problème majeur de santé publique aux impacts considérables sur la santé humaine et l'environnement. Elle résulte de l'émission dans l'atmosphère de divers polluants provenant de sources naturelles et anthropiques. Parmi ces

polluants, on retrouve les gaz à effet de serre, les métaux lourds, les polluants organiques et les particules fines, dont les effets néfastes sont aujourd'hui bien documentés.

I.5.3.Impacts sur la santé humaine.

- **Affections respiratoires** : Irritation des yeux et des voies respiratoires, crises d'asthme, exacerbation de maladies respiratoires chroniques (bronchite chronique, emphysème), augmentation des risques de pneumonie et d'infections pulmonaires.
- **Maladies cardio-vasculaires** : Augmentation des risques de crises cardiaques, d'accidents vasculaires cérébraux, d'hypertension artérielle et d'insuffisance cardiaque.
- **Cancers** : Augmentation des risques de cancer du poumon, mais aussi d'autres cancers tels que le cancer de la vessie et le cancer du foie.
- **Troubles neurologiques** : Altération des fonctions cognitives, troubles de la mémoire, augmentation des risques de maladie d'Alzheimer et de Parkinson.
- **Développement du fœtus** : Chez la femme enceinte, la pollution de l'air peut affecter le développement du cerveau du fœtus, entraînant des problèmes d'apprentissage et de comportement chez l'enfant. Autres effets : Fatigue, maux de tête, troubles du sommeil, dépression, etc.

I.5.4.Impacts sur l'environnement.

- **Changement climatique** : Les gaz à effet de serre, tels que le dioxyde de carbone et le méthane, contribuent au réchauffement climatique en piégeant la chaleur dans l'atmosphère.
- **PluiesAcides** : Les émissions de dioxyde de soufre et d'oxydes d'azote entraînent la formation de pluies acides, qui peuvent acidifier les sols et les cours d'eau, nuisant aux écosystèmes.
- **Eutrophisation** : L'apport excessif d'azote et de phosphore dans l'environnement peut entraîner l'eutrophisation des eaux, provoquant une prolifération d'algues et la mort des plantes aquatiques.
- **Dégradation de la qualité de l'air** : Les polluants atmosphériques peuvent réduire la visibilité, tacher les bâtiments et les monuments, et endommager la végétation[2].

I.6. Importance de la qualité de l'air intérieur.

La qualité de l'air intérieur est d'une importance primordiale pour notre santé et notre bien-être, car nous passons la majeure partie de notre temps dans des espaces clos comme nos maisons, bureaux ou autres lieux. Une pollution de l'air intérieur peut entraîner de sérieux problèmes de santé, notamment des problèmes respiratoires, des allergies et même des maladies graves.

I.6.1. Principaux enjeux liés à la qualité de l'air intérieur.

- **Impact sur la santé** : Une mauvaise qualité de l'air intérieur peut causer des irritations des voies respiratoires, des allergies, des maladies chroniques respiratoires et un risque accru de problèmes cardiovasculaires.
- **Réduction des arrêts maladie** : En améliorant la qualité de l'air intérieur, on peut diminuer les risques de maladies liées à la pollution, ce qui se traduit par moins d'arrêts maladie et une meilleure productivité au travail.
- **Prévention des maladies infectieuses** : L'air intérieur peut être contaminé par des micro-organismes, bactéries et virus, favorisant la propagation de maladies comme la grippe ou la tuberculose. Une bonne qualité de l'air intérieur contribue à réduire ces risques de transmission.
- **Amélioration du bien-être** : Respirer un air pur et sain améliore notre confort, notre bien-être général, notre humeur, notre concentration et notre sommeil.
- **Pour garantir une bonne qualité de l'air intérieur**, des mesures sont essentielles surveillances de la qualité de l'air, limitation des sources de pollution, ventilation adéquate et purification de l'air[3].

I.7. Normes et réglementation.

La réglementation de la qualité de l'air en Algérie :

- **Cadre réglementaire.**

Le décret exécutif N°06-02 de 2006 définit les valeurs limites, seuils d'alerte et objectifs de qualité de l'air.

L'arrêté ministériel de 2007 fixe les modalités de surveillance de la qualité de l'air.

- **Polluants réglementés**
 - Particules en suspension (PM10 et PM2.5)
 - Dioxyde d'azote (NO₂)
 - Ozone (O₃)
 - Monoxyde de carbone (CO)

- Dioxyde de soufre (SO₂)

- **Valeurs limites et objectifs de qualité.**

Les valeurs limites algériennes sont généralement moins strictes que les recommandations de l'OMS.

L'Algérie a aussi défini des objectifs de qualité plus ambitieux que les valeurs limitent.

- **Suivi de la qualité de l'air.**

Un réseau de stations de mesure surveille la qualité de l'air sur le territoire[4].

I.8. Système d'amélioration de l'air.

Un système d'amélioration de l'air est conçu pour purifier et améliorer la qualité de l'air dans un environnement donné, que ce soit à l'intérieur ou à l'extérieur. Ces systèmes utilisent différentes technologies pour éliminer les polluants, les allergènes et les particules fines de l'air, ce qui contribue à créer un environnement plus sain et plus propre à respirer.

I.8.1.Exemples de systèmes d'amélioration de l'air.

I.8.1.1. Systèmes de filtration de l'air.

Les filtres à air sont largement utilisés pour améliorer la qualité de l'air, tant dans les systèmes de ventilation que de climatisation. Ils capturent les particules en suspension comme la poussière, les allergènes et les polluants. Certains filtres HEPA (à haute efficacité) peuvent même éliminer jusqu'à 99,97% des particules présentes dans l'air.

I.8.1.2. Purificateurs d'air.

Les purificateurs d'air sont des appareils autonomes conçus pour assainir l'air intérieur. Ils utilisent diverses technologies comme les filtres, les ioniseurs ou la photocatalyse pour capturer ou détruire les particules, les bactéries, les virus et les odeurs indésirables. Certains modèles sont également équipés de capteurs qui ajustent automatiquement leur fonctionnement en fonction de la qualité de l'air.

I.8.1.3. Systèmes de ventilation.

Les systèmes de ventilation permettent de renouveler l'air intérieur en apportant de l'air frais de l'extérieur et en évacuant l'air vicié. Ils peuvent être équipés de filtres pour épurer l'air extérieur avant qu'il ne soit introduit dans le bâtiment. Ils contribuent aussi à maintenir des conditions de température et d'humidité optimales à l'intérieur.

I.8.1.4. Plantes d'intérieur.

Les plantes d'intérieur peuvent également contribuer à améliorer la qualité de l'air en absorbant certains polluants et en libérant de l'oxygène. Certaines espèces, comme le palmier d'intérieur, le lierre ou le ficus, sont particulièrement connues pour leurs propriétés de purification de l'air. [5].

I.9. Technologies innovantes pour l'amélioration de la qualité de l'air.

Les innovations technologiques jouent un rôle clé dans l'amélioration de la qualité de l'air. Voici quelques exemples de technologies qui contribuent à la lutte contre la pollution atmosphérique :

- **Micro-capteurs de qualité de l'air.**

Ces dispositifs compacts mesurent en continu et en temps réel les niveaux de pollution extérieure. Alimentés par l'énergie solaire, ils fournissent aux autorités des données précises, leur permettant d'agir de manière ciblée pour réduire la pollution.

- **Stations multi-physiques.**

Ces boîtiers modulables installés sur l'infrastructure urbaine mesurent le bruit, la qualité de l'air et les poussières dans des zones spécifiques. Cela permet une surveillance fine des émissions polluantes.

- **Filtres céramiques de purification d'air.**

Ces filtres sont très efficaces pour capter les particules fines et les polluants, améliorant ainsi la qualité de l'air intérieur et extérieur.

- **Technologies de dépollution des véhicules.**

Les catalyseurs et autres solutions de dépollution ont grandement contribué à réduire les émissions nocives des gaz d'échappement automobiles.

- **Systèmes de surveillance avancés.**

Des réseaux de capteurs collectent en temps réel des données sur la pollution atmosphérique, donnant aux décideurs les informations essentielles pour prendre les mesures appropriées[6].

I.10. Définition des gaz toxiques.

Les gaz toxiques peuvent provoquer une intoxication lorsqu'ils entrent en contact avec le corps humain à de faibles concentrations. Les gaz toxiques sont généralement divisés en irritants tels que le chlore et l'ammoniac, asphyxiants tels que l'azote et le monoxyde de carbone, anesthésiques tels que le protoxyde d'azote et poisons spéciaux tels que le sulfure d'hydrogène et le cyanure d'hydrogène. L'inhalation de gaz toxiques peut être rapidement

Chapitre 1 : Etude bibliographique

mortelle car les poumons constituent une voie directe vers la circulation sanguine. Certains matériaux peuvent également être absorbés par la peau et les yeux. Les gaz toxiques sont particulièrement dangereux car ils sont souvent stockés et transportés sous pression. Une fois libérés, ils se dilatent rapidement et se déplacent dans les airs. De nombreux gaz, tels que le sulfure d'hydrogène et le monoxyde de carbone, sont invisibles et ont des propriétés de détection des odeurs peu fiables, voire inexistantes. Les travaux de levage sont des travaux dangereux. Dans certaines entreprises et pays, des plans de promotion formels sont requis. Ces éléments de base des plans et pratiques de sécurité pour le levage de charges lourdes dans les zones où des matières hautement dangereuses sont présentes seront couverts dans les futurs bulletins Beacon[7].

I.11. Liste des gaz toxiques.

Tableau I. 1Liste des gaz toxique[8].

Nom	Formule Chimique	Nom	Formule Chimique
Ammoniac	NH ₃	Monoxyde d'azote	NO
Bromomethane	CH ₃ Br.	Monoxyde de carbone	CO
Bromure d'hydrogene	HBr	Oxalonitrile	C ₂ N ₂
Chlorure de cyanogene	CNCl	Oxyde d'ethylene	C ₂ H ₄ O
Chlorure de vinyle	C ₂ H ₃ Cl	Pentafluorure d'arsenic	AsF ₅
Chlorure d'hydrogene	HCl	Pentafluorure de brome	BrF ₅
Cyanure d'hydrogene	HCN	Pentafluorure de chlore	ClF ₅
Diborane	B ₂ H ₆	Pentafluorure de phosphore	PF ₅
Dichlore	Cl ₂	Peroxyde d'azote	N ₂ O ₄
Dichlorosilane	SiH ₂ Cl ₂	Phosgene	COCl ₂
Dioxyde d'azote	NO ₂	Phosphine	PH ₃
Dioxyde de chlore	ClO ₂	Seleniure d'hydrogene	H ₂ Se
Fluorure de carbonyle	COF ₂	Sulfure de carbonyle	COS
Fluorure de sulfuryle	SO ₂ F ₂	Sulfure de d'hydrogene	H ₂ S
Fluorure d'hydrogene	HF	Tetrafluorure de silicium	SiF ₄
Hexafluoracetone	C ₃ F ₆ O	Tetrafluorure de soufre	SF ₄
Hexafluorure de selenium	SeF ₆	Tetrahydrure de germanium	GeH ₄
Hexafluorure de tungstene	WF ₆	Trichlorure de bore	BCl ₃
Hydrure d'antimoine	SbH ₃	Trichlorure de phosphore	PCl ₃
Methanethiol	CH ₄ S	Trifluorure de chlore	ClF ₃
Methylamine	CH ₃ NH ₂	Trifluorure de phosphore	PCl ₃
Methylechloromethyleether	C ₂ H ₅ ClO	Trihydrure d'arsenic	AsH ₃

I.12. Définition de certains gaz toxiques.

I.12.1.Sulfure d'hydrogène.

Le sulfure d'hydrogène (H₂S) est le gaz fécal le plus dangereux. Il est classé comme asphyxiant chimique car il réagit immédiatement chimiquement avec l'hémoglobine dans le sang, empêchant l'oxygène d'être délivré aux tissus et aux organes vitaux du corps. Il est produit par la décomposition anaérobie de matières organiques telles que les matières fécales. À de faibles concentrations, c'est un gaz facilement détectable en raison de son odeur caractéristique d'œuf pourri, mais à des concentrations plus élevées, il peut provoquer une anosmie. Des concentrations élevées de sulfure d'hydrogène peuvent provoquer une paralysie immédiate et la mort [9].

I.12.2.Méthane.

Le méthane (CH₄) est un gaz incolore, inodore, non toxique mais inflammable produit par la digestion anaérobie de la matière organique. S'il est stocké et géré correctement, il peut fournir une source de carburant pour les moteurs à combustion interne ou être purifié et injecté dans le réseau de distribution de gaz naturel. Ce gaz est plus léger que l'air, il s'élève donc au-dessus des selles. Il est peu probable que le méthane soit un problème dans les élevages bonne ventilation. En revanche, dans les structures couvertes des granges et les fosses situées sous les animaux, le méthane peut être piégé et atteindre des concentrations provoquant des explosions [9].

I.12.3.Ammoniac.

L'ammoniac (NH₃) est un gaz incolore doté d'une odeur âcre caractéristique produite par la dégradation des composés azotés présents dans le fumier animal. Ce gaz est classé comme gaz irritant, est plus léger que l'air et peut rendre le bétail sensible à diverses maladies respiratoires s'il est exposé à des concentrations élevées pendant une longue période [10].

I.12.4.Monoxyde de carbone.

Le monoxyde de carbone (CO) est un gaz incolore, inodore et extrêmement dangereux. Il est classé comme asphyxiant chimique car il réagit immédiatement chimiquement avec l'hémoglobine dans le sang, empêchant l'oxygène d'être délivré aux tissus et organes vitaux du corps. C'est le produit d'une combustion incomplète dans des appareils ou des véhicules à moteur alimentés par des gaz (comme le propane ou le butane), des liquides (comme l'essence, le diesel ou le mazout) ou même des combustibles solides (comme le bois ou le charbon). Cela se produit lorsque l'équipement à combustion ou le moteur ne fonctionne pas

correctement ou est utilisé dans un environnement avec peu d'oxygène. Ils ne présentent généralement pas de risque pour la santé lorsqu'ils sont entretenus et utilisés conformément aux instructions du fabricant, mais ils peuvent provoquer une intoxication au monoxyde de carbone ou un empoisonnement s'ils sont utilisés dans un espace clos ou mal ventilé[10].

I.12.5.Dioxyde de carbone.

Le dioxyde de carbone (CO_2) est incolore et inodore. Ce gaz est produit par la respiration des animaux et des plantes et est présent naturellement dans l'atmosphère. Les radiateurs à feu ouvert non ventilés libèrent également du dioxyde de carbone dans l'air ambiant, un sous-produit de la combustion. Comme le sulfure d'hydrogène, le dioxyde de carbone est plus lourd que l'air et a donc tendance à s'accumuler au-dessus du fumier dans les réservoirs, sur le sol des enclos ou au-dessus de l'ensilage dans les silos. Le principal danger posé par le dioxyde de carbone est l'épuisement de l'oxygène dans l'air, ce qui peut entraîner une suffocation ou une suffocation. Normalement, dans des étables bien ventilées, le dioxyde de carbone n'atteint pas des concentrations dangereuses. Cependant, des concentrations mortelles peuvent se produire dans les silos scellés, les fosses à lisier et les silos à grains[10].

I.12.6.Dioxyde d'azote.

Le dioxyde d'azote (NO_2) est un asphyxiant chimique dangereux produit par une réaction chimique qui commence presque immédiatement après que les plantes sont empilées dans des silos. Même une exposition à court terme peut rapidement entraîner la mort. Le NO_2 a une odeur caractéristique d'eau de Javel et peut apparaître comme une brume brun rougeâtre. Comme il est plus lourd que l'air, il a tendance à stagner au-dessus de l'ensilage. Il permet également d'accéder le long de la goulotte du silo à la salle d'alimentation [10].

I.12.7.Le radon.

C'est un gaz radioactif naturel (Rn), incolore et inodore, produit par la décomposition du radium et de l'uranium. Il est présent naturellement dans la croûte terrestre, notamment dans le sous-sol granitique et volcanique.

Le gaz radon ne constitue pas une source d'exposition élevée à l'extérieur et est présent en très petites quantités car il se dilue rapidement dans l'air extérieur. En revanche, lorsqu'il s'accumule dans des espaces restreints où l'on passe beaucoup de temps, comme dans les bâtiments (s'infiltrant par les fissures des murs, les joints, etc.). Dans les maisons, les concentrations de radon sont généralement plus élevées dans les sous-sols, les caves ou toute structure en contact direct avec le sol [8].

I.12.8. Chlorure d'hydrogène.

Le chlorure d'hydrogène, comme l'acide chlorhydrique, est un produit chimique important en chimie, dans l'industrie ou en science. Le nom HCl fait parfois référence à tort à l'acide chlorhydrique plutôt qu'au chlorure d'hydrogène pur. Ce que les chimistes appellent parfois l'acide chlorhydrique gazeux ou anhydre est le chlorure d'hydrogène.

Il se présente sous la forme d'un gaz incolore avec une odeur âcre qui fume au contact de l'air humide [5].

I.12.9. Le chlore.

C'est un produit d'oxydation très actif. Il réagit avec l'eau ou en présence d'humidité pour former de l'acide chlorhydrique et de l'acide hypochloreux. Les mélanges de chlore avec de l'hydrogène, de l'acétylène, de l'éthane, de l'éthylène et de l'ammoniac peuvent exploser sous l'influence d'étincelles, de la lumière ou de certains catalyseurs. Ce produit réagit violemment (jusqu'à la combustion et l'explosion) avec de nombreux composés organiques ainsi qu'avec le phosphore, l'arsenic, l'antimoine et les métaux finement divisés. Il existe également un risque d'inflammation grave en cas d'exposition aux graisses, aux huiles et aux silicones. À des températures inférieures à 120°C, le chlore anhydre n'a aucun effet sur les métaux et alliages courants (il attaque cependant le titane, qui peut s'enflammer spontanément). Le chlore humide corrode la plupart des métaux (sauf le titane et le tantale) à température ambiante [11].

I.12.10. Dioxyde de soufre.

Le dioxyde de soufre (SO₂), anciennement connu sous le nom de dioxyde de soufre, est un gaz incolore dégageant une odeur forte, âcre et étouffante. La détection commence à 0,45 ppm et sa présence peut être identifiée avant d'atteindre OEL (2 ppm), VLCT (5 ppm). Cependant, l'odeur ne constitue pas un signal d'avertissement fiable et suffisant d'une exposition dangereuse ; seule l'utilisation d'instruments de mesure permet d'identifier le produit et de quantifier sa concentration.

De plus, la perception de l'odorat varie d'une personne à l'autre. Il est rejeté dans l'atmosphère terrestre par les volcans et de nombreux processus industriels, ainsi que par la combustion de certains charbons, pétrole et gaz naturels non désulfurés. Oxydation du dioxyde de soufre, La plus courante est la production de trioxyde de soufre SO₃ et d'acide sulfurique H₂SO₄ en présence de catalyseurs tels que le dioxyde d'azote NO₂, formant ainsi des pluies acides. Cela provoque une inflammation du système respiratoire. C'est un gaz incolore ou un gaz comprimé liquéfié avec une odeur âcre [12].

I.12.11. Cyanure d'hydrogène.

Le cyanure d'hydrogène (HCN) est un composé extrêmement toxique et potentiellement mortel en raison de son effet d'anoxie. Il est souvent associé dans la nature au benzaldéhyde, qui dégage une odeur d'amande amère caractéristique, bien que certaines personnes ne soient pas sensibles à cette odeur. Le cyanure d'hydrogène se présente sous forme d'un liquide blanc bleuté très volatil ou sous forme de gaz incolore, également odorant à l'amande amère [13].

I.13. Conclusion.

Ce premier chapitre a permis de définir la qualité de l'air intérieur, de présenter les normes et réglementations en vigueur, ainsi que d'examiner les principaux polluants et leurs impacts sur la santé. Enfin, nous avons abordé les systèmes de traitement de l'air intérieur, mettant en évidence leur rôle crucial dans l'amélioration de la qualité de l'air et la protection de la santé des occupants.

Chapitre 2 : Capteurs de gaz et techniques de ventilation et stérilisation de l'air

II.1. Introduction.

Ce chapitre abordera en détail les capteurs de gaz, en présentant leurs différents types ainsi que les détecteurs de gaz toxiques. Dans un premier temps, nous définirons et classerons les capteurs de gaz, en expliquant les principes d'extraction, d'aspiration et d'injection d'air dans les espaces confinés, ainsi que les méthodes d'injection d'air utilisées. Nous nous pencherons ensuite sur les ventilateurs axiaux, en fournissant leurs définitions, les théories de fonctionnement et leurs principales caractéristiques techniques. Enfin, nous étudierons les techniques de stérilisation et de désinfection de l'air, en détaillant les différentes méthodes employées à ces fins.

II.2. Les capteurs de gaz :

II.2.1.Définition et classification :

Les capteurs de gaz sont des dispositifs conçus pour convertir les changements des propriétés physico-chimiques d'un environnement gazeux en un signal exploitable. Lorsqu'ils sont exposés à des gaz, ces dispositifs génèrent un signal qui peut être traité et interprété. Il existe différents types de capteurs de gaz, classés en fonction du principe de détection utilisé. Certains se basent sur des changements de conductivité électrique, d'autres sur des variations d'absorption optique ou encore de masse. Le choix du type de capteur dépend des gaz à détecter, de la sensibilité requise et des conditions environnementales.

Ces détecteurs de gaz jouent un rôle essentiel dans de nombreux domaines, tels que la sécurité industrielle, le contrôle de la qualité de l'air ou encore la détection de fuites. Leur capacité à convertir des variations de propriétés physico-chimiques en signaux exploitables en fait des outils indispensables pour surveiller la présence et la concentration de gaz dans l'environnement.

II.2.2.Types de capteurs de gaz.

Les principaux types des capteurs de gaz sont :

II.2.2.1. Les capteurs électrochimiques.

Les capteurs de gaz électrochimiques reposent sur le principe d'une cellule électrochimique composée de deux électrodes identiques, une anode et une cathode, séparées par un électrolyte. Lorsque le gaz cible entre en contact avec la membrane perméable de la cellule, des réactions d'oxydoréduction se produisent. Ces réactions entraînent la migration des ions positifs vers la cathode et des ions négatifs vers l'anode, générant ainsi un courant électrique. Les gaz oxydables, comme l'oxygène et l'oxyde d'azote, sont détectés à l'anode, tandis que les

Chapitre2 : Capteurs de gaz et techniques de ventilation et stérilisation de l'air.

gaz réducteurs, tels que le monoxyde de carbone et le dioxyde d'azote, sont détectés à la cathode.

Certains capteurs électrochimiques utilisent une configuration à trois électrodes, avec une électrode de référence supplémentaire. Cela permet de maintenir un potentiel constant et de corriger les fluctuations de potentiel pendant l'analyse. Ces capteurs peuvent fonctionner selon différents principes de mesure : potentiométrique (tension), conductimétrique (conductivité) ou ampérométrique (courant).

La **fig. 1** illustre un exemple de capteur de gaz électrochimique utilisant la méthode ampérométrique. Ce capteur comprend un électrolyte à base de liquide ionique, qui fonctionne à température ambiante, ainsi que trois électrodes interdigitées déposées sur un substrat de polytétrafluoroéthylène poreux. Cette configuration améliore la diffusion des gaz vers les électrodes, optimisant ainsi la détection.

En résumé, les capteurs de gaz électrochimiques exploitent les réactions d'oxydoréduction pour générer un signal électrique en présence du gaz cible. Leur conception, avec deux ou trois électrodes, permet d'adapter leurs performances de mesure selon les besoins spécifiques de l'application [14].

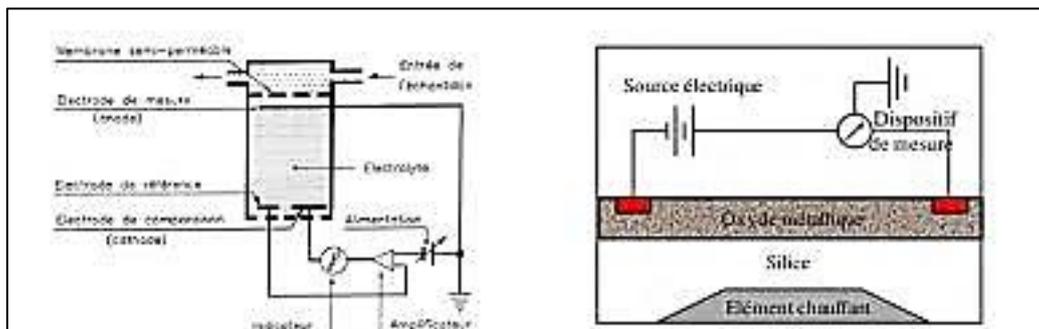


Figure II. 1 Electrodes Capteur de gaz électrochimique schéma de la structure [14].

II.2.2.2. Les capteurs piézoélectriques.

Cette technologie de capteurs de gaz repose sur l'exploitation des variations des propriétés des ondes acoustiques dans des matériaux piézoélectriques lorsqu'ils sont exposés à des gaz cibles. Le principe de fonctionnement se base sur la mesure de la fréquence de résonance caractéristique du système, qui dépend de la constante élastique et de la masse de l'objet. Ainsi, lorsque des gaz sont adsorbés à la surface de l'objet, sa masse est modifiée, ce qui entraîne une variation de la vitesse des ondes acoustiques et une variation de la fréquence de résonance du système. En mesurant ces variations de fréquence, il est possible de détecter des espèces chimiques spécifiques et d'estimer leurs concentrations.

Un exemple de ce type de capteur a été proposé par Y. Imai et al, où un film de polyfluorure de vinylidène (PVDF), utilisé comme matériau piézoélectrique, est recouvert de films minces de palladium (Pd) des deux côtés. Le Pd catalyse la dissociation de l'hydrogène et absorbe facilement l'hydrogène dissocié, ce qui entraîne une modification de la capacité électrostatique du film de PVDF.

Parmi les capteurs piézoélectriques, les capteurs à ondes acoustiques de volume (BAW – BulkAcousticWave) et les capteurs à ondes acoustiques de surface (SAW - Surface AcousticWave) sont les plus connus. Un exemple de capteur SAW est présenté dans la figure 2. Il est composé de deux électrodes, une électrode d'entrée et une électrode de sortie, déposées sur du quartz (un matériau piézoélectrique) qui intègre également une couche sensible de ZnO pour la détection du gaz NO₂. Afin d'augmenter la sensibilité et de réduire les pertes, des réflecteurs sont positionnés sur les deux côtés du quartz, permettant de réfléchir les ondes acoustiques de surface et de concentrer l'énergie entre les deux électrodes[15].

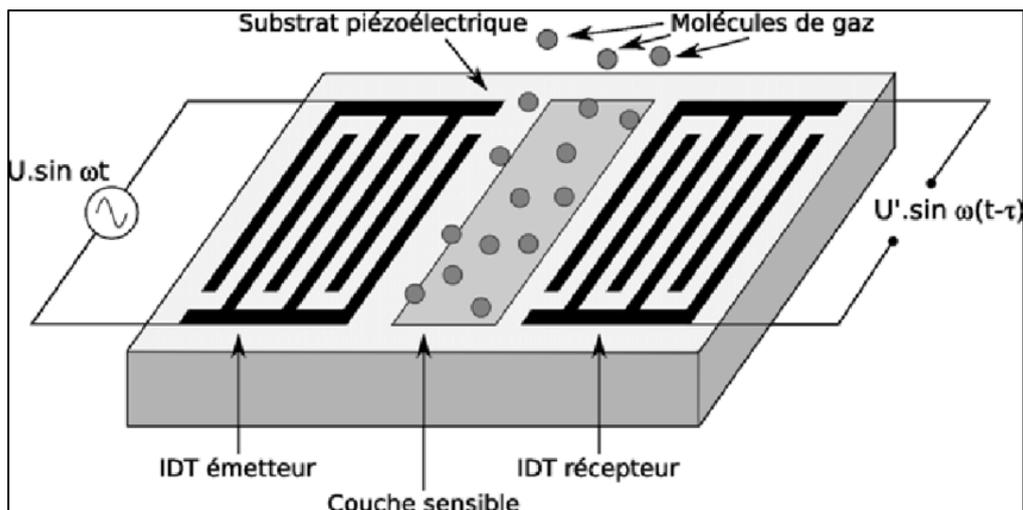


Figure II. 2 Résonateur SAW sur une plaquette intégrant la couche sensible de ZnO pour la détection de NO₂[15].

II.2.2.3. Les capteurs catalytiques.

Les capteurs de gaz catalytiques utilisent une cellule composée de deux filaments et d'une membrane de diffusion qui permet l'entrée du gaz dans la cellule. L'un des filaments est revêtu d'un catalyseur constitué d'un mélange composite possédant des propriétés catalytiques qui le rendent sensible aux gaz combustibles. L'oxydation du gaz combustible sur le filament catalytique entraîne une augmentation de sa température, ce qui modifie sa résistance électrique. La concentration du gaz est mesurée en comparant cette résistance avec celle du deuxième filament non revêtu qui sert de référence. Le signal émis par le capteur est

proportionnel à la concentration du gaz combustible. Pour assurer l'oxydation des combustibles à détecter, les filaments sont maintenus à des températures élevées, généralement comprises entre 300 et 400 °C.

À titre d'exemple, la **fig.II. 3** illustre la structure d'un capteur de gaz conçu pour la détection de l'hydrogène, utilisant des nanoparticules de platine en tant que couche catalytique. Ce type de conception permet d'exploiter les propriétés catalytiques du platine pour favoriser l'oxydation de l'hydrogène et ainsi générer un signal de sortie proportionnel à la concentration d'hydrogène présente [16].

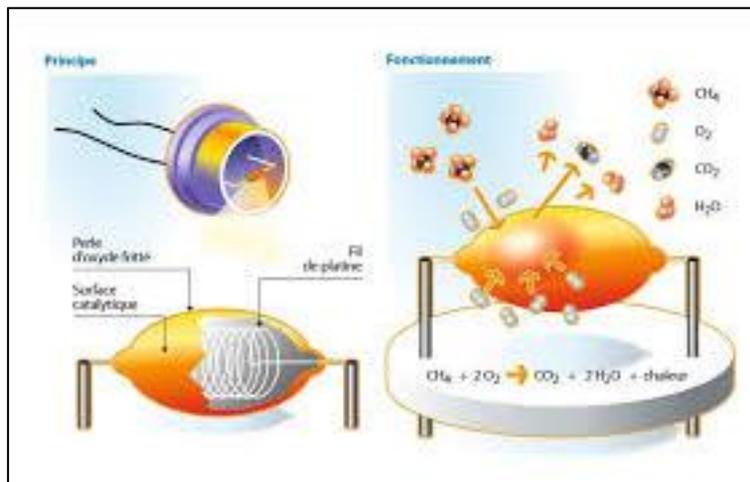


Figure II. 3 Capteur de gaz catalytique avec deux membranes séparées pour diminuer l'interaction [16].

II.2.2.4. Les capteurs à conductance thermique.

Ces détecteurs de gaz n'ont pas besoin de réaction chimique ou de combustion pour fonctionner. Ils reposent sur l'utilisation de deux résistances chauffantes placées dans deux cellules de mesure distinctes. L'une des cellules reçoit un gaz vecteur pur, tandis que l'autre cellule est exposée au gaz provenant de la colonne de séparation.

La différence de variation de la conductivité thermique entre les deux cellules permet ensuite de calculer la concentration du gaz analysé. Chaque gaz se caractérise par une conductivité thermique qui lui est propre, ce qui permet au détecteur de reconnaître tous les composés présents dans le gaz vecteur, y compris dans l'eau. Ces détecteurs peuvent ainsi identifier des concentrations comprises entre 1 et 100%, avec des temps de réponse inférieurs à 20 secondes.

La figure 4 illustre le schéma d'un capteur de gaz à conductance thermique développé par l'entreprise Pewatron. Il est composé de deux résistances minces en platine : l'une, de mesure, est suspendue au-dessus d'une cavité et repose sur une fine membrane assurant l'isolation

électrique et thermique, tandis que l'autre, de référence, est déposée directement sur le substrat en silicium [17].

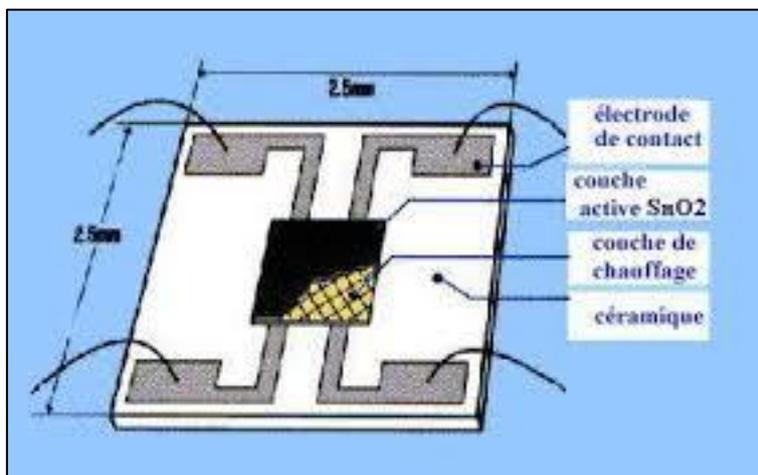


Figure II. 4 Schéma et éléments constitutifs d'un capteur à conductance thermique [17].

II.2.2.5. Les capteurs à absorption infrarouge.

La détection infrarouge des gaz repose sur la mesure de la variation d'une propriété du gaz lorsqu'il est exposé à un rayonnement infrarouge. Deux unités de mesure infrarouge sont utilisées : l'une est dédiée à la mesure du gaz, tandis que l'autre, insensible au gaz, sert de référence pour compenser les variations environnementales. Lorsqu'un gaz absorbe le faisceau lumineux dans le canal de mesure, le signal est atténué par les molécules gazeuses. Cette différence d'intensité peut être mesurée sous forme de flux, qui est proportionnel à la concentration du gaz dans le faisceau. Ces capteurs infrarouges sont très précis, mais aussi plus coûteux que d'autres technologies. Ils sont généralement utilisés dans des systèmes spécialisés tels que les analyseurs de gaz.

La figure 5 illustre un exemple de système de spectromètre infrarouge à transformée de Fourier utilisé pour la détection du CO₂. La cellule de gaz est reliée à une source de lumière infrarouge et au spectromètre qui analyse le signal [16].

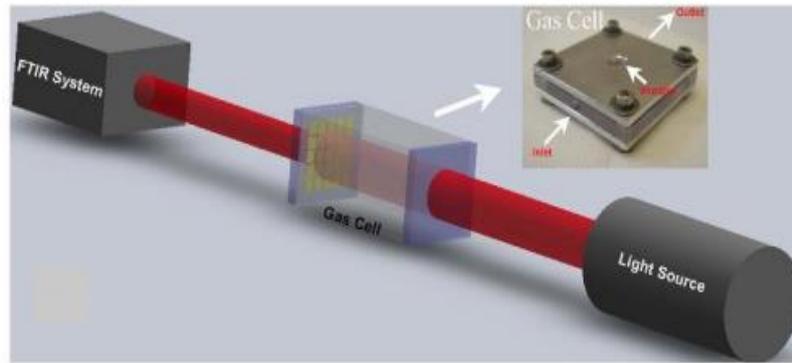


Figure II. 5 Schéma d'un dispositif expérimental de détection de gaz à absorption infrarouge [16].

II.2.2.6. Les capteurs à photoionisation (detector PID).

Les détecteurs à photoionisation (PID) utilisent une lampe à ultraviolets haute énergie pour ioniser les molécules d'un gaz. Cette source d'énergie permet de libérer un électron des molécules de substances organiques neutres. Les ions ainsi formés sont collectés par des électrodes entre lesquelles une différence de potentiel est appliquée. Les ions se déplacent alors dans le champ électrique et génèrent un courant électrique proportionnel à la concentration de molécules ionisées. Le potentiel d'ionisation (PI) désigne l'énergie requise pour extraire un électron de la molécule cible. Toutes les molécules ayant un PI inférieur à l'énergie de la lampe UV (généralement 10,2 eV) seront ionisées et généreront un signal détectable.

La figure 6 présente un exemple de capteur à photoionisation qui exploite ce principe de détection [16].

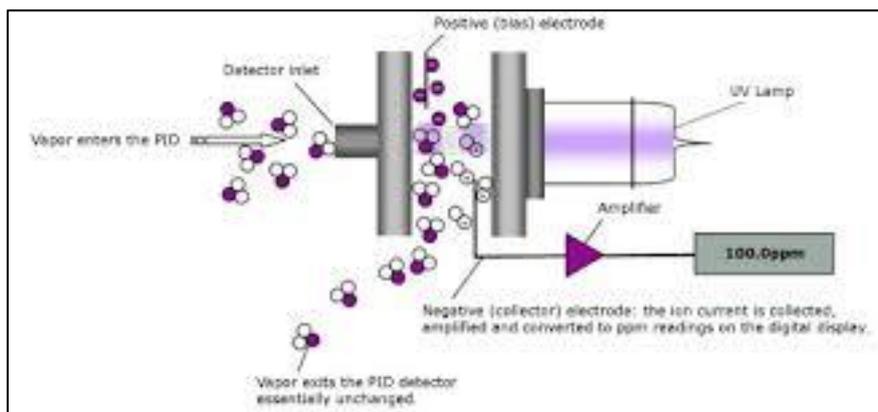


Figure II. 6 Capteur à photoionisation microfluidique [16].

II.2.2.7. Les capteurs optiques.

Le principe fondamental des capteurs optiques repose sur la conversion d'un signal lumineux en un signal électrique. Ils se divisent en différentes catégories selon leur mode de fonctionnement. Par exemple, on trouve les capteurs à résonance plasmique de surface, ainsi que les détecteurs utilisant les ondes évanescentes via les fibres optiques. Ces derniers deviennent de plus en plus courants dans les applications. En résumé, les capteurs optiques permettent de transformer une information lumineuse en un signal électrique exploitable. Ils se déclinent sous différentes formes technologiques, chacune présentant des avantages et des domaines d'application spécifiques. La figure II. 7 présente un exemple de capteur optique exploitant ces principes de détection. [18].

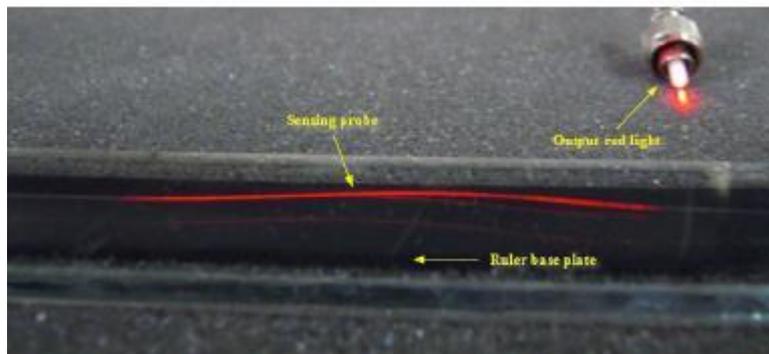


Figure II. 7Capteur à onde évanescente de la fibre sensible conduisant la lumière rouge[18].

II.2.2.8. Les capteurs à oxydes métalliques (MOX).

Les capteurs à oxydes métalliques fonctionnent sur la base de matériaux semi-conducteurs dont la résistance électrique varie en fonction de l'atmosphère gazeuse environnante. Ils peuvent ainsi détecter une large gamme de gaz, tels que l'oxygène, les gaz inflammables et les gaz toxiques. Cependant, ces capteurs présentent des limites, notamment une faible sensibilité à température ambiante et un manque de sélectivité. Malgré cela, ils offrent de nombreux avantages, comme un coût abordable, une facilité de fabrication et d'utilisation, ainsi qu'une intégration aisée dans des systèmes portables. Les matériaux à base d'oxydes métalliques offrent de nombreuses perspectives de recherche et de développement pour améliorer les performances des capteurs de gaz. Cela permet de les rendre plus compétitifs par rapport à d'autres technologies plus complexes et coûteuses. Dans cette étude, l'accent est mis spécifiquement sur les capteurs de gaz à oxydes métalliques (MOX).

La **fig.II.8** illustre un exemple de capteur utilisant des nano fils d' In_2O_3 pour détecter le formaldéhyde. Ce capteur est composé d'un substrat en Al_2O_3 et d'un système de chauffage[19].

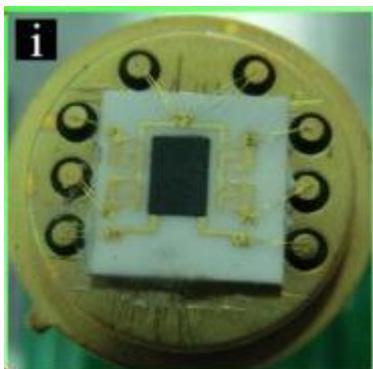


Figure II. 8 Capteur à oxydes métalliques (MOX) à base des nanofils d' In_2O_3 [19].

II.3. Les Détecteurs de gaz toxiques.

II.3.1.Définition.

Un détecteur de gaz est un appareil conçu pour identifier la présence de gaz spécifiques dans l'atmosphère. Cet outil joue un rôle essentiel dans la protection des personnes et des biens contre les risques liés aux fuites de gaz et aux atmosphères toxiques. Les détecteurs de gaz permettent de détecter la présence de substances gazeuses potentiellement dangereuses et d'alerter les personnes exposées. Ils constituent ainsi un élément clé pour assurer la sécurité dans de nombreux environnements industriels, domestiques ou publics. Grâce à leurs capacités de surveillance et de détection, ces appareils contribuent à prévenir les incidents et accidents liés aux gaz inflammables, toxiques ou asphyxiants. Leur utilisation est donc primordiale pour préserver la santé et la sécurité des individus exposés. Les détecteurs de gaz remplissent une fonction essentielle de protection, en permettant d'identifier rapidement la présence de substances dangereuses dans l'air et de déclencher les mesures de sécurité adaptées.

II.3.2.Types des Détecteurs de gaz toxiques :

Il en existe plusieurs types des détecteurs de gaz toxiques, et nous en mentionnerons spécifiquement quelques-uns :

II.3.3.Détecteur de gaz fixe.

Les détecteurs fixes sont des appareils conçus pour surveiller en continu la présence éventuelle de gaz dangereux dans une zone spécifique. Dotés de capteurs appelés cellules, ces

Chapitre2 : Capteurs de gaz et techniques de ventilation et stérilisation de l'air.

appareils ont la capacité de mesurer les concentrations d'un ou de plusieurs types de gaz, en fonction de leur modèle. Leur rôle principal est de détecter toute concentration anormale ou critique de ces gaz, et d'alerter l'utilisateur afin qu'il puisse prendre les mesures de sécurité appropriées. Grâce à cette fonction de détection et d'alarme, les détecteurs fixes jouent un rôle essentiel dans la prévention des accidents liés aux fuites ou à l'accumulation de gaz nocifs ou explosifs, notamment dans les environnements industriels ou confinés.

Ainsi, ces appareils permettent une surveillance continue des niveaux de gaz et signalent rapidement tout risque potentiel, contribuant ainsi à assurer la sécurité des personnes et des installations [7].

II.3.3.1. Détecteur de gaz portable.

Les détecteurs de gaz portables sont des équipements cruciaux pour assurer la sécurité des personnes dans les environnements où des gaz dangereux peuvent être présents. Conçus pour être portés sur soi, ces dispositifs permettent de détecter la présence de gaz toxiques, inflammables ou asphyxiants dans l'air ambiant. Lorsque la concentration d'un gaz dangereux dépasse un seuil prédéterminé, le détecteur active une alarme sonore et visuelle afin d'alerter l'utilisateur du danger. Ces appareils portatifs jouent ainsi un rôle essentiel pour protéger les individus exposés à des risques gazeux dans leur environnement de travail ou d'activité. Leur utilisation est primordiale pour garantir la sécurité des personnes dans ces situations potentiellement à risque[20].

II.4. Extraction et aspiration des gaz.

II.4.1. Définition l'extraction et l'aspiration des gaz.

L'extraction et l'aspiration des gaz sont des processus essentiels pour éliminer les gaz dangereux et nocifs de l'air ambiant. Ces techniques sont utilisées dans une vaste gamme d'environnements, notamment :

- Dans les lieux de travail industriels, ces procédés permettent de protéger les travailleurs contre les gaz toxiques, inflammables et asphyxiants ;
- Au niveau des parkings et garages, ils servent à éliminer les gaz d'échappement des véhicules, réduisant ainsi la pollution de l'air et les risques pour la santé ;
- Dans les laboratoires et installations de recherche, ces processus permettent de capturer les gaz dangereux afin de protéger les personnes et l'environnement ;
- Dans les bâtiments résidentiels, ils sont utilisés pour éliminer les gaz nocifs tels que le monoxyde de carbone et le radon.

Chapitre2 : Capteurs de gaz et techniques de ventilation et stérilisation de l'air.

Ainsi, l'extraction et l'aspiration des gaz jouent un rôle essentiel dans la préservation de la qualité de l'air et de la sécurité des personnes, dans une grande diversité de contextes.

II.4.2. Les types de l'extraction et l'aspiration des gaz :

Il existe deux principales approches utilisées pour l'extraction et l'aspiration des gaz :

- **La ventilation.**

La ventilation consiste à introduire de l'air frais dans un espace confiné et à évacuer l'air contaminé. Ce procédé fait appel à l'utilisation de ventilateurs, de conduits et d'ouvertures stratégiquement placés. La ventilation est une méthode simple et efficace pour éliminer les gaz nocifs. Cependant, elle peut s'avérer insuffisante dans certains cas, notamment lorsque les concentrations de gaz sont élevées ou que les gaz sont plus lourds que l'air.

- **L'aspiration.**

L'aspiration, quant à elle, repose sur l'utilisation d'un ventilateur ou d'une pompe pour créer une pression négative dans un espace confiné. Cela a pour effet d'attirer l'air contaminé vers un point de collecte. L'air pollué est ensuite filtré et rejeté dans l'environnement, ou bien traité avant d'être évacué. Cette approche se révèle plus efficace que la ventilation pour éliminer les gaz concentrés ou plus lourds que l'air. De plus, elle permet de cibler spécifiquement les zones où les gaz sont présents [21].

II.5. Injection d'air.

II.5.1. Définition.

L'injection d'air frais dans un espace clos est cruciale pour assurer une bonne qualité de l'air et le confort des occupants. Dans le cadre de la ventilation générale des locaux, il est nécessaire d'introduire un apport d'air neuf pour compenser celui qui est extrait.

Plusieurs méthodes existent pour injecter de l'air dans un local fermé. Le choix de la méthode la plus appropriée dépend de divers facteurs et doit être effectué en tenant compte des besoins spécifiques du local et des objectifs visés par cette injection d'air.

Certaines approches peuvent se révéler plus adaptées que d'autres en fonction des caractéristiques du local et des exigences de ventilation. Une analyse approfondie des conditions particulières du site est donc indispensable pour sélectionner la méthode d'injection d'air la plus efficace.

II.5.2. Méthodes d'injection d'air dans un local fermé.

II.5.2.1. Ventilation naturelle.

La ventilation naturelle consiste à renouveler l'air d'un local fermé en exploitant la circulation naturelle de l'air. Cette méthode simple et économique utilise des ouvertures, des fenêtres, des bouches d'aération et des cheminées pour permettre à l'air frais d'entrer et à l'air vicié de s'évacuer. C'est une méthode efficace et écologique pour améliorer la qualité de l'air intérieur dans les maisons, les bureaux et autres espaces clos. Dans ces situations, il peut être nécessaire de combiner la ventilation naturelle avec des systèmes de ventilation mécanique ou de traitement d'air pour obtenir des résultats optimaux [22].

II.5.2.2. Ventilation mécanique.

La ventilation mécanique fait appel à des équipements électriques pour assurer le mouvement et la distribution de l'air dans un local. Contrairement à la ventilation naturelle, cette approche permet un meilleur contrôle et une régulation plus fine de la ventilation. Parmi les principales méthodes de ventilation mécanique, on peut citer :

- **La ventilation par extraction mécanique** : des ventilateurs extraient l'air vicié du local, créant ainsi une dépression qui induit l'entrée d'air neuf par des ouvertures.
- **La ventilation par insufflation mécanique** : des ventilateurs injectent de l'air frais dans le local, créant une surpression qui force l'évacuation de l'air vicié par des sorties d'air.
- **La ventilation double flux** : une combinaison de soufflage et d'extraction mécanique permet un renouvellement d'air contrôlé avec récupération de chaleur.
- **La ventilation hybride** : un mélange de ventilation naturelle et mécanique, exploitant les avantages des deux approches.

Le choix de la solution de ventilation mécanique la plus adaptée dépend des caractéristiques du bâtiment, des besoins de ventilation et des objectifs en termes de performance énergétique [23].

II.5.3. Le choix de la méthode d'injection d'air.

Le choix de la méthode d'injection d'air la plus appropriée dépend de plusieurs éléments clés :

- **Taille du local** : La méthode doit être en mesure de traiter un volume d'air suffisant pour la superficie du local concerné.
- **Objectif de l'injection d'air** : Les besoins peuvent varier selon qu'il s'agisse de ventilation, de contrôle de l'humidité, de confinement, etc. La méthode doit répondre aux exigences spécifiques.

- **Budget et ressources disponibles** : Les systèmes de ventilation centralisée et les pompes à air peuvent s'avérer plus coûteux que les solutions plus simples comme les ventilateurs.
- **Contraintes techniques et architecturales** : La configuration et l'agencement du local peuvent ne pas permettre l'installation de certains systèmes.
- **Qualité de l'air** : L'air injecté doit être propre et exempt de polluants. Des filtres à air peuvent être nécessaires pour garantir la qualité.
- **Niveau sonore** : Certains systèmes d'injection d'air peuvent être bruyants. Il est crucial de choisir une solution compatible avec le niveau de bruit acceptable pour le local.
- **Sécurité** : L'installation et l'utilisation des systèmes d'injection d'air doivent respecter scrupuleusement les normes de sécurité en vigueur.

Le choix final de la méthode d'injection d'air dépendra donc d'un équilibre entre ces différents facteurs, afin de répondre au mieux aux besoins spécifiques du local [18].

II.6. Les Ventilateur.

II.6.1.Définitions.

Les ventilateurs sont des turbomachines qui transfèrent de l'énergie à l'air qui les traverse, afin de le véhiculer à travers une paroi (ventilateur de paroi), dans un ou plusieurs conduits, ou de balayer un espace (ventilateur plafonnier) pour assurer une homogénéisation de l'air. Parmi les nombreux types de ventilateurs employés, on distingue principalement quatre catégories, qui se différencient par la forme des aubes de leur roue :

- **Ventilateurs centrifuges à aubes inclinées vers l'arrière, également appelés ventilateurs à réaction** : les aubes sont orientées dans le sens inverse de la rotation.
- **Ventilateurs centrifuges à aubes inclinées vers l'avant, également appelés ventilateurs à action** : les aubes sont inclinées dans le sens de rotation.
- **Ventilateurs à aubes radiales** : les aubes sont perpendiculaires à l'axe de rotation.
- **Ventilateurs hélicoïdes** : les aubes sont inclinées selon une hélice autour de l'axe de rotation.

Le choix du type de ventilateur le plus adapté dépend des caractéristiques du système de ventilation, des débits d'air requis, des pressions à vaincre, ainsi que des contraintes d'encombrement et de niveau sonore.

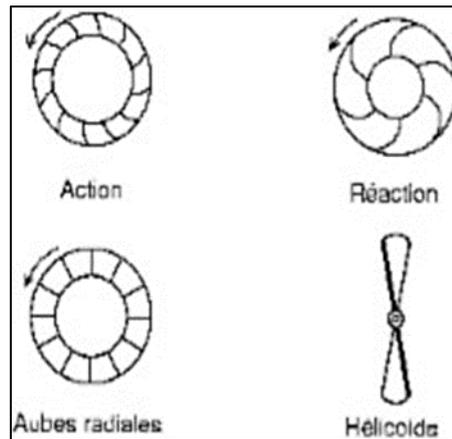


Figure II. 9Types de ventilateurs[23].

II.6.2. Les différents types de ventilateurs.

II.6.2.1. Classification 1 : En fonction de la direction de l'air pulsé :

- **Les ventilateurs axiaux ou hélicoïdes** : l'air est aspiré et propulsé parallèlement à l'axe de rotation du ventilateur.
- **Les ventilateurs radiaux ou centrifuges** : l'air est aspiré parallèlement à l'axe de rotation et propulsé par force centrifuge perpendiculairement à cet axe. Cette catégorie comprend :
 - Les ventilateurs à aubes recourbées vers l'avant (à aubages avant) ;
 - Les ventilateurs à aubes recourbées vers l'arrière (à aubages arrière) ;
 - Les ventilateurs à aubes radiales ;
 - Les ventilateurs centrifuges à deux ouïes d'aspiration, avec des roues plus larges aspirant l'air de chaque côté.
- **Les ventilateurs tangentiels** : l'air est aspiré et refoulé perpendiculairement à l'axe de rotation.

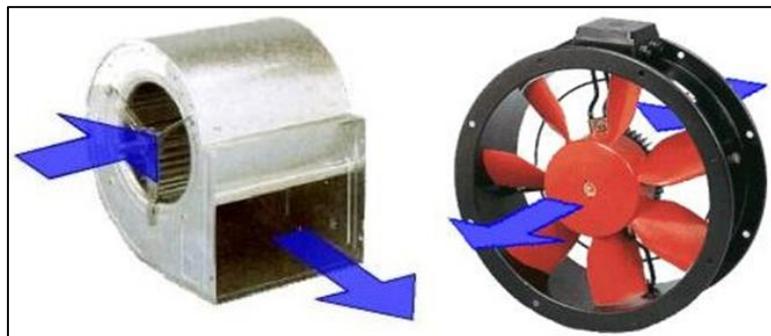


Figure II. 10Ventilateur axial et ventilateur centrifuge[23].

II.6.2.2. Classification 2 : en fonction de la pression :

Cette classification se base sur la capacité du ventilateur à générer une pression statique élevée. Elle permet de distinguer les ventilateurs à haute pression des ventilateurs à basse pression[24].

Tableau II. 1Présente classification du ventilateur Selon la pression[23]

Ventilateur basse pression	$\Delta p < 1\,500\text{ Pa}$
Ventilateur moyenne Pression	$1\,500\text{ Pa} < \Delta p < 3\,600\text{ Pa}$
Ventilateur haute pression	$3\,600\text{ Pa} < \Delta p < 10\,000\text{ Pa}$
Compresseur	$(\Delta p > 10\,000\text{ Pa})$

II.6.3. Les ventilateurs axiaux.

Les ventilateurs axiaux font partie de la famille des turbomachines destinées à mettre en mouvement des fluides compressibles, au même titre que les soufflantes et les compresseurs. Dans ce type de ventilateur, l'air est aspiré et refoulé axialement, c'est-à-dire parallèlement à l'axe de rotation.

Sur le plan physique, ces appareils transfèrent de l'énergie mécanique aux fluides qui les traversent, tels que l'air, afin d'en augmenter la pression et la vitesse en fonction de l'application. Comparés aux soufflantes et aux compresseurs, les ventilateurs axiaux industriels possèdent généralement un faible taux de compression, généralement inférieur à 1,2 pour l'air aux conditions ambiantes. De même, les vitesses des fluides les traversant sont relativement faibles et les surpressions produites varient de 1 500 à 10 000 Pa, soit des valeurs faibles à modérées.

Malgré ces caractéristiques, les ventilateurs axiaux peuvent atteindre des rendements élevés, de l'ordre de 85 %. Cependant, ils sont plus sensibles que les ventilateurs centrifuges aux conditions d'alimentation en air.

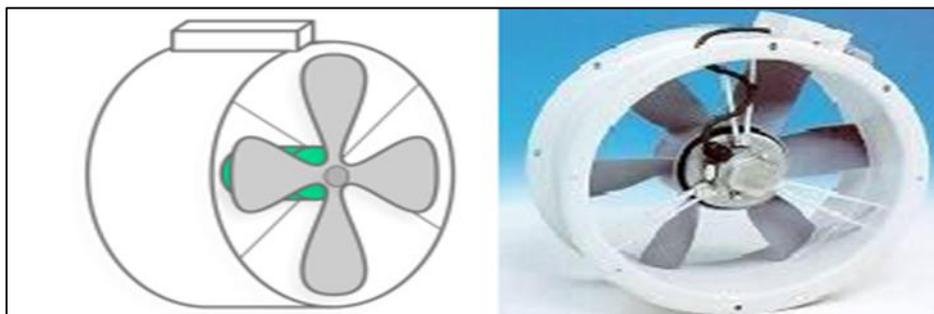


Figure II. 11 Ventilateur axial[24].

Il existe des ventilateurs axiaux :

- Les ventilateurs de brassage, sans enveloppe autour de l'hélice.
- Les ventilateurs de paroi ou de fenêtre, avec une enveloppe autour de l'hélice (ventilateur hélicoïde).
- Les ventilateurs à enveloppe, qui peuvent avoir différentes configurations :
 - Avec une seule hélice.
 - Avec un distributeur en amont de l'hélice.
 - Avec un redresseur en aval de l'hélice (pour augmenter le rendement).
 - Avec deux hélices contrarotatives (la première jouant le rôle de distributeur, la seconde de redresseur)[24].

II.6.4.Constitution.

Un ventilateur axial se compose principalement de trois éléments :

- Une roue, qui permet de diriger les pales et d'assurer la propulsion de l'air.
- Un carter, qui entoure la roue et sert à canaliser et diriger le débit d'air.
- Les pales, fixées sur la roue, qui sont responsables de la génération et de l'accélération du flux d'air.

Ces trois composants essentiels - la roue, le carter et les pales - permettent au ventilateur axial de créer un écoulement d'air dans le sens de son axe de rotation [24].

II.6.5.Principe de fonctionnement d'un ventilateur axial.

Un ventilateur axial comporte deux composants fondamentaux : une roue et un carter. Le carter permet de canaliser et de diriger le flux d'air, tandis que la roue est responsable de la propulsion de l'air. Le principe de fonctionnement repose sur la variation de la vitesse de l'air lorsqu'il s'écoule sur les pales de la roue. Cette variation de vitesse entraîne la propulsion de l'air dans l'axe du ventilateur. La **Fig. II. 12** illustre une version simplifiée de la conception d'un ventilateur axial, mettant en évidence ces éléments de base[24].

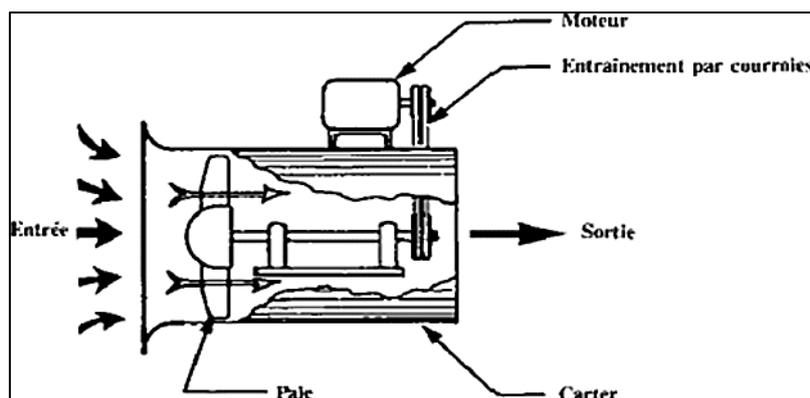


Figure II. 12 Déplacement d'air produit par ventilateur axial[24].

II.6.6. Utilité des ventilateurs axiale :

Les ventilateurs axiaux peuvent être employés pour la manipulation de tout type de fluide compressible. Ils trouvent ainsi de nombreuses applications dans divers domaines :

Ventilation de lieux tels que tunnels, parkings souterrains ou sites industriels.

- Désenfumage.
- Refroidissement.
- Séchage.
- Soufflerie.
- Assainissement de l'air.
- Climatisation.
- Production de froid.

Grâce à leur capacité à déplacer efficacement les fluides, les ventilateurs axiaux s'avèrent polyvalents et sont utilisés dans une large gamme de secteurs et d'usages[24].

II.6.7. Avantages et inconvénients des ventilateurs :

Avantage des ventilateurs :

- **Simplicité et prix abordable** : Ce sont des appareils relativement simples et peu coûteux, accessibles à tous les budgets.
- **Facilité d'utilisation** : Ils ne nécessitent aucune installation complexe et sont généralement prêts à l'emploi après branchement.
- **Mobilité** : La plupart des ventilateurs sont portables et peuvent être facilement déplacés selon les besoins.
- **Efficacité énergétique** : Ils consomment relativement peu d'énergie par rapport aux climatiseurs, ce qui les rend plus économiques à long terme.

Chapitre2 : Capteurs de gaz et techniques de ventilation et stérilisation de l'air.

- **Polyvalence** : Ils peuvent être utilisés dans divers environnements, tels que les maisons, les bureaux, les terrasses et même les espaces extérieurs abrités.
- **Amélioration de la circulation de l'air** : Ils favorisent la circulation de l'air stagnant, réduisant les zones de chaleur et les poches d'air vicié.
- **Sensation de fraîcheur** : Ils créent une brise artificielle qui procure une sensation de fraîcheur agréable, surtout par temps chaud et sec.
- **Assèchement de l'air** : Ils peuvent contribuer à assécher l'air ambiant, ce qui peut être bénéfique dans les environnements humides.

Inconvénients des ventilateurs :

Ils ne refroidissent pas réellement l'air : Ils ne font que brasser l'air ambiant, sans abaisser la température.

- **Efficacité limitée par temps chaud et humide** : Dans les environnements très chauds et humides, leur effet rafraîchissant peut être réduit.
- **Risque de courant d'air désagréable** : Un flux d'air trop puissant peut créer un courant d'air désagréable et dessécher la peau et les yeux.
- **Bruit** : Certains modèles, notamment les plus anciens ou bon marché, peuvent générer un bruit gênant, surtout à haute vitesse.
- **Ils ne filtrent pas l'air** : Ils ne peuvent pas éliminer les polluants, les allergènes ou les odeurs.
- **Impact esthétique** : Certains modèles, comme ceux sur pied ou de table, peuvent encombrer l'espace et nuire à l'esthétique de la pièce[24].

II.7. La stérilisation et la désinfection de l'air.

II.7.1.Définitions.

La stérilisation et la désinfection sont deux processus distincts qui visent à éliminer ou réduire les micro-organismes présents dans l'air.

- La stérilisation élimine complètement tous les micro-organismes, y compris les bactéries, les virus et les spores, pour obtenir un air totalement exempt de vie microbienne. Elle est recommandée dans les environnements à haut risque d'infection comme les salles d'opération.

Chapitre2 : Capteurs de gaz et techniques de ventilation et stérilisation de l'air.

- La désinfection réduit de manière significative le nombre de micro-organismes sans les éliminer complètement. Elle suffit pour la plupart des lieux publics et privés comme les bureaux ou les écoles.

II.7.2. Les différentes techniques de stérilisation et la désinfection l'air.

Il existe diverses méthodes de stérilisation de l'air, chacune présentant des avantages et des inconvénients. Le choix de la technique la plus appropriée dépendra de plusieurs critères, notamment les types de microbes à éliminer, la taille de la zone à traiter et les moyens financiers disponibles. Certaines techniques seront plus adaptées pour désinfecter de grands espaces, tandis que d'autres conviendront mieux à des zones plus restreintes. De même, le coût d'installation et de fonctionnement sera un élément décisif pour de nombreuses applications. En fonction des objectifs et des contraintes, il faudra donc évaluer attentivement les différentes options de stérilisation de l'air afin de sélectionner la plus appropriée [7].

II.7.2.1. Stérilisation par chaleur.

La stérilisation par chaleur sèche est l'une des méthodes les plus couramment employées. Ce procédé consiste à placer les éléments à stériliser dans une étuve, où une température homogène d'environ 170°C est maintenue pendant 2 heures. Ce traitement thermique détruit les micro-organismes en oxydant leurs composants cellulaires. Cependant, cette technique est moins efficace que la stérilisation à la chaleur humide, car l'eau facilite les modifications de la configuration des protéines et permet une meilleure répartition de la chaleur au sein de la zone de traitement. Par conséquent, pour obtenir une stérilisation efficace par chaleur sèche, il est nécessaire d'appliquer des températures plus élevées pendant une durée plus longue.

La durée de stérilisation doit être adaptée en fonction du type de matériau. Pour les matériaux résistants à la chaleur, on pourra ainsi utiliser des températures plus hautes pendant une période plus courte. Ce paramétrage précis est essentiel pour garantir une stérilisation complète sans endommager les éléments traités[25].

II.7.2.2. Stérilisation par rayonnement UV.

Le rayonnement ultraviolet (UV) est une méthode de désinfection très efficace contre de nombreux virus et bactéries. Elle est utilisée pour traiter l'eau et assainir l'air dans différents espaces tels que les locaux, les pièces et les environnements fermés.

Le principe repose sur l'absorption du rayonnement UV par l'ADN des micro-organismes, provoquant une réaction photochimique qui endommage leur processus de reproduction. Contrairement à d'autres techniques de désinfection, il n'a pas été constaté de développement

de résistance des bactéries face au rayonnement UV. De fait, de nombreux agents pathogènes y sont extrêmement sensibles, ce qui constitue un avantage majeur de cette méthode.

Cependant, le rayonnement UV n'agit que sur les surfaces et ne peut pas traverser les matériaux solides, contrairement aux rayonnements X ou gamma qui pénètrent dans la matière. Par ailleurs, la puissance des lampes UV, mesurée en milliwatts, est un paramètre crucial qui conditionne l'efficacité du système de désinfection. Plus la puissance est importante, plus la désinfection sera efficace [22]

II.7.2.3. Stérilisation par filtration.

La stérilisation par filtration est une méthode efficace pour éliminer les micro-organismes présents dans l'air, les liquides et les gaz. Elle repose sur l'utilisation de filtres à pores fins qui permettent de capturer et de retenir les particules en suspension, y compris les bactéries, les virus, les moisissures et les spores. Les filtres utilisés dans ce procédé sont généralement composés de membranes en polymères, en céramique ou en fibres textiles. La taille des pores de ces membranes est inférieure à celle des micro-organismes qu'elles doivent intercepter. Lorsque le fluide à stériliser traverse le filtre, les micro-organismes sont piégés dans les pores, tandis que le fluide stérilisé passe au travers. Principaux types de filtres utilisés sont :

- **Filtres HEPA (High Efficiency Particulate Air) :** Ils capturent les particules d'une taille supérieure à 0,3 micron avec une efficacité de 99,97%. Ils sont largement utilisés pour la stérilisation de l'air et des gaz.
- **Filtres à membrane :** Disponibles avec différentes tailles de pores, ils permettent de capturer des particules de tailles diverses. Ils sont utilisés pour la stérilisation de liquides et de gaz.
- **Filtres à disques :** Constitués de disques empilés recouverts d'une membrane filtrante, ils offrent une grande surface de filtration et sont utilisés pour de gros volumes de liquides.
- **Filtres à cartouches :** Composés d'une cartouche cylindrique contenant une membrane filtrante, ils sont robustes et faciles à remplacer [26].

II.7.2.4. Stérilisation par produits chimiques.

La stérilisation par produits chimiques est une méthode efficace pour éliminer les micro-organismes, y compris les bactéries, les virus, les champignons et les spores, de surfaces, d'instruments et de milieux. Elle utilise des agents chimiques, appelés stérilisants, qui détruisent ou inactivent les micro-organismes en altérant leurs structures cellulaires ou en

perturbant leurs processus métaboliques. Les produits chimiques stérilisants agissent de différentes manières, à savoir :

- **Dégradation de la paroi cellulaire:** Certains stérilisants, comme les alcools, dissolvent les lipides de la membrane cellulaire, ce qui la rend perméable et entraîne la fuite du contenu cellulaire.
- **Dénaturation des protéines:** D'autres stérilisants, comme le formaldéhyde, dénaturent les protéines essentielles aux fonctions cellulaires.
- **Oxydation des composants cellulaires:** Certains stérilisants, comme l'eau oxygénée, oxydent les composants cellulaires, ce qui entraîne des dommages importants.
- **Alkylation des groupes fonctionnels:** Certains stérilisants, comme le glutaraldéhyde, réagissent avec les groupes fonctionnels des protéines et des acides nucléiques, ce qui inhibe leur activité.

II.7.2.5. Types de produits chimiques stérilisants :

- **Alcools:** L'éthanol et l'isopropanol sont des alcools couramment utilisés pour la stérilisation de surfaces et de petits instruments.
- **Aldéhydes:** Le formaldéhyde et le glutaraldéhyde sont des aldéhydes puissants qui stérilisent un large éventail de micro-organismes.
- **Halogènes:** L'eau de Javel et le chlore sont des halogènes qui stérilisent efficacement les surfaces et l'eau.
- **Oxygénés:** L'eau oxygénée et le peroxyde d'hydrogène sont des oxydants qui stérilisent les surfaces et les instruments.
- **Spore-cides:** Le glutaraldéhyde et l'acide peracétique sont des spore-cides efficaces qui détruisent les spores résistantes[27].

II.8. Conclusion.

Dans ce deuxième chapitre, nous avons fait un tour d'horizon des différents types de capteurs de gaz, en mettant l'accent sur les détecteurs de gaz toxiques. Nous avons également abordé les processus d'extraction et d'aspiration des gaz, ainsi que les techniques d'injection d'air dans les espaces confinés. Par ailleurs, nous nous sommes intéressés aux ventilateurs axiaux, en définissant leurs principes de fonctionnement et leurs principales caractéristiques techniques. Enfin, le chapitre s'est penché sur les méthodes de stérilisation et de désinfection de l'air, en présentant les différentes techniques employées à ces fins.

**Chapitre 3 : Conception d'un
système de détection de gaz
intelligent : Étude des
composants électroniques**

III.1. Introduction.

Ce chapitre présente une étude pratique portant sur la conception et la mise en œuvre d'un système de détection de gaz intelligent. L'objectif est de détailler les composants électroniques essentiels à la réalisation du prototype, en mettant en avant leur rôle crucial dans le fonctionnement global du système. Nous explorerons divers capteurs de gaz tels que les MQ2, MQ6 et MQ135, ainsi que d'autres dispositifs comme les ventilateurs, les buzzers, les capteurs de température et de flamme, et les filtres à air. Chaque composant sera analysé afin de comprendre son importance dans la détection et la gestion des gaz dangereux, tout en garantissant sécurité et efficacité.

III.2. Prototype proposé.

Le principe de fonctionnement de notre prototype repose sur la détection des changements physiques ou chimiques causés par la présence de gaz spécifiques. Le capteur de gaz MQ-135 analyse la qualité de l'air et, en cas de manque d'air frais, active les ventilateurs pour introduire de l'air neuf et purifié dans la pièce. Lorsqu'il détecte une contamination de l'air, l'alarme et le voyant rouge s'activent, et le système déclenche automatiquement des ventilateurs pour évacuer l'air pollué et introduire de l'air neuf et désinfecté.

Le système est également équipé de capteurs MQ-2 et MQ-6 pour détecter toute fuite de méthane ou de butane. Si l'un de ces gaz est détecté, l'alarme et le voyant rouge s'activent, et des ventilateurs se mettent en marche pour évacuer l'air pollué et introduire de l'air frais.

En cas de détection de flammes par le capteur de flamme, accompagnée de la détection de fumée par le capteur MQ-135 et d'une hausse de température par le capteur de température, l'alarme s'active et les ventilateurs commencent à évacuer l'air pour éteindre le feu.

III.3. Composition de notre système.

Notre système se compose de quelques pièces électroniques importantes qui jouent un rôle clé dans la réalisation de notre prototype, nous allons présenter les pièces utilisées et leur importance dans ce qui suit :

III.3.1. Carte Arduino nano.

Notre projet est basé sur la carte Arduino nano. Cette carte fournit une Plate-forme de développement stable et abordable. En outre, la large gamme de ports d'entrée et de sortie permet une intégration facile avec divers capteurs et actionneurs, facilitant la collecte de

données et le contrôle de l'appareil. De plus, sa communauté active apporte un soutien précieux en termes de ressources et de documentations. Enfin, l'Arduino nano est facile à programmer, nous permettant de personnaliser et d'optimiser notre système selon nos besoins.

III.3.1.1. Description de la carte Arduino nano.

Arduino Nano est une carte de développement intelligente conçue pour construire des prototypes plus rapides avec la plus petite dimension. Arduino Nano, étant le plus ancien membre de la famille Nano, offre suffisamment d'interfaces pour vos applications faciles à monter sur une plaque d'essai. Au cœur de la carte se trouve le microcontrôleur ATmega328 cadencé à une fréquence de 16 MHz. [1]



Figure III. 1 Carte Arduino nano[1].

III.3.1.2 Caractéristiques Arduino nano.

Tension de fonctionnement : 5 V

Tension d'alimentation : 7V à 12 V (limite : 6V à 20V)

Nombre d'entrées/sorties : 14 broches (dont 6 PWM)

Entrées analogiques : 8 broches

Courant maximal par broche : 40 mA

Courant pour broche 3.3 V : 50 mA

Mémoire Flash : 32 KB

SRAM : 2 KB

EEPROM : 1 KB

Vitesse d'horloge : 16 MHz

Connecteur USB : mini-USB B

Dimensions : 45 mm x 18 mm x 18 mm

Poids : 7 g[16]

III.3.2. Capteurs de gaz.

Les capteurs de gaz MQ-2, MQ-6 et MQ-135 sont essentiels pour notre prototype de détection de gaz toxiques et combustibles. Chacun de ces capteurs présente des avantages distincts qui en font des choix idéaux pour diverses applications. Les capteurs MQ-2, MQ-6 et MQ-135 apportent chacun des avantages spécifiques pour la détection de différents types de gaz, tout en garantissant une intégration aisée, des coûts réduits et des performances fiables.

III.3.2.1 Définition d'un capteur de gaz MQ-135.

Le matériau sensible du capteur de gaz MQ135 est l' SnO_2 , qui a une conductivité plus faible dans l'air propre. Lorsque le gaz polluant cible est présent, la conductivité du capteur augmente avec la concentration de gaz. Les utilisateurs peuvent convertir le changement de conductivité en un signal de sortie correspondant à la concentration de gaz à l'aide d'un circuit simple.

Le capteur de gaz MQ135 a une grande sensibilité à l'ammoniac, au sulfure, aux vapeurs de la série benzénique, et peut également bien détecter la fumée et d'autres gaz toxiques. Il peut détecter divers types de gaz toxiques et est un capteur à faible coût pour de nombreuses applications[7].



Figure III. 2 Capteur de gaz MQ-135[7].

Tableau III. 1 Caractéristiques techniques capteur de gaz MQ-135[7].

Capteur Type	Semiconductor
Tension exploitation	5 Vcc
Résistance à la charge	20 K Ω
Résistance au chauffage	29 Ω ±3%
Consommation de chauffage	≤950mW
Résistance à la détection	Ajustable
Plage de détection	10à1000ppm
Préchauffage après sa première mise en service	Plus de 24 heures
Réaction après mise sous tension	≤ 300s

III.3.2.2 Définition d'un capteur de gaz MQ-2.

Le matériau sensible du capteur de gaz MQ-2 est l' SnO_2 , qui a une conductivité plus faible dans l'air propre. Lorsque le gaz combustible cible est présent, la conductivité du capteur est plus élevée en fonction de la concentration de gaz.

À l'aide d'un circuit électrique simple, on peut convertir le changement de conductivité en un signal de sortie correspondant à la concentration de gaz.

Le capteur de gaz MQ-2 a une grande sensibilité au GPL, au propane et à l'hydrogène, et peut également être utilisé pour détecter le méthane et d'autres vapeurs combustibles. Il est de faible coût et convient à différentes applications[18].



Figure III. 3 Capteur de gaz MQ-2[18].

Tableau III. 2Caractéristiques techniques capteur de gaz MQ-2[18].

Capteur Type	Semiconductor
Tension exploitation	5 Vcc
Résistance à la charge	20 K Ω
Résistance au chauffage	33 Ω \pm 5%
Consommation de chauffage	<800mw
Résistance à la détection	10 K Ω
Plage de détection	200 à 10000ppm
Préchauffage après sa première mise en service	Plus de 24 heures
Réaction après mise sous tension	20 s

III.3.2.3 Définition d'un capteur de gaz MQ-6.

Le matériau sensible du capteur de gaz MQ-6 est l'SnO₂, qui a une conductivité plus faible dans l'air propre. Lorsque le gaz combustible cible est présent, la conductivité du capteur est plus élevée en fonction de la concentration de gaz.

À l'aide d'un circuit électrique simple, on peut convertir le changement de conductivité en un signal de sortie correspondant à la concentration de gaz.

Le capteur de gaz MQ-6 a une grande sensibilité au propane, au butane et au GPL, et répond également au gaz naturel. Le capteur peut être utilisé pour détecter différents gaz combustibles, en particulier le méthane. Il est de faible coût et convient à différentes applications[6].



Figure III. 4Capteur de gaz MQ-6[6].

Tableau III. 3Caractéristiques techniques capteur de gaz MQ-6 [17].

Capteur Type	Semi-conducteur
Tension d'exploitation	5 Vcc
Résistance à la charge	20 K Ω
Résistance au chauffage	33 Ω \pm 5%
Consommation de chauffage	750mw
Résistance à la détection	10K Ω - 60K Ω
Plage de détection	200 à 10000ppm
Préchauffage après sa première mise en service	Plus de 24 heures
Réaction après mise sous tension	20 s

III.3.2.4.Comment fonctionne un capteur de gaz MQ-135, MQ-2 et MQ-6.

Fonctionnement normal (absence de gaz)

Les capteurs MQ-2et MQ-6 et MQ-135 est composé d'une couche semi-conductrice en dioxyde d'étain (SnO₂) qui est chauffée à haute température. Dans des conditions normales, en l'absence de gaz, l'oxygène présent dans l'air ambiant s'adsorbe à la surface de cette couche semi-conductrice. Cela crée une barrière de potentiel sous forme d'une couche d'épuisement des électrons juste en dessous de la surface du SnO₂. Cela a pour effet d'augmenter la résistance électrique du capteur et de limiter le passage du courant.

Détection de gaz :

Lorsque des gaz combustibles ou toxiques sont présents à la surface du capteur, la barrière de potentiel est réduite car la densité d'oxygène adsorbé diminue. Cela libère des électrons dans le SnO₂, facilitant ainsi la circulation du courant électrique à travers le capteur.

Sorties des capteurs

Les capteurs disposent de deux types de sorties :

Une sortie numérique qui fournit un signal binaire indiquant la présence ou non de gaz.

Une sortie analogique qui délivre une tension proportionnelle à la concentration de gaz détectée, plus la concentration est élevée, plus la tension de la sortie, est importante.

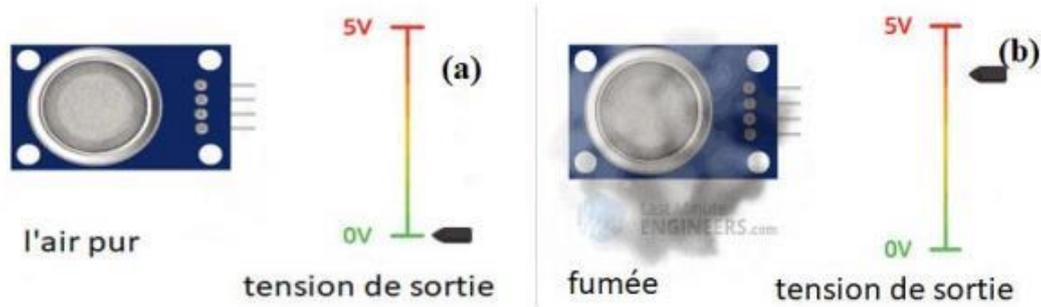


Figure III. 5Variation de tension de sortie : a) absence du gaz. b) présence du gaz [7].

III.3.3.Capteur de température et d'humidité.

Le capteur de température et d'humidité DHT22 est un outil compact et abordable pour la surveillance environnementale. Grâce à ses performances fiables et sa facilité d'intégration, il est un choix populaire pour diverses applications, des projets DIY aux systèmes de surveillance météorologique. Avec sa capacité à détecter avec précision la température et l'humidité, le DHT22 s'avère essentiel pour une large gamme de solutions liées à la mesure et au contrôle des conditions environnementales.

III.3.3.1 Définition d'un capteurDHT 22.

Le capteur DHT22, également connu sous le nom d'AM2302, est un dispositif prisé pour mesurer la température et l'humidité relative de l'air ambiant. Il fonctionne sur le principe de la détection capacitive pour l'humidité et d'une thermistance pour la température.

Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

- Tension d'alimentation : entre 3 et 6 Vcc
- Consommation de courant : inférieure à 2,5 mA
- Plage de température mesurable : de -40 à +80°C
- Précision de la mesure de température : $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$
- Plage d'humidité mesurable : de 0 à 100% HR (humidité relative)
- Précision de la mesure d'humidité : $\pm 2\%$ HR
- Temps de réponse : 1 seconde
- Interface de connexion : 3 fils (alimentation, signal, masse)[18].



Figure III. 6Capteur de température et l'humidité DHT 22[18].

III.3.4. Capteur de flamme.

Le détecteur de flamme est un dispositif compact et performant, conçu pour détecter rapidement et précisément la présence de feu. Grâce à sa sensibilité élevée et à sa facilité d'intégration dans différents systèmes, il constitue une solution idéale pour la sécurité incendie. Que ce soit dans les industries, les bâtiments ou les habitations, le détecteur de flamme joue un rôle crucial en permettant une intervention rapide en cas d'incendie, contribuant ainsi à limiter les dégâts et à protéger les personnes et les biens

III.3.4.1.Définition.

Le capteur de flamme KY-026 détecte la lumière infrarouge émise par le feu. Ce capteur dispose de sorties numériques et analogiques et d'un potentiomètre pour régler la sensibilité. Couramment utilisé dans les systèmes de détection d'incendie. Compatible avec Arduino, Raspberry Pi.

Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

- Récepteur infrarouge à haute sensibilité
- Extrêmement sensible à l'onde entre 760-1100nm
- Voyant d'alimentation
- Indicateur de sortie du comparateur
- AO, sortie du signal de tension thermistance en temps réel
- DO, signal de niveau électrique élevé / faible
- Sortie de quantité analogique
- Sortie de niveau électrique de renversement de seuil
- Seuil ajusté par potentiomètre
- Plage d'angle de détection : environ 60 degrés
- Alimentation : 0-15 V DC

- Trou Diamètre intérieur : env. 3mm
- Taille (L x W): env. 36 x 16 mm[16]

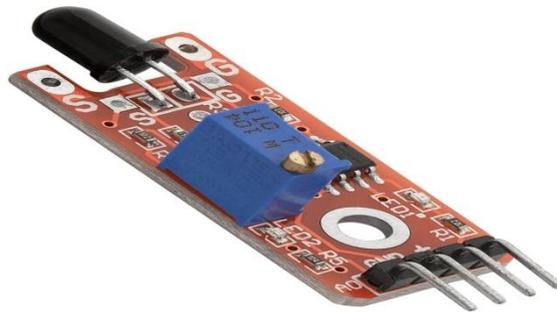


Figure III. 7Capteur de flamme KY-026 [16].

III.3.5. Afficheurs LCD.

Les écrans LCD jouent un rôle crucial dans notre prototype. Ils offrent une interface visuelle essentielle pour afficher en temps réel les niveaux de gaz détectés. Cette fonctionnalité permet aux utilisateurs de surveiller rapidement et efficacement les conditions environnementales. De plus, la capacité des écrans LCD à afficher des alertes visuelles en cas de niveaux de gaz dangereux est une fonctionnalité de sécurité cruciale. Ils améliorent également la convivialité du dispositif en permettant la configuration et la personnalisation des paramètres du détecteur. En résumé, les écrans LCD sont un élément essentiel pour assurer la fonctionnalité de notre prototype de détecteur de gaz

III.3.5.1.Définition.

Les écrans à cristaux liquides, communément appelés écrans LCD, sont aujourd'hui largement utilisés dans les affichages électroniques en raison de leur capacité à créer des écrans plats et peu encombrants. Ils jouent un rôle essentiel dans de nombreux systèmes électriques.

Le marché propose une grande variété d'écrans LCD qui se différencient par leurs caractéristiques techniques, leurs tensions de fonctionnement et leurs dimensions.

La figure 15 illustre un modèle d'écran LCD 20x4, c'est-à-dire composé de 20 colonnes et 4 lignes d'affichage.



Figure III. 8Ecran LCD 20x4.

III.3.7. Diode électroluminescente (LED).

Notre prototype utilise des diodes électroluminescentes (LED) comme indicateurs visuels des niveaux de gaz détectés. Ces indicateurs permettent aux utilisateurs de rapidement remarquer tout changement environnemental potentiellement dangereux. Les LED offrent également un moyen d'alerter visuellement en cas de détection de gaz nocifs, renforçant ainsi la sécurité. De plus, les LED sont économes en énergie, ce qui est essentiel pour assurer un fonctionnement fiable et durable de notre appareil. Dans l'ensemble, l'intégration des LED joue un rôle clé pour améliorer la surveillance et la sécurité offertes par notre prototype

III.3.7.1 Définition.

La diode électroluminescente (LED) est un dispositif optoélectronique qui émet de la lumière lorsqu'un courant électrique lui est appliqué. Tout comme une diode classique, la LED ne laisse circuler le courant que dans une seule direction (polarisation directe) et bloque le courant dans l'autre sens (polarisation inverse). Cependant, le seuil de tension nécessaire pour faire fonctionner chaque LED peut varier selon le type de LED utilisé.



Figure III. 9Diodes électroluminescentes (Rouge, Jaune, Vert).

III.3.8. Relais électrique.

Dans notre prototype, les relais électriques jouent un rôle crucial pour la sécurité. Ils permettent d'isoler électriquement le circuit de détection de gaz entre l'Arduino et les autres systèmes, réduisant ainsi les risques de contamination ou d'interférence. En cas de détection de gaz dangereux, les relais Les ventilateurs fonctionnent pour évacuer l'air ou également réchauffer l'air s'il fait froid. Cette réponse rapide et fiable des relais contribue à protéger la vie et la sécurité des utilisateurs. Dans l'ensemble, l'intégration des relais électriques est essentielle pour assurer la réactivité et la fiabilité globale de notre prototype de détecteur de gaz.

III.3.8.1. Définition.

Les relais sont des composants électromécaniques qui permettent de séparer électriquement différentes parties d'un circuit. Ils sont constitués de deux éléments principaux :

Une bobine qui produit un champ magnétique lorsqu'un courant électrique la traverse. C'est la partie "commande" du relais.

Un commutateur ou contact électrique qui s'ouvre ou se ferme en fonction de la présence du champ magnétique généré par la bobine. C'est la partie "commutée" du relais.

Le courant pouvant circuler à travers ces contacts varie généralement entre 10 et 16 ampères. Cette séparation électrique assurée par les relais est essentielle pour isoler certaines parties sensibles d'un circuit électronique.



Figure III. 10 Relais électrique.

III.3.9. Buzzer.

Dans notre projet, l'intégration d'un buzzer joue un rôle essentiel. En cas de détection de gaz dangereux, tels que des gaz toxiques ou inflammables, le buzzer permet d'alerter rapidement

les personnes présentes du danger, ce qui peut s'avérer vital. Cet avertisseur sonore renforce ainsi de manière significative la sécurité globale de notre système, en fournissant une réponse immédiate et perceptible. En conséquence, l'utilisation du buzzer est cruciale pour assurer une réaction appropriée et rapide en situation de risque, protégeant ainsi la sécurité des utilisateurs.

III.3.9.1 Définition.

Le buzzer est un haut-parleur de faible puissance utilisé comme outil de signalisation audio. Lorsqu'il est alimenté, il produit un son dépendant de sa fréquence de fonctionnement. Il existe deux types de buzzers : les modèles piézoélectriques et les modèles électromécaniques. Un avantage majeur du buzzer est qu'il nécessite très peu de puissance, permettant ainsi de le connecter directement à une sortie numérique d'un microcontrôleur. Pour ce faire, on relie simplement le terminal positif du buzzer à une sortie numérique et le terminal négatif à la masse.



Figure III. 11 Buzzer piézo-électrique.

III.3.10. Ventilateurs

Dans notre projet, l'utilisation de ventilateurs joue un rôle primordial pour garantir la sécurité. En cas de détection de gaz dangereux, ces ventilateurs permettent d'évacuer rapidement ces substances nocives, en assurant une dispersion efficace. Cela réduit de manière significative les risques pour la santé et la sécurité des personnes présentes. En empêchant l'accumulation de gaz toxiques ou inflammables, les ventilateurs contribuent ainsi à maintenir un environnement de travail sûr. Lorsque des substances potentiellement mortelles sont détectées, l'intégration de ces ventilateurs renforce considérablement la protection et la réactivité de notre système de détection. Leur rôle est donc essentiel pour assurer une évacuation rapide et un renouvellement de l'air en cas de situation dangereuse.

III.3.10.1 Définition.

Les ventilateurs jouent un rôle essentiel dans le domaine de l'évacuation des gaz, constituant un outil électronique extrêmement efficace et utile. Ils sont composés d'hélices (ou turbines) entraînées par un moteur, permettant une dispersion optimale des substances. Ces ventilateurs sont alimentés par une source de tension continue.

Une caractéristique importante des ventilateurs est leur rapport de moyeu. Ce rapport correspond au diamètre du moyeu de l'hélice divisé par le diamètre extérieur de cette dernière. Plus le rapport de moyeu est élevé, plus le ventilateur sera capable de générer des pressions importantes. Cela lui permet ainsi d'assurer une évacuation rapide et efficace des gaz, contribuant ainsi grandement à la sécurité du système.



Figure III. 12 Ventilateur.

III.3.10. Filtres.

Dans notre projet, l'utilisation de filtres de purification de l'air joue un rôle primordial pour garantir la sécurité. En cas de présence de micro-organismes dangereux dans l'air, ces filtres permettent d'éliminer rapidement ces substances nocives, en assurant une purification efficace. Cela réduit de manière significative les risques pour la santé et la sécurité des personnes présentes. En empêchant l'accumulation de germes pathogènes, les filtres contribuent ainsi à maintenir un environnement de travail sain et sûr. Lorsque des microbes potentiellement mortels sont détectés, l'intégration de ces filtres renforce considérablement la protection et la réactivité de notre système de surveillance de la qualité de l'air. Leur rôle est donc essentiel pour assurer une purification rapide et un renouvellement de l'air

III.3.10.1. Définition Filtre HEPA 13.

Le filtre HEPA (High Efficiency Particulate Air) signifie air particulaire à haute efficacité de filtration. En effet, le filtre HEPA est capable de piéger plus que 99,97% des particules des particules de 0,3 micron.

Des particules de différentes tailles, à savoir :

- Une taille $>$ à $100\mu\text{m}$ comme : les grains de sable ; les cheveux...
- Une taille comprise entre $100\mu\text{m}/10\mu\text{m}$, tels que : les poussières ; le pollen...
- Une taille comprise entre $1\mu\text{m}/2,5\mu\text{m}$, ex : les bactéries ; la poussière de toner ; la moisissure...
- Une taille comprise entre $0,3\mu\text{m}$ et $1\mu\text{m}$, notamment : les virus ; les nanoparticules ; les particules fine [9].



Figure III. 13 Filtre HEPA 13[9].

III.3.11. Carte alimentation 12 Vcc.

La carte d'alimentation 12 Vcc est essentielle pour fournir une tension stable à la carte électronique (PCB) et aux ventilateurs dans notre système. Elle permet de garantir un fonctionnement fiable de tous les composants, en assurant une alimentation de 12 V CC constante. Cela est crucial pour les circuits électroniques et pour alimenter les ventilateurs, nécessaires. En gérant plusieurs charges simultanément, la carte d'alimentation assure la stabilité et la performance optimale de l'ensemble du système.



Figure III. 14 Carte alimentation 12vcc.

III.4. Conclusion.

En conclusion, l'étude pratique de ce chapitre a permis de démontrer l'efficacité et la pertinence des différents composants électroniques utilisés dans le prototype de système de détection de gaz. Grâce à l'intégration des capteurs spécialisés, de systèmes d'alerte, et de dispositifs de gestion de l'air, le prototype propose une solution fiable pour la surveillance des environnements à risque. L'association de technologies avancées telles que les capteurs MQ et les systèmes de ventilation montre un potentiel significatif pour la prévention des accidents liés aux gaz toxiques et inflammables. Ce système pourrait être amélioré davantage pour répondre à des besoins spécifiques de sécurité et de performance dans divers secteurs.

**Chapitre 4 Réalisation d'un système de
détection de gaz intelligent : Conception,
essais et validation**

IV.1 Introduction.

Dans l'objectif de contribuer à la création d'un environnement plus sûr pour tous, où les risques liés aux gaz toxiques ou inflammables sont réduits, notre contribution vise à réaliser un système de détection de gaz intelligent, efficace en présence de gaz dangereux.

Dans ce chapitre, nous avons utilisé des éléments électroniques qui jouent un rôle important dans la détection et la réaction intelligente de notre prototype, des essais et des tests pratiques seront menés afin de prouver le bon fonctionnement de notre système.

IV.2 Description des blocs du prototype.

Le schéma de fonctionnement du prototype est représenté sur la figure :

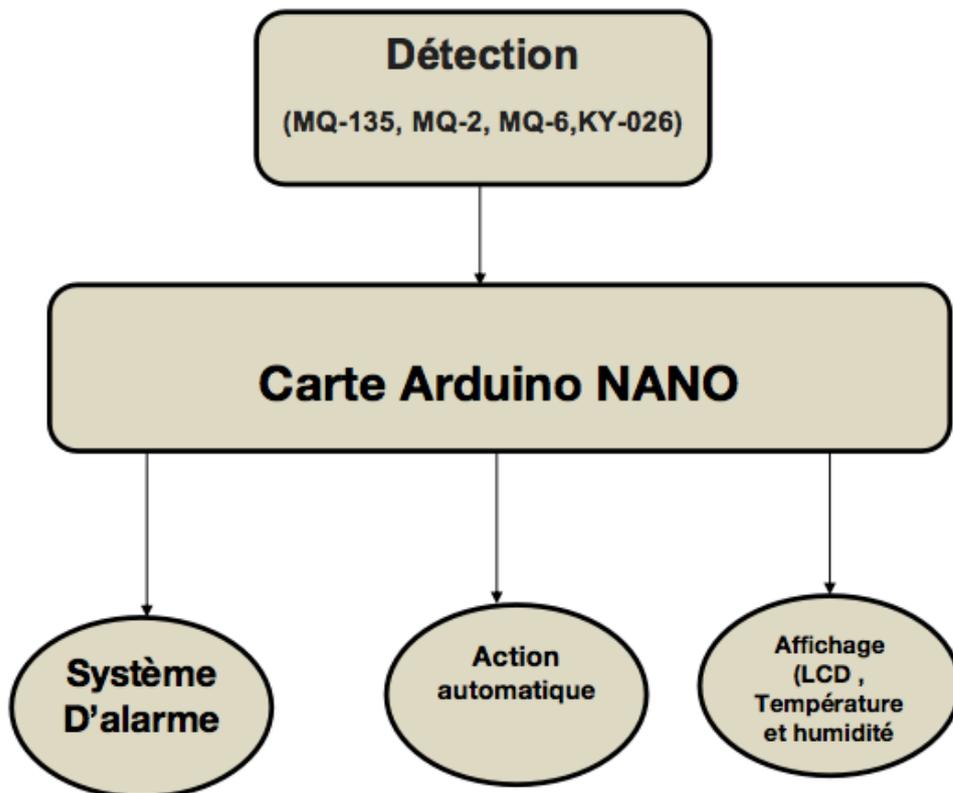


Figure IV. 1 Représentation schématique du prototype.

Trois blocs distincts forment le prototype :

- Bloc de détection de la présence du gaz et flamme.
- Bloc d'activation d'alarme.

- Bloc d'action automatique (Ventilateurs).
- Les trois blocs sont connectés à un écran LCD 20x 4 pour afficher les différents états, tels que la présence de gaz toxique ou nonetAussi la température et l'humidité.

IV.2.1 Bloc de détection.

Divisé en deux parties : bloc de détection de gaz et bloc de détection de flamme.

IV.2.1.1 Bloc de détection de gaz.

Les capteurs MQ-135, MQ-6 et MQ-2 sont essentiels dans notre prototype de détection de gaz, chacun étant conçu pour détecter des gaz spécifiques. Le **MQ-135** est destiné à détecter une large gamme de gaz dangereux tels que l'ammoniac, le monoxyde de carbone, le méthane et les gaz NOx. Le **MQ-6**, quant à lui, est spécialisé dans la détection du gaz butane et du propane, idéal pour surveiller les fuites de gaz dans les cuisines ou les installations industrielles. Le **MQ-2** est principalement utilisé pour détecter le méthane, le monoxyde de carbone et les gaz de fumée. Lorsqu'un gaz cible entre en contact avec la couche sensible de ces capteurs, la résistance entre les électrodes varie en fonction de la concentration du gaz, ce qui génère un signal analogique qui fluctue entre 0V et 5V. La connexion de ces capteurs à la carte Arduino se fait de la manière suivante : le **VCC** de chaque capteur est relié à la source d'alimentation de 5V, le **GND** est relié au **GND** de la carte Arduino, et la sortie analogique du MQ-135 est connectée à la broche **A0**, celle du MQ-6 à la broche **A2**, et celle du MQ-2 à la broche **A1** de la carte Arduino, permettant ainsi de surveiller et d'analyser la concentration des gaz dans l'air.

Le branchement de ces modules à une carte Arduino sous fritzing est illustré dans la figure

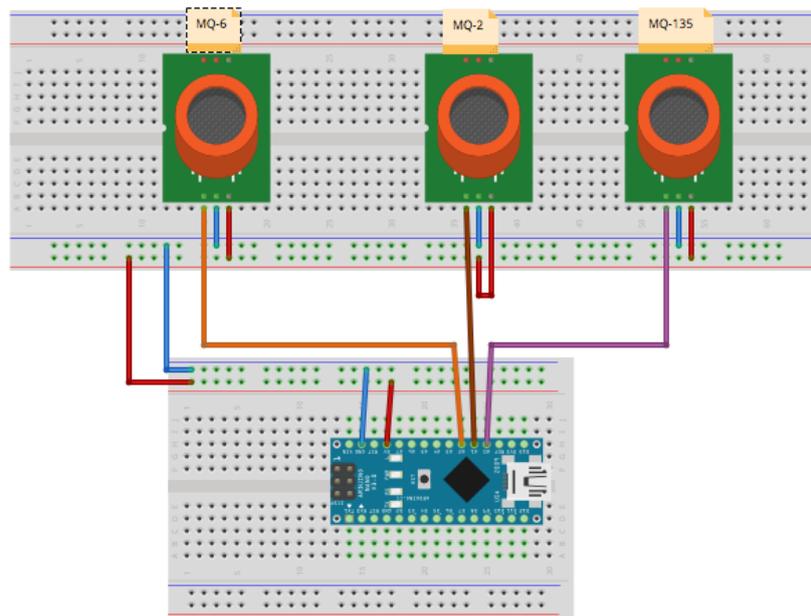


Figure IV. 2 Bloc de détection des gaz sous fritzing.

IV.2.1.2 Bloc de détection de flamme.

Composé d'un détecteur de flamme est un élément clé dans notre prototype, permettant de détecter la présence de flammes ou de sources de chaleur dans son environnement. Lorsqu'une flamme émet de la lumière dans le spectre de détection du capteur, celui-ci réagit en envoyant un signal de sortie. Ce signal peut être soit numérique, indiquant la présence ou l'absence de flamme, soit analogique en fonction de la sensibilité du capteur.

La connexion de ce module avec la carte Arduino se fait de la manière suivante :

- Le VCC du détecteur de flamme est relié à la source d'alimentation de 5V.
- Le GND du détecteur de flamme est relié au GND de la carte Arduino.
- La sortie numérique du détecteur de flamme est connectée au pin D3 de la carte Arduino pour détecter la présence de flamme.

Le branchement de ce module à une carte Arduino sous Fritzing peut être illustré comme suit:

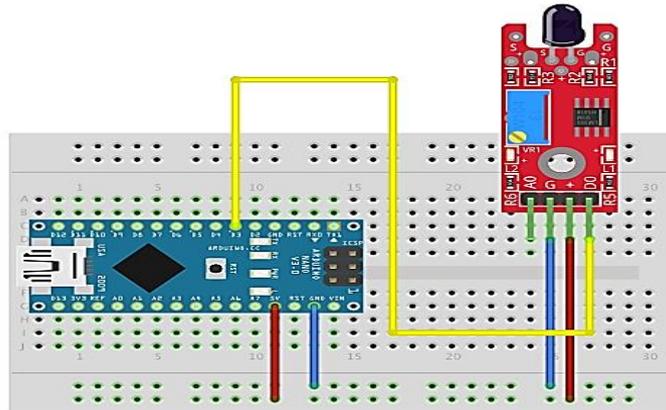


Figure IV. 3 Bloc de détection des flammes sous fritzing.

IV.2.2 Bloc d'activation d'alarme.

Le système d'alarme est composé de trois LED : verte, jaune et rouge, ainsi que d'un buzzer. Ces composants doivent être connectés à la carte Arduino. Le branchement des composants électroniques est illustré dans les étapes suivantes :

➤ **Connexion de la LED verte :**

- **Anode** de la LED verte connectée à la broche numérique D7 de l'Arduino à l'aide d'une résistance de 220 ohms en série.
- **Cathode** de la LED verte connectée à la masse (GND) de l'Arduino.

➤ **Connexion de la LED jaune :**

- **Anode** de la LED jaune connectée à la broche numérique D6 de l'Arduino à l'aide d'une résistance de 220 ohms en série.
- **Cathode** de la LED jaune connectée à la masse (GND) de l'Arduino.

➤ **Connexion de la LED rouge :**

- **Anode** de la LED rouge connectée à la broche numérique D5 de l'Arduino à l'aide d'une résistance de 220 ohms en série.
- **Cathode** de la LED rouge connectée à la masse (GND) de l'Arduino.

➤ **Connexion du buzzer :**

- Une patte du buzzer connectée à la broche numérique D2 de l'Arduino.
- L'autre patte du buzzer connectée à la masse (GND) de l'Arduino

Nous téléchargeons un programme sur le panneau Arduino pour gérer l'activation et la désactivation des composants.

- En cas de détection de gaz toxique en forte concentration ou de feu, l'indicateur **LED rouge** et le **buzzer** s'activent.
- En cas de détection de gaz toxique en faible concentration, l'indicateur **LED jaune** s'allume.
- Lorsque **aucun gaz toxique ni feu** n'est détecté, l'indicateur **LED verte** s'allume et le **buzzer** reste inactif.

Le bloc d'activation d'alarme est représenté dans la figure IV.4 .

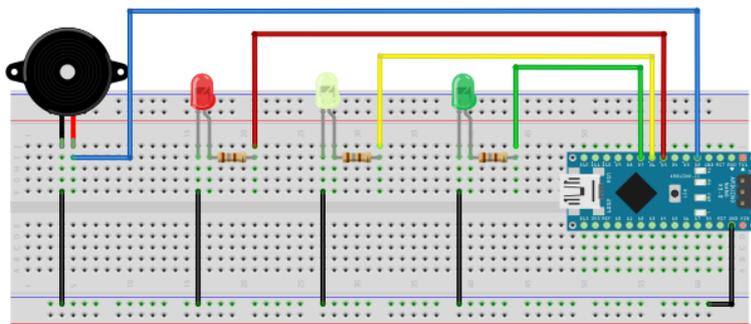


Figure IV. 4Bloc d'activation d'alarme sous fritzing.

IV.2.3.Bloc d'action automatique.

Le bloc d'action automatique se compose d'un ventilateur. Cet élément est alimenté par une source continue de 12 V et connecté à la carte Arduino à travers un relais, Chaque ventilateur est contrôlé par une broche numérique spécifique de l'Arduino :

- **Le premier ventilateur** est contrôlé par la broche **D10**.
- **Le deuxième ventilateur** est contrôlé par la broche **D11**.
- **Le troisième ventilateur** est contrôlé par la broche **D12**.

En cas de non-détection de gaz toxique, le relais n'est pas activé et les ventilateurs ne tournent pas.

En cas de détection de gaz toxique, les ventilateurs sont activés pour évacuer l'air contaminé et introduire de l'air frais.

En cas de manque d'air, les ventilateurs sont activés pour introduire de l'air frais dans

En cas de détection de feu, les ventilateurs sont activés pour évacuer complètement l'air, le circuit réalisé sous fritzing est donné par la figure IV.5.

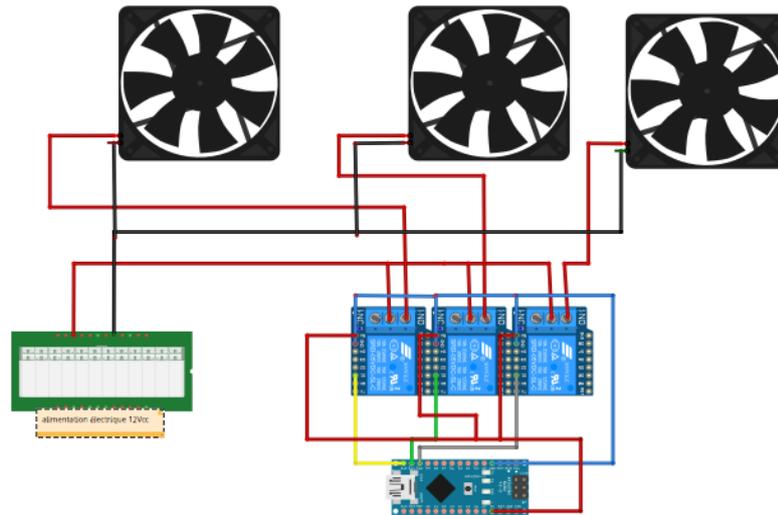


Figure IV.5 Bloc d'action automatique sous fritzing.

IV.2.4 Bloc Affichage (LCD, Température et humidité).

Le **DHT-22** est un capteur de température et d'humidité essentiel dans notre prototype. Il mesure la température et l'humidité ambiantes et envoie un signal numérique à la carte Arduino pour traitement. Le **DHT-22** est connecté à la carte Arduino de la manière suivante :

- **VCC** du **DHT-22** est relié à la source d'alimentation de **5V** de l'Arduino.
- **GND** du **DHT-22** est relié au **GND** de l'Arduino.
- La sortie de données (**DOUT**) du **DHT-22** est reliée au **pin D8** de l'Arduino.

L'écran **LCD 20x4** est un élément clé de notre système, permettant d'afficher de manière claire et en temps réel les données provenant des capteurs. Il est utilisé pour afficher les informations des différents capteurs de manière structurée. L'écran LCD avec interface **I2C** est connecté à la carte Arduino de la manière suivante :

- **VCC** de l'écran LCD est relié à la source d'alimentation de **5V** de l'Arduino.
- **GND** de l'écran LCD est relié au **GND** de l'Arduino.

- **SDA** de l'écran LCD est relié au **pin A4** de l'Arduino.
- **SCL** de l'écran LCD est relié au **pin A5** de l'Arduino.

Chaque ligne de l'écran LCD est dédiée à un capteur particulier :

- **Première ligne** : Affiche les données du **capteur MQ-135** (gaz).
- **Deuxième ligne** : Affiche les données du **capteur MQ-2** (gaz).
- **Troisième ligne** : Affiche les données du **capteur MQ-6** (gaz).
- **Quatrième ligne** : Affiche les valeurs de **température et d'humidité** mesurées par le **DHT-22**.

Le branchement de ces modules à la carte Arduino sous Fritzing est illustré dans la figure IV.6.

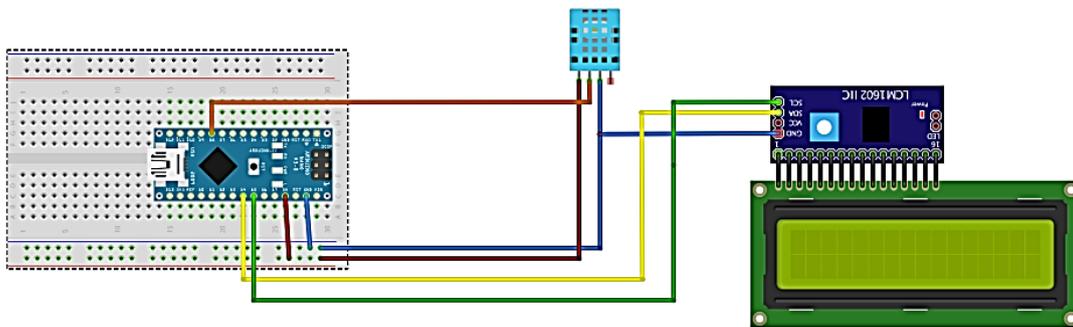


Figure IV. 6 Bloc d'affichage sous fritzing.

IV.3. Description globale du prototype.

Lors de l'activation de notre prototype, l'écran LCD affiche "SYSTEME AIR" suivi de Le système utilise plusieurs capteurs, notamment le DHT22 pour mesurer la température et l'humidité, ainsi que des capteurs MQ pour détecter différents gaz. Les valeurs des capteurs sont lues en continu et affichées sur l'écran LCD. Lorsque la concentration de gaz dépasse un seuil critique (par exemple, 300 ppm pour le méthane), le capteur MQ2 envoie un signal à la carte Arduino, qui active alors une alarme. L'indicateur LED rouge s'allume, tandis que le buzzer émet un signal sonore d'alerte. L'écran LCD affiche "GAS DETECTED" accompagné de la valeur de concentration correspondante. Si une flamme est détectée et que les concentrations de gaz sont élevées, un message d'alerte "HAZARD DE FEU" apparaît sur l'écran. Dans ce cas, le système désactive certains relais pour couper l'alimentation des appareils potentiellement dangereux et active le buzzer ainsi que les LED d'alerte. Lorsque les niveaux de gaz

reviennent à la normale, le système rétablit son état initial et affiche "AUCUN GAZ DÉTECTÉ". Le branchement global du prototype sous Fritzing et une photo réelle de notre prototype sont illustrés dans la figure IV.7.

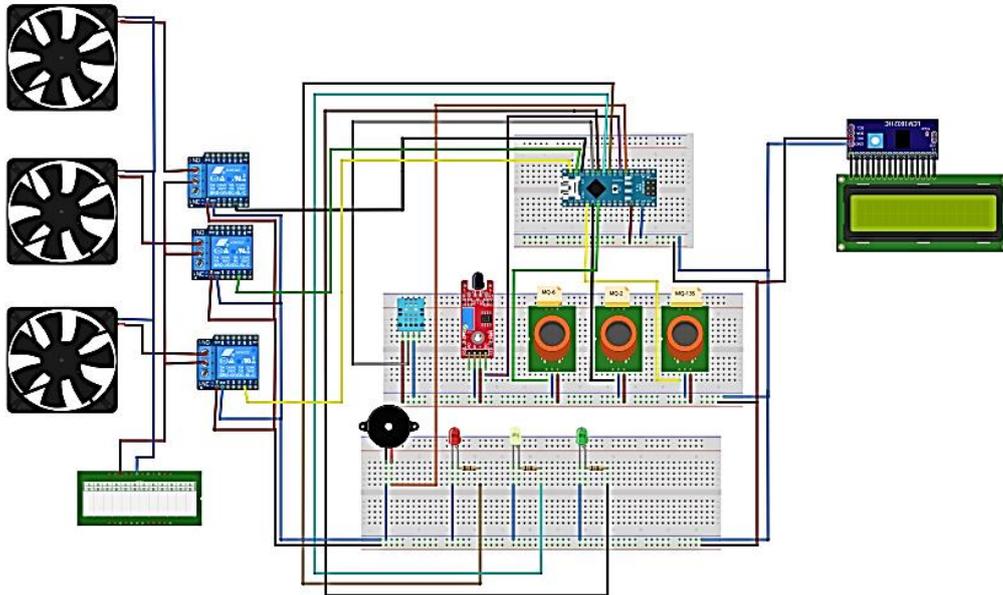


Figure IV. 7Branchement globale du prototype sous Fritzing.



Figure IV. 8Prototype finale.

IV.4 Circuit imprimé.

Pour faciliter l'assemblage des éléments du prototype, nous avons conçu et imprimé un circuit électronique. Le logiciel Proteus a été utilisé pour concevoir le circuit reliant les différents composants de notre prototype. Le circuit imprimé sous Proteus est illustré dans la figure IV.9.

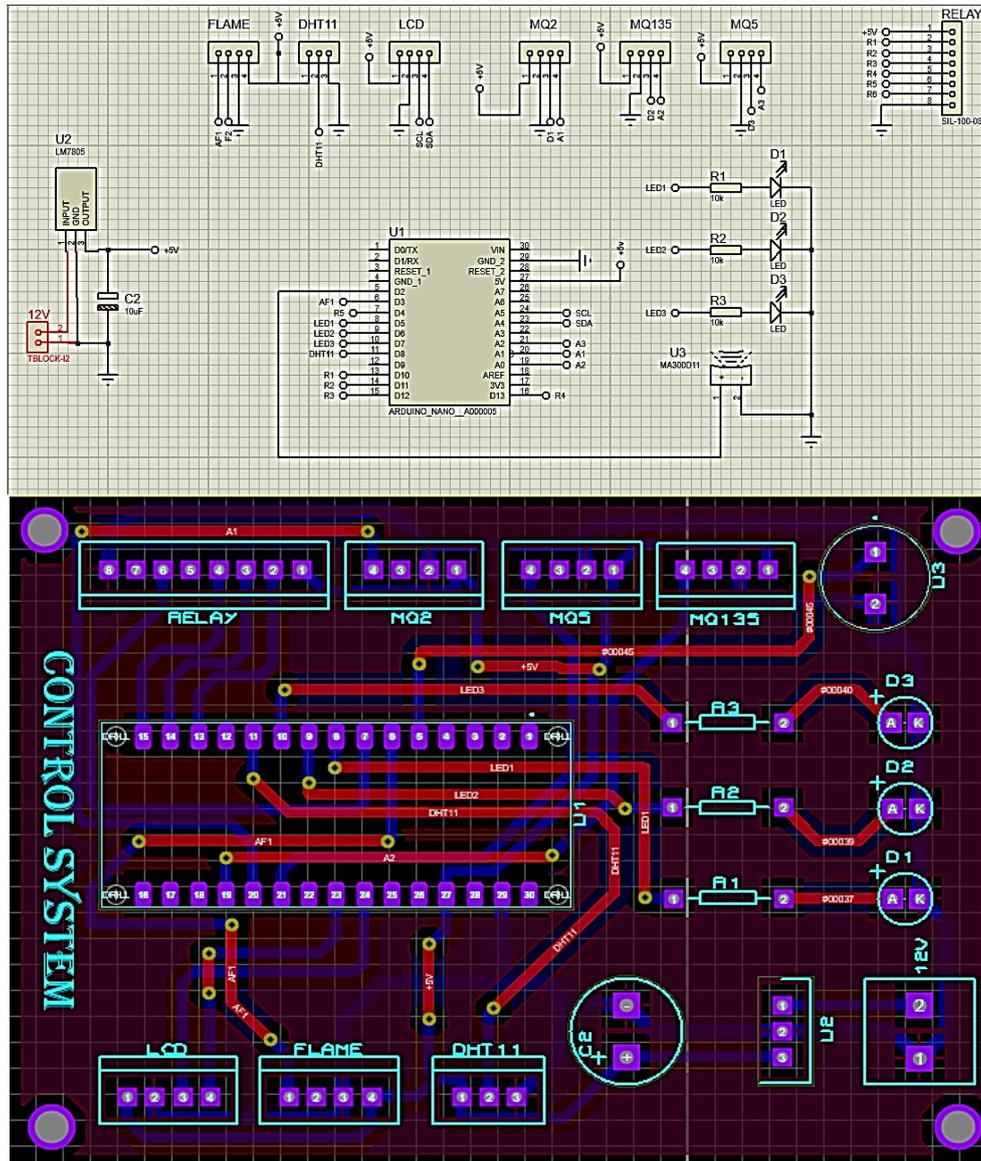


Figure IV. 9Circuit imprimé sous Proteus.

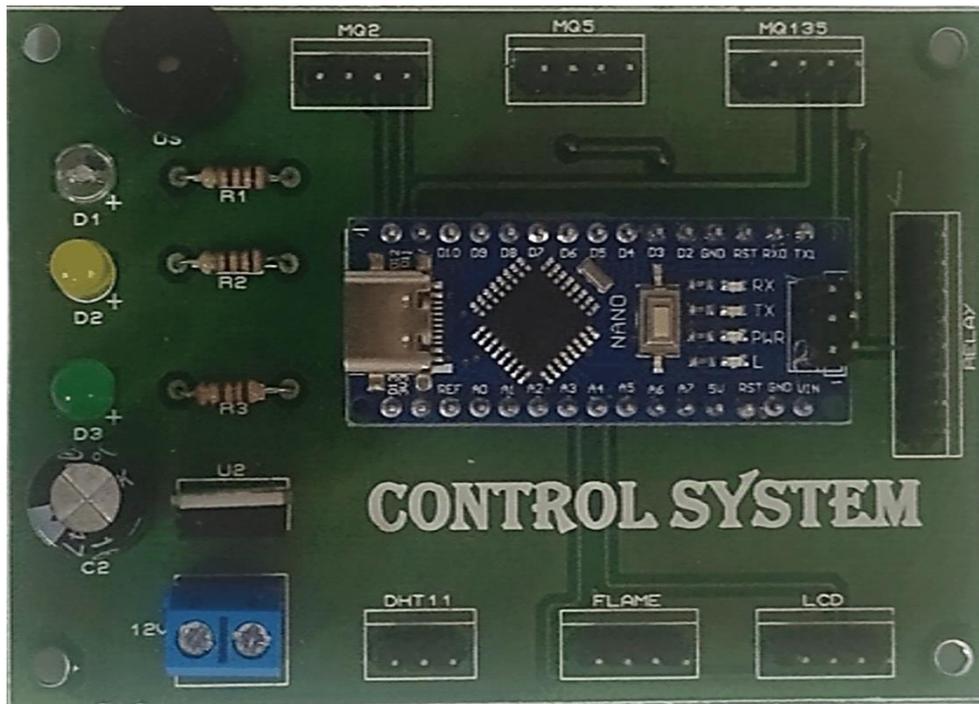


Figure IV. 10Circuit imprimé.

IV.5Testset évaluation du prototype.

Le but de cette section est de décrire les tests et l'évaluation réalisés sur notre prototype.

Etat initial :

Avant le démarrage ont fait un retardateur de 4 min (240 S) pour le chauffage des résistances des capteurs de gaz (MQ-135, MQ-6 et MQ-2)



Figure IV.11 L'écran est dans l'état initial.



Figure IV.11 L'écran est dans l'état initial.

Après le démarrage (aucune détection de gaz n'est feue) :

L'indicateur LED verte s'allume et le buzzer reste inactif, l'afficheur LCD il affiche :

- Première ligne : Affiche les données du capteur MQ-135 (gaz).
- Deuxième ligne : Affiche les données du capteur MQ-2 (gaz).
- Troisième ligne : Affiche les données du capteur MQ-6 (gaz).
- Quatrième ligne : Affiche les valeurs de température et d'humidité mesurées par le DHT-22.



Figure IV.12 L'écran après le demarrage

Après deux (02S) second il affiche :

- Première ligne : Affiche « AIR CORRECT ».
- Deuxième ligne : Affiche « NO METHANE ».
- Troisième ligne : Affiche « NO BUTANE ».
- Quatrième ligne : Affiche les valeurs de température et d'humidité mesurées par le DHT-22.



Figure IV.12 L'écran après le démarrage

IV.5.1 Test de détection de gaz.

Pour évaluer sa capacité à détecter ces gaz, le prototype a été exposé à différentes concentrations de butane et de gaz de ville. Lorsque les seuils de danger ont été atteints, les capteurs ont réagi de manière appropriée en déclenchant des alertes.

Le cas du gaz méthane :

En fermant le local avec l'injection du gaz méthane, nous avons remarqué que l'indicateur LED rouge s'allume et le buzzer actif, l'afficheur LCD affiche :

- Première ligne : Affiche « AIR POLLUTION ».
- Deuxième ligne : Affiche « METHANE ».
- Troisième ligne : Affiche « NO BUTANE ».
- Quatrième ligne : Affiche les valeurs de température et d'humidité mesurées par le DHT-22.



Figure IV.13 L'écran est dans le cas du gaz méthane.

Après deux (02S) second il affiche :

- Première ligne : Affiche les données du capteur MQ-135 (gaz).
- Deuxième ligne : Affiche les données du capteur MQ-2 (gaz).
- Troisième ligne : Affiche les données du capteur MQ-6 (gaz).
- Quatrième ligne : Affiche les valeurs de température et d'humidité mesurées par le DHT-22.



Figure IV.13 L'écran est dans le cas du gaz méthane.

La concentration de détection des gaz plus de 300 PPM (il a été approuver par les fiches techniques des capteurs et les essais)

Le cas du gaz butane :

En fermant le local avec l'injection du gaz méthane, nous avons remarqué que l'indicateur LED rouge s'allume et le buzzer actif, l'afficheur LCD affiche :

- Première ligne : Affiche « AIR POLLUTION ».
- Deuxième ligne : Affiche « NO METHANE ».
- Troisième ligne : Affiche « BUTANE ».
- Quatrième ligne : Affiche les valeurs de température et d'humidité mesurées par le DHT-22.



Figure IV.14 L'écran est dans le cas du gaz butane.

Après deux (02S) secondes il affiche :

- Première ligne : Affiche les données du capteur MQ-135 (gaz).
- Deuxième ligne : Affiche les données du capteur MQ-2 (gaz).
- Troisième ligne : Affiche les données du capteur MQ-6 (gaz).
- Quatrième ligne : Affiche les valeurs de température et d'humidité mesurées par le DHT-22.



Figure IV.14 L'écran est dans le cas du gaz butane.

La concentration de détection des gaz plus de 300 PPM (il a été approuver par les fiches techniques des capteurs et les essais).

Le cas de manque d'oxygène :

L'indicateur LED jaune s'allume. La concentration de l'oxygène moins de 80 PPM

Le cas de feu :

L'indicateur LED rouge s'allume et le buzzer actif, l'afficheur LCD il affiche :

- Première ligne : vide.
- Deuxième ligne : Affiche « HAZARD DE FEU ».
- Troisième ligne : vide.
- Quatrième ligne : vide.

IV.5.2 Test d'actionneurs.

Au cours des tests, nous avons pu vérifier le bon fonctionnement des actionneurs, notamment le ventilateur. Celui-ci s'est activé pour évacuer le gaz et introduire de l'air frais, tandis que le buzzer a émis un signal sonore d'alarme.

Etat initial :

Après le démarrage (aucune détection de gaz n'est feue)

Aucune réponse des ventilateurs n'est buzzeur

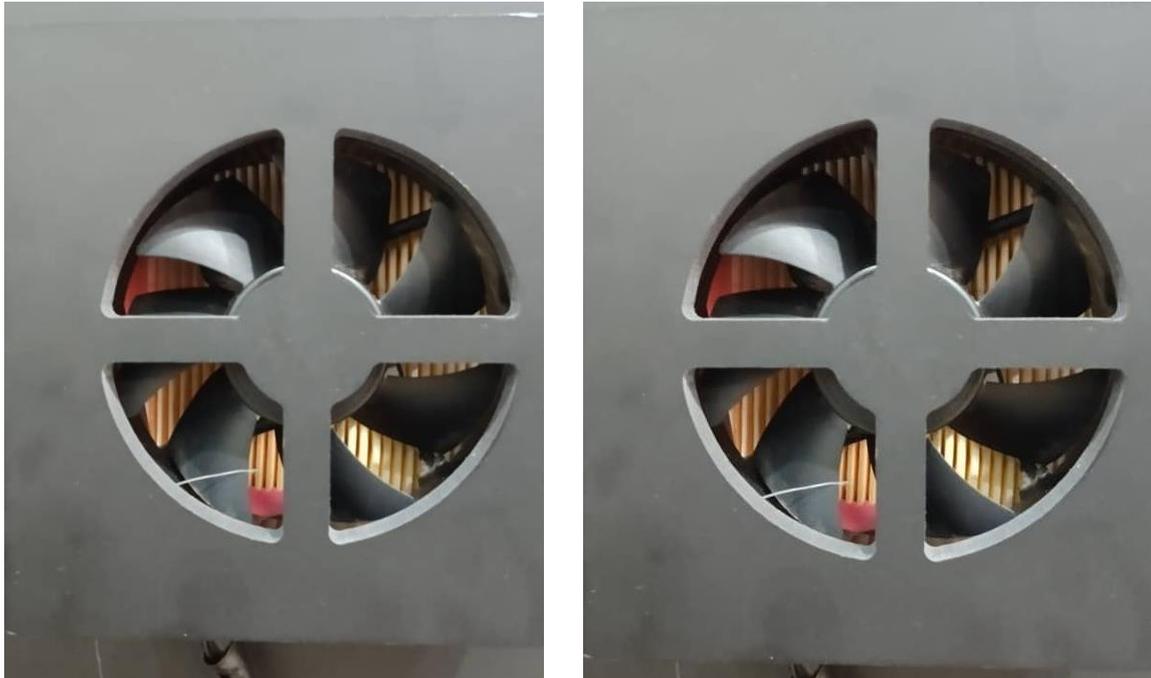


Figure IV.15 Les ventilateurs dans l'état initial.

Le cas de détection du gaz :

Les deux ventilateurs (l'aspiration et l'injection) sont activés pour évacuer l'air contaminé et introduire de l'air frais.

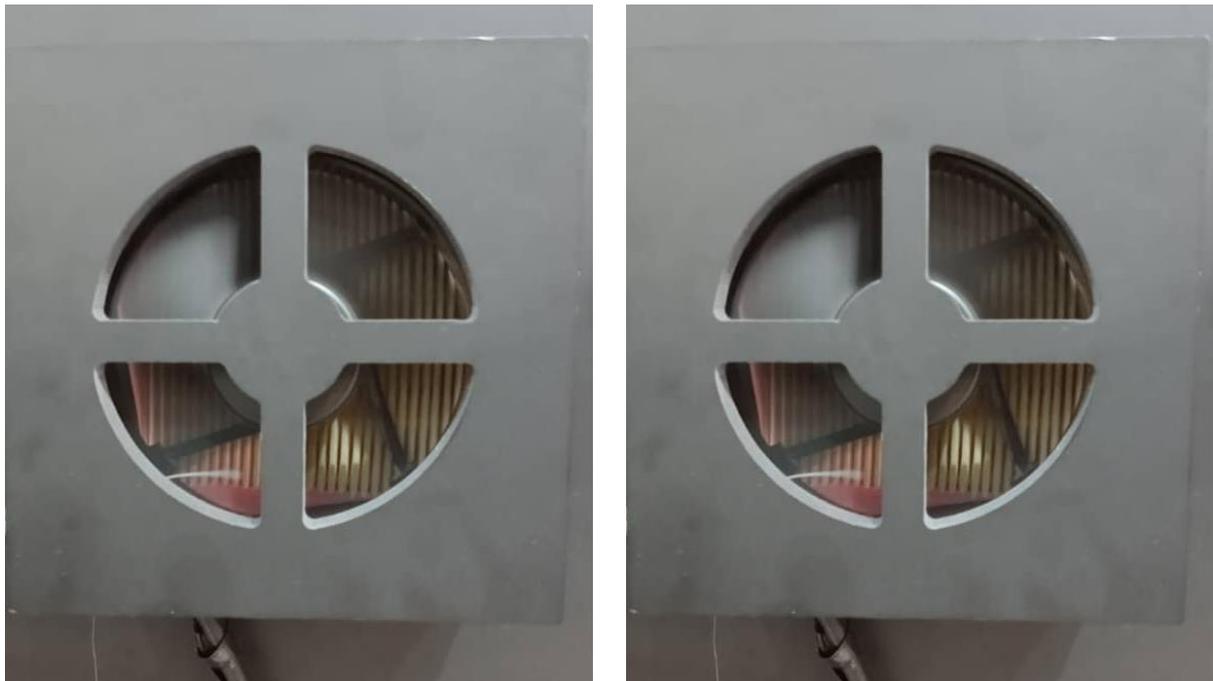


Figure IV.16 Les ventilateurs dans Le cas de détection du gaz.

Le cas de manque d'oxygène :

La ventilateur (l'injection) il activé pour introduire de l'air.

Le cas de feu :

La ventilateur (l'aspiration) il activé pour évacuer l'air.

Tableau IV. 1 Tableau montrant les résultats des tests de notre prototype.

Tests	Type de gaz	Taille de l'endroit (m ³)	Concentration de gaz lors de la réponse (ppm)	Temps de réponse du système (S)
Test 1	Butane	83	300	50
Test 2	Gaz de ville	83	300	73
Test 3	Butane	0,096	300	5
Test 4	Gaz de ville	0,096	300	8

Les tests N°1 et N°2 pour un local (4*7,7*2,7) m

Les tests N°3 et N°4 pour local (0,4*0,4*0,6) m

Nous avons constaté que le temps de réponse du système est proportionnel avec le volume de local.

IV.6 Evaluation des performances.

Les critères suivants ont été utilisés pour évaluer les performances du prototype :

IV.6.1 Sensibilité aux gaz.

Les détecteurs ont montré une sensibilité élevée aux gaz courants dans les habitations, permettant de déterminer une concentration maximale de 300 ppm. Cela garantit une détection rapide et précise des situations dangereuses.

IV.6.2 Fiabilité des actions automatiques

Les actions automatiques, telles que l'activation du ventilateur et du buzzer, ont fonctionné de manière fiable lors des tests, assurant ainsi la sécurité des personnes.

IV.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons discuté des différents blocs constitutifs de notre prototype. Nous avons également réalisé une étude approfondie en divisant notre prototype en trois blocs principaux (bloc de détection, bloc d'activation de l'alarme et bloc d'action automatique) et avons détaillé le fonctionnement de chacun d'eux. Enfin, nous avons effectué une série de tests pour confirmer le bon fonctionnement de notre prototype.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les travaux présentés dans ce mémoire démontrent la faisabilité et l'efficacité d'un système de détection de gaz intelligent conçu pour protéger les espaces fermés contre les risques liés à la pollution atmosphérique. Grâce à une combinaison de capteurs de gaz avancés, de systèmes de ventilation réactifs et de dispositifs d'alerte, le prototype développé a prouvé sa capacité à détecter rapidement des concentrations dangereuses de gaz et à activer des mécanismes de protection adéquats. Ces résultats prometteurs ouvrent des perspectives intéressantes pour une future optimisation des performances du système, en particulier en termes de précision des capteurs, d'optimisation énergétique et de réduction des coûts. Ce projet s'inscrit dans une démarche plus large d'amélioration des technologies de gestion de la qualité de l'air intérieur, avec l'ambition de contribuer à la création d'environnements plus sûrs, plus sains et plus durables.

Références

1. <https://atmo-reunion.net/Les-polluants>.
2. <https://www.who.int/fr/news-room/spotlight/how-air-pollution-is-destroying-our-health>.
3. <https://www.health.belgium.be/fr/air-interieur-sain>.
4. Environnement), J.J.e.N.
5. maison:
<https://www.lapersonnelle.com/blogue/-/12-conseils-pour-ameliorer-la-qualite-de-l-air-a-la-maison>", L.P.s.d.c.p.a.l.q.d.l.a.à.l.
6. "<https://www.enviesdeville.fr/transition-ecologique/plans-climat-5-innovations-qui-ameliorent-la-qualite-de-lair/>", E.d.V.s.d.P.c.i.q.a.l.q.d.l.a.
7. American Institute of Chemical Engineers, B.C.f., " mars 2023. [En ligne].
<https://www.aiche.org/sites/default/files/202303beaconfrenchcanada.pdf>.
8. produit"https://uved.univ-nantes.fr/GRCPB/sequence2/html/chap3_part11_5.html,
C.s.l.L.r.d.l.p.d.
9. Article sur "Gaz dangereux dans les exploitations agricoles, h.w.o.c.f.p.l.-g.-d.-d.-l.-e.-a.
10. "<https://www.cancer-environnement.fr/fiches/expositions-environnementales/radon/>",
F.p.l.r.s.l.c.
11. "<https://ouvry.com/un-gaz-de-combat-oublie-le-chlore/>", U.g.d.c.o.l.c.
12. "<https://www.be-atex.com/guide-des-gaz/dioxyde-de-soufre>", B.-A.s.d.G.d.g.D.d.s.
13. "<https://www.be-atex.com/guide-des-gaz/cyanure-dhydrogene>", B.-A.s.d.G.d.g.C.d.h.
14. <https://detekta.ca/capteurs-electrochimique/>.
15. https://fr.wikipedia.org/wiki/Capteur_pi%C3%A9zo%C3%A9lectrique.
16. ASTM C1898-20, *Standard Test Method for Determining the Chemical Resistance of Concrete Products to Acid Attack*. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA. 2000.
17. EN-196-1, *Methods of testing cement-Part 1: Determination of strength*. 2005.
18. <https://infoscience.epfl.ch/entities/publication/2817e9d8-055b-4a2f-ae9f-9a30944efaf1>.
19. <https://theses.hal.science/tel-01865816/document>.
20. <https://www.safetygas.com/detection-gaz/detecteurs-gaz-portables>.
21. <https://www.techniques-ingenieur.fr/>.
22. https://pastel.hal.science/tel-01321001/file/2015ENMP0077_archivage.pdf.
23. <https://archipel.uqam.ca/1573/1/M10539.pdf>.
24. Roumaïssa, O. and K. Amel, *Acquisition et supervision des caractéristiques d'un ventilateur axial pour un banc d'essai*. 2021, Faculté des Sciences et Technologies.
25. <https://www.kalstein.fr/etuves-sterilisation-par-chaleur-seche/>.
26. <https://www.lenntech.fr/air-uv.htm>.
27. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_5/b_fdi_04-05/05049.pdf.