

DEPARTEMENT DE PHYSIQUE APPLIQUEE ET OPTIQUE

MEMOIRE

Présenté par :

BELHAYARA Telemcen Khadidja

Pour l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Instrumentation et Métrologie.

Thème

Conception et implémentation d'un système de monitoring de
l'environnement dans les espaces de petite enfance

Soutenu le 19 Juin 2025 devant la commission d'examen

Pr. ILES Nadia

Institut des Sciences et Techniques

Présidente

Appliquées Université Oran 1

Dr. DAHANE Amine

Institut des Sciences et Techniques

Examineur

Appliquées Université Oran 1

Dr. AIT SI LARBI El Yasmine

Institut des Sciences et Techniques

Encadrante

Appliquées Université Oran 1

Année universitaire : 2024/ 2025

Résumé

Ce travail concerne la conception et l'implémentation d'un système de monitoring (de surveillance) des conditions environnementales pour la santé de petite enfance.

L'objectif de ce projet est de réaliser un système des capteurs sans fil pour la surveillance en temps réel des conditions appropriées pour la santé des enfants.

Ce dispositif de monitoring est réalisé afin de mener des expériences concernant la qualité de l'air et le niveau de bruit, pour pouvoir déduire la convenance de l'environnement pour la santé des enfants.

Les expérimentations ont été menées au niveau de différents espaces intérieurs pour la petite enfance.

Les résultats montrent que des outils de surveillance des conditions environnementales pour les enfants doivent être développés et utilisés pour réduire les risques liés à la santé des enfants.

Abstract

This work concerns the design and implementation of a monitoring (surveillance) system for environmental conditions for early childhood health.

The objective of this project is to realize a system of wireless sensors for real-time monitoring of conditions appropriate for children's health.

This project consists of the design and implementation of a monitoring system to conduct experiments on air quality and noise levels, in order to be able to infer the suitability of the environment for children's health.

The experiments were carried out in different indoor spaces for young children.

The results show that environmental monitoring tools for children need to be developed and used to reduce health risks to children.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu Tout Puissant de nous avoir donné la force et la patience de réaliser ce modeste travail et qui nous a facilité notre chemin.

J'exprime mes profonds remerciements à mon encadrante Madame E. AIT SI LARBI pour son accompagnement, ses précieux conseils et les connaissances scientifiques qu'elle n'a jamais cessé de me prodiguer.

Je présente également notre profonde gratitude à Madame N. ILES et Monsieur A. DAHANE, qui m'ont fait l'honneur de s'intéresser à ce modeste travail et d'avoir accepté de le juger.

Et enfin à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin à la présentation de ce mémoire.

Table des matières

MEMOIRE	0
Résumé.....	i
Remerciements.....	ii
Table des matières.....	iii
Liste des abréviations.....	vi
Liste des figures	vii
Liste des tableaux.....	viii
Liste des équations	ix
Introduction générale	Erreur ! Signet non défini.
Chapitre 01 : Etat de l'art sur système de monitoring de l'environnement dans les espaces de petit enfance	3
1.1. Introduction :	3
1.2. Les systèmes de monitoring	3
1.2.1. Définition d'un système monitoring	3
1.2.2. Système de monitoring de la qualité de l'air chez la petite enfance	3
1.2.3. Monitoring intérieur et extérieur	4
1.2.4. Etat de l'art sur les systèmes de monitorings	4
1.3. Paramètres à mesurer :	5
1.4. Impact des Paramètres climatique sur les maladies respiratoires :	6
1.5. La pollution de l'air:	7
1.5.1. La pollution de l'air intérieur et extérieur	7
1.3.1. Sources de pollution d'intérieur :	8
1.7. La qualité de l'air	10
1.7.1. Définition de la qualité de l'air	10
1.8. Paramètres de la qualité de l'air	10
1.9. Les normes de la qualité d'air pour les maladies respiratoires pour les enfants dans les établissements hospitaliers (ISO)	10
1.10. Les valeurs à retenir pour protéger la santé respiratoire des enfants (les normes ISO) ..	11
Chapitre 02 : Techniques et méthodes de mesure des paramètres de l'environnement de petite enfance	13
1.1. Introduction :	13
2.2. Objectif de l'implémentation	13
2.3.1. Les systèmes de mesure en temps réel	13
a- Les analyseurs physico-chimiques industriels	13

b- Les stations de mesures	14
c- Les réseaux de mesure	14
d- L'indice ATMO.....	14
e- Les analyseurs portables.....	14
f- Les systèmes de mesure avec analyse différée (en laboratoire).....	16
g- L'échantillonnage.....	16
h- Méthodes d'analyse en laboratoire	16
2.4. Les démarches utilisées pour mesurer la qualité d'air	16
2.4.1. La méthode choisie pour analyser la qualité de l'air	16
2.5. L'indice de la qualité de l'air « Air Quality Index : AQI » et Niveaux AQG (air quality guidelines levels) avec la santé respiratoire chez enfants	16
2.6. L'indice de la qualité de l'air (Air Quality Index : AQI).....	17
2.7. Les catégories de l'IQA.....	17
2.8. Calculer l'IQA pour les polluants de la qualité de l'air	18
2.9. Le niveau de AQS recommandé par les lignes directrices de la qualité d'air.....	19
2.10. Niveaux AQG (Air Quality Guidelines) recommandés.....	20
2.11. Méthodes d'analyse de la qualité de l'air (Système multi-capteurs et technologie de nez électronique).....	20
2.12. Choix des capteurs.....	20
2.13. La série des capteurs MQ	21
2.14. Les capteurs de gaz de la série MQ.....	Erreur ! Signet non défini.
2.15. Principe de détection	Erreur ! Signet non défini.
2.16. La méthode d'analyse de bruit :	Erreur ! Signet non défini.
2.16.1. Le classement du niveau sonore par l'OMS.....	Erreur ! Signet non défini.
2.17. Choix de capteur.....	Erreur ! Signet non défini.
2.17.1. Capteur de niveau sonore	Erreur ! Signet non défini.
2.17.2. Caractéristique du capteur :	26
2.1. Utilisation du capteur.....	26
Conclusion :	27
Chapitre 03 : Réalisation et implémentation du système de monitoring d'environnement	28
3.1. Introduction	28
3.2. Méthodologie de travail	28
3.3. Matériel utilisé.....	28
3.4. Câblage des modules MQ-7, MQ-135, DHT22 et LM393 avec Arduino UNO :.....	29
3.5. Principales caractéristiques de DHT22	31

3.6. La Conception du circuit	31
La figure 13 montre le circuit en utilisant le logiciel EasyEDA	31
3.7. Softwares utilisés pour l'implémentation	31
3.7.1. Le logiciel Arduino IDE	31
3.7.2. L'IDE Visual Studio Code	32
3.8. Réalisation et implémentation	33
3.8.1. La qualité de l'air	33
3.8.2. Température et humidité	34
3.8.3. Le niveau de bruit	34
3.9. Les équations utilisé dans les code python :	34
3.10. Les équations utilisées pour la conversion des taux des polluant	35
a- Pour le NO₂ :	36
3.11. Expérience 01 : la surveillance des paramètres de l'environnement intérieur dans le service de réa pédiatrie pour les enfants qu'a des problèmes respiratoires	36
3.12. Remarque et résultat	44
3.13. Visualisation des données:	45
Conclusion.....	46
Conclusion générale	Erreur ! Signet non défini.
Références bibliographiques	49

Liste des abréviations

AQS	Air Quality System
ANSES	Agence Nationale de Sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
ATMO	Indice multipolluant de la qualité de l'air
AQ-Pro	Moniteur de qualité de l'air intérieur
BPCO	Bronchopneumopathie Chronique Obstructive
BTEX (GC-PID)	Analyseur transpo
CO	Monoxyde de carbone
COV	Composés organique volatils
DHT22	Capteur de température et humidité
EPA	Environmental Protection Agency
EHU	Etablissement hospitalier universitaire
ISO	Organisation internationale de normalisation
IQA	Indice de Qualité de l'Air
LM393	Capteur de niveau sonore
MQ	MQ gas sensors series
MQ-5	Détecteur de gaz
MQ-135	Capteur de la qualité de l'air
MOS	Métal oxyde semi-conducteur
NAAQS	Air Quality Standards
NO _x	Dioxydes d'azote
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
O ₃	Ozone troposphérique
Ppm	Partie Par Million
Ppb	Partie Par Billion
PM	Les particules de matière
PLX-DAQ	Parallax Microcontroller Data Acquisition for Excel
3M Quest EVM-7	Moniteur de l'environnement

Liste des figures

Figure 1:Les fondations de la surveillance en santé environnementale [6]	4
Figure 2:Schéma de l'appareil 3M Quest EVM-7[22].....	15
Figure 3:Le moniteur de qualité d'air intérieur AQ-Pr [22]	15
Figure 4:Analyseur transportable de BTEX (GC-PID)[22]	15
Figure 5:Les catégories de l'IQA[24].....	18
Figure 6:Le module de détection sonore basé sur le circuit intégré LM393 de Texas Instrument[28]	25
Figure 7: Le circuit utilisant ce capteur[28]	26
Figure 8:Le câblage du système de monitoring	29
Figure 9:Circuit du système de monitoring	30
Figure 10:Interface du logiciel Arduino IDE[7]	31
Figure 11:Interface de l'IDE Visual Studio Code	31
Figure 12:Logo du langage python[31]	32
Figure 13:Service réanimation pédiatrique	36
Figure 14:La mesure de qualité de l'air dans les salles avec diffuseur de l'air	36
Figure 15:Diffuseur d'air soufflant	36
Figure 16:Les résultats de mesures	36
Figure 17:Variation des taux des polluants en temps réels	37
Figure 18:Les résultats du programme	38
Figure 19:La mesure de qualité d'air dans les salles sans diffuseur de l'air	38
Figure 20:Les résultats de mesures	38
Figure 21:La variation des taux des polluants en temps réels	39
Figure 22: Les résultats du programme	40
Figure 23:La mesure de la qualité d'air dans une crèche.....	41
Figure 24: Les résultats de mesures	41
Figure 25: La variation des taux des polluants en temps réels.....	41
Figure 26:Les résultats du programme	42
Figure 27:: La visualisation des résultats par interface graphique	45

Liste des tableaux

Tableau 1: Les différents niveaux de bruit [12]	6
Tableau 2: Principaux polluants de l'air, leurs sources et leurs effets sur la santé des petits enfants [7].....	9
Tableau 3: Les points d'arrêts de l'IQA[7]	18
Tableau 4: Les valeurs des polluants	19
Tableau 5: Les niveaux de la qualité d'air recommandés par OMS[21]	20
Tableau 6: Les différents de la série MQ qui nous allons utiliser pour détecter les gaz polluants [7]	22
Tableau 7: Matériel utilisé pour la réalisation	28
Tableau 8: Tableau des résultats de calcul de IQA et la qualité d'air	43
Tableau 9: Tableau des résultats de mesure du taux des gaz polluants et la comparaison avec les lignes directrices.....	44

Liste des équations

$IQA = \frac{IHi - ILo}{BPHi - BPlo} (C_P - BPlo) + ILo$	17
$V_{out} = \frac{V_{ref} \times ADC_{value}}{1023}$	33
$\frac{R_S}{R_0} = \frac{V_{ref} - V_{out}}{V_{out}}$	33
$C_{Fact} = \frac{1}{1 + 0,0025 \times H - 0,01 \times (T - 20)}$	33
$(\frac{R_S}{R_0})_{corrigé} = (\frac{R_S}{R_0})_{brut} \times C_{Fact}$	34
$C_{ppm} = 10^{(\frac{\log_{10}((\frac{R_S}{R_0})_{corr}) \times a}{b})}$	34
$N_{dB} = 20 + \frac{ADC_{noise}}{10}$	34
$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$	34
$NO_{\mu g/m^3} = NO_{2ppb} \times \frac{M \times P}{V}$	35
$CO_{mg/m^3} = CO_{ppb} \times \frac{M \times P}{V}$	35
$CO_{mg/m^3} = CO_{ppb} \times \frac{M \times P}{V}$	35

Introduction générale

Les dangers environnementaux constituent une menace pour la santé des enfants. De nombreux facteurs environnementaux influent sur la santé des enfants, par exemple la qualité de l'eau et de l'air [1].

En effet, la mauvaise qualité de l'air, y compris les niveaux élevés de particules, d'ozone et d'oxydes d'azote, représente une menace majeure pour la santé publique et en particulier pour les membres les plus vulnérables de la population, comme les enfants ou les personnes âgées. La surveillance des impacts de l'environnement sur la santé tient compte du fait qu'un agent de l'environnement peut entrer en contact avec une population et produire un effet sanitaire [2]. Un système de surveillance permet de mesurer toutes les conditions pour le bien-être des enfants ayant des problèmes respiratoires.

L'utilisation des informations climatiques et météorologiques permet d'évaluer le risque d'apparition de maladies sensibles au climat, d'où l'intérêt des systèmes intégrés de surveillance sanitaire et climatique [3].

Notons que les concentrations de certains polluants peuvent être beaucoup plus élevées dans les environnements intérieurs.

D'après l'Agence de Protection de l'Environnement (EPA), dans certaines métropoles américaines, la concentration en oxydes d'azote, monoxyde de carbone, particules en suspension et composés organiques volatils peut être deux jusqu'à cinq fois supérieure à l'intérieur des bâtiments.

De plus, le bruit constitue une source de désagrément dans la vie de tous les jours. Outre l'inconfort, le bruit excessif a des conséquences sur la santé.

Le bruit environnemental inclut le bruit venant de toutes les sources, y compris la circulation aérienne, les climatiseurs, , les engins des chantiers ... [4].

Aussi, une exposition à des niveaux sonores trop élevés pour l'oreille humaine peut provoquer des dommages auditifs, menant potentiellement à une perte d'audition, des acouphènes ou une sensibilité accrue au bruit. Ces dommages auditifs affectent particulièrement les enfants.

Introduction générale

Il existe plusieurs sources de bruit pouvant affecter les enfants, telles que les équipements de bricolage, les jouets bruyants et la télévision ... Les adultes doivent prêter attention aux niveaux sonores autour des enfants et intervenir pour minimiser leur exposition au bruit [4]. Notre objectif est donc de réaliser un système de monitoring à base des capteurs sans fils destiné à la surveillance des conditions environnementales ambiant en temps réel d'un environnement de petite enfance.

Le dispositif implémenté a été testé au niveau de l'hôpital EHU (Etablissement hospitalier universitaire) d'Oran au niveau du service pédiatrie et dans une crèche de petite enfance.

Dans cette expérience, nous allons adopter deux scénarios :

- ✓ Le premier est de mesurer la qualité de l'air ambiant intérieur par le calcul de son IQA (Indice de la qualité d'air) et la comparaison de seuil de ces gaz polluants avec le niveau de AQS (Air Quality system) recommandé par les lignes directrices de la qualité d'air OMS (Organisations Mondiale de Santé).
- ✓ Le deuxième la comparaison de niveau de bruit avec le niveau sonore autorisé par l'OMS (Organisations Mondiale de Santé) pour le bien être de petit enfance.

Afin de présenter le travail, ce mémoire s'articule autour des chapitres suivants :

Le premier chapitre concerne une présentation des généralités sur les systèmes surveillance, leur lien avec la qualité de l'air, la pollution de l'air intérieur, le niveau de bruit dans l'environnement et leurs impacts sur la santé respiratoire et le bien-être de la petite enfance.

Le deuxième chapitre est consacré aux principes et méthodes de détection et d'analyse des gaz polluants, le niveau de bruit de milieu intérieur. En décrivant les notions générales concernant la mesure de la qualité de l'air et le niveau sonore.

Le troisième chapitre montre le travail pratique consistant à la réalisation du système de monitoring de l'environnement.

Enfin, une conclusion et des perspectives sont présentées à la fin de ce mémoire

Chapitre 01 : Etat de l'art sur système de monitoring de l'environnement dans les espaces de petite enfance

1.1. Introduction :

Aujourd'hui, les systèmes de monitoring d'environnement sont de plus en plus utilisés pour surveiller les conditions environnementales dans plusieurs secteurs.

Dans ce premier chapitre, nous allons présenter quelques généralités sur le système de surveillance, la qualité de l'air et du bruit, le rôle de ces dernières au service de la surveillance pour le bien-être de la petite enfance.

1.2. Les systèmes de monitoring

1.2.1. Définition d'un système monitoring

Les systèmes de monitoring d'environnement sont de plus en plus utilisés pour surveiller les conditions environnementales dans un grand nombre de secteurs, l'industrie pharmaceutique, la santé publique, etc. La surveillance des paramètres environnementaux tels que la température, l'humidité, la pression, la qualité de l'air, niveau de bruit, Il à réduire les impacts environnementaux et protéger la santé humaine [5].

1.2.2. Système de monitoring de la qualité de l'air chez la petite enfance

La surveillance de l'air chez l'enfant implique un suivi de manière constante de la qualité de l'air, à l'intérieur et à l'extérieur, afin de préserver sa santé.

Un système de monitoring permet d'évaluer des contaminants tels que les COV (Composés organique volatils), les particules fines et le CO₂ (Monoxyde de carbone) , auxquels les enfants sont plus réceptifs du fait de leur système respiratoire encore en développement. Cette surveillance aide à anticiper les dangers d'allergies, d'asthme et autres affections associées à la pollution.

Les paramètres environnementaux (conditions météorologiques, polluants, allergènes) ont un rôle reconnu dans le déséquilibre de l'asthme.

Le figure 1.1 montre les aspects fondamentaux de la surveillance en santé environnementale.

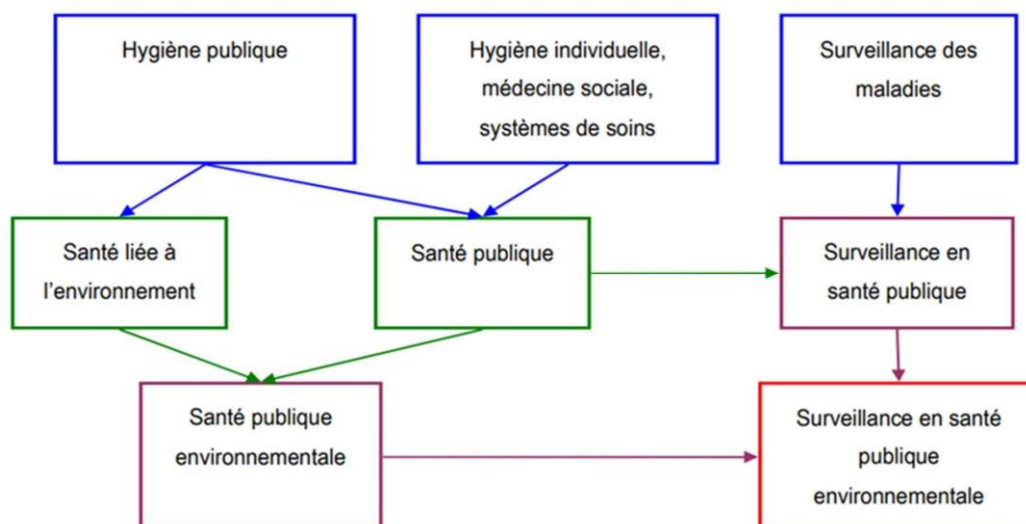


Figure 1:Les fondations de la surveillance en santé environnementale [6]

1.2.3. Monitoring intérieur et extérieur

a- Monitoring intérieur (Indoor Monitoring):

Les applications de monitoring intérieur incluent le monitoring des hôpitaux et des crèches. Ces applications impliquent la détection de la température, de la lumière, de l'humidité et de la qualité de l'air. Notons que d'autres applications intérieures importantes peuvent prendre en charge la détection des incendies [7].

b- Monitoring Extérieur (Outdoor Monitoring):

Les applications de monitoring à l'extérieur comprennent la détection chimique dangereuse, le monitoring de l'habitat, le monitoring de la circulation, et la prévision météorologique. Les capteurs ont aussi trouvé leur applicabilité dans le domaine de l'agriculture [7].

1.2.4. Etat de l'art sur les systèmes de monitoring

Dans le domaine de monitoring de l'environnement de la petite enfance, plusieurs travaux ont été effectués, nous en citons : les travaux de [8] qui a été menée dans le sens de l'analyse du lien entre l'exposition quotidienne aux polluants industriels (en particulier le SO₂ et les

PM2.5) et les admissions à l'hôpital pour asthme et bronchiolite chez les enfants de moins de 5 ans à Shawinigan. Elle emploie une approche de type « case-crossover » pour mesurer les impacts des expositions à court terme.

Nous avons également les travaux de [9], cette recherche s'appuie sur le projet européen SINPHONIE pour examiner l'influence des polluants atmosphériques intérieurs (COV, PM2.5, formaldéhyde, etc.) et des facteurs de confort (lumière naturelle, ventilation) sur la santé pulmonaire et les résultats scolaires de 5175 élèves dans 115 établissements scolaires européens. Nous citons aussi les travaux de [10], cette thèse présente un système de surveillance environnementale utilisant des microcontrôleurs Arduino Nano et des capteurs de température, d'humidité, de qualité de l'air et de rayonnement UV. Le projet vise à fournir une surveillance en temps réel des conditions environnementales. Le système est économique, compact et adapté à diverses applications.

Ces travaux ont contribué à la proposition de systèmes de monitoring de la surveillance des conditions de l'environnement pour le bien-être de la petite enfance.

1.3. Paramètres à mesurer :

Les paramètres environnementaux (paramètres climatique, polluants, allergènes) ont un rôle reconnu dans le déséquilibre des maladies respiratoires et le bien-être de l'enfant [7] :

- ❖ Les paramètres climatiques :
 - Température de l'air : c'est la grandeur physique qui caractérise de façon objective la sensation subjective de chaleur ou de froid laissée par le contact de l'air (18- 22°C) ;
 - Humidité relative : c'est le rapport de la pression effective de la vapeur d'eau à la pression maximale (idéal : 30-50%) [7].
- ❖ Les paramètres liés à la qualité de l'air :
 - Composés organiques volatils (COV) : Substances organiques qui tendent à se volatiliser dans l'atmosphère terrestre (produits ménagers, peintures, meubles).
 - Les particules PM_{2,5} et PM₁₀ : Les particules en suspension incluent les matières microscopiques en suspension dans l'air ou dans l'eau, elle provoquer les irritations des voies respiratoires.
 - Formaldéhyde : Irritant pour les voies respiratoires et considéré comme cancérigène (on le retrouve dans les meubles en bois aggloméré et les tapis).

Chapitre 01

- Dioxydes d'azote (NO_x) : les émissions d'oxydes d'azote résultant de la combustion des hydrocarbures fossiles. Retrouvé dans le cas de dispositifs dont le fonctionnement n'est pas correct.
- Monoxyde de carbone (CO) : Le monoxyde de carbone est l'oxyde du carbone le plus simple. Le risque est élevé lorsqu'on a une combustion incomplète (chauffage, ...).
- Soufre dioxyde (SO_2) : un gaz incolore, non inflammable dont l'odeur forte, qui provoque une irritation oculaire et respiratoire.
- Ozone dans la troposphère (O_3) : Parfois appelé « ozone néfaste », l'ozone troposphérique est l'ozone qui se forme dans la troposphère, il s'agit d'un gaz sans couleur et très irritant qui se crée juste au-dessus de la surface terrestre.
- ❖ Les Paramètres allergènes :
 - Acariens (présents dans les matelas, les peluches, les tapis).
 - Poils des animaux (chats, chiens, ect) - Fongus (associé à une humidité trop élevée).
- ❖ La condition de la pollution sonore :
 - Bruit : Depuis l'année 2000, l'OMS recommande de ne pas dépasser les 35dB [11].

Niveau sonore	Effets nocifs possibles
> 40 dB	Difficultés d'apprentissage et de concentration
> 60 dB	Lésions auditives après une exposition de longue durée
>65 dB	Risque considérable de maladie cardiovasculaire en cas d'exposition prolongée
> 85 dB	Lésions auditives graves après exposition de longue durée
> 120 dB	Lésions auditives graves possibles en cas d'exposition directe

Tableau 1:Les différents niveaux de bruit [12]

1.4. Impact des Paramètres climatique sur les maladies respiratoires :

Les grands changements dans les températures terrestres et océaniques entraînent des catastrophes naturelles telles que ouragans, inondations et incendies exposant les populations vulnérables, dont les enfants et les asthmatiques (« thunderstorm asthma » dus aux polluants issus de la combustion, etc).

Notons que le pollen peut s'oxyder et subir une décomposition en plus petites particules si nous avons une pollution atmosphérique. Dans le cas de présence d'une saison pollinique et d'orages, nous avons le phénomène de « thunderstorm asthme ».

Aussi, le réchauffement climatique entraîne une augmentation des quantités de pollen et un allongement de la saison pollinique, provoquant une augmentation des symptômes d'asthme et de rhinite allergique chez certains patients.

La prise en charge de l'asthme doit inclure le suivi de la qualité de l'air intérieur entre autres, établissant un plan d'action en cas de crise. Notons que la ventilation faite de manière adéquate et régulière des espaces de vie et la filtration de l'air intérieur peut empêcher la croissance de moisissures et prévenir l'humidité [13].

1.5. La pollution de l'air:

La pollution de l'air a des effets néfastes sur la santé. En effet, la pollution de l'air ambiant peut affecter les poumons et mener à un asthme, des exacerbations de la bronchopneumopathie chronique obstructive et augmenter le risque de cancer de cet organe.

L'appareil respiratoire est une voie d'exposition pour les aérocontaminants (gaz ou particules), qui peuvent avoir des effets nocifs sur le court ou le long terme [14].

1.5.1. La pollution de l'air intérieur et extérieur

Pour mieux comprendre la notion de pollution de l'air, nous devons d'abord définir la pollution de l'air intérieur et extérieur.

a- La pollution extérieure

La pollution de l'air extérieur mène à la pollution de l'air intérieur. Les sources importantes de pollution de l'air intérieur incluent la fumée de tabac ambiante, la cuisine intérieure, la construction et la rénovation des bâtiments. La combustion de la biomasse (bois, déchets animaux, ...) pour la cuisson et le chauffage est considérée comme source importante de pollution [13].

b- La pollution intérieure

La pollution de l'air à l'intérieur des locaux peut mener à une augmentation de risque d'irritation, de sensibilisation allergique et de maladies respiratoires chroniques ou aigus et

toucher le fonctionnement des poumons [7]. La figure 1.3 montre les facteurs influant sur l'air intérieur.

1.3.1. Sources de pollution d'intérieur :

Les polluants des environnements intérieurs peuvent être classés en trois catégories et provenir de plusieurs sources :

- Les contaminants biologiques (allergènes, bactéries, moisissures, virus, humidité, poils des animaux, ...).
- Les polluants chimiques :
 - Le monoxyde de carbone (CO) : tabac, gazinières
 - Les composés organiques volatils (COVs) : le formaldéhyde, peintures, colle, parfums, l'eau de javel, ect
 - Les oxydes d'azote : gazinières - Les phtalates, etc.
- Les agents physiques :
 - Les radiations ionisantes (le radon)
 - Les fibres d'amiante les particules fines et ultrafines : vieux bâtiments, imprimantes laser, ect.

- Pollution de l'air intérieur liées à l'environnement extérieur :

Les contaminants extérieurs tels que le NO₂, les particules ou le benzène peuvent s'introduire dans les locaux via l'infiltration ou la ventilation. Ce transfert dépend de la condition du bâtiment, son système de ventilation et les caractéristiques de son environnement. Le sol peut être également considéré une source de pollution à l'intérieur [14].

Le tableau 1.1 montre les principaux polluants de l'air, leurs sources et leurs effets sur la santé des petits enfants :

Principaux polluants	Sources principales	Effets sur la santé
Particules fines PM _{2,5} et PM ₁₀	Véhicules (en particulier diesel) et combustion de certaines industries	Irritant très actif par altération des fonctions respiratoires, crises d'asthme avec à long terme des bronchites chroniques
Dioxyde d'azote NO ₂	Industries de combustion (Transports, installations thermiques, etc.)	Irritations de l'appareil respiratoire, Crises d'asthme et Bronchiolite
Ozone O ₃	Polluant secondaire formé suite à des réactions chimiques entre COV et NOx en présence de rayons ultraviolets	Polluant irritant des yeux, de la gorge, et des poumons, peut altérer la fonction respiratoire et la résistance aux infections
Dioxyde de soufre SO ₂	Industries (installations thermiques, raffineries, etc.)	Très soluble, rapidement absorbé par les surfaces humides de la bouche, du nez. Irritant respiratoire, contribue à l'exacerbation des troubles Bronchiques
Monoxyde carbone CO	Chauffage de gaz, gaz d'échappement des moteur essence et diesel, fours industriel	Hypoxie, encéphalopathie hypoxique, lésions cardiaques (cardiopathies)

Tableau 2: Principaux polluants de l'air, leurs sources et leurs effets sur la santé des petits enfants [7]

1.7. La qualité de l'air

1.7.1. Définition de la qualité de l'air

La qualité de l'air évalue la clarté de l'air en ce qui concerne la santé humaine et l'environnement. Sa recherche exige une étude des conditions climatiques locales et celle des émissions de polluants. Pour pouvoir effectuer une évaluation précise, il faut comprendre ces émissions en termes de leur distribution spatiotemporelle et de leur composition chimique. La

1.8. Paramètres de la qualité de l'air

- **Monoxyde de carbone (CO)** : Un gaz nocif, sans couleur ni odeur, dont 91% des émissions proviennent principalement des véhicules. Il résulte d'une combustion partielle du combustible.
- **Dioxyde de carbone (CO₂)** : Gaz sans couleur et non inflammable, classé comme asphyxiant. Une carence en oxygène provoquée par le CO₂ peut entraîner des dommages cérébraux ou la mort en l'espace de quelques minutes. Son niveau doit être en dessous de 1000 ppm (comparé à environ 350 ppm dans l'air extérieur).
- **Température** : Essentielle pour la sûreté et le bien-être humain. Sa surveillance permet d'apprécier l'impact de l'effet de serre, en particulier depuis la révolution industrielle.
- **Humidité** : Offre une protection contre les UV en régulant la température terrestre. Cela dit, une humidité excessive amplifie la chaleur [7].

1.9. Les normes de la qualité d'air pour les maladies respiratoires pour les enfants dans les établissements hospitaliers (ISO)

- **La norme ISO 16890 :2016 : Filtres à l'air de ventilation générale**

Les filtres à air ont un impact notable sur la qualité de l'air intérieur, influençant ainsi la santé des individus. Évalue l'efficacité des filtres pour capturer les particules PM₁₀, PM_{2.5} et PM₁ (responsables de l'asthme, des bronchites, etc.).

Classification :

- Les particules PM₁₀ en suspension traversant une entrée de taille sélective avec une coupure d'efficacité à 50% pour un diamètre aérodynamique de 10 µm.
- Les particules PM_{2.5} en suspension traversant une entrée de taille sélective avec une coupure d'efficacité à 50% pour un diamètre aérodynamique de 2,5 µm.
- Les particules PM₁ en suspension traversant une entrée de taille sélective avec une coupure d'efficacité à 50% pour un diamètre aérodynamique de 1 µm [15].

- **La norme ISO 7708 : 1995 : qualité de l'air**

Définitions des fractions de taille des particules (PM_{10} , $PM_{2.5}$) pour l'échantillonnages lié aux problèmes de santé (risque pulmonaires) [16].

- **La norme ISO 16000 : série de la qualité intérieure de l'air**
 - ISO 16000-3, 2022 : air intérieur – partie 3 : dosage du formaldéhyde et d'autres composés carbonylés dans l'air intérieur et dans l'air des chambres d'essai (risque d'irritant respiratoires).
 - ISO 16000-6, 2021 : air intérieur – partie 6 : dosage des composés organiques (COTV, COV, COSV) dans l'air intérieur et l'air de chambre d'essai par prélèvement actif sur tube à sortant.
 - ISO 16000-23, 2018 : air intérieur – partie 23 : essai de performance de la réduction des concentrations en formaldéhyde et autres composés carbonylés par des matériaux de construction sportifs.[17]

- **La norme ISO 13138 :2012 : qualité de l'air**

Conventions de prélèvement de particules aéroportées en fonction de leur dépôt dans les voies respiratoires des enfants et les adultes (risque de bronches et alvéoles) [18].

- **La norme ISO 29993:2017 : Services de formation fournis en dehors du cadre de l'enseignement formel — Exigences de service**

Suggestions pour améliorer la qualité de l'air dans les écoles et les garderies [19].

- **La norme ISO 10121-2 : 2013 : Partie 2 : dispositifs de filtration moléculaire**

Filtration de l'air contre (NO_2 , SO_2 , O_3) [20].

1.10. Les valeurs à retenir pour protéger la santé respiratoire des enfants (les normes ISO)

L'ISO ne définit pas de contraintes réglementaires, ses procédures de mesure appuient les directives de l'OMS et de l'ANSES, qui sont rigoureuses en ce qui concerne les enfants.

Les valeurs recommandées pour 2021 :

- PM_{2.5} : 5 µg/m³ (annual) / 15 µg/m³ (24h)
- PM₁₀ : 15 µg/m³(annual) / 45 µg/m³ (24h)
- O₃ : 60 µg/m³(annual) / 100 µg/m³ (24h)
- NO₂ : 10 µg/m³(annual) / 25 µg/m³ (24h)
- SO₂ : 40 µg/m³ (24h)
- CO : 4 mg/m³ (24h)
- Formaldéhyde : 0,1 mg/m³
- Moisissures : niveau 0 recommandé [21] **Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté des généralités concernant les systèmes de surveillance, leur lien avec la qualité de l'air et le bruit en passant en revue quelques travaux issus de la littérature, les impacts de la pollution de l'environnement sur la santé et le bien-être de la petite enfance.

Le prochain chapitre concerne les techniques et méthodes de mesure des paramètres de l'environnement appliqués à la petite enfance

Chapitre 02 : Techniques et méthodes de mesure des paramètres de l'environnement de petite enfance

1.1. Introduction :

Afin de fournir une mesure précise de la qualité de l'air et de bruit, nous allons réaliser un système de surveillance et d'analyse des paramètres d'environnement en utilisant un détecteur de type MQ mesurant les concentrations des polluants présents dans l'air ambiant et un capteur de bruit pour aider à prendre des décisions concernant la santé et le bien-être des enfants.

Le présent chapitre expose les notions générales concernant la mesure de la qualité de l'air et de bruit ainsi que les techniques et méthodes implémentées dans l'analyse et la surveillance de l'environnement, nous rappelons que nous concentrerons sur l'environnement de la petite enfance.

2.2. Objectif de l'implémentation

Pour évaluer les paramètres de l'environnement en termes de qualité de l'air et de niveau de bruit, il faut effectuer des calculs par rapport aux indices de la qualité de l'air IQA basés sur les concentrations de polluants mesurées dans l'air intérieur et les lignes directrices de l'OMS (Organisation Mondiale de Santé) afin de réduire le risque de santé respiratoire chez l'enfant. Pour ce faire, il faut utiliser des capteurs. Cela permet de mesurer la présence de plusieurs gaz atmosphériques. Aussi, l'utilisation d'un capteur qui mesure le niveau de bruit est prévue afin de comparer avec la valeur recommandée par des normes internationales dans les espaces de petite enfance afin d'améliorer la qualité des soins et le bien-être des enfants.

2.3. Les méthodes qui existent pour mesurer la qualité d'air

2.3.1. Les systèmes de mesure en temps réel

Les systèmes de mesure en temps réel de la qualité de l'air englobent les méthodes d'analyses permettant d'obtenir les résultats de la pollution de l'air au sein de périodes de temps déterminées voir dans la même heure de l'analyse [22].

a- Les analyseurs physico-chimiques industriels

Il s'agit d'instruments industriels automatique. Ils analysent l'air en mesurant la qualité et la quantité des gaz et particules y présent. Les analyseurs sont fabriqués avec des composants complexes. Chaque appareil mesure en continu un polluant. Effectuer une mesure consiste à

prendre un échantillon d'air, l'acheminer vers l'appareil qui l'analyse et qui produit une information [22].

b- Les stations de mesures

Les stations de mesure de la qualité de l'air sont des stations qui contiennent un ou plusieurs analyseurs physicochimiques de l'air et qui donnent les résultats d'analyses d'un ou plusieurs polluants. Elles permettent de donner des résultats numériques concernant les gaz et particules présents dans l'air. Les stations qui existent :

- Les stations de fond ;
- Les stations de proximité ;
- Les stations d'observation spécifique

c- Les réseaux de mesure

Le suivi de la pollution atmosphérique d'une région donnée se fait via un réseau de mesure. Chaque réseau de mesure prend en charge la surveillance de l'air dans sa région, ce dernier collecte les données à partir des stations de mesures implémentées au niveau du territoire à surveiller.

d- L'indice ATMO

L'indice ATMO (Indice multipolluant de la qualité de l'air) est un indice (sous forme d'un chiffre) multi-polluant. Cet indice varie de 1 (très bon) à 10 (très mauvais) en fonction de la sévérité de la pollution. Il est construit en utilisant de 4 sous-indices calculés à partir des concentrations en O_3 , SO_2 , NO_2 et PM_{10} . L'indice final retenu correspond à la valeur la plus élevée des 4 sous-indices

e- Les analyseurs portables

La qualité de l'air peut être aussi mesurée via des instruments qui sont des analyseurs portables. La figure 2.1 montre le moniteur de l'environnement 3M Quest EVM-7; Quest Technologies.

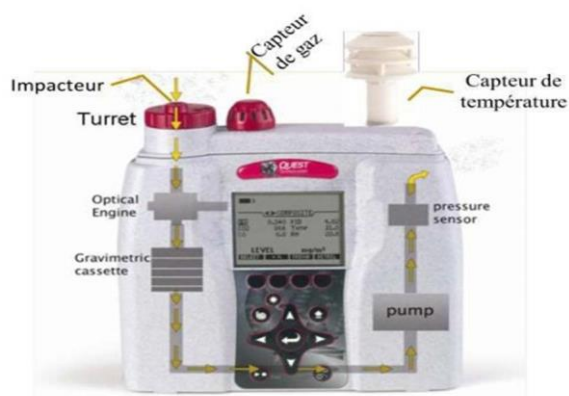


Figure 2:Schéma de l'appareil 3M Quest EVM-7[22]

La figure suivante montre le moniteur de qualité de l'air intérieur AQ-Pro



Figure 3:Le moniteur de qualité d'air intérieur AQ-Pr [22]

La figure 2.3 montre l'analyseur transportable de BTEX (GC-PID)



Figure 4:Analyseur transportable de BTEX (GC-PID)[22]

f- Les systèmes de mesure avec analyse différée (en laboratoire)

Dans les systèmes de mesures avec analyse différée; la mesure passe principalement par des étapes: échantillonnage, transport de l'échantillon, analyse, résultats et enfin l'interprétation des résultats

g- L'échantillonnage

Il existe plusieurs appareils destinés à l'échantillonnage d'air intérieur ou extérieur. Le choix de l'appareil à utiliser dépend du type de polluants recherché (gaz, particules, aérosol). Pour un même type de polluant, il existe plusieurs appareils destinés à l'échantillonnage avec des méthodes différentes.

h- Méthodes d'analyse en laboratoire

L'analyse est faite en laboratoire après avoir récolté des échantillons. L'analyse de l'aspect dynamique de la pollution n'est donc pas possible. Les résultats des mesures sont obtenus dans une période d'une à deux semaines, ce qui rend impossible l'avertissement de la population [22].

2.4. Les démarches utilisées pour mesurer la qualité d'air

2.4.1. La méthode choisie pour analyser la qualité de l'air

Dans notre projet, nous allons adopter la méthode d'un capteur de la série MQ en raison de son faible coût et la facilité de sa mise en œuvre.

En calculant l'indice de la qualité de l'air à partir des concentrations des gaz polluants présents dans l'air intérieur, il sera plus simple de préciser l'état de la qualité de l'air [7].

Ensuite, nous avons la comparaison du seuil sanitaire pour chaque polluant individuellement au niveau de AQS recommandé par les lignes directrices de la qualité d'air OMS et l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail).

2.5. L'indice de la qualité de l'air « Air Quality Index : AQI » et Niveaux AQG (air quality guidelines levels) avec la santé respiratoire chez enfants

A cause de leur système respiratoire en développement et de leur fréquence respiratoire plus élevée, les enfants présentent une plus grande vulnérabilité face à la pollution atmosphérique.

L'OMS publie des lignes directrices de la qualité de l'air pour protéger les populations vulnérables (enfants et personnes du troisième âge).

L'indice de qualité de l'air dépend ainsi des concentrations de polluants. Il s'agit d'un outil jugé puissant nous permettant de surveiller la qualité de l'air chez les enfants pour protéger la santé et leur environnement [23].

2.6. L'indice de la qualité de l'air (Air Quality Index : AQI)

L'IQA est calculé en fonction de la concentration de particules (MP2,5 et MP10), d'ozone O₃, de dioxyde d'azote (NO₂) et de dioxyde de soufre (SO₂).

Une fois que nous avons les concentrations de chaque polluant, nous pouvons utiliser l'équation suivante pour calculer l'IQA [7]:

$$IQA = \frac{IHi - ILo}{BPHi - BPlo} (Cp - BPlo) + ILo \dots \dots \dots \text{Équation 1}$$

Où :

- IQA = indice de la qualité de l'air
- IHi et ILo = valeurs de l'IQA pour les seuils supérieurs et inférieurs de la plage de concentrations de polluants
-
- BPHi et BPlo = valeurs de concentration pour les points d'arrêt supérieurs et inférieurs de la plage de concentrations de polluants
- Cp = concentration du polluant mesurée par le détecteur de gaz [7].

2.7. Les catégories de l'IQA

L'indice de Qualité de l'Air Meersens (MAQI) est un outil puissant qui nous permet de surveiller la qualité de l'air respiré et de prendre des mesures pour protéger notre santé et l'environnement [23].

Il existe six catégories de l'IQA qui dépendent de sa valeur :



Figure 5: Les catégories de l'IQA [24]

2.8. Calculer l'IQA pour les polluants de la qualité de l'air

L'agence de la protection de l'environnement « Environmental Protection Agency » (EPA) a établi des normes nationales aux états unis de la qualité de l'air ambiant: National Ambient Air Quality Standards (NAAQS). Le tableau 2.2. Représente les points d'arrêts de l'IQA et les valeurs de seuils des polluants.

Qualité	AQI	PM _{2,5} (µg/m³)24h	PM ₁₀ (µg/m³)24h	NO ₂ (ppb) 1h	SO ₂ (ppb) 1h	CO (ppm) 8h	O ₃ (ppb) 8h	O ₃ (ppb) 1h
Bien	0-50	0-12.0	0-54	0-53	0-35	0-4.4	0-54	n/a
Modérée	51-100	12.1-35.4	55-154	54-100	36-75	4.5-9.4	55-70	n/a
malsaine pour les groupes sensible	101- 150	35.5-55.4	155-254	101-360	76-185	9.5-12.4	71-85	125-164
Malsaine	151- 200	55.5-150.4	255-354	361-649	186-304	12.5-15.4	86-105	165-204
Très malsaine	201- 300	150.0- 250.4	355-424	650-1249	305-604	15.5-30.4	106-200	205-404
Hasardeuse	301- 500	250.5- 500.4	425-604	1250- 2049	605-1004	30.5-50.4	n/a	405-604

Tableau 3: Les points d'arrêts de l'IQA[7]

- Exemple de calcul de l'IQA :

Supposons que les valeurs suivantes de divers polluants :

Catégorie de l'IQA	NO ₂	CO
Valeurs des polluants (µg/m ³)	25	7

Tableau 4: Les valeurs des polluants

Pour calculer l'IQA de CO, il faut se référer au monoxyde de carbone dans le tableau.2.3. Pour les valeurs qui se situent au-dessus et en dessous de la valeur (4,5 -9,5). Dans ce cas, la valeur de 7 se situe dans les valeurs d'index de 100 à 51. Nous avons tous les nombres nécessaires pour utiliser l'équation (1).

$$I_{CO} = (((100 - 51) / (9,5 - 4,5)) * (7 - 4,5)) + 51 = 75,5$$
 De

même pour les autres polluants :

$$I_{NO_2} = (((50 - 0) / (53 - 0)) * (25 - 0)) + 0 = 23,58$$

Le plus élevé de ces valeurs de l'IQA qui, dans ce cas-ci, est 75,5 relevant de la catégorie « Modérée » et le polluant responsable c'est monoxyde carbone (CO).

2.9. Le niveau de AQS recommandé par les lignes directrices de la qualité d'air

L'ISO n'impose pas de normes contraignantes, cependant, ses techniques de mesure appuient les conseils de l'OMS (organisation mondiale de la santé) et l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail), notamment sévères en ce qui concerne les enfants.

2.10. Niveaux AQG (Air Quality Guidelines) recommandés

Le tableau.2.4. Montrer les niveaux de la qualité d'air recommandés par OMS

Polluant	Temps de moyenne	Niveau AQG
PM _{2,5} , µg/m ³	Annuel	5
	24 heures	15
PM ₁₀ , µg/m ³	Annuel	15
	24 heures	45
O ₃ , µg/m ³	Annuel	60
	24 heures	100
NO ₂ , µg/m ³	Annuel	10
	24 heures	25
SO ₂ , µg/m ³	24 heures	40
CO, mg/m ³	24 heures	4

Tableau 5: Les niveaux de la qualité d'air recommandés par OMS[21]

2.11. Méthodes d'analyse de la qualité de l'air (Système multi-capteurs et technologie de nez électronique)

Un nez électronique utilise divers capteurs, qui réagissent distinctement aux odeurs, afin de les reconnaître, concept qui rappelle la détection de signaux à travers différents détecteurs. Les capteurs mixtes examinent les réactions pour identifier l'odeur ou le signal perçu.

Les dispositifs multi-capteurs, tels que les nez électroniques basés sur la technologie MOS (Métal oxyde semi-conducteur), proposent une réponse encourageante pour le contrôle des polluants gazeux dans l'environnement intérieur [7].

2.12. Choix des capteurs

Pour le bien-être des enfants et leur santé respiratoire il faut contrôler les paramètres de l'environnement et d'elle les gaz polluants dans l'air qui minimisé la qualité de ce dernier. Les gaz qui dégrader la qualité d'air pour les enfants :

Chapitre 02

- Particules fines $PM_{2,5}$ et PM_{10}
- Dioxyde d'azote NO_2
- Ozone O_3
- Dioxyde de soufre SO_2
- Composés organiques volatils COV

Afin de détecter ces gaz dans d'air pour un environnement qui protège la santé respiratoire des petites enfances, nous allons utiliser des capteurs de la série MQ pour vérifier la qualité de l'air intérieur.

2.13. La série des capteurs MQ

Les détecteurs de gaz MQ sont valorisés pour leur sensibilité accrue et leur prix modique, les rendant attrayants pour la détection des gaz. Toutefois, même si la résistance de charge affecte tant la sensibilité que la dissipation de puissance, sa sélection idéale reste sous-explorée. L'objectif de cette recherche est donc de représenter ces relations en élaborant des équations spécifiques.[7]

Le tableau.2.5. Montre les différents capteurs de la série MQ.

Tableau 6: Les différents de la série MQ qui nous allons utiliser pour détecter les gaz polluants [7]

Détecteur	Alimentation	Plage de mesure	Sensibilité	Temps de réponse	Température de service	Compatibilité	Consommation phase de chauffage	Substances mesurables
MQ-7	5 VCC	300 à 10000 ppm	2 à 20 kΩ	Faible	-20 à 50 °C	Arduino et Raspberry Pi	—	Monoxyde de carbone CO
MQ-135	5 VCC	10 à 1000 ppm	2 à 20 KΩ	Faible	-20 à 50 °C	Arduino et Raspberry Pi	—	NH ₃ , NO _x , Alcool, Benzène, CO ₂ , Fumée
MQ-131	5VCC	10 à 1000 ppm	2 à 20 kΩ	Faible	-20 à 50 °C	Arduino et Raspberry Pi	—	Ozone (O ₂), dioxyde d'azote NO ₂

2.14. Les capteurs de gaz de la série MQ

Les capteurs MOX, également connus sous le nom de capteurs à résistance chimique, identifient les gaz par le biais d'un changement de leur résistance. Fonctionnant à 5 V et utilisant près de 800 mW, ces appareils sont capables d'identifier différents gaz (GPL, a propane, hydrogène, méthane, CO, ...) dans une fourchette allant de 200 à 10 000 ppm [7].

2.15. Principe de détection

Quand le dioxyde d'étain est chauffé, l'oxygène qui se fixe à sa surface attire des électrons, ce qui entrave le passage du courant. En présence de gaz réducteurs, l'oxygène est absorbé, libérant des électrons et permettant le passage du courant.

Dans le module MQ, nous avons deux types de sorties : une sortie numérique (pour la détection binaire des gaz) et une sortie analogique (pour une tension qui reflète la concentration de gaz [7] car plus la concentration est grande, plus la tension l'est).

2.16. La méthode d'analyse de bruit :

Dans notre projet nous allons analyser les paramètres de l'environnement, et d'elle le bruit qui considéré comme une source de stress et fatigue auditive pour les petits enfants.

Les enfants perçoivent des sons plus fortement que les adultes parce que leur conduit auditif est plus petit. Certains jouets bruyants peuvent être dangereux pour l'audition des enfants [25].

Afin d'analyser le bruit dans les espace intérieurs nous appliquons un capteur sonore pour garantir que le niveau de son Convient pour le bien-être des enfants dans les différents milieux intérieurs (crèche, hôpitaux pédiatre, etc.)

La comparaison de niveau de bruit avec les niveaux sonores on (dB) recommander par OMS (organisation mondial de santé).

2.16.1. Le classement du niveau sonore par l'OMS

Nous avons le classement suivant :

30 dB — Calme ○ Il s'agit du niveau recommandé par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) pour assurer une bonne qualité de sommeil.

Entre 40 et 60 dB — Niveaux acceptables pour une bonne santé auditive ○ Ce sont les niveaux auxquels nous devrions être exposés pendant nos activités quotidiennes. Il n'y a pas de risque pour la santé auditive.

Entre 60 et 70 dB — Niveaux de plusieurs appareils électroménagers ○ Les appareils électroménagers, les outils électriques peuvent être bruyants. Il est important de vérifier et de considérer le niveau de bruit qu'ils émettent au moment de leur achat. Pour protéger l'audition ainsi que pour le confort auditif, il est indiqué de se procurer les appareils les moins bruyants sur le marché.

Plus grand que 80 dB — Bruits excessifs et risque pour la santé auditive ○ Voici des exemples d'environnement avec bruits excessifs qui présentent un risque pour la santé globale ou auditive :

- Activités intérieures bruyantes, comme dans les espaces de jeux intérieurs et les endroits où un groupe d'enfants jouent.[26]

Puisque les enfants sont plus sensibles que les personnes adultes, l'OMS recommande des niveaux sonores pour le bien-être et la santé auditive comme suit:

- Pendant la nuit moins de 30 dB
- Pendant le jour moins de 35 dB

Selon l'OMS, il est conseillé de ne pas dépasser une moyenne de 40 dB sur une période de 24 heures afin d'éviter des effets à long terme tels que le stress ou les troubles cognitifs. L'EPA (Environmental Protection Agency) et l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) estiment que le bruit dans la chambre d'un patient ne devrait pas dépasser 40 dB le jour, et 35 dB la nuit.

Entre 1960 et 2004, le bruit moyen dans les hôpitaux, incluant les salles d'opération, est passé de 57 dB à 72 dB le jour, et de 42 dB à 60 dB la nuit [27].

2.17. Choix de capteur

2.17.1. Capteur de niveau sonore

Un capteur sonore est basé sur un microphone et un circuit intégré LM393, qui permet de comparer des tensions. Ce capteur produit une sortie logique qui indique si le niveau sonore capté par le microphone dépasse ou non une valeur seuil, configurable à l'aide d'un potentiomètre, qui se trouve sur le module [28].

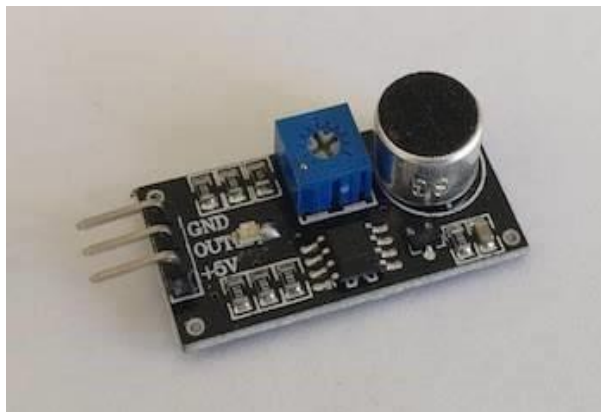


Figure 6: Le module de détection sonore basé sur le circuit intégré LM393 de Texas Instrument[28]

Ce détecteur sonore ne dispose pas d'une seule fiche technique, il comprend divers composants (dont le circuit LM393, un comparateur de tensions). Consulter la datasheet du LM393 ne permet pas de comprendre pleinement le fonctionnement du module.

Il est donc essentiel de consulter une documentation exhaustive (guides, schémas, tutoriels) décrivant son fonctionnement et son utilisation.

2.17.2. Caractéristique du capteur :

Le module de détection sonore produit une sortie logique qui indique si le niveau sonore configuré est dépassé ou non. Le son est récupéré par un microphone, amplifié et ensuite envoyé dans le LM393 pour être comparé avec le seuil maximal, configurable à l'aide du potentiomètre intégré sur le module. La sortie logique est haute (1) lorsque le niveau sonore est correct et basse (0) lorsque le niveau sonore est trop élevé. La documentation indique également qu'une LED sur le module s'allume dans ce dernier cas.

2.1. Utilisation du capteur

L'emploi du module de détection sonore est très simple, toutefois, il requiert d'abord une calibration pour définir le plafond du niveau sonore maximal à ne pas franchir. Il suffit d'ajuster le potentiomètre présent sur le module à la valeur souhaitée. Une fois mis en place, un simple apport de tension variant entre 3,3 V et 5 V au module suffit pour qu'il commence à fonctionner et à surveiller le niveau sonore.

Le capteur génère tout simplement un signal logique en sortie, signalant si le niveau sonore dépasse ou non la limite fixée. Le signal généré reste élevé tant que le niveau de bruit ne franchit pas la limite paramétrée et il devient faible une fois cette limite dépassée. La figure.2.7. Montre un tout simple circuit utilisant ce capteur.[28]

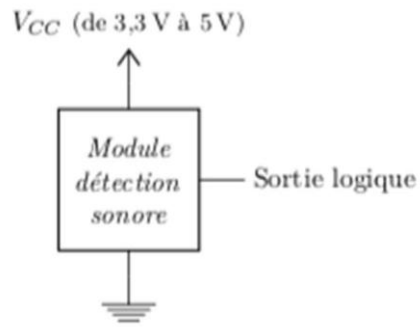


Figure 7: Le circuit utilisant ce capteur[28]

Conclusion :

Dans ce deuxième chapitre nous avons présenté les techniques et technologies utilisées dans la mesure, l'analyse et la surveillance de la qualité de l'air et le bruit. Nous avons aussi décrit les différents composants généralement utilisés dans les systèmes de surveillance et les méthodes utilisées.

Dans le prochain chapitre, nous allons décrire les différents matériels utilisés dans la réalisation de notre système monitoring de l'environnement pour le bien être de petite enfance.

Chapitre 03 : Réalisation et implémentation du système de monitoring d'environnement.

3.1. Introduction

Dans ce troisième chapitre nous allons nous concentrer sur la conception et la réalisation du système de surveillance de la qualité de l'air et le niveau de bruit. En mesurant les paramètres de la qualité d'air grâce au capteur de température et d'humidité DHT11, détecteur des gaz polluants MQ-7 et capteur de la qualité d'air MQ-135. Le niveau de bruit mesurant avec un capteur de niveau sonore microphone LM393.

3.2. Méthodologie de travail

Dans cette partie nous allons concevoir notre système de surveillance des conditions environnementales de la qualité d'air et le niveau de bruit en temps réel.

Pour ce faire nous allons suivre les étapes suivantes :

- Nous devons d'abord mesurer les paramètres des capteurs MQ-7, MQ-135, DHT11 et LM393 et visualiser les résultats sur Visual studio avec Python.
- Puis, nous avons connecté le programme Arduino avec le circuit de la carte arduino Uno après nous avons visualiser les sortis de programme dans Visual studio.
- Après, acquisition des mesures en temps réel afin de les surveiller et les stocker.
- Ensuite, se servir des données stockées pour calculer l'indice de la qualité de l'air et aussi pour la comparaison des niveaux avec les lignes directrices et le même pour le bruit.
- Enfin, créer une interface graphique à l'aide python afin de visualiser les paramètres du système de surveillance de l'environnement pour le bien-être des enfants.

3.3. Matériel utilisé

Dans ce qui suit nous présenterons les outils nécessaires à utiliser afin de réaliser notre système de surveillance de la qualité de l'air et le niveau de bruit.

Nous aurons besoin de :

- ✓ Une carte d'acquisition de type Arduino Uno.
- ✓ Une plaque d'essai.
- ✓ Les jumpers.
- ✓ Le capteur DHT22.
- ✓ Le détecteur MQ-7.
- ✓ Le détecteur MQ-135.

Carte Arduino Uno 	Plaque d'essai 	Jumpers wires 	Capteur sonore LM393 
Le capteur DHT22 	Détecteur MQ-7 	Détecteur MQ-135 	

Tableau 7: Matériel utilisé pour la réalisation

3.4. Câblage des modules MQ-7, MQ-135, DHT22 et LM393 avec Arduino UNO :

Le tableau montre le câblage des pins pour les différents capteurs :

Capteur	Broche de capteur	Pin d'Arduino
MQ-7	VCC	5V
	GND	GND
	Ao	A0
MQ-135	VCC	5V
	GND	GND
	Ao	A1
DHT22	VCC	5V
	GND	GND
	DATA	D4

LM393	VCC	5V
	GND	GND
	DOUT	D6

Tableau 7: Câblage des modules MQ-7, MQ-135, DHT11 et LM393 avec Arduino UNO

La figure suivante montre le câblage utilisé (obtenu en utilisant le logiciel CIRCUITO):

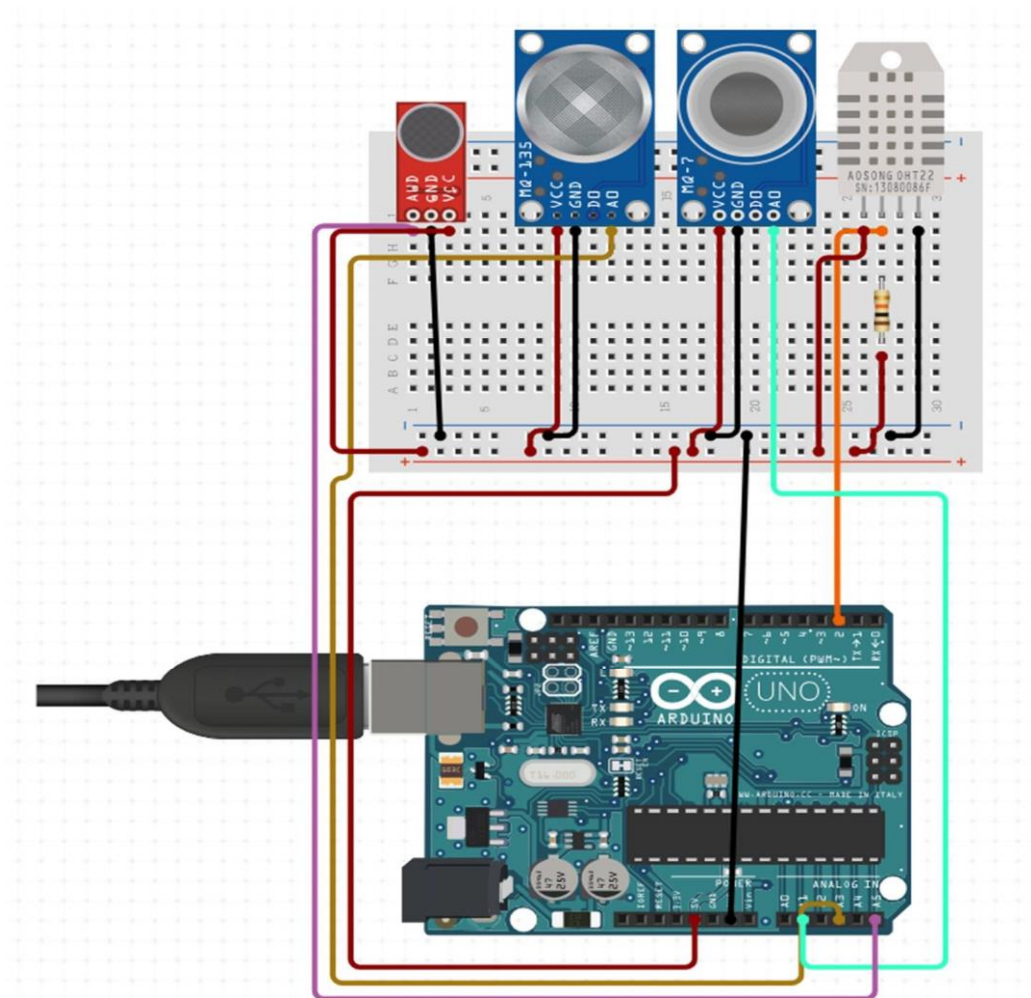


Figure 8: Le câblage du système de monitoring

3.5. Principales caractéristiques de DHT22

- À bas prix.
- Puissance de E / S est 3.3 à 6V.
- 2.5 mA max courant d'utilisation pendant la conversion (lors de la demande de données).
- Bon pour 0-100% de lectures d'humidité avec $\pm 2\%$ de précision.
- Bon pour les lectures de température de -40 à $80^\circ \pm$ Précision $\pm 0,5^\circ \text{C}$.
- Pas plus de 0,5 Hz de fréquence d'échantillonnage (une fois toutes les 2 secondes).
- Taille 25 x 15 x 9 mm [29]

3.6. La Conception du circuit

La figure 13 montre le circuit en utilisant le logiciel EasyEDA

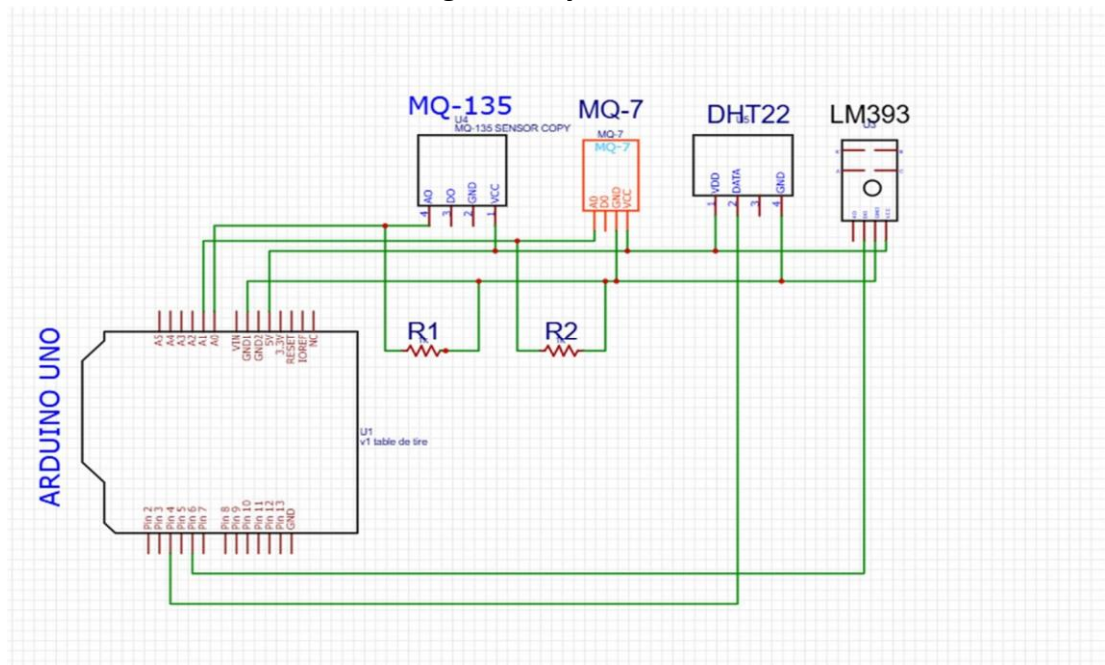


Figure 9: Circuit du système de monitoring

3.7. Softwares utilisés pour l'implémentation

3.7.1. Le logiciel Arduino IDE

L'IDE Arduino permet d'écrire, de modifier un programme et de le convertir en une série d'instructions compréhensibles pour le microcontrôleur de la carte Arduino. L'IDE peut fonctionner sur Windows et linux ou mac. La carte Arduino utilisée dans ce travail est programmée par un IDE qui agit comme un éditeur de code et un compilateur, et le code du programme peut être transféré au microcontrôleur via un câble USB [7].

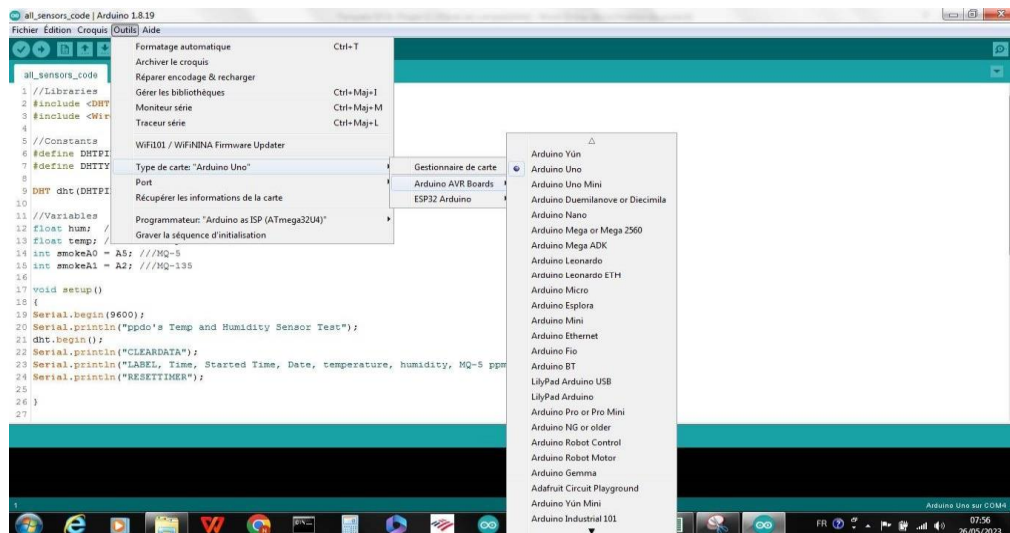


Figure 10:Interface du logiciel Arduino IDE[7]

3.7.2. L'IDE Visual Studio Code

Visual Studio Code (VS Code) est un éditeur de code source et un environnement de développement intégré (IDE) de Microsoft. Il est open-source et cross-platform, c'est-à-dire qu'il fonctionne sur Windows, Linux et Mac. Il a été conçu pour les développeurs web, mais il prend en charge de nombreux autres langages de programmation tels que C++, C#, Python, Java, etc [30].

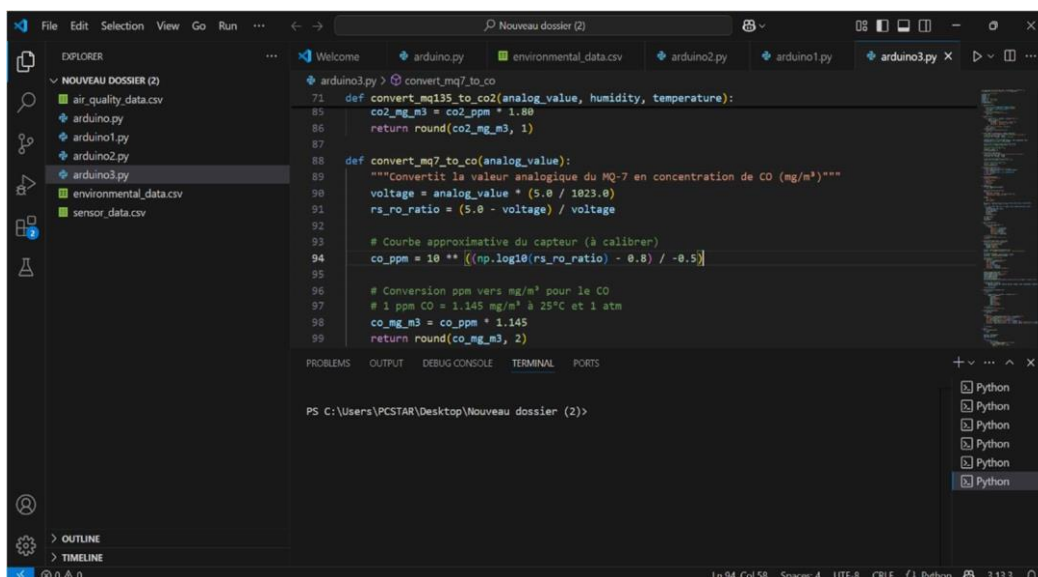


Figure 11:Interface de l'IDE Visual Studio Code

○ Le langage python

Python est le langage de programmation informatique le plus populaire et le plus utilisé, notamment dans le domaine de la Data Science et du Machine Learning. De plus, Python est un langage multiplateforme qui fonctionne sur divers systèmes d'exploitation, tels que Windows, macOS et Linux [31].

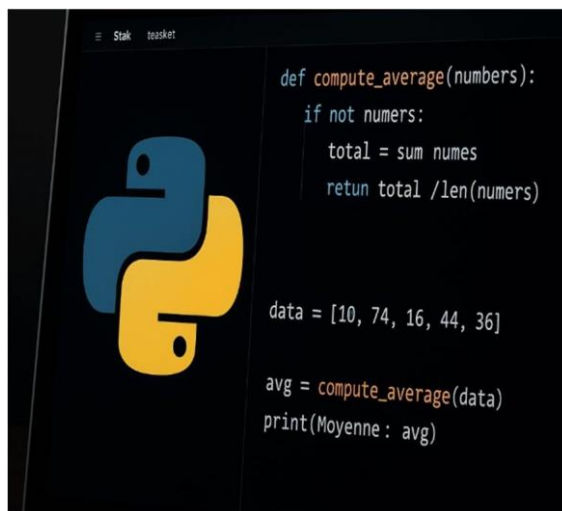


Figure 12:Logo du langage python[31]

3.8. Réalisation et implémentation

3.8.1. La qualité de l'air

Dans ce qui suit, pour les expériences 01, 02, 03 décrites ci-dessous, nous allons utiliser deux méthodes pour contrôler la qualité de l'air.

- **La première méthode :**

Le calcul de l'IQA (indice de la qualité de l'air) pour les polluants NO₂ et CO avec les points d'arrêt du tableau 2.1 et 2.2, ce dernier est établi par l'EPA dans le cadre des normes nationales aux états unis de la qualité de l'air ambiant et l'OMS (organisation national de la santé).

- **La deuxième méthode :**

La comparaison de niveaux de les polluants NO₂ et CO avec les lignes directrices qui établis par l'OMS (Organisations National de la Santé) et l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail).

3.8.2. Température et humidité

Pour les valeurs normales de température et d'humidité ambiantes, une bonne estimation est que le niveau d'humidité relative de l'air doit être compris entre 30 et 50 %, tandis que la température ambiante doit être comprise entre 18 et 22°C.

3.8.3. Le niveau de bruit

Concernant le niveau de bruit acceptable, l'OMS recommande le fait qu'il ne dépasse pas 35 à 40 dB pour garantir la santé physique, auditive et le bien-être des enfants.

3.9. Les équations utilisés dans les codes python : La conversion des signaux bruts en grandeurs physiques

- **Conversion ADC en tension [32] :**

$$V_{out} = \frac{V_{ref} \times ADC_{value}}{1023} \dots\dots\dots \text{Equation 2}$$

V_{ref} : 5V (Tension d'alimentation Arduino)

$ADC_{value} \in [0, 1023]$ valeur numérique (10-bit)

- **Calcul du rapport R_s/R_0 pour les capteurs MQ :**

$$\frac{R_s}{R_0} = \frac{V_{ref} - V_{out}}{V_{out}} \dots\dots\dots \text{Équation 2}$$

Corriger les biais

- **Correction de température et humidité (MQ-135) [33] :**

$$C_{Fact} = \frac{1}{1 + 0,0025 \times H - 0,01 \times (T - 20)} \dots\dots\dots \text{Équation 3}$$

H : humidité relative mesurée (%)

T : température ambiante mesurée (en °C)

20 : température de référence

0,0025 : coefficient de correction pour l'humidité

0,01 : coefficient de correction pour la température

$$\left(\frac{R_s}{R_0}\right)_{\text{corrigé}} = \left(\frac{R_s}{R_0}\right)_{\text{brut}} \times C_{Fact} \dots\dots\dots \text{Équation 4}$$

- **Conversion en concentration gazeuse du NO₂ (MQ-135) et CO (MQ-7) [35]:**

Conversion en ppm : $C_{ppm} = 10^{\left(\frac{\log_{10}\left(\left(\frac{R_s}{R_0}\right)_{corr}\right)a}{b}\right)}$ Équation 5

a et b : les paramètres de courbes caractéristique du courbe pour les gaz du chaque capteur

▪ **Conversion en niveau sonore :**

$$N_{dB} = 20 + \frac{ADC_{noise}}{10} \dots\dots\dots \text{Équation 6}$$

20 : Décalage pour éviter les valeurs négatives

$\alpha = \frac{1}{10}$: conversion de plage ADC (0-1023) en une plage dB

ADC_{noise} : 0 → N_{dB} = 20 dB (silence relatif)

ADC_{noise} : 500 → N_{dB} = 20+50=70 dB (Bruit modéré)

ADC_{noise} : 1023 → N_{dB} = 122 dB (seuil douleur)

La formule représente un modèle empirique utilisé pour transformer une valeur brute d'ADC en un niveau sonore approximatif. Elle se base sur le principe essentiel de la transformation logarithmique d'un rapport de tensions en décibels $20\log\left(\frac{V}{V_{ref}}\right)$ [36] [37].

Lisser les données

▪ **Moyenne mobile :**

Le calcul de la moyenne pour les paramètres de température, humidité, la concertation des polluants NO₂ et CO, et le niveau de bruit par l'équations suit :

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \dots\dots\dots \text{Équation 7}$$

Evaluation de la qualité d'air :

Nous rappelons que :

$$Q_{air} \begin{cases} \text{"bonne" si } NO_{2ppb} \leq 53 \text{ et } CO_{ppm} \leq 4,4 \\ \text{"moyenne" si } 53 < NO_{2ppb} \leq 100 \text{ ou } 4,4 < CO_{ppm} \leq 9,4 \\ \text{"mauvaise" sinon} \end{cases} \quad [7]$$

3.10. Les équations utilisées pour la conversion des taux des pollutant

a- Pour le NO₂ : a- Pour le NO₂ :

Conversion de ppb en $\mu g/m^3$: [39]

$$NO_{\mu g/m^3} = NO_{2ppb} \times \frac{M \times P}{V} \dots \dots \dots \text{Équation 8}$$

M : Masse molaire (NO₂) = 46,0055 g/mol

P : pression de gaz idéal (101, 325 KPa)

V : Volume molaire du gaz idéal (25°C et 1 atm) $\approx$ 24,45 L/mol

b- Pour le CO :

Conversion de ppm en mg/m^3 : [40]

$$CO_{mg/m^3} = CO_{ppm} \times \frac{M \times P}{V} \dots \dots \dots \text{Équation 9}$$

M : Masse molaire (CO) = 28,01 g/mol

P : Pression de gaz idéal (101, 325 KPa)

V : Volume molaire du gaz idéal (25°C et 1 atm) $\approx$ 24,45 L/mol

3.11. Expérience 01 : la surveillance des paramètres de l'environnement intérieur dans le service de réa pédiatrie pour les enfants qu'a des problèmes respiratoires

○ **Présentation du service :**

L'unité réanimation pédiatriques pour les maladies respiratoires est une section spécialisée dédiée à la gestion des cas d'enfants entre 1 et 12 ans en situation de détresse respiratoire aiguë. Il s'occupe de patients atteints de maladies pulmonaires graves telles que la bronchiolite sévère, l'asthme aigu grave, la pneumonie ou des malformations pulmonaires.

Cette figure montre le service :



Figure 13: Service réanimation pédiatrique

Expérience 01 : Mesure les conditions de l'environnement dans des salles avec diffuseur de l'air

La figure montre le dispositif réalisé et diffuseur de l'air soufflant:

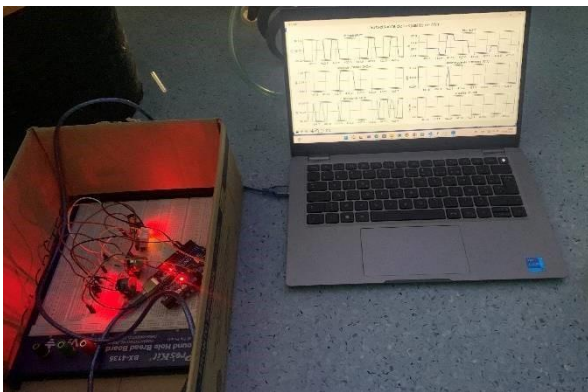


Figure 14: La mesure de qualité de l'air

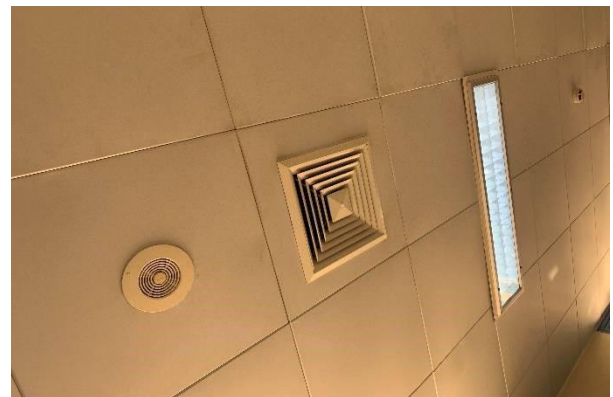


Figure 15: Diffuseur d'air soufflant

dans les salles avec diffuseur de l'air

Les résultats de l'expérience :

Cette figure montre les résultats des mesures de cette expérience avec ppm, ppb :

```
=== Moyennes des 10 dernières mesures ===  
Température moyenne: 25.4 °C  
Humidité moyenne: 61.48 %  
NO2 moyen: 6.2 ppb  
CO moyen: 0.32 ppm  
Bruit moyen: 34.9 dB  
Qualité air dominante: Bonne  
Niveau bruit dominant: Normal
```

Figure 16: Les résultats de mesures

Chapitre 03

Les résultats obtenus :

- MQ-7 → C = 0,32 ppm
- MQ-135 → C = 6,2 ppb
- DHT11 → Température = 25,4°C ; Humidité = 61,48%
- Niveau de bruit → N = 34,9

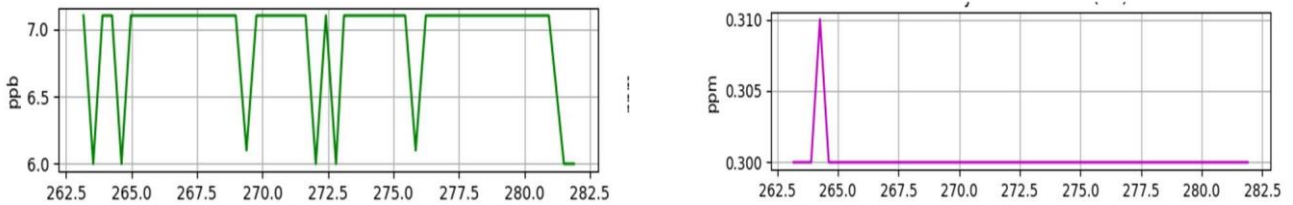


Figure 17: Variation des taux des polluants en temps réels

Remarque : L'axe des abscisses représente Le temps en secondes.

Le calcul de l'indice de l'air :

$$IQA = \frac{IHi - ILo}{BPHI - BPLo} (cp - BPLo) + ILo$$

$$IQA(CO) = \frac{50-0}{4,4-0} (0,32 - 0) + 0 = 3,63$$

$$IQA(CO) = 3,63$$

$$IQA(NO_2) = \frac{50-0}{53-0} (6,2 - 0) + 0 = 5,84$$

$$IQA(NO_2) = 5,84$$

La comparaison avec les lignes directrices:

Par rapport à la comparaison avec les ligne directrice faire la conversion au de NO₂ en (μg/m³) et CO en (mg/m³) suit :

$$NO_{\mu g/m^3} = NO_{2ppb} \times \frac{M}{V}$$

$$NO_{\mu g/m^3} = 6,2 \times \frac{46,0055}{24,51} = 11,65 \mu g/m^3$$

$$NO_{\mu g/m^3} = 11,65 \mu g/m^3$$

$$CO_{mg/m^3} = CO_{ppb} \times \frac{M}{V}$$

$$CO_{mg/m^3} = 0,32 \times \frac{28,01}{24,51} = 0,36 mg/m^3$$

$$CO_{mg/m^3} = 0,36 mg/m^3$$

La figure montre les résultats du programme :

```

=== Moyennes des 10 dernières mesures ===
Température moyenne: 26.2 °C
Humidité moyenne: 60.68 %
NO2 moyen: 6.1 μg/m3
CO moyen: 0.33 mg/m3
Bruit moyen: 34.7 dB
Qualité air dominante: Bonne
Niveau bruit dominant: Normal
    
```

Figure 18: Les résultats du programme

Chapitre 03

$$CO_{mg/m^3} = 0,36 \approx 0,33 \text{ mg}/m^3$$

$$NO_{2\mu g/m^3} = 11,65 \approx 6,1 \mu g/m^3$$

Expérience 02 : Mesure les conditions de l'environnement dans des salles sans diffuseur de l'air

La figure montre l'expérience :

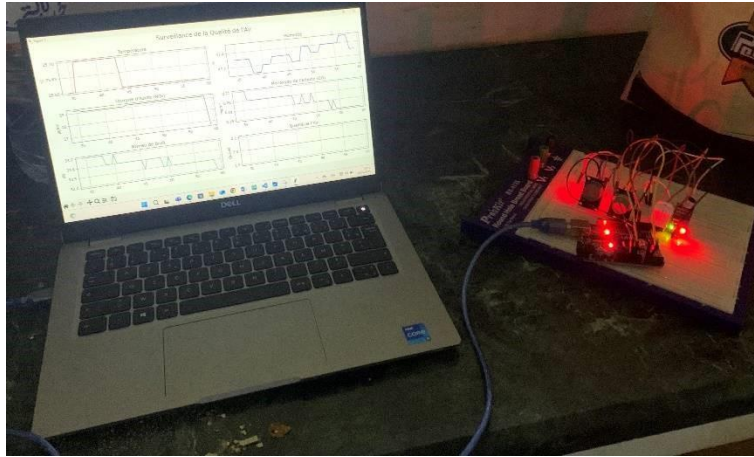


Figure 19: La mesure de qualité d'air dans les salles sans diffuseur de l'air

Les résultats d'expérience :

Cette figure montre les résultats de mesures de cette expérience avec ppm, ppb :

```
=== Moyennes des 10 dernières mesures ===  
Température moyenne: 24.6 °C  
Humidité moyenne: 48.44 %  
NO2 moyen: 10.6 ppb  
CO moyen: 0.14 ppm  
Bruit moyen: 33.2 dB  
Qualité air dominante: Bonne  
Niveau bruit dominant: Normal
```

Figure 20: Les résultats de mesures

Les résultats obtiennent :

- MQ-7 → C = 0,14 ppb
- MQ-135 → C = 10,6 ppm
- DHT11 → Température = 24,6 °C ; Humidité = 48,44%
- Niveau de bruit → N = 33,2

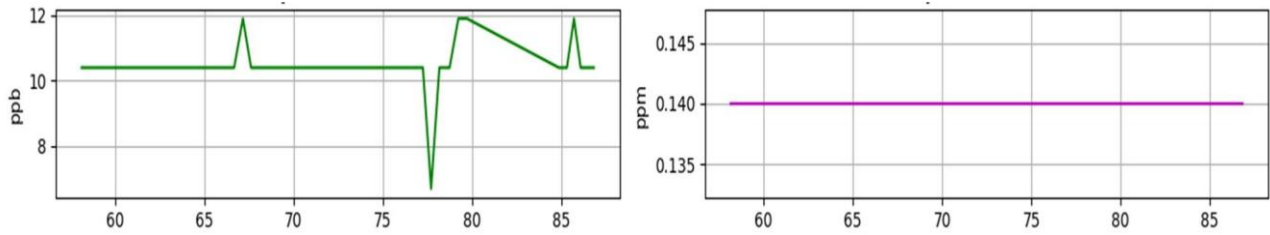


Figure 21: La variation des taux des polluants en temps réels

Remarque : L'axe des abscisses représente Le temps en secondes.

Le calcul de l'indice de l'air :

La comparaison avec les lignes directrices :

Par rapport à la comparaison avec les lignes directrices, faire la conversion du taux de NO₂ en (µg/m³) et celui du CO en (mg/m³) suit :

$$IQA = \frac{IHi - ILo}{BPHI - BPLo} (cp - BPLo) + ILo$$

$$IQA(CO) = \frac{50-0}{4,4-0} (0,14 - 0) + 0 = 1,59$$

$$IQA(CO) = 1,59$$

$$IQA(NO_2) = \frac{50-0}{53-0} (10,6 - 0) + 0 = 10$$

$$IQA(NO_2) = 10$$

La comparaison avec les lignes directrices :

Par rapport à la comparaison avec les lignes directrices, faire la conversion du taux de NO₂ en (µg/m³) et celui du CO en (mg/m³) suit :

$$NO_{2\mu g/m^3} = NO_{2ppb} \times \frac{M}{V}$$

$$NO_{2\mu g/m^3} = 0,14 \times \frac{46,0055}{24,51} = 0,16 \mu g/m^3$$

$$NO_{2\mu g/m^3} = 0,16 \mu g/m^3$$

$$CO_{mg/m^3} = CO_{ppb} \times \frac{M}{V}$$

$$CO_{mg/m^3} = 10,6 \times \frac{28,01}{24,51} = 0,36 m g/m^3$$

$$CO_{mg/m^3} = 19,92 m g/m^3$$

La figure montre les résultats de programme :

```

=== Moyennes des 10 dernières mesures ===
Température moyenne: 25.42 °C
Humidité moyenne: 47.04 %
NO2 moyen: 19.2 µg/m3
CO moyen: 0.16 mg/m3
Bruit moyen: 33.3 dB
Qualité air dominante: Bonne
Niveau bruit dominant: Normal
  
```

Figure 22: Les résultats du programme

$$CO_{mg/m^3} = 19,92 \approx 19,29 \text{ } mg/m^3$$

$$NO_{\mu g/m^3} = 0,16 = 0,16 \text{ } \mu g/m^3$$

Remarque :

Selon les résultats obtenus dans les deux expériences dans l'hôpital, par rapport aux valeurs de l'indice de qualité de l'air sont comprises entre 0 et 50, appartenant ainsi à la catégorie « Bien », voir les tableaux 2.1 et 2.2.

Par rapport à les lignes directrices qui établis par l'OMS les résultats ne dépasse pas les seuils recommander donc ne présente aucun danger sur la santé des enfants.

Le niveau de bruit est entre 30 et 40 dB donc selon les normes de l'organisations mondial de santé, il ne dépasse pas 40 dB pendant la journée dans est très bien pour la santé auditive et bien être des enfants

La température et l'humidité sont relativement modérées.

Donc les conditions sont très bien pour la santé physique (respiratoire), auditive et le bien être des petits enfants.

Expérience 03 : Mesure les conditions de l'environnement dans une crèche pour les petits enfants de (3 – 5 ans)

La figures monter l'expérience :



Figure 23: La mesure de la qualité d'air dans une crèche

Les résultats d'expérience :

Cette figure montre les résultats des mesures de cette expérience avec ppm, ppb :

```

=== Moyennes des 10 dernières mesures ===
Température moyenne: 25.1 °C
Humidité moyenne: 66.62 %
NO2 moyen: 76.6 ppb
CO moyen: 0.93 ppm
Bruit moyen: 38.5 dB
Qualité air dominante: Bonne
Niveau bruit dominant: Normal
    
```

Figure 24: Les résultats de mesures Les

résultats obtenus :

- MQ-7 → C = 0,93 ppm
- MQ-135 → C = 76,6 ppb
- DHT11 → Température = 25,1 °C ; Humidité = 66,62%
- Niveau de bruit → N = 38,5 dB

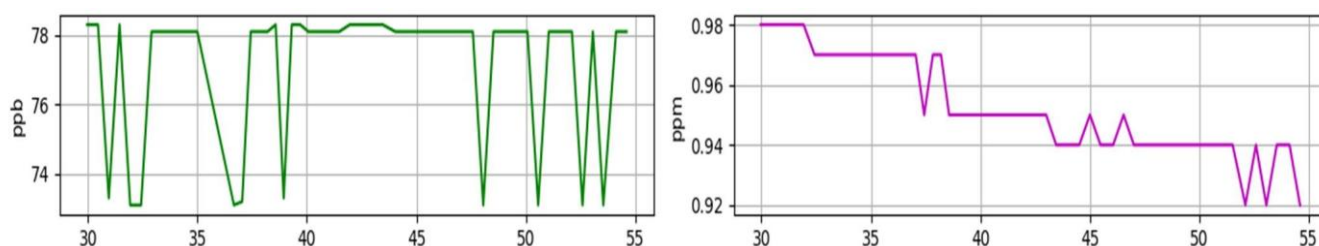


Figure 25: La variation des taux des polluants en temps réels

Remarque : L'axe des abscisses représente Le temps en secondes Le

calcul de l'indice de l'air :

$$IQA = \frac{IHi - ILo}{BPHI - BPLo} (cp - BPLo) + ILo$$

$$IQA(CO) = \frac{50-0}{4,4-0} (0,93 - 0) + 0 = 10,56$$

$$IQA(CO) = 10,56$$

$$IQA(NO_2) = \frac{100-51}{100-54} (76,6 - 54) + 51 = 75,07$$

$$IQA(NO_2) = 75,07$$

La comparaison avec les lignes directrices :

Par rapport à la comparaison avec les lignes directrices, il faut d'abord faire la conversion au du taux de NO₂ en (µg/m³) et du taux de CO en (mg/m³) comme suit:

$$NO_{2\mu g/m^3} = NO_{2ppb} \times \frac{M}{V}$$

$$NO_{\mu g/m^3} = 76,6 \times \frac{46,0055}{24,51} = 144,008 \mu g/m^3 \quad NO_{\mu g/m^3} = 144,008 \mu g/m^3$$

$$CO_{mg/m^3} = CO_{ppb} \times \frac{M}{V}$$

$$CO_{mg/m^3} = 0,93 \times \frac{28,01}{24,51} = 0,36 mg/m^3 \quad CO_{mg/m^3} = 1,100 mg/m^3$$

La figure 3.18 montre les résultats de programme :

```

=== Moyennes des 10 dernières mesures ===
Température moyenne: 25.1 °C
Humidité moyenne: 66.68 %
NO2 moyen: 135.8 µg/m3
CO moyen: 1.02 mg/m3
Bruit moyen: 38.3 dB
Qualité air dominante: Mauvaise
Niveau bruit dominant: Normal
    
```

Figure 26 : Les résultats du programme

$$NO_{2\mu g/m^3} = 144,008 \approx 135,8 \mu g/m^3$$

$$CO_{mg/m^3} = 1,100 \approx 1,02 mg/m^3$$

Remarque

Selon les résultats obtenus, par rapport à les valeurs de l'indice de qualité de l'air de gaz monoxyde carbone CO sont comprises entre 0 et 50, appartenant ainsi à la catégorie « bien » et le gaz dioxyde d'azote NO₂ sont comprise entre 100 et 51 donc il est dans la catégorie « Modéré », Voir les tableaux 2.1 et 2.2.

Par rapport à les lignes directrices établies par l'OMS, le gaz CO ne dépasse pas les seuils recommandés par contre, le NO₂ dépasse ce qui représente un danger sur la santé respiratoire des enfants.

Le niveau de bruit est entre 30 et 40 dB donc selon les normes de l'organisation mondiale de santé, il ne dépasse pas 40 dB pendant la journée, ce qui est très bien pour la santé auditive et bien être des enfants

La température et l'humidité sont relativement modérées.

Donc les conditions ne sont pas adéquates pour la santé physique (respiratoire) des enfants, il faudra donc contrôler l'environnement interne.

3.12. Remarque et résultat

L'indice de la qualité d'air et niveau de bruit

Tableau montre les résultats des calculs de l'indice de la qualité d'air et la qualité d'air:

Expérience	IQA correspondant	Qualité de l'air	Niveau de bruit	Norme
01	IQA(CO) = 3,63	Parfait	34,9	Calme
	IQA(NO ₂) = 5,84	Parfait		
02	IQA(CO) = 1,59	Parfait	33,2	Calme
	IQA(NO ₂) = 10	Bien		
03	IQA(CO) = 10,56	Très bien	38,5	Calme
	IQA(NO ₂) = 75,07	Pauvre		

Tableau 8: Tableau des résultats de calcul de IQA et la qualité d'air

Après avoir collecté les mesures des polluants et avoir calculé leurs indices de qualité de l'air, nous avons constaté qu'en présence de polluants, ces indices augmentent par rapport aux conditions normales de la qualité de l'air intérieur, cela nous permet d'identifier et de déduire la qualité de l'air pouvant représenter un danger pour la vie des petits enfants, leur santé et leur développement.

Les lignes directrices :

Le tableau montre les résultats de mesure du taux des gaz polluants et la comparaison avec les lignes directrices :

Expérience	Les résultats	La norme (OMS)	La qualité d'air	Niveau de bruit	Norme
01	CO(mg/m ³)=0,36	4 mg/m ³	Bien	34,7	Calme
	NO ₂ (µg/m ³)=11,65	25 µg/m ³	Bien		
02	CO(mg/m ³)=0,16	4 mg/m ³	Bien	33,2	Calme
	NO ₂ (µg/m ³)=19,92	25 µg/m ³	Bien		
03	CO(mg/m ³)=1,100	4 mg/m ³	Bien	36,3	Calme
	NO ₂ (µg/m ³)=144,008	25 µg/m ³	Danger pour la santé		

Tableau 9:Tableau des résultats de mesure du taux des gaz polluants et la comparaison avec les lignes directrices

Après la comparaison des résultats des mesures avec les lignes directrices, nous allons identifier les valeurs qui représentent un danger pour la santé respiratoire d'un enfant par rapport aux seuils qui fixé par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé).

3.13. Visualisation des données:

Nous allons visualiser les données par des interfaces graphiques, les interfaces graphiques affichent la variation des moyennes (températures, humidité, taux de gaz NO₂ et CO, le niveau de bruit et la qualité de l'air en temps réel.

La figure 31 montre l'interface graphique pour visualisation des données en temps réel:

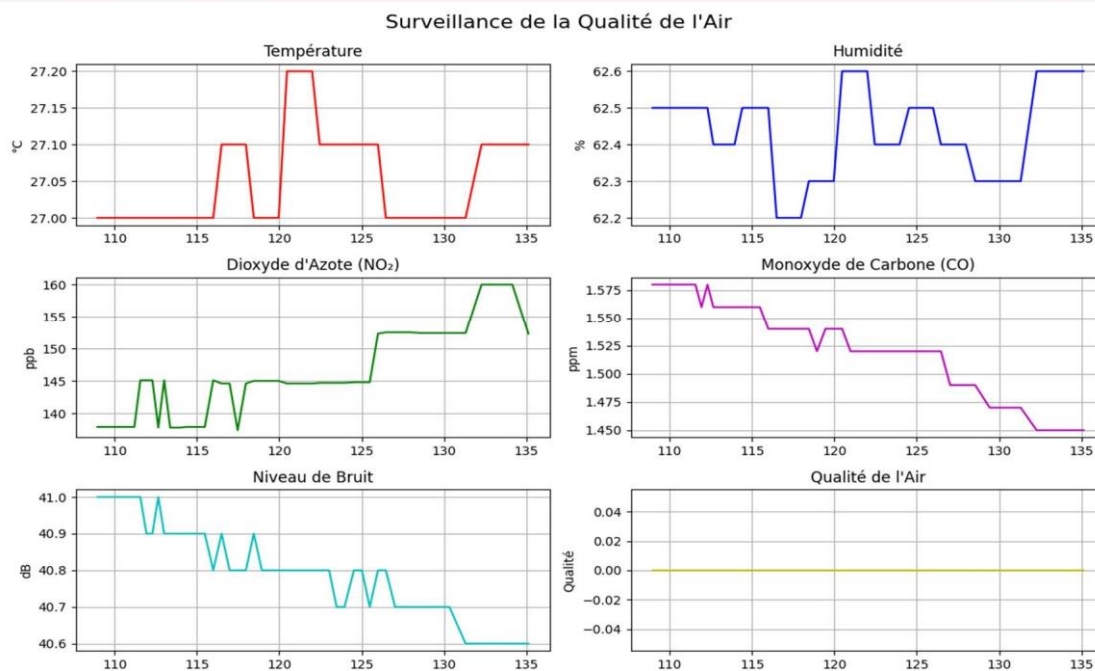


Figure 27: La visualisation des résultats par interface graphique

La courbe de la qualité de l'air est déduite à partir des résultats obtenus.

Conclusion

Dans ce troisième chapitre, nous avons présenté les matériels et logiciels utilisés dans la réalisation de notre système de surveillance des conditions environnementales pour les petits enfants, nous avons aussi mesuré le taux des polluants, notamment de dioxyde d'azote NO₂ et de monoxyde de carbone CO dans l'air et le niveau de bruit ambiant dans l'environnement à l'aide de détecteurs spécifiques, nous concluons enfin avec quelques perspectives de travaux futurs.

Conclusion générale

La qualité de l'air et le niveau de bruit affectent la santé physique et mentale des petites enfances, surtout à l'intérieur, puisque 60% de temps passé à l'intérieure dans des écoles, crèches, hôpitaux pédiatries. La vérification de la qualité de notre air et le niveau de bruit doit être effectuée sont très importants pour le bien-être des enfants. La qualité de l'air et le niveau de bruit varie d'un jour à l'autre.

Dans ce projet, l'utilisation des détecteurs de la série MQ pour le monitoring de la qualité de l'air a fait ses preuves du moment qu'on a réussi à capturer des mesures de l'air comme la température, l'humidité ainsi que l'utilisation du capteur sonore pour obtenir le niveau de bruit.

L'implémentation a permis d'obtenir la concentration de Dioxydes d'azote et la concentration de Monoxyde de carbone, d'utiliser leurs mesures pour calculer l'indice de la qualité de l'air (AQI) et effectuer la comparaison avec les lignes directrices AQG.

Le niveau des ondes sonores détecté pour mesurer les niveaux de bruit de l'environnement a été comparé avec le niveau de bruit recommandé par l'OMS pour les enfants. Durant cette expérience, nous avons adopté deux scénarios:

Le premier était de mesurer la qualité de l'air et le niveau de bruit ambiant dans les espaces de petite enfance et calculer son indice IQA, et le deuxième consistait à la mesure la concentration des gaz NO_2 et CO , après faire la comparaison avec les lignes directrices de l'OMS et obtenir le niveau de bruit.

Durant la réalisation de ce projet, nous avons rencontré des difficultés dans les mesures obtenues à partir des capteurs utilisés, les premiers tests donnaient toujours des résultats de mesure erronés où les résultats de mesure ne correspondaient pas au type de la mesure, puis nous avons ajouté des résistances et par la suite nous avons pu résoudre le problème.

Enfin, ce travail fut une expérience très enrichissante, tant sur l'aspect théorique où il a été possible de découvrir différentes normes, ce qui est relatif au domaine de formation et sur l'aspect pratique où il a été possible de mettre en œuvre les notions enseignées durant le cursus de licence (utilisation des capteurs, ...).

Conclusion générale

Ce projet a aussi été une occasion d'apprendre beaucoup de notions dans le domaine de monitoring de l'environnement intérieur.

Comme suite à ce travail, nous proposons l'utilisation des modèles de l'apprentissage automatique pour la détection de la pollution de l'air intérieur. En augmentant le nombre de capteurs, en collectant des données sur plus de polluants, effectuer une classification.

Cela aidera à prédire les situations de pollution de l'environnement intérieur et à améliorer la qualité de l'air avec moins de coûts et d'efforts.

Enfin, Le système de monitoring peut aussi inclure des capteurs intelligents d'où l'utilisation de l'IOT (Internet des objets) liée avec un système de ventilation et filtrage de l'air, dans le cas où les seuils sont dépassés, une notification est envoyée afin de lancer un système purificateur d'air. L'utilisation d'un assainisseur d'air connecté contribue en effet, au bien-être respiratoire des enfants sensibles à la pollution atmosphérique [40].

Références bibliographiques

- [1] « Créer un environnement plus sain pour nos enfants, Survol des défis environnementaux que pose la santé des enfants en Amérique du nord » Document de la Commission de Coopération Environnementale de l'Amérique du Nord, Avril 2002 [en ligne]. Disponible sur: <https://www.cec.org/files/documents/publications/1639-making-environmenthealthier-our-kids-fr.pdf>. Consulté le 20/02/2025.
- [2] N. Noisel *et al.*, « Chapitre 18. Surveillance », in *Environnement et santé publique*, Presses de l'EHESP, 2023, p. 477-497. doi: 10.3917/ehesp.goupi.2023.01.0477.
- [3] « Sauver les enfants », Bibliothèque d'indicateurs. Consulté le: 28 avril 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://indicators.savethechildren.net/fr/indicator/37-health-nutritionmaternal-newborn-reproductive-health/107-children-covered-by-climate-health-informationssystem>.
- [4] S. Dutchen. Noise and Health. Harvard medicine, the magazine of harvard medical school. 2022. Consulté le: 9 Juin 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://magazine.hms.harvard.edu/articles/noise-and-health>
- [5] D. Drummond, « Outils connectés pour la télésurveillance des patients asthmatiques : gadgets ou révolution? », *Rev. Mal. Respir.*, vol. 39, n° 3, p. 241-257, mars 2022, doi: 10.1016/j.rmr.2022.01.018.
- [6] D. Eilstein. La surveillance en santé publique environnementale : cadre conceptuel et mise en pratique. Santé publique et épidémiologie. Université Paris 11, 2011. fftel-01618540.
- [7] A. Sahbatou & N. Bensalah, « Réalisation d'un réseau de monitoring de la qualité de l'air à base d'Arduino ». Projet présenté à l'Institut des Sciences et Techniques Appliquées En vue de l'obtention du diplôme de licence professionnelle MPIS. Université Oran 1 Ahmed Ben Bella, 2023.
- [8] Antoine Lewin. Hospitalisation pour problèmes respiratoires et exposition aux émissions d'une aluminerie chez l'enfant. Université de Montréal Faculté des études supérieures et postdoctorales. Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de Maître ès science (M. Sc.) en santé environnementale santé au travail. Décembre 2011. Consulté le: 15 avril 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://umontreal.scholaris.ca/server/api/core/bitstreams/959dfa2d-282d-4889-8bc46e5648570029/content>
- [9] R. M. Baloch, « Assessing exposures to indoor air contaminants and comfort parameters and their impact on health in urban areas », thèse de Doctorat, Université Sorbone, 2021. Consulté le 15 avril 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://theses.fr/2021SORUS359?utm_source=chatgpt.com
- [10] Rekrouk F. & K. A. Abdelkrim, « Study and realization of an environmental parameter monitoring system », Mémoire de Master Filière Électronique Spécialité Instrumentation, université Saad Dahlab de Blida, 2023-2024.

Référence bibliographiques

- [11] « Le bruit, fléau des établissements de santé ». Consulté le: 16 avril 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ascom.com/fr-ch/nouvelles/salle-de-presse/fr-news/le-bruit-fleaudes-etablissements-de-sante/>
- [12] Duco, « Comment minimiser l'impact du bruit ambiant sur la santé et le confort ? » Consulté le: 9 juin 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.duco.eu/be_fr/blog/impactbruit-ambiant-sante-confort
- [13] « Maladies liées à la pollution de l'air - Troubles pulmonaires », Édition professionnelle du Manuel MSD. Consulté le: 16 avril 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.msdmanuals.com/fr/professional/troubles-pulmonaires/maladies-pulmonairesliées-à-l-environnement-et-au-travail/maladies-liées-à-la-pollution-de-l-air>
- [14] « Quelles sont les sources de pollution de l'air intérieur ? » Consulté le: 16 avril 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-desante/pollution-et-sante/air-et-environnements-interieurs/articles/quelles-sont-les-sources-depollution-de-l-air-interieur>
- [15] « ISO 16890-1:2016 », ISO. Consulté le: 8 juin 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.iso.org/standard/57864.html>
- [16] « ISO 7708:1995 », ISO. Consulté le: 8 juin 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.iso.org/standard/14534.html>
- [17] « ISO 16000-32:2014 », ISO. Consulté le: 8 juin 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.iso.org/standard/59409.html>
- [18] « ISO 13138:2012 », ISO. Consulté le: 8 juin 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.iso.org/standard/53331.html>
- [19] « ISO 29993:2017 », ISO. Consulté le: 8 juin 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.iso.org/standard/70357.html>
- [20] « ISO 10121-2:2013 », ISO. Consulté le: 8 juin 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.iso.org/standard/51373.html>
- [21] « What are the WHO Air quality guidelines? » Consulté le: 17 avril 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/what-are-the-who-airquality-guidelines>
- [22] Boussahel S., Cours: Qualité, Environnement et Sécurité. Master 1. Toxicologie, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A. Consulté le: 3 mai 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.researchgate.net/publication/355980580_Cours_Qualite_Environnement_et_Securite
- [23] Article « Le MAQI : l'indice mondiale de qualité de l'air et de santé pour tous », Meersens. Consulté le: 22 avril 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://meersens.com/le-maqiindice-mondiale-de-qualite-de-lair-et-de-sante-pour-tous/>
- [24] « Comprendre facilement la pollution : l'indice qualité de l'air », R-PUR. Consulté le:

3 mai 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.r-pur.com/blogs/air/indice-qualite-air>

- [25] « signet-echelle-sonore_vw.pdf ». Consulté le: 25 avril 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.ooaq.qc.ca/media/2qolih1/signet-echelle-sonore_vw.pdf
- [26] « Le bruit chez les jeunes », OOAQ. Consulté le: 25 avril 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ooaq.qc.ca/consulter/audiologiste/bruit-sante-audition/bruit-jeunes/>
- [27] V. Rozec, « Bruit, nuisances sonores et Santé». Conférence- Débat FIPS- CIDB, La défense, Paris, 2015
- [28] « Mesure de grandeur par capteur : Niveau sonore ». Consulté le: 25 avril 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ukonline.be/cours/embeddedsystems/digitaltransmission/chapitre1-4>
- [29] « Capteur de température et d’humidité DHT22 - Gotronic ». Consulté le: 1 mai 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.gotronic.fr/art-capteur-de-t-et-d-humidite-dht2220719.htm>
- [30] « Définition Visual Studio Code - Bility - Agence de développement web sur-mesure ». Consulté le: 10 mai 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://bility.fr/definition-visual-studiocode/>
- [31] J. Robert, « Python : Focus sur le langage le plus populaire », DataScientest. Consulté le: 10 mai 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://datascientest.com/python-tout-savoir>
- [32] « Conversion analogique-numérique - SparkFun Learn ». Consulté le: 10 juin 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/analog-to-digital-conversion/relating-adc-value-to-voltage>
- [33] « Influence of Temperature and Humidity on the Output Resistance Ratio of the MQ135 Sensor », *ResearchGate*, Consulté le: 10 juin 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.researchgate.net/publication/328875972_Influence_of_Temperature_and_Humidity_on_the_Output_Resistance_Ratio_of_the_MQ-135_Sensor
- [35] D. Gironi, « Davide Gironi blog: MQ gas sensor correlation coefficients », Davide Gironi blog. Consulté le: 10 juin 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://davidegironi.blogspot.com/2017/08/mq-gas-sensor-correlation-coefficients.html>
- [36] « (PDF) Analog-to-Digital Converter Selection for Digital Receiver », in *ResearchGate*, doi: 10.1109/SYNCHROINFO.2019.8813931.
- [37] Luca Fonticelli, « ADC noise measurement on FPGA board », supervisé par G. Antonio, Université polytechnique de Turin, Mémoire de Master en ingénierie électronique, 2019. <https://webthesis.biblio.polito.it/12535/>
- [38] « Concentrations de polluants dans l’air - Convertisseur », Airea. Consulté le: 10 juin 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.airea.fr/convertisseur>
- [39] T. BV, « PPM mg/m3 converter for gases », Teesing. Consulté le: 10 juin 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://teesing.com/en/tools/ppm-mg3-converter>

Référence bibliographiques

- [40] « Comment fonctionne un purificateur d'air ? », airinspace. Consulté le: 8 juin 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.airinspace.com/articles/comment-fonctionne-unpurificateur-dair/>
- [41] D. Gironi, « Davide Gironi blog: MQ gas sensor correlation coefficients », Davide Gironi blog. Consulté le: 10 juin 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://davigeroni.blogspot.com/2017/08/mq-gas-sensor-correlation-coefficients.html>
- [42] « (PDF) Analog-to-Digital Converter Selection for Digital Receiver », in *ResearchGate*, doi: 10.1109/SYNCHROINFO.2019.8813931.
- [43] Luca Fonticelli, « ADC noise measurement on FPGA board ». supervisé par G. Antonio, Université polytechnique de Turin, Mémoire de Master en ingénierie électronique, 2019. <https://webthesis.biblio.polito.it/12535/>
- [44] « Concentrations de polluants dans l'air - Convertisseur », Airea. Consulté le: 10 juin 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.airea.fr/convertisseur>
- [45] T. BV, « PPM mg/m3 converter for gases », Teesing. Consulté le: 10 juin 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://teesing.com/en/tools/ppm-mg3-converter>
- [46] « Comment fonctionne un purificateur d'air ? », airinspace. Consulté le: 8 juin 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.airinspace.com/articles/comment-fonctionne-unpurificateur-dair/>

