

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

Filière Électronique
Spécialité Instrumentation

présenté par

MEKHAZNIA Yasmine

&

RIASSA Abderrahmane

Réalisation d'un dispositif de mesure à multi capteurs

Encadré par :

Promoteur : Dr Almabouada Fatah

Co-promoteur: Dr Benselama Zoubir

Année Universitaire 2022-2023

Remerciements

En premier lieu, on remercie Dieu, le tout puissant de nous avoir donné la force pour dépasser toutes les difficultés dans le cadre de nos études et ce projet.

On souhaite également exprimer nos plus sincères remerciements à nos parents pour leur amour inconditionnel, leurs prières et leurs sacrifices sans fin. Leur présence et encouragement ont été les piliers qui ont soutenu nos parcours jusqu'à ce jour.

Ce travail de mémoire de fin d'études rentre dans le cadre des travaux de l'équipe de recherche mixte GRPM (Groupe de Recherche sur le Plasma Médicale) au niveau de Centre de Développement des Technologies Avancées (CDTA). L'encadrement a été sous la direction du Dr Almabouada Fatah, maître de recherche A membre de cette équipe et de l'équipe TSL (Technologie des Systèmes Lasers) au CDTA et à qui on souhaite adresser notre sincère gratitude pour son encadrement tout au long de notre projet de mémoire de master. Son expertise, son dévouement et ses conseils avisés ont été d'une valeur inestimable pour notre réussite. Sa disponibilité, ses réponses éclairées à nos questions et ses encouragements nous ont permis de relever les défis et de surmonter les obstacles qui se sont présentés sur notre chemin.

Nos remerciements et toutes nos reconnaissances vont de même à notre co-promoteur Dr Benselama Zoubir pour ses conseils et ses orientations.

Sans oublier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin pour achever ce travail, parmi eux, le chef de l'équipe GRPM Dr Ouchabane Mohamed pour nous avoir accueilli au sein de son équipe.

Enfin, nous remercions nos chers amis qui nous ont soutenus dans tous nos parcours du cycle des études.

Dédicaces

À mon cher père bien-aimé, ma source de force. Cette dédicace est pour toi, pour te remercier de m'avoir toujours encouragé. Tu as toujours été là, chaque pas que j'ai fait, chaque succès que j'ai atteint, je les dois en grande partie à ton soutien infailible, Je suis profondément reconnaissante pour tout ce que tu as rendu possible. Je suis fière d'être ta fille.

À ma chère mère, je souhaite reconnaître les sacrifices que tu as faits et l'amour que tu as toujours eu pour moi. J'apprécie tout ce que tu as fait pour moi. Ta présence dans ma vie a été et continue d'être très importante, et je tiens à te remercier pour tes prières et tout le soutien que tu m'as apporté.

À mon binôme, mon fiancé, le partage de cette expérience a créé des souvenirs précieux que je chérirai toujours. Notre partenariat est une source d'inspiration qui me pousse à atteindre de nouveaux sommets. Merci d'avoir été un binôme exceptionnel et d'avoir contribué à notre réussite commune. Je suis honorée de partager cette aventure avec toi.

À mes chères sœurs, Hiba, Aya et Rifka, tout au long de notre vie, vous avez été là à mes côtés, partageant des moments de joie, de rire, et aussi de soutien dans les moments difficiles. Je suis impatiente de continuer à partager de précieux moments avec vous, et surtout avec vos réussites.

Aux meilleurs grands-parents au monde : paix à vos âmes.

À ma tante Hanane et toute la famille MEKHAZANIA et BOUGHERARA.

Yasmine

À ma chère maman Nabila, En cette occasion spéciale, je souhaite te dédier ces quelques lignes remplies d'amour et de reconnaissance. Ma source d'inspiration et ma plus grande admiratrice, Tu as toujours été à mes côtés. Tes sacrifices, ton soutien inconditionnel, tes prières et ton amour sans limites ont été les piliers de ma réussite. Je te remercie du fond du cœur pour tout ce que tu as fait pour moi. Je t'aime infiniment, ma maman chérie.

À mon cher père Sidali, Je tiens à te dédier ces quelques lignes pour te dire combien je suis reconnaissant de t'avoir comme père. Ta présence, ta sagesse et ton soutien constant ont été des sources inestimables de force et d'inspiration pour moi. Tu m'as enseigné des valeurs fondamentales et m'as encouragé à poursuivre mes rêves. Je suis fier d'être ton fils et je t'aime profondément. Merci pour tout ce que tu as fait et continues de faire pour moi.

À mon binôme de travail, ma merveilleuse fiancée, celle qui partage à la fois mon cœur et mes projets professionnels. Ta présence à mes côtés, ton soutien inconditionnel et notre complicité sont des atouts précieux dans notre parcours commun. Ensemble, nous formons une équipe solide, prête à affronter tous les défis. Ta passion, ton intelligence et ton dévouement sont une source d'inspiration constante pour moi. Je suis reconnaissant de t'avoir à mes côtés dans la vie et dans notre travail. Je suis impatient de construire notre avenir ensemble.

À mes chères sœurs et frères, Soumia, Amel, Meriem, Batoul, Ahmed et 'ma boy' Ayoub, Votre amour et votre soutien font de notre lien fraternel un trésor inestimable. Je suis chanceux de vous avoir dans ma vie.

À mes chers amis, Votre amitié est un cadeau précieux qui illumine ma vie. Vos rires, vos encouragements font de notre amitié une source de bonheur.

*À ma grand-mère Fatiha et mon grand-père Khalil Rahimahoullah et toute la famille
BELHAKEM*

*À ma grand-mère Fatima et mon grand-père Ahmed Rahimahoumallah et toute la famille
RIASSA*

Abderrahmane

ملخص

يتضمن هذا العمل الختامي لنهاية الدراسة إنشاء جهاز متعدد المستشعرات، حيث يحتوي على مستشعر الحرارة والرطوبة، ومستشعر غاز الأوزون (التركيز العالي والمنخفض) ومستشعر جودة الهواء. نظرًا لضرورة استخدام الأوزون في بعض التطبيقات من الضروري تحديد تركيز الأوزون المتولد.

كلمات مفتاحية

أجهزة استشعار، أوزون، بلازما باردة، أردوينو،

Résumé

Ce travail de mémoire de fin d'études consiste en la réalisation d'un dispositif à multi-capteurs, il est doté d'un capteur de température et d'humidité, d'un capteur d'ozone (haute et basse concentration) et d'un capteur de qualité d'air. Vu la nécessité de l'utilisation de l'ozone dans certaines applications, il est indispensable de déterminer la concentration d'ozone généré.

Mots clés

Capteurs, Ozone, Plasmas froids, Arduino,

Abstract

This final thesis work consists of developing a multi-sensor device equipped with a temperature and humidity sensor, an ozone sensor (high and low concentration), and an air quality sensor. Given the necessity of using ozone in certain applications, it is essential to determine the generated ozone concentration.

Keywords

Sensors, Ozone, Cold Plasmas, Arduino,

Liste des mots abrégés

CDTA	Centre de Développement des Technologies avancées
CS	Chip Select
DBD	Dielectric Barrier Discharge
DC	Direct Current
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
E/S	Entrés/Sorties
HR	Humidité relative
FR4	Flame Retardant 4 (classe de résistance aux flammes)
IDE	Integrated Development Environment
INSERM	Institut National de la santé et de la recherche médicale
I2C	Inter-Integrated Circuit
KB	Kilo Byte
KHz	kilohertz
Ko	Kilo Octet
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light-Emitting Diode
MCU	Microcontroller Unit
MHz	Megahertz
MISO	Master Input Slave Output
MOSI	Master Output Slave Input

OTP	One Time Programmable
PCB	Printed Circuit Board
Ppb	Parties par milliard
Ppm	Parties Par Million
PWM	Pulse-Width Modulation
RTC	Real Time Clock
SCK	Serial Clock
SD	Secure Digital
SPI	Serial Peripheral Interface
SRAM	Static Random Access Memory
TFT	Thin Film Transistor
UTC	Coordinated Universal Time
UV	Ultraviolet
V	Volts
3D	Troisième dimension

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale 1

I Exploration des Plasmas et de l'Ozone : propriétés, formation et applications

I.1	Introduction	3
I.2	Généralité sur les plasmas	3
I.3	Les différents types du plasma	5
I.3.1	Les plasmas chauds	5
I.3.2	Les plasmas thermiques	5
I.3.3	Les plasmas froids	5
I.4	Le Plasma froid à pression atmosphérique	6
I.4.1	Les avantages du plasma froid atmosphérique	6
I.4.2	Les domaines d'applications du plasma froid atmosphérique... ..	6
I.4.3	Génération du plasma froid atmosphérique	8
I.5	Formation d'ozone lors de la génération du plasma atmosphérique	9
I.6	Les propriétés de l'ozone	10
I.7	Pour quelle raison produit-on de l'ozone ?	10
I.8	Effets de l'ozone sur la santé	11
I.9	Conclusion	11

II Descriptif détaillé du dispositif de mesure à multi-capteurs

II.1	Introduction	12
II.2	Choix du microcontrôleur programmable	12
II.3	Arduino Mega 2560 pro mini	13
II.4	Le logiciel IDE Arduino	16
II.5	Principe de fonctionnement des capteurs de gaz	17
II.6	Performances d'un capteur de gaz	17
II.7	Les capteurs à base d'oxydes métalliques semi-conducteurs	17
II.8	Interaction gaz/capteur	18

II.9	Le capteur de gaz d'ozone MQ131	18
II.9.1	Le module MQ131	19
II.10	Le capteur de qualité d'air MQ135	21
II.11	Le capteur de température et d'humidité DHT22	23
II.11.1	Spécification de fonctionnement (signal et communication)	24
II.12	Les afficheurs TFT	26
II.13	L'écran tactile TFT 2.8 pouces SPI Module ILI9341	26
II.14	Horloge temps réel	27
II.15	RTC DS3231	28
II.16	Schéma synoptique du dispositif	29
II.17	Conclusion	29
III Réalisation et tests		
III.1	Introduction	30
III.2	Le logiciel EasyEDA	30
III.3	Définition d'un circuit imprimé (PCB)	31
III.4	Réalisation du circuit imprimé du dispositif	31
III.5	Fabrication du circuit imprimé	34
III.6	Assemblage et soudure des composants	35
III.7	Calibration des capteurs	36
III.7.1	La calibration des capteurs d'ozone MQ-131 (haute et basse concentration)	36
III.7.2	La calibration du capteur de température et d'humidité DHT22.....	37
III.8	Fonctionnement du dispositif	38
III.8.1	Affichage de mesures obtenues par les capteurs	38
III.8.2	Dessin des graphes de mesures de chaque capteur en fonction du temps	40
III.8.3	Sauvegarde des données dans la carte SD	40
III.9	Le logiciel Origin	42

III.10 Conclusion	42
Conclusion générale	43
Références	
Annexes	



Liste des figures

Figure I.1 : Irving Langmuir	3
Figure I.2 : Principes des bases du processus plasmatique	4
Figure I.3 : Constituants d'un plasma	4
Figure I.4 : Traitement de surface par plasma atmosphérique	7
Figure I.5 : (a) Cicatrisation des plaies, (b) Inactivation des bactéries, (c) procédure de régénération de peau de visage et (d) traitement de tumeur	7
Figure I.6: Schéma électrique d'un circuit mis en place pour la génération d'un plasma entre les électrodes	8
Figure I.7 (a) : La disposition des électrodes	8
Figure I.7 (b) : L'allumage du plasma	8
Figure I.8 (a) : Jet de gaz	9
Figure I.8 (b) : L'allumage de la décharge plasma	9
Figure I.9 : Formation de molécule d'ozone	9
Figure I.10 : Diagramme de la composition de l'air sur terre	10
Figure II.1: Arduino Mega 2560	13
Figure II.2: Arduino Mega 2560 pro mini	13
Figure II.3: Les broches d'Arduino mega 2560 pro mini	15
Figure II.4 : Fenêtre de travail du logiciel IDE	16
Figure II .5 : Rajout de bibliothèque sur le logiciel IDE	17
Figure II.6: Circuit électrique du MQ131	18
Figure II.7 : Schéma électrique du module du capteur MQ131	19
Figure II.8 : La courbe de la sensibilité du MQ131	20
Figure II.9 : Les broches du Module MQ 131	21
Figure II.10 : Circuit électrique du MQ135	22
Figure II.11: Schéma électrique de module du MQ135	22
Figure II.12 : Les broches du capteur DHT22	24
Figure II.13 : L'écran tactile TFT ILI9341 2.8 pouces	27
Figure II.14 : Les broches de DS3231	29

Figure II.15 : Schéma synoptique du système	29
Figure III.1 : Une fenêtre du logiciel EasyEda	30
Figure III.2 : Le schéma électrique du dispositif réalisé par le logiciel EasyEda	32
Figure III.3 : PCB du dispositif réalisé par le logiciel EasyEda	33
Figure III.4 : Le schéma du PCB en 3D	33
Figure III.5 : La génération de fichier Gerber	34
Figure III.6 : Les fichiers exportés de fichier Gerber	35
Figure III.7 : Processus de soudure	35
Figure III.8 : Affichage des valeurs de R0 sur le moniteur série.....	37
Figure III.9 : Affichage des mesures de température et d'humidité sur le moniteur série d'IDE	38
Figure III.10 : La page d'accueil du dispositif ..	39
Figure III.11 : Le graphe de température et d'humidité en fonction du temps	40
Figure III.12 : Transfert réussi des données sur la carte SD	41
Figure III.13 : Données collectées sur le fichier	41
Figure III.14 : Visualisation des mesures de température et d'humidité sur le logiciel Origin	42

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Caractéristiques techniques d'Arduino Mega 2560.....	14
Tableau II.2 : Les broches d'Arduino Mega 2560 pro mini.....	15
Tableau II.3 (a) : Caractéristiques techniques du MQ131 (haute concentration).....	20
Tableau II.3 (b) : Caractéristiques techniques du MQ131 (basse concentration).....	21
Tableau II.4 : Caractéristiques techniques du capteur de qualité d'air MQ135.....	22
Tableau II.5 : Les caractéristiques techniques du DHT22.....	24
Tableau II.6 : Les broches du Module ILI9341.....	27

Introduction générale

L'ozone est un gaz incolore et inodore qui se trouve naturellement dans la stratosphère, où il agit comme une barrière contre les rayons UV nocifs émis par le soleil. Cependant, l'ozone peut également être produit artificiellement par diverses méthodes, y compris par la méthode de plasma froid. Cette méthode est souvent utilisée dans les applications de stérilisation des outils médicaux, de purification de l'eau et de l'air, ainsi que dans certains processus de production industriels nécessitant l'utilisation d'ozone.

Dans ce contexte, notre projet vise à concevoir un instrument de mesure doté de plusieurs capteurs. L'un de ces capteurs est un capteur d'ozone qui sera très utile dans la mesure de la concentration d'ozone générée par les plasmas froids. En plus de capteur d'ozone, le dispositif proposé est doté d'un capteur de température et d'humidité, et d'un capteur de qualité de l'air. Les mesures qui seront effectuées par ces deux derniers capteurs permettront de déterminer s'il y a une influence sur la quantité d'ozone générée.

Le dispositif proposé s'articulera autour d'une carte programmable associée aux capteurs cités ci-dessus. La lecture des mesures des différents paramètres sera assurée par l'utilisation d'un afficheur de type TFT. En plus, l'utilisation d'une horloge permettra d'enregistrer les différentes mesures sur une micro-carte SD. Cet enregistrement de données sera bénéfique pour une utilisation de plusieurs heures ou l'utilisateur pourra retracer l'évaluation de la quantité d'ozone générée, la température, l'humidité et la qualité de l'air. La mesure de la qualité de l'air peut déceler la présence d'autres types de gaz, tels que l'alcool, le benzène, la fumée et le CO₂, dans l'environnement de travail.

De plus, l'instrument de mesure d'ozone est également un outil essentiel pour assurer que la concentration d'ozone dans l'air reste dans les limites de la sécurité sanitaire, réduisant ainsi les risques liés à la manipulation de l'ozone.

Ce mémoire est constitué par trois chapitres. Le premier chapitre sera consacré à la définition et la génération des plasmas froids et leur domaine d'utilisation. De plus, la génération d'ozone lors des plasmas froids, ces caractéristiques et les effets de l'ozone au-delà de certaine concentration présente dans l'air. Le chapitre présente une description détaillée des éléments constituant le dispositif de mesure à multi-capteurs. Plus de détails sont donnés sur le principe de fonctionnement des capteurs utilisés et le choix de la carte Arduino utilisée. Le

troisième chapitre présente le schéma électrique du dispositif, son circuit imprimé et les tests effectués avec le dispositif pour la mesure de certain gaz.

Chapitre 1 :
Exploration des Plasmas et
de l'Ozone : Propriétés,
formation et applications

I.1 Introduction :

Le plasma est un état de la matière qui existe naturellement dans l'univers sous forme d'étoiles, de foudre et d'aurores boréales. Dans notre vie quotidienne, nous sommes souvent confrontés aux plasmas artificiels, tels que les écrans plasma et les lampes fluorescentes. Les plasmas ont une variété d'applications dans divers domaines tels que l'industrie, la médecine, la biologie, l'environnement et la recherche scientifique.

Ce chapitre vise à fournir une introduction générale sur les plasmas, en mettant l'accent sur ses différents types. Nous allons ensuite examiner plus en détail le plasma froid à pression atmosphérique, sa génération, ses avantages et la façon dont il contribue à la formation d'ozone. Enfin nous allons parler de l'ozone, ses propriétés chimiques, son utilisation et ses effets sur la santé humaine.

I.2 Généralité sur les plasmas :

Le terme « plasma » a été introduit pour la première fois en 1928 par Irving Langmuir [1] (Figure I.1) [2], en référence au mot grec « plasma » qui signifie « ouvrage façonné » [3], il a référé au plasma comme 4^{ème} état de la matière car il possède des propriétés différentes des trois autres états de la matière :



Figure I.1 Irving Langmuir.

La matière possède plusieurs états d'organisation moléculaire, qui sont déterminés par l'énergie interne. L'état le plus stable est l'état solide, suivi de l'état liquide, puis de l'état gazeux. Si on ajoute suffisamment d'énergie à un gaz, il peut devenir plasmatique [4,5], ce processus est illustré dans la Figure I.2 [5].

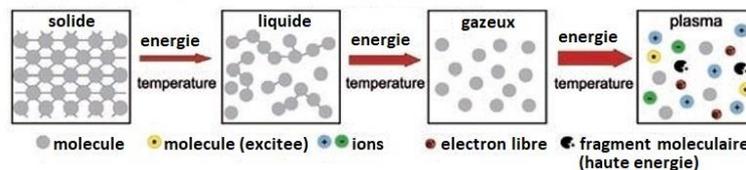


Figure I.2 : Principes des bases du processus plasmatique.

Les réactions chimiques impliquées dans la transition de l'état gazeux à l'état plasmatique sont très complexes. L'énergie apportée perturbe considérablement l'organisation moléculaire, provoquant une cascade d'événements. Initialement, un électron d'un atome va absorber cette énergie, et lorsqu'il atteint un niveau d'énergie critique, il peut s'échapper de l'attraction du noyau atomique, créant ainsi un cation et un électron libre. Cet électron libre, en mouvement rapide, heurte d'autres atomes, provoquant une série de collisions qui génèrent de nouveaux électrons libres et des actions supplémentaires. C'est pour cela le plasma est considéré comme l'état le plus désordonné de la matière [5].

Les plasmas sont caractérisés par des collisions non seulement entre les électrons et les atomes, mais également entre des particules chargées et des particules chargées, ainsi qu'entre des particules neutres et des particules neutres. En plus des électrons libres et des ions, les plasmas contiennent des atomes initiaux, des atomes métastables, des radicaux et de l'énergie sous forme de radiations telles que l'UV invisible et visible, la lumière et la chaleur. Ces constituants sont montrés dans la Figure I.3 [6].

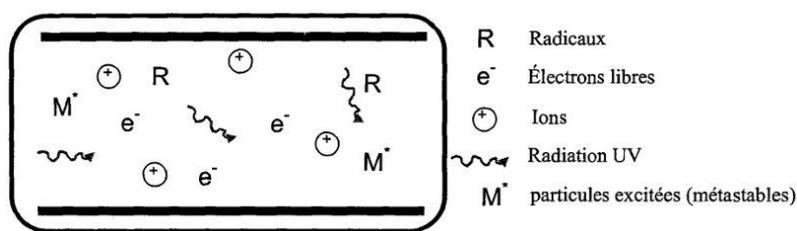


Figure I.3 : Constituants d'un plasma.

Dans l'ensemble, les plasmas sont électriquement quasi-neutres.

Le plasma représente plus de 95% de la matière visible de l'univers. Cela est dû au fait que les étoiles qui constituent une part considérable de la matière de l'univers sont principalement constituées de plasma [1].

Malgré que la création de plasma nécessite une grande quantité d'énergie, il est présent également sur Terre, sous différentes formes telles que les flammes, les éclairs, les aurores boréales et bien d'autres [6].

I.3 Les différents types du plasma :

On peut distinguer plusieurs types de plasma [7] :

I.3.1 Les plasmas chauds :

Dans ce cas le gaz est chauffé à une température supérieure à 10 millions de degrés, il entre dans un état d'ionisation complète, où les atomes se transforment en ions et en électrons libres en équilibre thermodynamique total.

I.3.2 Les plasmas thermiques :

Les plasmas thermiques sont des plasmas à haute température où les électrons, les ions et les neutres ont une température unique (5000 à 50000 degrés Celsius), le gaz est presque totalement ionisé (proche de l'équilibre thermodynamique). Cette température peut varier en fonction de la source du plasma et de la nature des gaz utilisés pour le générer.

I.3.3 Les plasmas froids :

Ils se caractérisent par leur température ambiante, le gaz est ionisé par un champ électrique extérieur sous pression réduite (10^{-3} à 10^{-4} atmosphère). Dans ce type de plasma, seuls les électrons sont portés à haute température, alors que les autres particules restent à température ambiante, ce qui crée un déséquilibre thermodynamique local.

On distingue généralement deux catégories de plasmas froids [7] :

1. Les plasmas dits à l'équilibre thermodynamique, ou thermiques, pour lesquels $T_e \approx T_i \approx T$ (avec T_e : température électronique, T_i : température ionique et T : température du gaz), On peut générer ces plasmas en utilisant des arcs électriques.
2. Les plasmas dits hors équilibre thermodynamique pour lesquels $T_e \gg T_i \approx T$. Les plasmas non thermiques présentent l'avantage d'exister à des températures de gaz faibles, ce qui les rend très intéressants pour diverses applications contrairement aux plasmas thermiques. Ces plasmas consomment beaucoup moins d'énergie et sont plus faciles à contrôler en raison de leur faible température de gaz.

L'un des types de plasma froid hors équilibre thermodynamique est le plasma froid à pression atmosphérique (ou plasma d'air) [8].

I.4 Le plasma froid à pression atmosphérique [9] :

Les plasmas atmosphériques sont des gaz ionisés qui sont créés par l'application d'un courant électrique à un gaz à la pression atmosphérique et à la température ambiante. Les gaz à ces conditions sont naturellement des isolants électriques, ce qui signifie qu'ils ne conduisent pas facilement l'électricité. Pour surmonter cette propriété isolante et générer un plasma, un grand nombre de particules chargées doit être créé. Une fois que le nombre de particules chargées dépasse un certain seuil, le gaz commence à devenir conducteur et un plasma se forme. Ce plasma contient des espèces réactives, telles que des espèces réactives de l'oxygène et des espèces Réactives de l'Azote.

I.4.1 Les avantages du plasma froid atmosphérique :

Le plasma froid atmosphérique offre plusieurs avantages :

1. Sélectivité : le plasma froid a l'avantage d'être sélectif en ne ciblant que les espèces visées [10].
2. Economie : le plasma froid peut être généré à des températures très basses, proches de la température ambiante, ce qui induit une faible consommation d'énergie électrique [11].
3. Polyvalence : le plasma froid peut être utilisé pour une grande variété d'applications [9].
4. Sécurité : contrairement aux plasmas chauds, les plasmas froids ne présentent pas de risque de brûlure ou d'incendie, car ils fonctionnent à des températures très basses.
5. Faible coût : les plasmas froids peuvent être produits à partir d'une alimentation électrique optimale, ce qui en fait une option relativement à moindre coût [11].

I.4.2 Les domaines d'applications du plasma froid atmosphérique :

Le plasma froid atmosphérique a de nombreuses applications potentielles dans divers domaines, notamment :

1. Le traitement de surface : il permet de modifier les propriétés de surface des matériaux, telles que leur adhérence, leur mouillabilité et leur réactivité chimique. Cette technique est couramment employée dans l'industrie pour améliorer les propriétés des matériaux [10], comme illustré dans la figure I.4 [11]. Cette figure présente le traitement de surface par plasma atmosphérique.



Figure I.4 : Traitement de surface par plasma atmosphérique.

2. La stérilisation : le plasma peut être utilisé pour éliminer les micro-organismes, tels que les bactéries et les virus des surfaces [10].
3. Les applications biologiques [9] :
 - Inactivation et la destruction de bactéries.
 - Régénération de la peau et autres applications dermatologiques.
 - Coagulation du sang.
 - Hygiène dentaire.
 - Traitements en cancérologie.

Des exemples typiques d'applications en biomédecine sont présentés dans la Figure I.5 [9] :

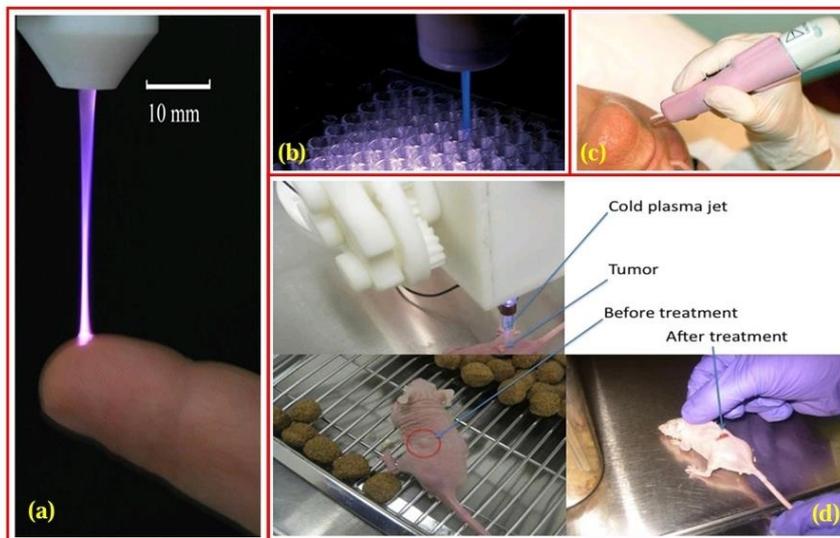


Figure I.5 : (a) Cicatrisation des plaies, (b) Inactivation des bactéries, (c) procédure de régénération de peau de visage et (d) traitement de tumeur.

4. Traitement de l'eau : on peut utiliser le plasma pour éliminer les polluants présents dans l'eau [10].

I.4.3 Génération du plasma froid atmosphérique :

Un plasma froid atmosphérique peut être généré par l'application d'un champ électrique (alternatif ou continu) à deux électrodes (anode et cathode) espacées par un diélectrique tel que l'air ou autre matière isolante [10]. De cela, ce type de plasma est appelé décharge à barrière diélectrique (DBD : Dielectric Barrier Discharge) [11]. Lorsque le champ électrique atteint un seuil critique, il se produit une ionisation du gaz, formant ainsi le plasma [10]. Ce processus est illustré dans le schéma de la Figure 1.6 [10]. Ce type de plasma peut avoir différente configuration concernant la disposition des électrodes comme le démontre si bien la Figure I.7 (a) et la Figure I.7 (b) où l'allumage du plasma est observé sous la mise sous tension (Photos prise au sein du laboratoire de l'équipe GRPM).

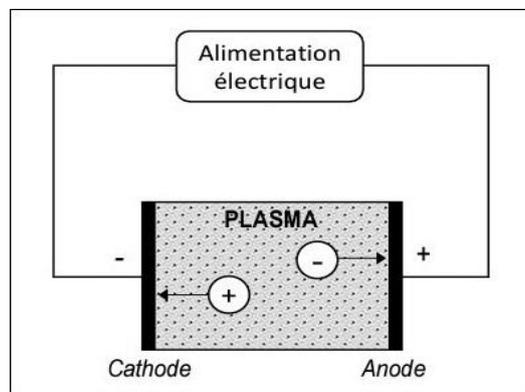


Figure I.6: Schéma électrique d'un circuit mis en place pour la génération d'un plasma entre les électrodes.

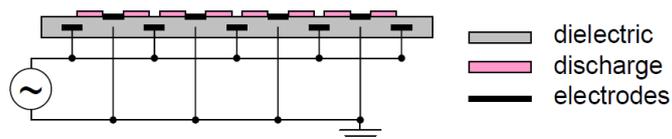


Figure I.7 (a) : La disposition des électrodes.



Plasma éteint plasma allumé

Figure I.7 (b) : L'allumage du plasma.

Dans certaines applications thérapeutiques des plasmas froids, il est nécessaire d'ajouter un jet de gaz à la décharge. Le gaz injecté peut être de l'azote, de l'hélium, de l'argon ou autre gaz. Dans ce cas de figure, le gaz est injecté à travers un tube en pyrex. Une électrode est située à l'intérieur du tube et la seconde forme un anneau à l'extérieur du tube [12] comme il est représenté par la Figure I.8 (a)[13]. La Figure I.8 (b) représente l'allumage de la décharge plasma (Photo prise au sein du laboratoire de l'équipe GRPM).

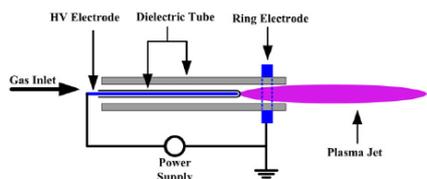


Figure I.8 (a) : Jet de gaz.



Figure I.8 (b) : L'allumage de la décharge plasma.

En présence du plasma les interactions entre les électrons, les ions et les molécules de l'air génèrent de l'ozone (O_3).

I.5 Formation d'ozone lors de la génération du plasma atmosphérique :

Les plasmas à pression atmosphérique ont été initialement utilisés pour générer de l'ozone. Comme illustré sur la Figure I.9. Les électrons énergétiques dans le plasma excitent les molécules d'oxygène (O_2) présentes dans l'air, provoquant leur dissociation et la formation d'atomes d'oxygène (O). Ces atomes d'oxygène réagissent ensuite avec d'autres molécules d'oxygène pour former de l'ozone (O_3) [15].

La réaction principale de la formation d'ozone est la suivante :



Où M est la masse de la molécule dans un gaz [6].

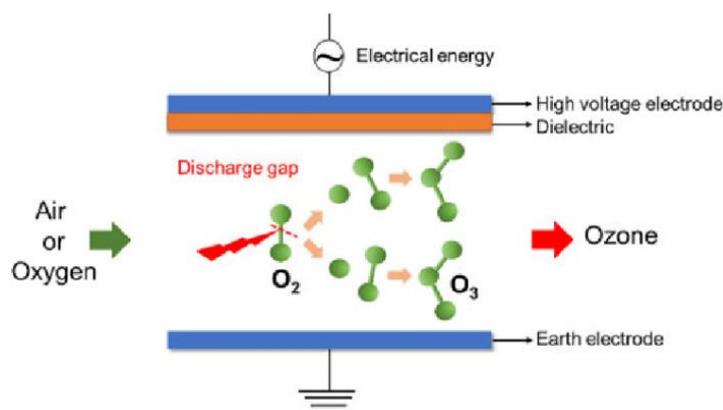


Figure I.9 : Formation de molécule d'ozone.

I.6 Les propriétés de l’ozone :

La molécule de l’ozone (O_3) possède plusieurs caractéristiques, notamment [2] :

- L’ozone est un gaz incolore à température ambiante, cependant, à des concentrations élevées, il peut avoir une teinte bleuâtre.
- L’ozone est un puissant oxydant et réactif, ce qui lui permet de réagir avec de nombreux composés organiques et inorganiques.
- L’ozone est un gaz très instable qui se décompose facilement en oxygène à température ambiante. Plusieurs facteurs influencent la rapidité de sa décomposition, notamment la température, l’humidité, la présence de catalyseurs (tels que l’hydrogène, le cuivre, le fer, le chrome) ou le contact avec une surface solide.
- Son odeur piquante caractéristique est décelable dès la concentration de 0,01 ppm, mais avec une accoutumance rapide ; en outre, la présence associée (de façon fréquente) d’oxydes d’azote supprime la perception.
- On considère l’ozone comme l’agent oxydant le plus puissant sur le marché commercial, en raison de sa capacité d’oxydation supérieure à celle d’autres oxydants [11].

I.7 Pour quelle raison produit-on de l’ozone ? :

L’air ambiant peut être considéré comme un mélange de N_2 , O_2 et H_2O dans des proportions approximatives de 78/21/1. Les proportions 78/21/1 font référence à la composition de l’atmosphère terrestre, où l’azote (N_2) constitue environ 78 %, l’oxygène (O_2) environ 21 % et environ 1 % d’autres gaz dont 0,033 % de dioxyde de carbone [17].

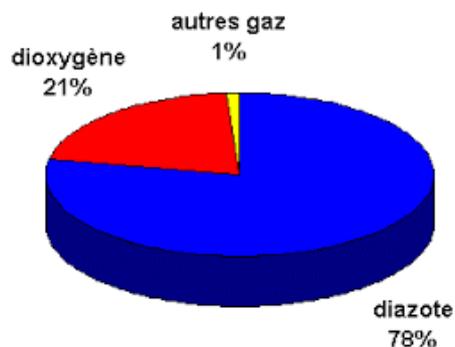


Figure I.10 : Diagramme de la composition de l’air sur terre.

L'ozone dans l'atmosphère est présent en quantités très faibles. Le taux normal au niveau du sol varie de 0,005 à 0,05 ppm selon les saisons ; il augmente avec la pollution et avec l'altitude [2]. Cette concentration n'est pas suffisante pour réaliser les diverses applications qu'on a citées précédemment, c'est pour ça on doit le générer artificiellement.

I.8 Effets de l'ozone sur la santé :

L'exposition à l'ozone peut entraîner divers symptômes tels que [2] :

- Affections respiratoires.
- Diminution de l'activité pulmonaire.
- Infections et dommages des voies aériennes.
- Limitation des performances sportives
- Irritations oculaires.

Des travaux plus récents menés par l'INSERM (Institut national de la santé et de la recherche médicale) ont révélé un lien entre une exposition à l'ozone et la survenue du cancer du myocarde, durant cette étude sur l'ensemble de la population toulousaine âgée de 35 à 64 ans.

- Les expositions répétées à de faibles concentrations d'ozone (0,04 ppm) peuvent provoquer des difficultés respiratoires.
- Les troubles neurologiques décrits pour des expositions prolongées de 7 à 10 ans, à des concentrations de 0,25 à 0,4 ppm, associent des maux de tête, une faiblesse, un accroissement de l'excitabilité musculaire et des troubles de la mémoire.

Pour mesurer les concentrations de l'ozone dans l'air on doit utiliser un capteur de gaz.

I.9 Conclusion :

En somme, ce chapitre nous a permis de découvrir l'univers fascinant des plasmas et de comprendre les différentes formes qu'ils peuvent prendre. Nous avons mis l'accent sur le plasma froid à pression atmosphérique, qui offre des avantages significatifs et une gamme d'applications prometteuses dans divers domaines. En outre, nous avons étudié en détail la génération de plasma atmosphérique, ainsi que la production d'ozone qui en découle, en examinant les propriétés chimiques de l'ozone et ses effets sur la santé. À travers cette exploration, nous avons acquis une base pour pouvoir aborder au mieux l'objectif que nous nous sommes fixés à savoir la réalisation d'un dispositif de mesure à multi-capteurs. Ce

dernier s'articulera autour d'une carte programmable associée à plusieurs capteurs ; qui seront détaillés dans le chapitre qui suit.

Chapitre 2 :
Descriptif détaillé du
dispositif de mesure à
multi-capteurs

II.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous allons faire une étude approfondie des différents éléments constitutifs du dispositif, ainsi que leur mode de fonctionnement. Nous allons parler de la carte Arduino qui est le cœur de notre instrument, nous allons également présenter les principes de fonctionnement des capteurs utilisés, ainsi que leurs limitations en termes de sensibilité de mesure. Les capteurs à utiliser sont : le capteur de gaz d'ozone MQ131 dans ses deux versions : haute concentration et basse concentration, le capteur de qualité de l'air MQ135, le capteur de température DHT22. L'affichage en temps réel sera assuré, grâce à l'utilisation de l'horloge temps réel DS3231, par un écran tactile TFT 2.8 pouces à base du module ILI9341.

II.2 Choix du microcontrôleur programmable :

Le choix d'un microcontrôleur programmable revêt une importance capitale pour tout projet électronique. Il détermine largement les fonctionnalités, les performances et la flexibilité du système que nous sommes en train de développer. Pour notre projet nous avons choisi d'utiliser une carte Arduino en raison de sa facilité d'utilisation et de sa polyvalence. Les cartes Arduino sont des microcontrôleurs programmables très populaires dans le monde de l'électronique. Elles offrent une plate-forme de développement open-source, facile à utiliser et à bas coût, qui peut être utilisée pour une variété de projets.

La carte Arduino est compatible avec de nombreux capteurs, notamment les capteurs utilisés dans notre projet. De plus, elle dispose de nombreux ports d'entrée/sortie qui permettent une grande flexibilité dans la configuration de notre instrument de mesure. Elle propose une variété de modèles de cartes, chacun offrant des fonctionnalités spécifiques pour répondre aux besoins divers des projets électroniques. Voici les modèles les plus utilisés :

- Arduino Uno
- Arduino Nano
- Arduino Duo
- Arduino Leonardo
- Arduino Mega

Parmi les cartes citées ci-dessus, nous avons opté pour l'Arduino Mega 2560 Pro mini pour plusieurs raisons. Tout d'abord, cette carte est capable de gérer un grand nombre de capteurs et de modules électroniques grâce à ses nombreuses broches d'entrée/sortie. De plus, elle

dispose d'une mémoire suffisamment importante pour stocker les données collectées par les capteurs sur une période de temps allant de quelques heures à plusieurs jours.

En outre, la carte Arduino Méga 2560 Pro mini est dotée d'une vitesse de traitement relativement élevée grâce à son horloge interne de 16 MHz, ce qui la rend adaptée aux applications de traitement en temps réel [18].

II.3 Arduino Mega 2560 pro mini [18]:

L'Arduino Méga 2560 pro mini est une carte identique à une Arduino Méga 2560 Rev3. En raison de sa taille réduite, cette version peut être plus facilement intégrée dans des projets où l'espace est limité permettant ainsi de gagner de la place sur le circuit imprimé (PCB) et du fait de réaliser des dispositifs de petites tailles. Comme il est représenté par la figure ci-dessous, une carte Arduino Mega (Figure II.1) [19] est deux fois plus grande d'une carte Arduino Mega pro mini (Figure II.2) [20].

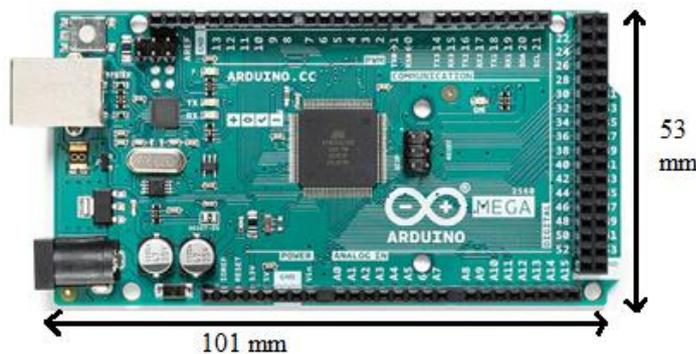


Figure II.1: Arduino Mega 2560.

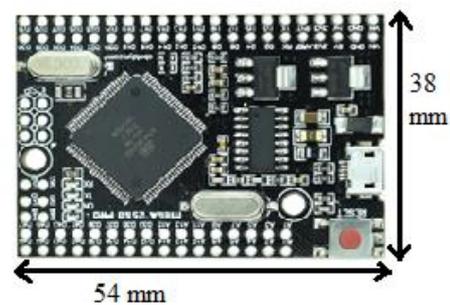


Figure II.2: Arduino Mega 2560 pro mini.

L'Arduino Mega 2560 Pro mini est une carte de développement basée sur le microprocesseur ATmega 2560, elle conserve la plupart des fonctionnalités et des performances de l'Arduino Mega 2560 standard, avec ses 54 broches d'E/S numériques, 16 broches d'entrée analogique et une mémoire flash de 256 Ko.

Cette carte est fournie avec des pins à souder. Il est donc nécessaire de les monter.

Le tableau II.1[21] représente les caractéristiques techniques de cette carte et le tableau II.2 représente les pins de la carte Arduino Mega Pro mini [22].

Tableau II.1 : Caractéristiques techniques d'Arduino Mega 2560.

Microcontrôleur	ATMEL ATmega2560
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'entrée (broche VIN) recommandée	7 - 12V
Tension d'entrée (broche VIN) limite	6 - 20V
Courant continu par pin	20 mA
Courant continu pour broche 3.3V	50 mA
Mémoire Flash	256 Ko dont 8 KB utilisés par bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Fréquence d'horloge	16 MHz
Dimensions	38 * 54 mm

Tableau II.2 : Les broches d'Arduino Mega 2560 pro mini.

Analog I/O	16 (A0, A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A12, A13, A14, A15)
Digital I/O	38 (14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53)
Broches PWM	17 (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 44, 45, 46)
Communication Serial	10 (10, 11, 12, 13, 14, 15, 50, 51, 52, 53)
Communication I2C	1 ((20, 21))
Communication SPI	1 ((53, 52, 50, 51))
Interrupt	1 (2)

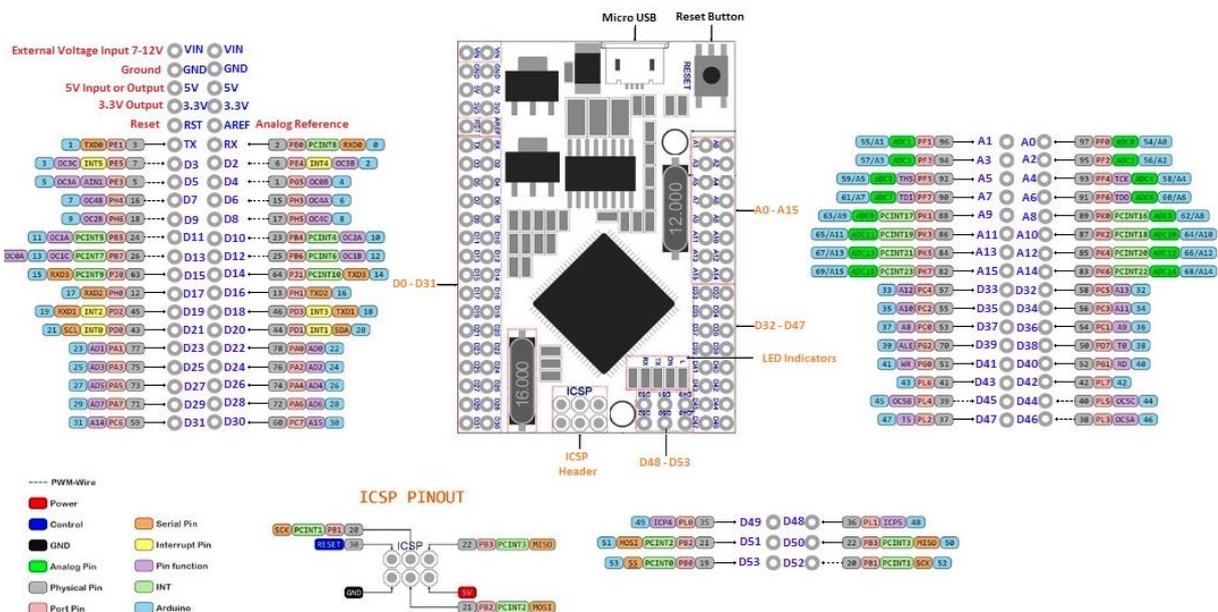


Figure II.3: Les broches d'Arduino MEGA 2560 pro mini.

II.4 Le logiciel IDE Arduino [23] :

L'IDE Arduino (Integrated Development Environment) est l'environnement de développement intégré utilisé pour programmer les cartes Arduino. Il est open source et il est disponible gratuitement pour le système d'exploitation Windows.

Il utilise une version simplifiée du langage de programmation C++, rendant ainsi la programmation des cartes Arduino accessible même aux débutants en programmation. Il comprend un éditeur de code, un compilateur, un outil de téléchargement de code vers la carte Arduino et une console de série pour le débogage.

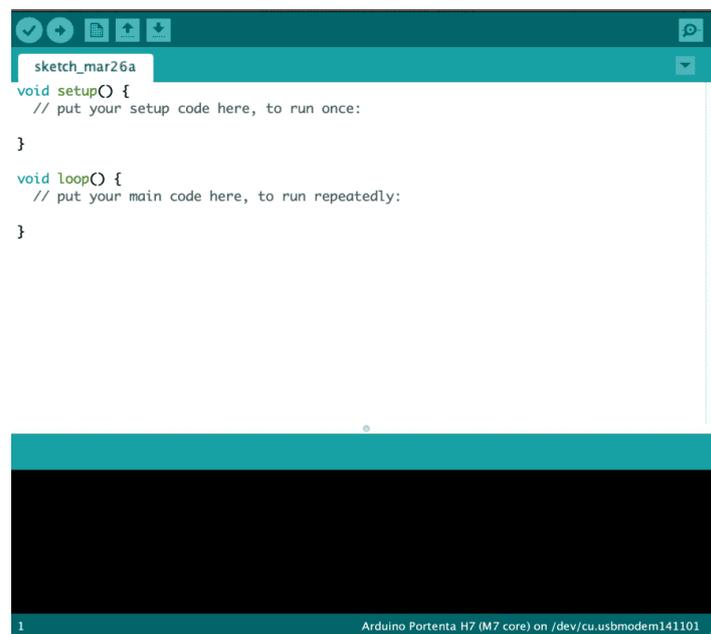


Figure II.4 : Fenêtre de travail du logiciel IDE.

L'interface utilisateur de l'IDE Arduino est simple et intuitive, offrant une expérience utilisateur agréable pour les débutants et les utilisateurs avancés. Les utilisateurs peuvent facilement importer des bibliothèques tierces pour étendre les fonctionnalités de l'IDE et utiliser une variété de plug-ins pour améliorer leur flux de travail de développement.

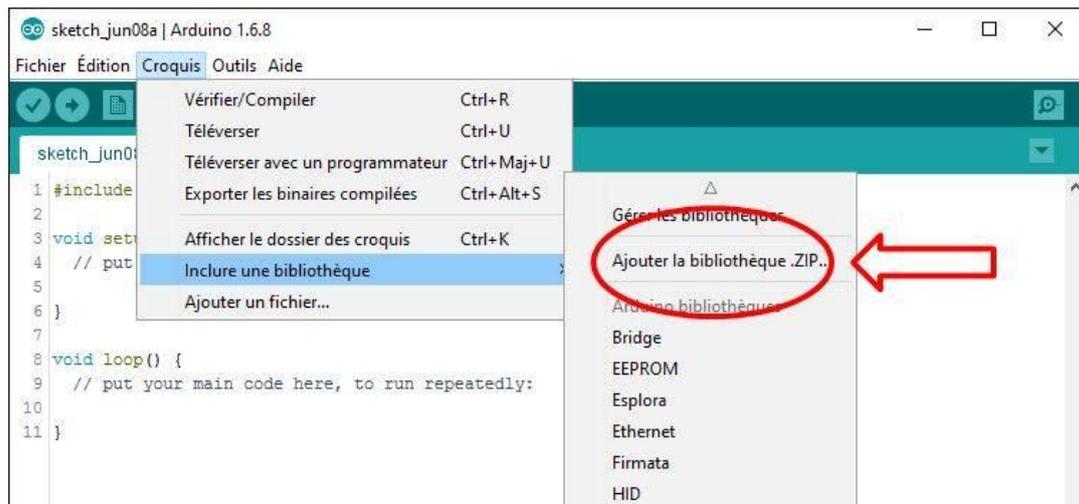


Figure II .5 : Rajout de bibliothèque sur le logiciel IDE.

II.5 Principe de fonctionnement des capteurs de gaz :

On peut définir un capteur de gaz comme un composant qui subit une variation d'au moins une de ses propriétés physiques en réponse à un changement de l'environnement gazeux. Généralement, un capteur de gaz se compose de deux éléments principaux : l'élément sensible, qui réagit avec l'espèce gazeuse, et le transducteur, qui convertit le résultat de cette réaction en un signal facilement mesurable, tel qu'un signal électrique [24].

Les éléments sensibles peuvent être basés sur des polymères conducteurs, des membranes perméables aux gaz ou des oxydes métalliques semi-conducteurs.

II.6 Performances d'un capteur de gaz :

Les performances d'un capteur de gaz sont généralement évaluées en fonction de trois critères principaux, appelés la règle des 3S [24] : sensibilité, stabilité et sélectivité.

- La sensibilité d'un capteur de gaz se réfère à sa capacité à détecter des variations infimes de concentration de gaz dans l'environnement.
- La stabilité fait référence à la capacité du capteur à maintenir sa réponse dans le temps, sans dérive significative.
- La sélectivité se réfère à la capacité du capteur à discriminer un gaz cible d'autres gaz présents dans l'environnement.

II.7 Les capteurs à base d'oxydes métalliques semi-conducteurs :

Ce sont les capteurs les plus couramment utilisés dans des applications capteurs intelligents de type nez électronique. Ils se composent essentiellement d'un matériau semi-conducteur auquel

on a ajouté d'autres oxydes. Ce matériau est déposé entre deux contacts de métal sur un substrat sous lequel se trouve une résistance chauffante qui permet d'élever la température de fonctionnement du capteur entre 200°C et 500°C [24].

II.8 Interaction gaz/capteur :

Lorsque le gaz atteint la surface du capteur (matériau actif), il réagit avec les molécules adsorbées à la surface, modifiant ainsi la densité des porteurs de charge et la résistance du matériau. Cette variation de la résistance est mesurée et convertie en une concentration. Le chauffage du capteur à une température élevée [25]. Cette température est celle de l'élément sensible du capteur, qui est chauffé par un circuit intégré. Cette température est nécessaire pour garantir une bonne réversibilité des phénomènes d'adsorption et de désorption des molécules de gaz à la surface du capteur [24].

II.9 Le capteur de gaz d'ozone MQ131:

La figure II.6 [26] illustre en détail le circuit du capteur MQ131, comprenant un circuit de chauffage et un circuit du capteur spécifiquement conçus pour la détection précise de l'ozone (O_3) dans l'air.

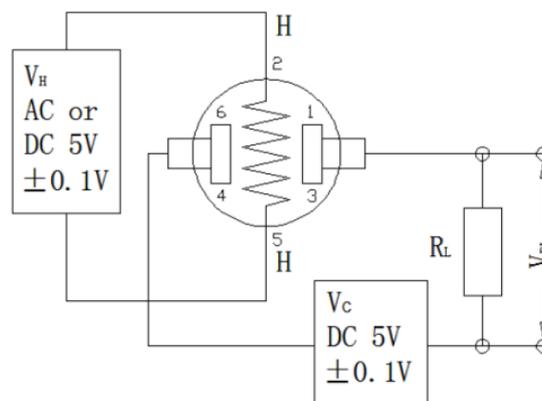


Figure II.6: Circuit électrique du MQ131.

Le matériau sensible du capteur de gaz MQ131 est un oxyde métallique semi-conducteur, qui présente une conductivité élevée dans l'air propre. Lorsque le gaz d'ozone est présent, la conductivité du capteur augmente avec l'augmentation de la concentration du gaz, ce qui permet de mesurer la concentration d'ozone. Le capteur de gaz d'ozone MQ131 est très sensible à l'ozone, ainsi qu'à des oxydes forts tels que Cl_2 , NO_2 , etc. Il répond de manière opposée aux gaz d'interférence organiques [26].

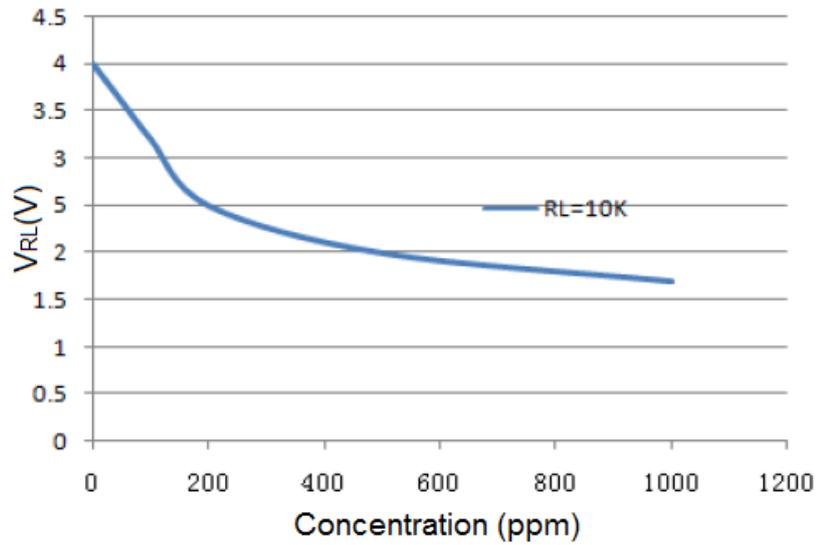


Figure II.8 : La courbe de la sensibilité du MQ131.

Tableau II.3 (a) : Caractéristiques techniques du MQ131 (haute concentration).

Modèle			MQ131
Type de capteur			Semi-conducteur
Encapsulation standard			Bakélite Capuchon métallique
Gaz cible			Ozone
Plage de détection			10~1000ppm Ozone
Conditions de circuit standard	Tension du chauffage	VH	5.0V±0.1V AC or DC
	Resistance de charge	RL	Ajustable
Caractère du capteur dans des conditions de test standard	Résistance du chauffage	RH	31Ω±5Ω (temp ambiante)
	Consommation du chauffage	PH	≤900mW
	Sensibilité	s	$R_s(\text{in } 200\text{ppm O}_3) / R_s(\text{dans l'air}) \geq 2$
	Tension de sortie	ΔV_s	≥1.0V (in 200ppm O ₃)
	Pente de concentration	α	≤0.6(R _{10ppm} /R _{100ppm} O ₃)
Conditions de test standard	Tem. Humidité		20°C±2°C : 55%±5% RH
	Circuit de test standard		Vc: 5.0V±0.1V: VH:5.0V±0.1V
	Temps de préchauffage		Pendant plus de 48 heures

Tableau II.3 (b) : Caractéristiques techniques du MQ131 (basse concentration).

Modèle		MQ131	
Type de capteur		Semi-conducteur	
Encapsulation standard		Capuchon en plastique	
Gaz cible		Ozone	
Plage de détection		10~1000ppb Ozone	
Conditions de circuit standard	Tension du chauffage	VH	5.0V±0.1V AC or DC
	Résistance de charge	RL	Ajustable
Caractère du capteur dans des conditions de test standard	Résistance du chauffage	RH	34Ω±3Ω (temp ambiante)
	Consommation du chauffage	PH	≤900mW
	Sensibilité	S	Rs(dans l'air) / Rs (in 200ppb O3) ≥2
	Tension de sortie	ΔVs	≥1.0V (in 200ppb O3)
	Pente de concentration	α	≤0.6(R500ppb/R100ppb O3)
Conditions de test standard	Tem. Humidité	20°C±2°C : 55%±5% RH	
	Circuit de test standard	Vc :5.0V±0.1V : VH :5.0V±0.1V	
	Temps de préchauffage	Pendant plus de 48 heures	

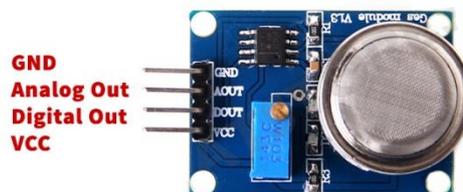


Figure II.9 : Les broches du Module MQ131.

II.10 Le capteur de qualité d'air MQ135 :

Le capteur MQ135 est un capteur de gaz utilisé pour contrôler la qualité de l'air d'un espace donné. Il est préconisé pour identifier la présence de NH₃ (Ammoniac gazeux), NO_x (Oxydes d'azote), alcool, Benzène (C₆H₆), sulfure, fumée et le dioxyde de carbone CO₂ [30].

Le matériau sensible du capteur de gaz MQ135 est le dioxyde d'étain (SnO₂), qui présente une conductivité plus faible dans l'air propre. Lorsqu'un gaz polluant cible est présent, la conductivité du capteur augmente avec la concentration du gaz. Ce changement de conductivité est ultérieurement converti en un signal de sortie correspondant de concentration de gaz via un circuit simple [31]. La figure II.10 [31] montre le circuit électrique de ce

capteur. La Figure II.11 [32] représente le schéma électrique du module de MQ135 dont le fonctionnement est identique à celui du module MQ131. Le tableau II.4 [31] montre les caractéristiques techniques de capteur de qualité de l'air MQ135.

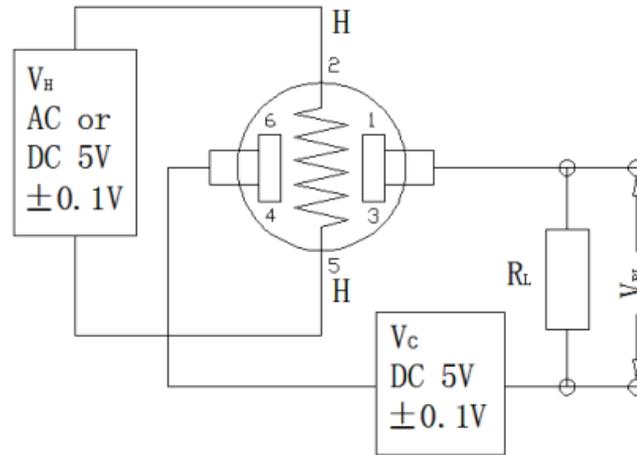


Figure II.10 : Circuit électrique du MQ135.

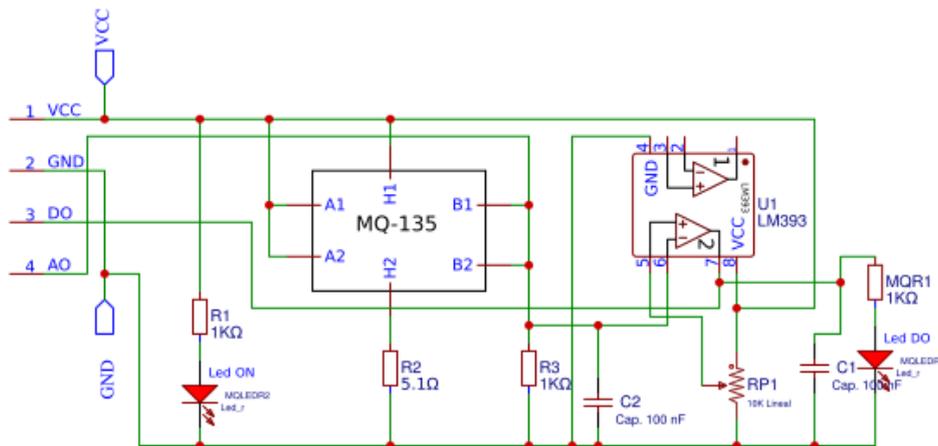


Figure II.11: Schéma électrique du module de MQ135.

Tableau II.4 : Caractéristiques techniques du capteur de qualité d'air MQ135.

Modèle			MQ135
Type de capteur			Semi-conducteur
Encapsulation standard			Bakélite Capuchon métallique
Gaz cible			ammonia gas, sulfide, benzene series steam
Portée de détection			10~1000ppm Ozone
Conditions de circuit standard	Tension du chauffage	VH	5.0V±0.1V AC or DC
	Resistance de charge	RL	Ajustable
Caractère du capteur dans des	Résistance du chauffage	RH	29Ω±3Ω (temp ambiante)

conditions de test standard	Consommation du chauffage	PH	$\leq 950\text{mW}$
	Sensibilité	S	$R_s(\text{dan l'air}) / R_s(\text{in } 400\text{ppm H}_2) \geq 5$
	Tension de sortie	V_s	2.0~4.0(in 400ppm H ₂)
	Pente de concentration	α	$\leq 0.6(R_{400\text{ppm}}/R_{100\text{ppm H}_2})$
Conditions de test standard	Tem. Humidité	20°C±2°C : 55%±5% RH	
	Circuit de test standard	Vc: 5.0V±0.1V: VH:5.0V±0.1V	
	Temps de préchauffage	Pendant plus de 48 heures	

II.11 Le capteur de température et d'humidité DHT22 :

Le DHT22 est un capteur d'humidité et de température numérique. Il est également connu sous le nom d'AM2302. Il est considéré comme l'un des meilleurs capteurs pour mesurer la température et l'humidité, il distingue d'autres capteurs de température et d'humidité par ses performances élevées. Il offre une précision de $\pm 0,5^\circ\text{C}$ pour la mesure de la température et de $\pm 2\%$ pour la mesure de l'humidité relative. De plus, il dispose d'une plage de mesure étendue allant de -40°C à 80°C pour la température et de 0 à 100% pour l'humidité relative.

Il produit un signal numérique étalonné en sortie. Il utilise une technique exclusive de collecte de signal numérique et une technologie de détection d'humidité, garantissant sa fiabilité et sa stabilité. Ses éléments de détection sont connectés à un microcontrôleur 8 bits. Chaque capteur de ce modèle est compensé en température et étalonné dans une chambre d'étalonnage précise, et le coefficient d'étalonnage est enregistré sous forme de programme dans la mémoire OTP (one time programmable). Lorsque le capteur est en mode de détection, il va chercher le coefficient dans la mémoire. Sa petite taille, sa faible consommation et sa longue distance de transmission (20 m) permettent au DHT22 de convenir à toutes sortes de conditions d'application difficiles. Il est conditionné en rangée simple avec quatre broches, rendant la connexion très pratique [33]. La Figure II.12 [34] représente les broches de ce capteur. Ses caractéristiques techniques sont citées dans le tableau II.5[33].

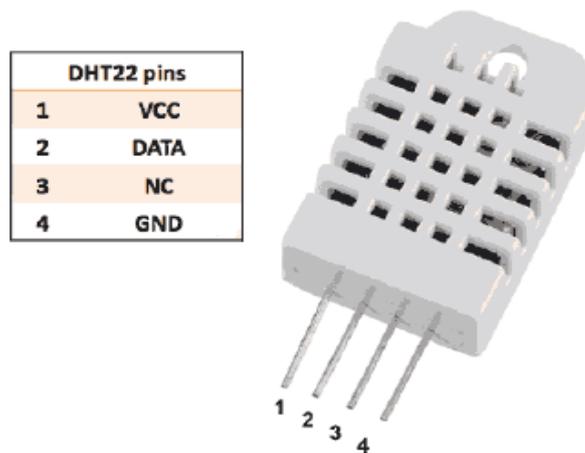


Figure II.12 : Les broches du capteur DHT22.

Tableau II.5: Les caractéristiques techniques du DHT22.

Modèle	DHT22
Alimentation électrique	3.3-6V DC
Signal de sortie	Signal numérique via un bus unique
Élément de détection	Condensateur polymère
Plage de fonctionnement	Humidité 0-100% RH ; température -4–80Celsius
Précision	Humidité $\pm 2\%$ RH (Max $\pm 5\%$ RH) ; température $< \pm 0.5$ Celsius
Résolution ou sensibilité	Humidité 0.1%RH. Température 0.1Celsius
Répétabilité	Humidité ± 1 RH. Température ± 0.2 Celsius
Hystérésis d'humidité	$\pm 0.3\%$ RH
Stabilité à long terme	$\pm 0.5\%$ RH/année
Période de détection	Valeur moyenne : 2s
Interchangeabilité	Complètement interchangeable
Dimensions	Petite taille 14*18*5.5 mm ; grande taille 22*28*5mm

II.11.1 Spécification de fonctionnement (signal et communication) [33] :

Le signal utilisé pour la communication entre le microcontrôleur (MCU) et le DHT22 est un bus de données à un seul fil, cela prend 5 millisecondes pour une communication à chaque fois. Les données sont composées d'une partie entière et d'une partie décimale, et voici la formule pour les données :

Le DHT22 envoie d'abord les bits de données les plus élevés.

DONNÉES = 8 bits de données de HR intégrales + 8 bits de données de HR décimales + 8 bits de données de température intégrales + 8 bits de données de température décimales + 8 bits de somme de contrôle. Si la transmission de données est correcte, la somme de contrôle doit être les derniers 8 bits de "8 bits de données de HR intégrales + 8 bits de données de HR décimales + 8 bits de données de température intégrales + 8 bits de données de température décimales".

Lorsque le MCU envoie un signal de démarrage, le DHT22 passe du mode basse consommation au mode de fonctionnement. Lorsque le MCU a fini d'envoyer le signal de départ, le DHT22 envoie un signal de réponse de 40 bits qui reflète les informations de température et d'humidité relatives au MCU. Sans signal de départ du MCU, le DHT22 ne donnera pas de signal de réponse au MCU. Un signal de départ pour une réponse de données reflétant les informations de température et d'humidité relatives du DHT22. Le DHT22 passera en mode basse consommation d'énergie lorsque la collecte de données sera terminée s'il ne reçoit pas de nouveau signal de départ du MCU.

Étape 1 : Le MCU envoie un signal de démarrage à DHT22. Le statut de la ligne de données est haut (niveau de tension élevé) lorsqu'elle est libre. Lorsque la communication entre le MCU et DHT22 commence, le programme du MCU transforme le niveau de tension de la ligne de données de haut en bas, et ce processus doit durer au moins 1 ms pour que DHT22 puisse détecter le signal du MCU. Ensuite, le MCU attendra 20 à 40 μ s pour la réponse de DHT22.

Étape 2 : DHT22 envoie un signal de réponse à MCU Lorsqu'il détecte le signal de démarrage, il envoie un signal de niveau bas qui dure 80 μ s en tant que signal de réponse, puis le programme de DHT22 transforme le niveau de tension du bus de données de bas en haut et dure 80 μ s pour la préparation de DHT22 à envoyer des données.

Étape 3 : DHT22 envoie les données à MCU Lorsque DHT22 envoie les données à MCU, la transmission de chaque bit commence par un niveau de tension bas qui dure 50 μ s. La longueur du signal de niveau de tension élevé suivant détermine si le bit est "1" ou "0".

II.12 Les afficheurs TFT :

Les afficheurs TFT (Thin Film Transistor) sont des écrans plats qui utilisent des transistors à film mince pour contrôler chaque pixel de l'écran. Ces écrans sont couramment utilisés dans les appareils électroniques tels que les Smartphones, les tablettes, les ordinateurs portables et les appareils photo numériques [35].

Dans le cadre de notre projet, nous avons choisi d'utiliser un afficheur TFT tactile pour afficher les résultats de mesures des différents capteurs. Les avantages des afficheurs TFT tactiles sont nombreux, notamment leur haute résolution, leur faible consommation d'énergie et leur grande luminosité.

Nous avons opté pour un afficheur TFT tactile de 2,8 pouces avec le module ILI9341 SKU :MSP2807 pour notre système de mesure. Cet afficheur est compatible avec notre microcontrôleur Arduino Mega 2560 Pro et permet d'afficher des graphiques en temps réel pour surveiller les variations des mesures de nos capteurs. Bien que la taille de l'afficheur soit suffisamment grande pour une lecture facile des résultats, tout en étant compacte pour s'intégrer parfaitement dans notre système de mesure.

II.13 L'écran tactile TFT 2.8 pouces SPI Module ILI9341 :

Le SPI (Serial Peripheral Interface) Module ILI9341 est un écran tactile de type TFT (Thin Film Transistor) dont sa diagonale est de 2,8 pouces. Il est équipé d'un contrôleur graphique ILI9341 qui permet l'affichage de graphismes en couleur avec une très haute résolution. Cet afficheur est compatible avec les microcontrôleurs qui supportent le protocole de communication série SPI, ce qui inclut la plupart des microcontrôleurs Arduino. La résolution de son écran est de 320 x 240 pixels. En outre, cet afficheur dispose d'un écran tactile résistif qui permet une interaction utilisateur pratique et efficace. Le module ILI9341 offre également des performances élevées en termes de vitesse et de qualité d'affichage [36], ce qui en fait un choix idéal pour notre projet. La Figure II.13[37] montre ce module et le tableau II.6 [36] montre ses broches.

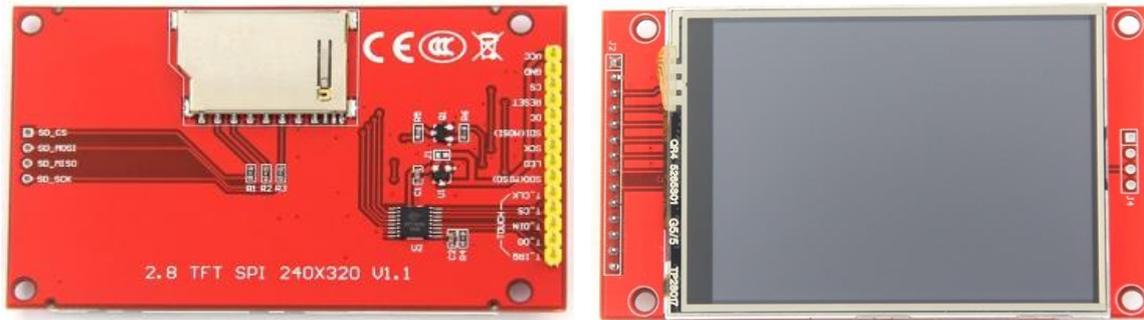


Figure II.13 : L'écran tactile TFT ILI9341 2.8 pouces.

II.6 Tableau : Les broches de Module ILI9341.

Numéro	Étiquette de broche	Description
1	VCC	5V/3.3V Alimentation électrique
2	GND	Masse
3	CS	LCD Signal de sélection de puce, Activation à bas niveau
4	RESET	LCD Signal de réinitialisation, Réinitialisation à bas niveau
5	DC/RS	LCD signal de sélection de registre/données Niveau élevé : Registre, Niveau bas : Données
6	SDI (MOSI)	SPI Signal d'écriture de données du bus
7	SCK	SPI Signal d'horloge du bus
8	LED	Contrôle du rétroéclairage, Éclairage à haut niveau Si non contrôlé, connectez toujours 3,3V en permanence brillant
9	SDO(MISO)	SPI Signal de lecture de données du bus, Si vous n'avez pas besoin de la fonction de lecture, vous pouvez ne pas le connecter
Câblage des lignes de signal de l'écran tactile.		
10	T_CLK	Touche SPI signal d'horloge
11	T_CS	Signal de sélection de puce de l'écran tactile, activation à bas niveau
12	T_DIN	Touche SPI Entrée du bus
13	T_DO	Touche SPI Sortie du bus
14	T_IRQ	Signal d'interruption de l'écran tactile, Niveau bas lorsque le toucher est détecté

II.14 Horloge temps réel :

L'horloge temps réel plus connue sous l'appellation RTC : Real Time Clock, est une horloge électronique, qui est utilisée pour fournir des informations précises sur la date et l'heure à un microcontrôleur. Contrairement aux horloges ordinaires, un RTC continue de fonctionner

même lorsque l'alimentation est coupée et cela grâce à l'utilisation de sa batterie interne qui permet de garder l'heure et la date en mémoire sans interruption.

Les RTC sont souvent utilisés dans des applications qui nécessitent des fonctions d'horodatage précises, telles que les systèmes de surveillance environnementale, les enregistreurs de données, les systèmes de contrôle d'accès et les horloges à temps universel coordonné (UTC). Ils sont également utilisés dans des applications de domotique pour la synchronisation des actions de différents appareils et l'automatisation des tâches en fonction de l'heure [38].

Dans notre projet, nous avons choisi d'utiliser le RTC DS3231. Cela est dû à la précision de l'horloge interne de l'Arduino qui peut être affectée par les variations de température, ce qui peut entraîner des erreurs dans la mesure des concentrations des gaz mesurés. Le DS3231 nous permet donc de compenser ces variations de température et d'obtenir des mesures plus précises et plus fiables. De plus, l'utilisation de ce module dans notre dispositif nous permettra de visualiser la variation des différents paramètres mesurés (température, humidité, concentration O₃ et concentration de la qualité de l'air) pour une longue période de mesure de plusieurs heures.

II.15 RTC DS3231 :

L'horloge temps réel (RTC) DS3231 est un circuit intégré de basse consommation qui fournit des informations précises sur le temps et la date. Il utilise un oscillateur intégré qui fonctionne à une fréquence de 32,768 kHz pour mesurer le temps avec une précision allant jusqu'à ± 2 secondes. Le DS3231 est également doté d'une compensation de température intégrée pour assurer une précision constante en cas de variations de la température environnementale. Il est également équipé d'une batterie de secours pour assurer un fonctionnement continu en cas de coupure d'alimentation.

Le DS3231 est compatible avec les microcontrôleurs tels que l'Arduino et peut être facilement intégré dans notre projet. Il communique avec l'Arduino via une interface I2C et peut être programmé pour déclencher des interruptions à intervalles réguliers pour des tâches de surveillance du temps. La Figure II.14 [39] montre les broches de ce module [40].

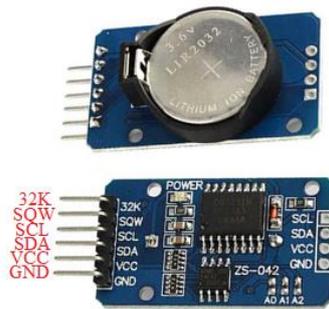


Figure II.14 : Les broches du DS3231.

II.16 Schéma synoptique du dispositif :

La Figure II.15 représente le schéma synoptique du système :

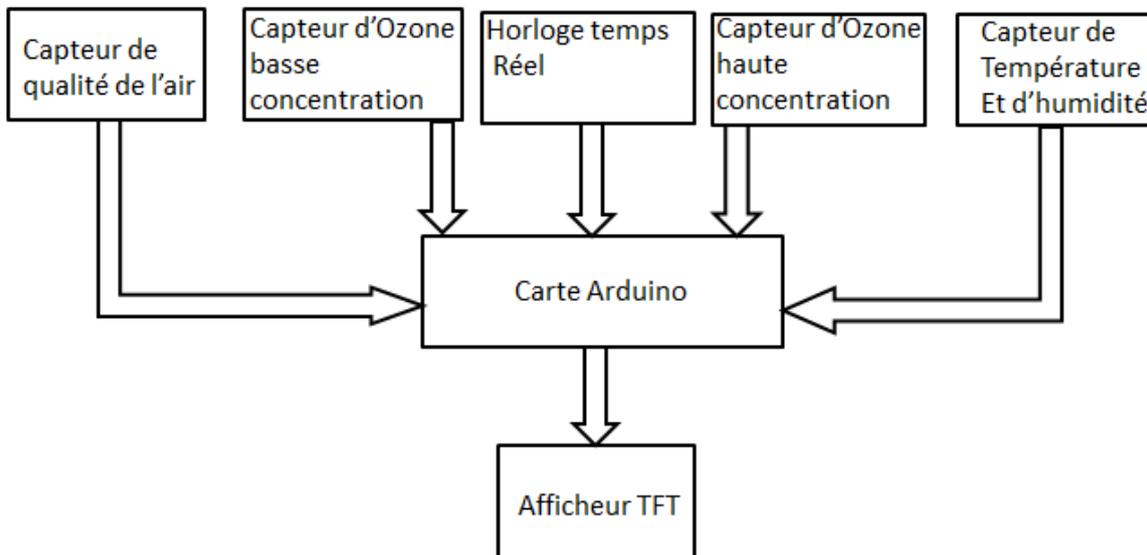


Figure II.15 : Schéma synoptique du système.

II.17 Conclusion :

En somme, ce chapitre nous a permis d'approfondir notre connaissance des différents éléments constitutifs du dispositif et de leurs fonctions. Nous avons ainsi pu nous familiariser avec les technologies des capteurs utilisées, comprendre leurs principes de fonctionnement et évaluer leurs performances. Cette compréhension est essentielle pour utiliser efficacement notre instrument. Ceci nous a permis de passer à l'implémentation que nous verrons en détail dans le chapitre qui suit.

Chapitre 3:

Réalisation et tests

III.1 Introduction :

Ce chapitre se concentre sur la mise en œuvre pratique du dispositif. Il aborde les différentes étapes nécessaires à la réalisation complète de ce projet, allant de la programmation de la carte Arduino à la conception du circuit imprimé. Nous explorons également la calibration des capteurs, en mettant l'accent sur le MQ131, ainsi que l'assemblage des composants et les tests effectués pour évaluer la réponse du système en présence d'ozone, de fumée, d'alcool, de température et d'humidité. De plus, nous fournirons une description du logiciel EasyEDA.

III.2 Le logiciel EasyEDA :

EasyEDA est un outil d'automatisation de conception électronique (EDA) basé sur le web qui permet aux utilisateurs de concevoir, simuler et prototyper des circuits électroniques. Il offre un ensemble complet de fonctionnalités pour la saisie de schémas, la mise en page de PCB.

EasyEDA propose un plan gratuit avec des limitations sur le nombre de feuilles de schéma, la taille du PCB et le stockage cloud. Ils proposent également des plans payants avec des fonctionnalités supplémentaires et des limites plus élevées pour les utilisateurs professionnels ou ceux ayant des besoins plus exigeants. La figure III.1 montre la fenêtre de ce logiciel.

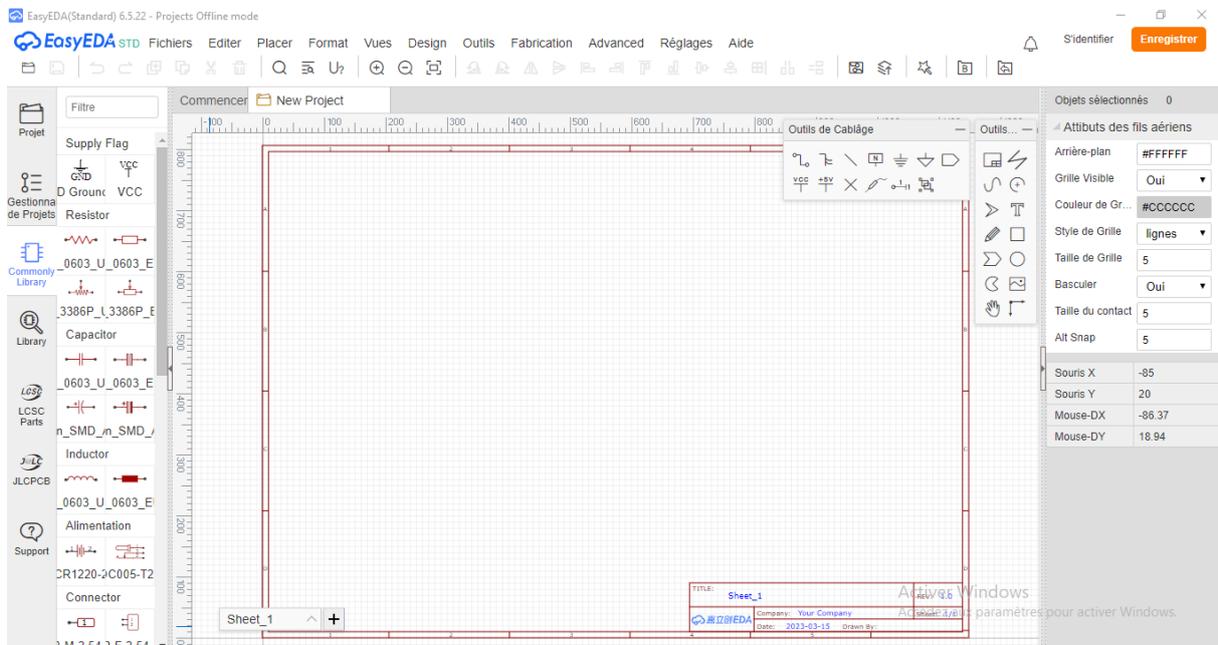


Figure III.1 : Une fenêtre du logiciel EasyEda.

III.3 Définition d'un circuit imprimé (PCB) :

Le PCB est un support utilisé pour créer des connexions électriques entre les composants électroniques. Ce support est généralement semi-rigide, bien qu'il puisse parfois être flexible, il est fabriqué à partir de matériaux isolants tels que l'époxy, la bakélite ou le FR4. Les connexions électriques sont réalisées à l'aide de pistes en cuivre qui sont déposées sur les surfaces externes de la plaque isolante. Dans le cas des circuits standard à double face, ces pistes de cuivre permettent de matérialiser les interconnexions nécessaires [41].

III.4 Réalisation du circuit imprimé du dispositif :

La réalisation d'une carte électronique implique plusieurs étapes. Voici les étapes suivies :

1. La première étape consiste à concevoir le circuit électronique sur un logiciel de conception assistée par ordinateur ; on a choisi d'utiliser le logiciel EasyEda. On crée un schéma électrique qui comporte les composants utilisés et leurs branchements. Cela permet de visualiser et de comprendre le fonctionnement du circuit, de détecter les erreurs et d'optimiser la disposition. La Figure III.2 montre le schéma électrique du dispositif réalisé par le logiciel EasyEda. Sur ce schéma on peut clairement apercevoir les capteurs utilisés, qui sont le DHT22, le MQ135 et le MQ131 avec ces deux versions (haute et basse concentration) avec leurs branchements avec la carte Arduino. Notre carte Arduino fonctionne à une tension de 5V, tandis que l'afficheur ILI9341 fonctionne à une tension de 3,3V. Pour éviter d'endommager l'afficheur, on a utilisé des diviseurs de tension à base de résistances pour adapter les niveaux de tension.
 - Résistances de 2,2 K ohms : On a connecté ces résistances entre les broches de l'Arduino qui sont utilisées pour communiquer avec l'afficheur et les broches d'entrée de l'afficheur. Ces résistances servent de "diviseur de tension" pour réduire les tensions de service de 5V de l'Arduino à une tension de 3,3V pour l'afficheur.
 - Résistances de 5,1 K ohms : On a également connecté ces résistances entre les broches de sortie de l'afficheur et la masse (GND) de l'Arduino. Ces résistances permettent de protéger l'afficheur en limitant le courant qui peut circuler entre les broches de sortie de l'afficheur et la masse.

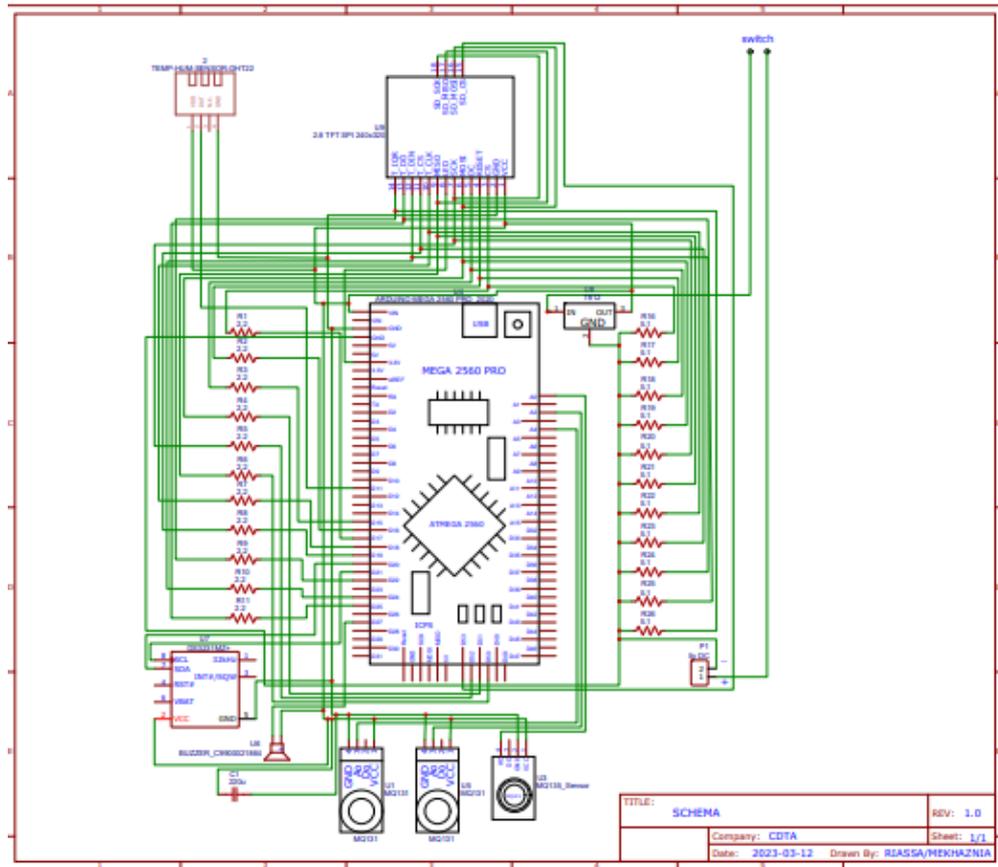


Figure III.2 : Schéma électrique du dispositif réalisé par le logiciel EasyEda.

2. Préparation du circuit imprimé : on utilise l'option appropriée sur le logiciel pour transférer notre schéma électrique à une autre fenêtre qui nous a permis de définir la disposition des composants, les pistes de connexion et les couches du PCB. La Figure III.3 montre le PCB du dispositif réalisé par le logiciel EasyEda. Ce PCB est un circuit imprimé double faces à trous métallisées. La taille du circuit imprimé est de 94 mm x102 mm. On remarque bien sur le PCB que le capteur de température et d'humidité a été placé loin des autres capteurs afin d'éviter d'être affecté par leur élévation de température du fait que tous les trois comporte une résistance de chauffage.
3. Après avoir finalisé la conception du PCB, la génération du circuit Gerber sous le même logiciel permettra de procéder à sa réalisation. La Figure III.4 montre le schéma du PCB en 3D.

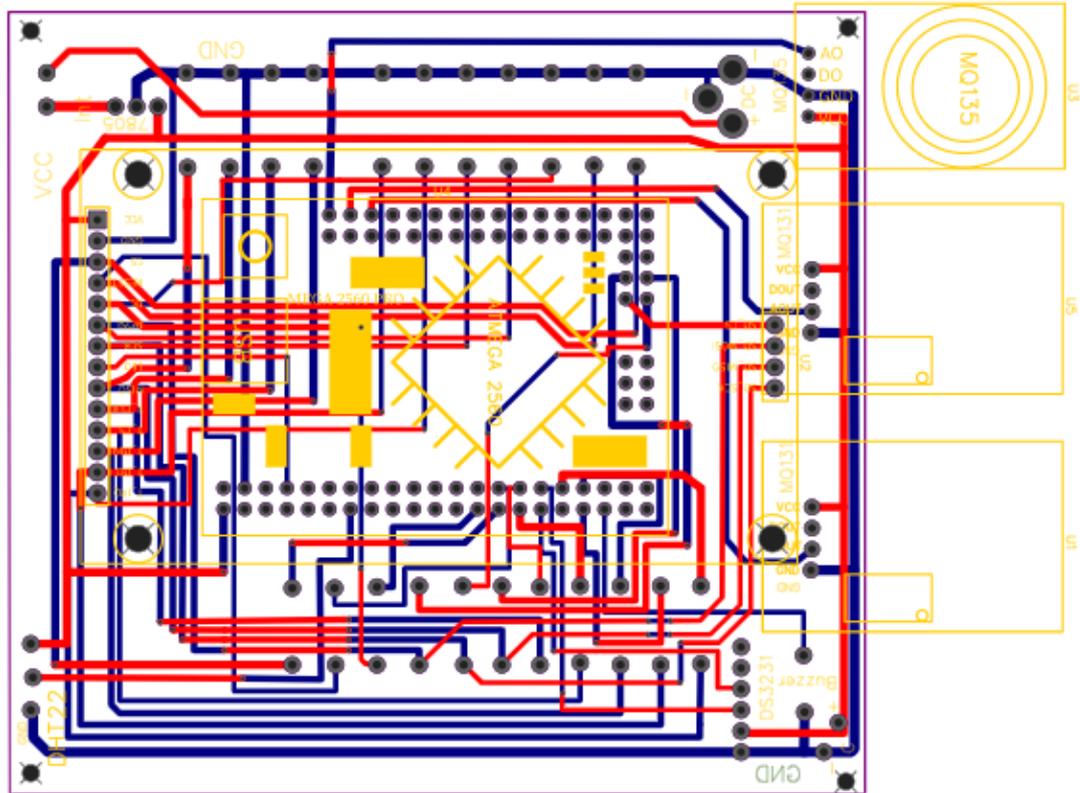
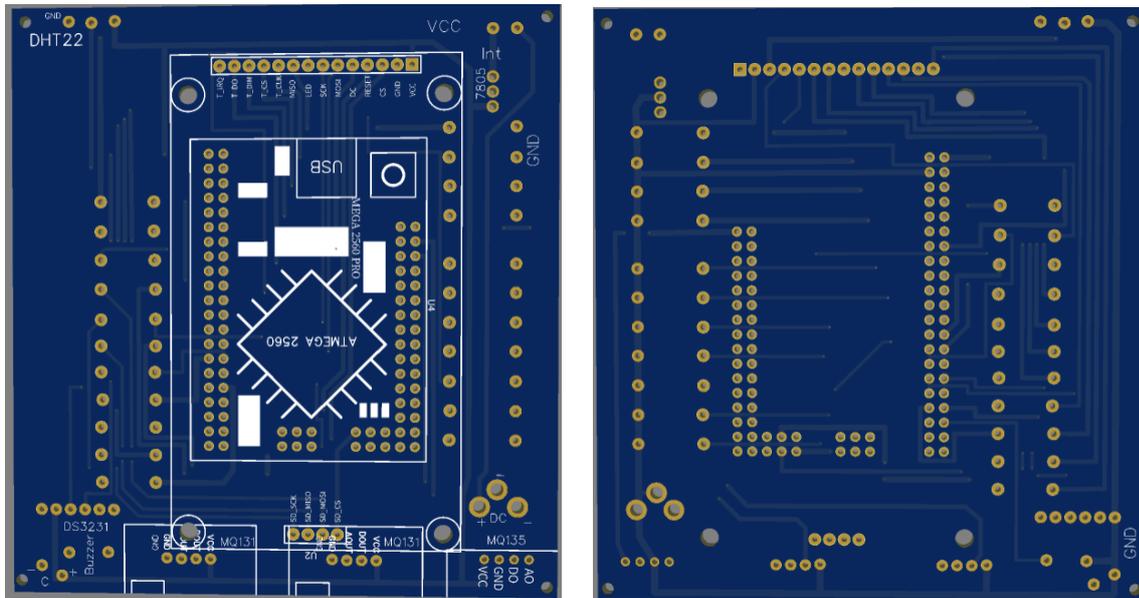


Figure III.3 : PCB du dispositif réalisé par le logiciel EasyEda.



(a) Coté composants.

(b) Coté cuivre.

Figure III.4 : Le schéma du PCB en 3D.

III.5 Fabrication du circuit imprimé [42] :

La fabrication du circuit imprimé est réalisée à l'aide de fichier Gerber. Le fichier Gerber est généré à partir du logiciel de conception du circuit imprimé comme il est illustré dans la Figure III.5. Ce format constitue la norme pour la production de cartes de circuits imprimés. La Figure III.6 présente les différents fichiers exportés de ce fichier contiennent des descriptions des connexions électriques, des pistes, des vias et des pastilles. Ce sont des documents vectoriels constitués d'un ensemble de commandes qui génèrent un flux d'objets graphiques. Ils comprennent également les instructions pour les perçages à faire sur le PCB. De nos jours, les entreprises qui produisent les cartes de circuits imprimés n'ont besoin de la part de leurs clients que de ce type de documentation, rien d'autre.

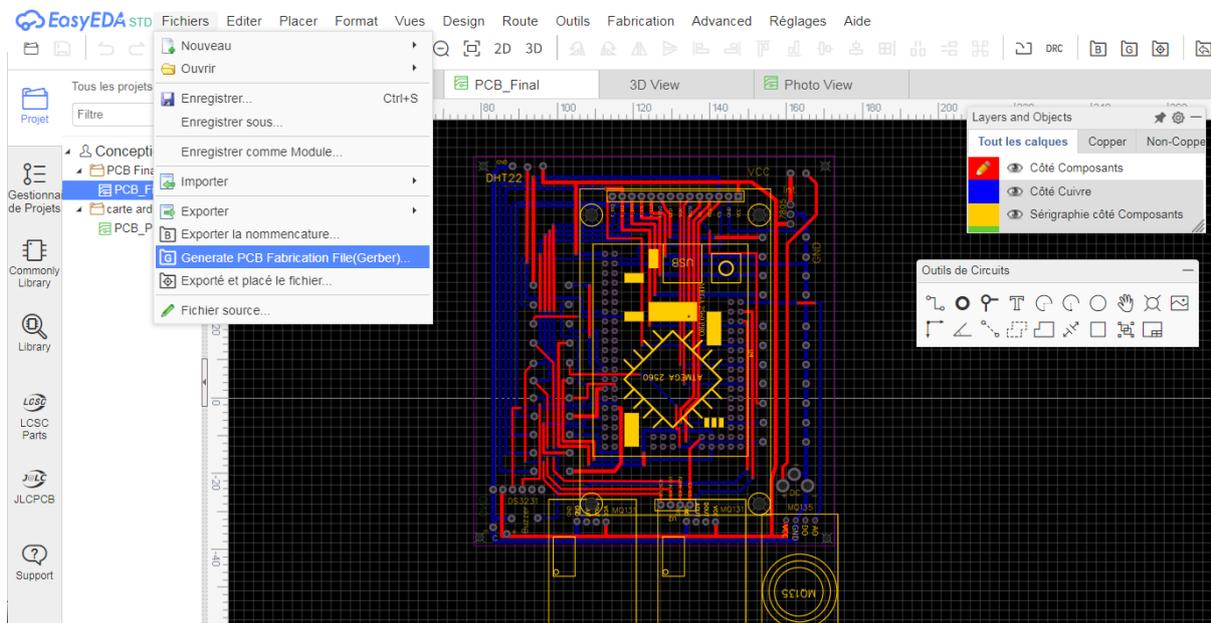


Figure III.5 : La génération de fichier Gerber.

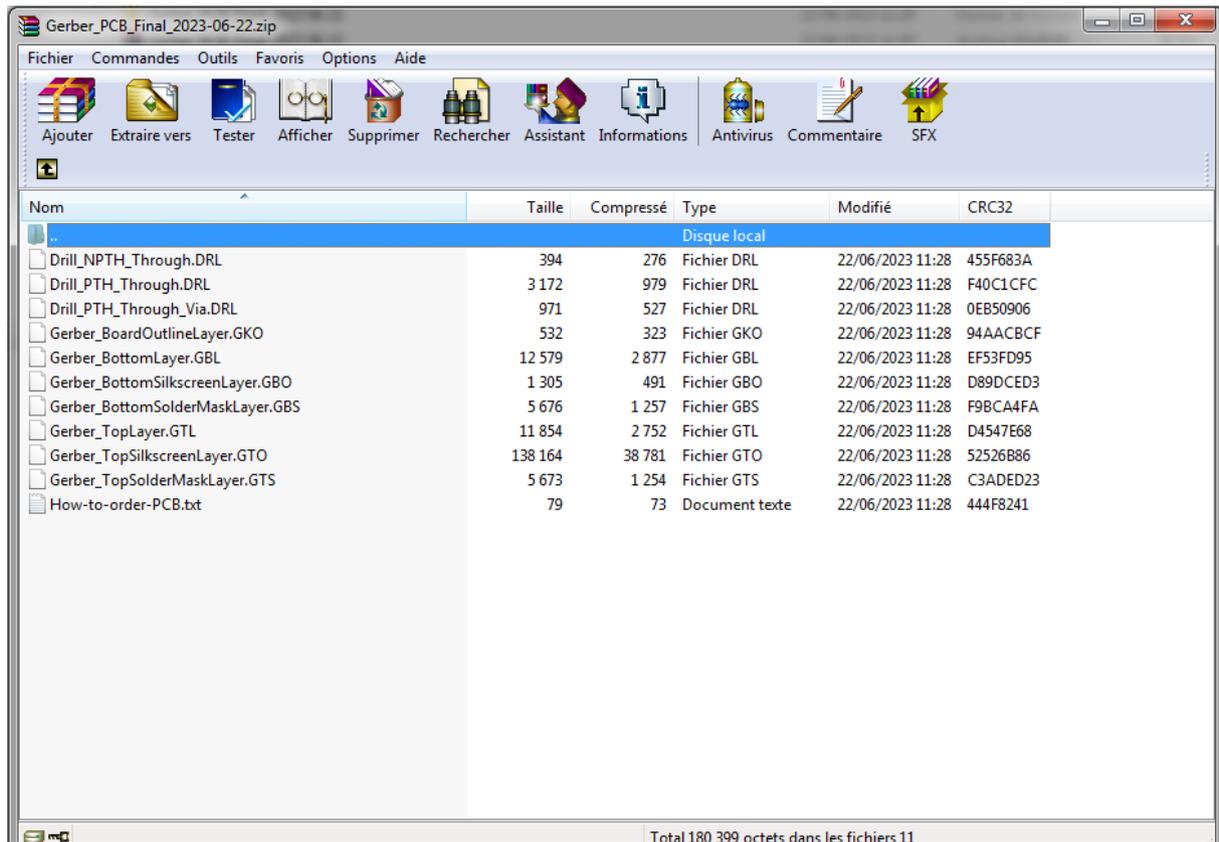


Figure III.6 : Les fichiers exportés de fichier Gerber.

III.6 Assemblage et soudure des composants :

Une fois que le PCB est fabriqué, on procède à l'assemblage des composants. Les composants électroniques sont soudés sur les emplacements prévus sur le PCB. Cela est fait manuellement à l'aide d'un fer à souder. La pointe chauffante du fer doit être maintenue propre en étant régulièrement nettoyée avec une éponge mouillée. La soudure utilisée est composée d'un mélange d'étain et de plomb, et il est recommandé d'adopter un mélange contenant 60% d'étain. Le processus de soudure est expliqué dans La Figure III.7 [43].

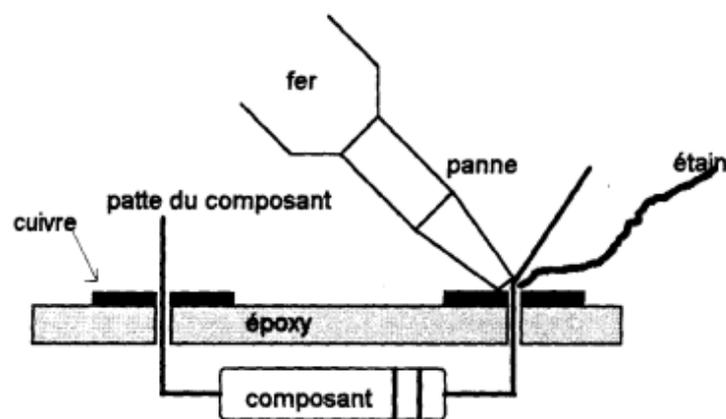


Figure III.7 : Processus de soudure.

Une fois l'assemblage terminé, des contrôles et des tests sont effectués pour vérifier le bon fonctionnement du circuit.

III.7 Calibration des capteurs :

La calibration des capteurs est une étape essentielle pour garantir la précision, la fiabilité et la validité des mesures effectuées. Elle permet d'éliminer les écarts de fabrication, de compenser les influences environnementales, de corriger les dérives et de valider les performances des capteurs.

III.7.1 La calibration des capteurs d'ozone MQ-131 (haute et basse concentration) :

Pour effectuer la calibration du capteur MQ131 haute concentration, nous avons connecté le capteur MQ131 et un écran LCD (16,2) à notre carte Arduino. Ensuite, nous avons téléversé le sketch ci-dessous dans l'Arduino :

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include <MQ131.h>

LiquidCrystal lcd( 2, 3, 4, 5, 6, 7);

// MQ131 Sensor Pin
#define ANALOGPIN_A0 A4

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16,2);
  MQ131.begin( 10, ANALOGPIN_A0, HIGH_CONCENTRATION, 10000);
  MQ131.calibrate();
  lcd.println("Calibration done!");
}

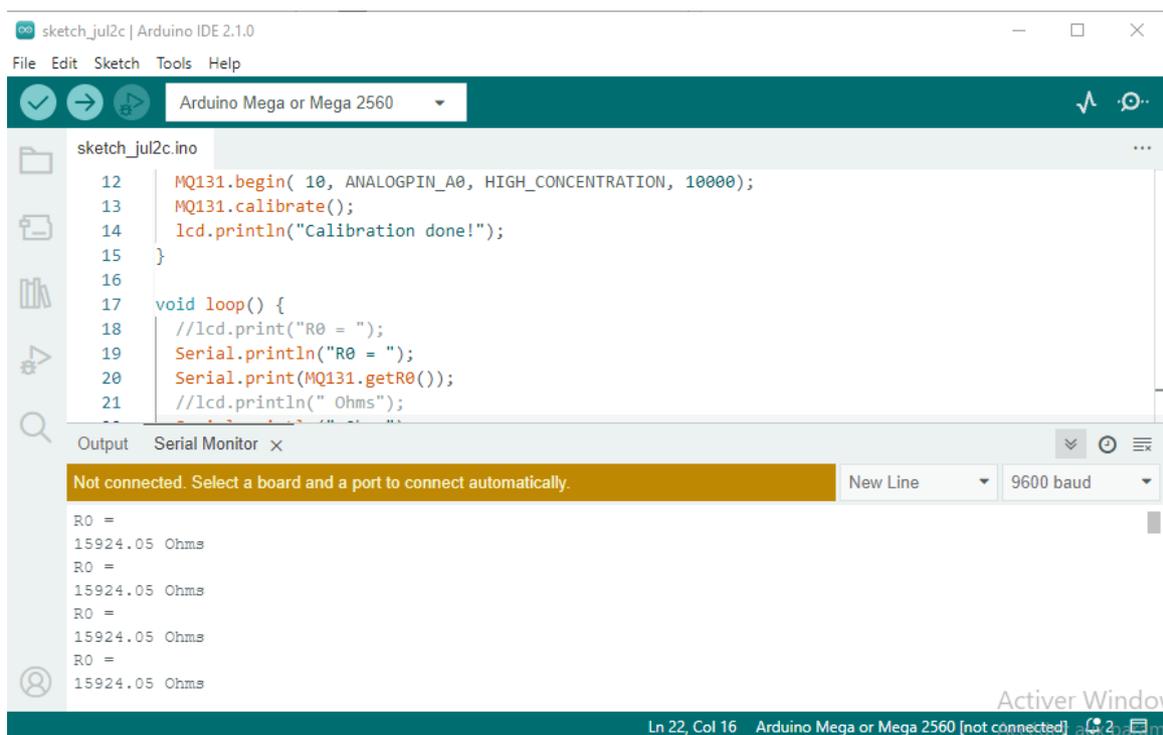
void loop() {
  //lcd.print("R0 = ");
  Serial.println("R0 = ");
  Serial.print(MQ131.getR0());
  //lcd.println(" Ohms");
  Serial.println(" Ohms");
}
```

Ce sketch initialise l'écran LCD et configure le capteur MQ131 en utilisant la fonction `MQ131.calibrate()`, qui effectue la calibration en calculant et en stockant la valeur de référence de la résistance initiale (R_0) du capteur.

Une fois la calibration terminée, nous affichons la valeur de R_0 sur l'écran LCD à l'aide de la fonction `MQ131.getR0()` ou sur le moniteur série de l'IDE comme il est représenté sur la Figure III.8. La calibration du MQ131 dans l'air libre a donné une résistance de référence R_0 égale à 15924Ω .

En utilisant cette méthode de calibration, nous obtenons une valeur précise de la résistance initiale (R_0) du capteur MQ131, qui est essentielle pour interpréter correctement les futures mesures de concentration de gaz.

Pour calibrer le capteur MQ131 basse concentration, on effectue les mêmes étapes que pour la calibration du capteur MQ131 haute concentration. En remplaçant dans le programme ci-dessus l'instruction `HIGH_CONCENTRATION` par `LOW_CONCENTRATION`.



```
sketch_jul2c.ino
12 MQ131.begin( 10, ANALOGPIN_A0, HIGH_CONCENTRATION, 10000);
13 MQ131.calibrate();
14 lcd.println("Calibration done!");
15 }
16
17 void loop() {
18 //lcd.print("R0 = ");
19 Serial.println("R0 = ");
20 Serial.print(MQ131.getR0());
21 //lcd.println(" Ohms");
}

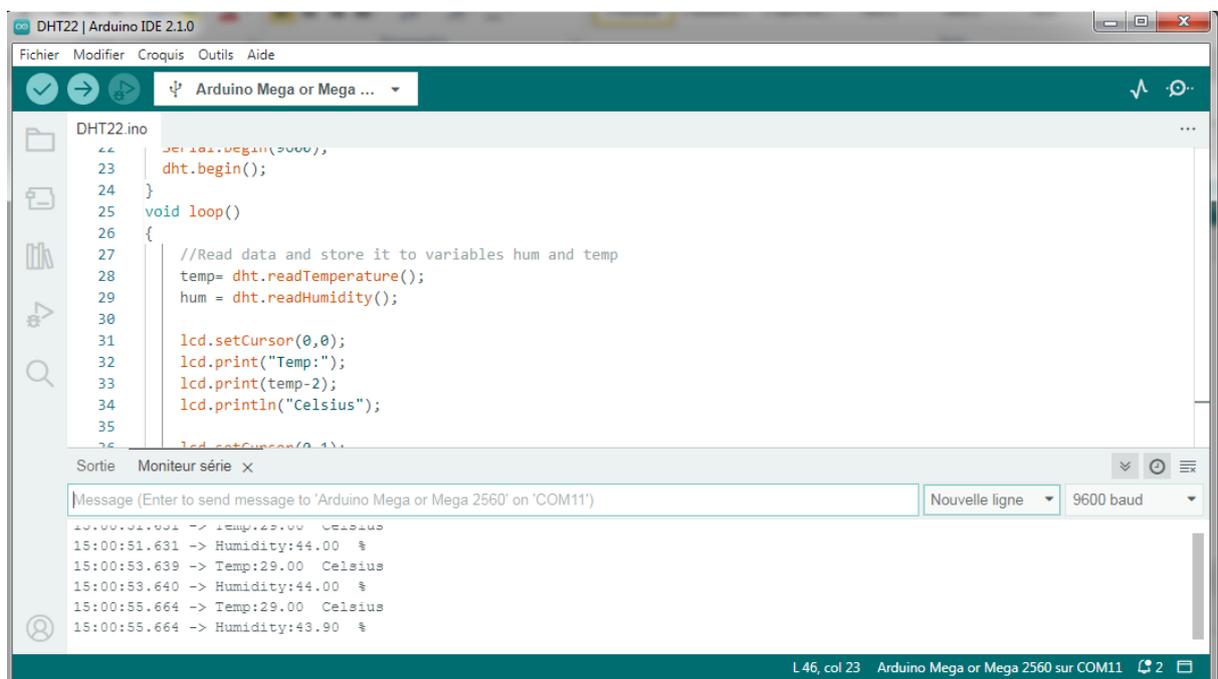
Output Serial Monitor x
Not connected. Select a board and a port to connect automatically. New Line 9600 baud
R0 =
15924.05 Ohms
```

Figure III.8: Affichage des valeurs de R_0 sur le moniteur série.

III.7.2 La calibration du capteur de température et d'humidité DHT22 :

Pour calibrer le capteur DHT22 on compare ses mesures avec celles d'un thermomètre de référence. Avant d'utiliser le capteur DHT22, il est essentiel de téléverser le programme Arduino correspondant, comme illustré dans la Figure III.9. Ce programme permettra de communiquer avec le capteur et de récupérer les mesures qu'il effectue. Les mesures seront affichées dans le moniteur série de l'IDE Arduino.

Tout d'abord, on assure que le capteur DHT22 et le thermomètre de référence sont placés dans le même environnement stable et représentatif de la plage de mesures souhaitée. Ensuite, on vérifie que le thermomètre de référence est étalonné et précis. On laisse les capteur DHT22 et le thermomètre de référence s'acclimater à l'environnement pendant un certain temps afin d'obtenir des mesures stables. Ensuite, on lit et on enregistre les valeurs fournies par le capteur DHT22 et le thermomètre de référence. On compare les valeurs mesurées par les deux appareils pour la température et on note les écarts entre les mesures du capteur DHT22 et celles du thermomètre de référence. On a trouvé que les valeurs du capteur DHT22 sont différents significativement de celles du thermomètre de référence, alors on a appliqué un facteur d'ajustement de -2° pour corriger les mesures du DHT22.



The screenshot shows the Arduino IDE interface. The main window displays the code for DHT22.ino, which includes the following lines:

```
23 dht.begin();
24 }
25 void loop()
26 {
27     //Read data and store it to variables hum and temp
28     temp= dht.readTemperature();
29     hum = dht.readHumidity();
30
31     lcd.setCursor(0,0);
32     lcd.print("Temp:");
33     lcd.print(temp-2);
34     lcd.println("Celsius");
35
36     lcd.setCursor(0,1);
```

The serial monitor at the bottom shows the output of the program, displaying temperature and humidity readings:

```
15:00:51.631 -> Humidity:44.00 %
15:00:53.639 -> Temp:29.00 Celsius
15:00:53.640 -> Humidity:44.00 %
15:00:55.664 -> Temp:29.00 Celsius
15:00:55.664 -> Humidity:43.90 %
```

Figure III.9 : Affichage des mesures de température et d'humidité sur le moniteur série d'IDE.

III.8 Fonctionnement du dispositif :

Dans cette section, nous allons expliquer le fonctionnement du dispositif :

III.8.1 Affichage des mesures obtenues par les capteurs :

Une fois que les données ont été acquises par l'Arduino à partir des capteurs, elles sont prêtes à être affichées. Pour afficher les données sur l'afficheur, on a inclus deux bibliothèques

compatibles avec ce dernier dans notre code Arduino : "Adafruit_ILI9341" et "Adafruit_GFX.h".

Tant qu'on a plusieurs données à afficher, on a organisé l'écran en utilisant des coordonnées spécifiques pour positionner les différents éléments (textes, lignes et couleurs) à l'aide des commandes de l'afficheur. Garantissant ainsi une visualisation en temps réel de toutes les données sur l'écran. La Figure III.10 montre la page d'accueil du dispositif qui contient les valeurs mesurées des capteurs (Photo prise lors du fonctionnement du dispositif).



Figure III.10 : La page d'accueil du dispositif.

III.8.2 Dessin des graphes de mesures de chaque capteur en fonction du temps :

Pour faciliter l'interaction avec les mesures affichées, chaque valeur mesurée est accompagnée d'un bouton rouge. Lorsqu'un bouton est touché, une autre page est affichée sur l'écran qui présente un graphe en temps réel des mesures en fonction du temps. Ce graphe est capable de représenter les points des mesures dans une courbe jusqu'à une période de 4 heures, permettant une analyse plus détaillée des variations au fil du temps. On prend par exemple le graphe du capteur de température et d'humidité qui est montré dans La Figure III.11 (Photo prise lors du fonctionnement du dispositif).

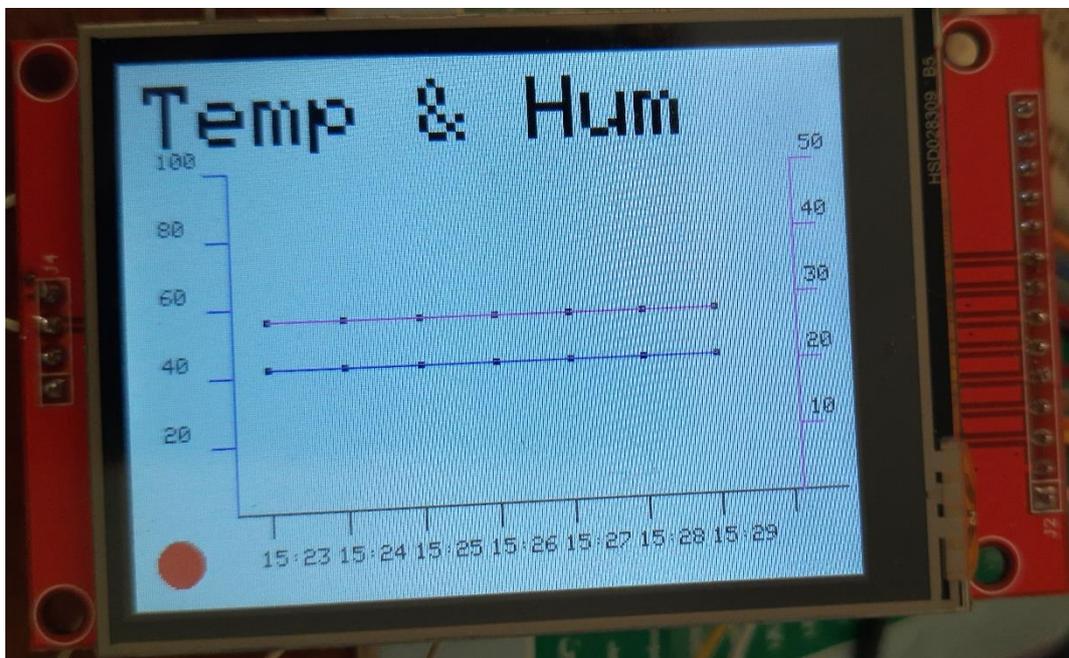


Figure III.11 : Le graphe du de température et d'humidité en fonction du temps.

III.8.3 Sauvegarde des données dans la carte SD :

Toutes les données collectées sont programmées pour être stockées dans un fichier sur une carte SD insérée dans l'afficheur. Nous avons choisi d'utiliser une carte mémoire car l'Arduino lui-même ne dispose pas d'une capacité de stockage suffisante pour gérer une grande quantité de données. Grâce à cette configuration, nous sommes en mesure de lire le fichier généré (Figure III.12) sur un ordinateur et d'afficher les courbes de variations de chaque capteur sur plusieurs jours à l'aide du logiciel Origin. La Figure III.13 présente les données collectées dans le fichier, offrant une vue détaillée des mesures effectuées par les capteurs au fil du temps.

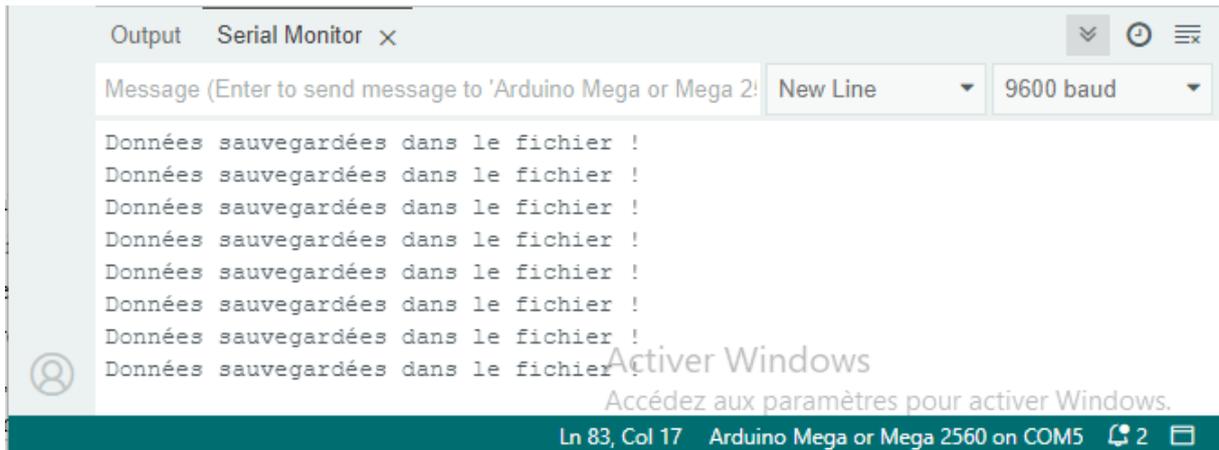


Figure III.12 : Transfert réussi des données sur la carte SD.

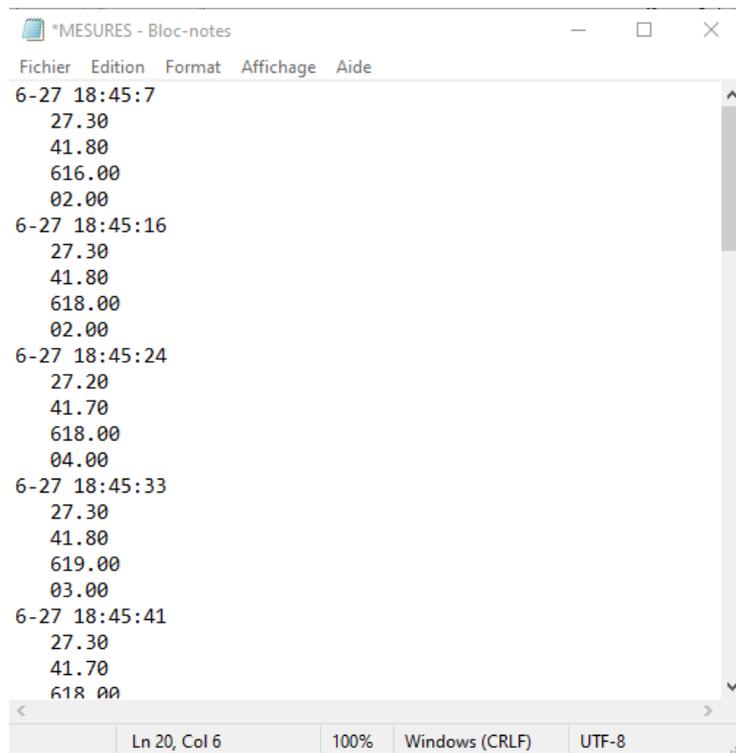


Figure III.13 : Données collectées sur le fichier.

III.9 Le logiciel Origin :

Origin est un outil puissant qui combine l'analyse de données et la mise en forme graphique, offrant ainsi une large gamme de fonctionnalités telles que l'analyse de pics, l'ajustement de courbes et les statistiques. Il répond aux exigences de qualité et aux besoins spécifiques de la communauté scientifique, notamment les chercheurs, ingénieurs et techniciens. Origin fournit un environnement complet pour l'exploration, la visualisation et l'interprétation des données, contribuant ainsi à la réalisation d'études approfondies et à la présentation visuelle claire des résultats obtenus [44]. La Figure III.14 représente les courbes de variations de la température et de l'humidité générées à partir du fichier mentionné précédemment (.txt), visualisées dans le logiciel Origin.

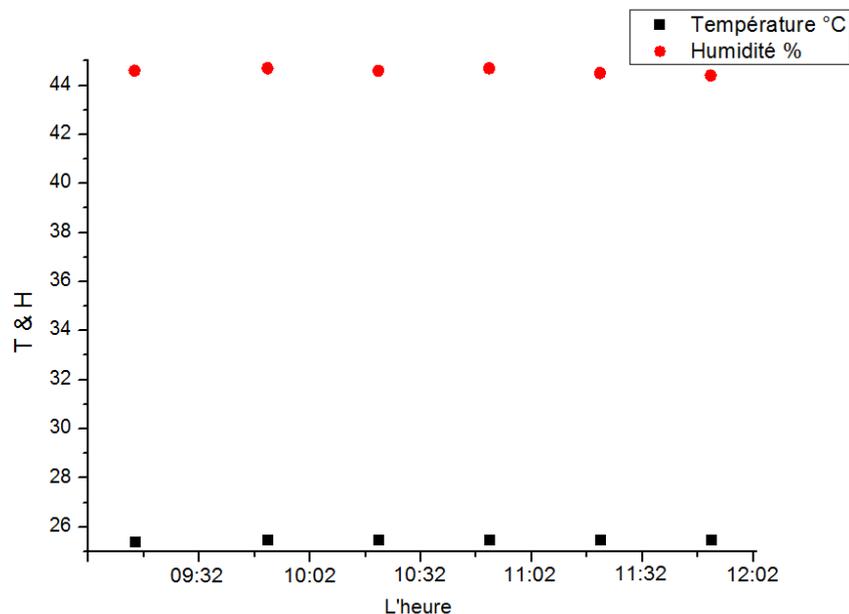


Figure III.14 : Visualisation des mesures de température et d'humidité sur le logiciel Origin.

III.10 Conclusion :

Ce chapitre a démontré les aspects pratiques de la réalisation du dispositif, mettant en évidence les différentes étapes, les défis rencontrés et les solutions mises en place. Les résultats obtenus témoignent de l'efficacité et de la fiabilité de cet instrument, ainsi que de notre capacité à le concevoir et à le mettre en œuvre. Ces informations seront précieuses pour la communauté scientifique intéressée par des projets similaires et ouvriront la voie à de nouvelles opportunités de recherche et d'innovation dans le domaine.

Conclusion générale :

En conclusion, ce mémoire de fin d'études a présenté le développement et la réalisation d'un dispositif de mesure à multi-capteurs pour la surveillance de l'ozone, basé sur une carte Arduino MEGA 2560 Pro mini et des capteurs tels que le MQ131, le MQ135 et le DHT22. Les différentes étapes du projet, mettant en évidence l'importance de chaque étape dans le bon fonctionnement du dispositif.

Le travail réalisé a permis d'acquérir la compréhension des principes de fonctionnement des capteurs et des techniques de calibration nécessaires pour obtenir des mesures précises et fiables. La conception du circuit imprimé, réalisée à l'aide du logiciel EasyEDA, a permis d'optimiser l'agencement des composants et de garantir un bon fonctionnement du système.

Le dispositif final a été en mesure de relever en temps réel les mesures de l'ozone et les paramètres environnementaux tels que la qualité d'air, la température et l'humidité. Les données collectées ont pu être stockées sur une carte SD, offrant ainsi la possibilité d'une analyse ultérieure. De plus, l'utilisation du logiciel Origin a permis de visualiser et d'analyser les données sous forme de graphiques, facilitant ainsi la compréhension des variations et des tendances des paramètres mesurés.

En conclusion, ce travail a permis de mettre en pratique les connaissances théoriques acquises au cours des études, en réalisant un dispositif fonctionnel. Il ouvre également la voie à de nouvelles perspectives de recherche et d'amélioration dans le domaine de la surveillance des gaz, avec des possibilités d'extension du dispositif, d'exploration de nouveaux capteurs et d'intégration de technologies plus avancées.

Références

- [1] Boukralfa Batoul. Le rôle du HOPG dans la désorption recombinative. 2021.
- [2] Fiche toxicologique n°43 : Ozone. Octobre 2020.
- [3] <https://www.dictionnaire-academie.fr/>
- [4] Jean-Luc Raimbault. Introduction à la Physique des Plasmas. 2012 – 2013. British Plastics & Rubber. 14-02-2007.
- [5] British Plastics & Rubber. 14-02-2007.
- [6] Frédéric Leroux. Étude des traitements par plasma à pression atmosphérique : applications à l'industrie textile. 10-10-2020.
- [7] Les plasmas : définitions générales.
-Ikhlef Nabil. MODELISATION NUMERIQUE D'UNE INSTALLATION CONVERTISSEUR –PLASMA D'INDUCTION EN VUE D'UNE COMMANDE OPTIMALE. 15-04-2010.
- [8] Zeggagi Oussama. Etudes bibliographiques sur les décharges.
- [9] Kristaq Gazeli. Étude expérimentale de micro-plasmas froids à la pression atmosphérique générés par des hautes tensions de formes différentes. 05-04-2016
- [10] Lucie Bres. Interaction entre un plasma froid à la pression atmosphérique et des surfaces thermoplastiques industrielles : application à l'activation de surface. 07-12-2018
- [11] Jose L. Lopez. Low –Temperature Plasmas: Basic Fundamentals and Select Applications. 2018
- [12] Julien Cosimi. Caractérisations d'un jet de plasma froid d'hélium à pression atmosphérique. 05 mars 2021
- [13] Figure I.9 (a) : Jet de gaz. : Julie CHAUVIN. Etude des mécanismes anti-cancéreux induits par milieux activés par jet de plasma froid vers une nouvelle approche thérapeutique. 03 décembre 2018
- [14] Figure I.10: Li-Zhen Deng, Arun S. Mujumdar, Zhongli Pan, Sriram K. Vidyarthi, Jinwen Xu, Magdalena Zielinska & Hong-Wei Xiao (2019): Emerging chemical and physical disinfection technologies of fruits and vegetables: a comprehensive review, Critical Reviews in Food Science and Nutrition.
- [15] Traitements de l'air. Janvier 2012.
- [16] Fiche toxicologique n°43 : Ozone. Octobre 2020.
- [17] La composition de l'air
- [18] <https://forum.arduino.cc/t/arduino-mega-pro-mini/916019>
- [19] <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>
- [20] <https://www.direnc.net/mega-2560-pro-atmega2560-gomulu-gelistirme-karti-en>

- [21] <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3?queryID=undefined>
- [22] <https://protosupplies.com/product/mega-2560-pro-with-ch340-usb/>
- [23] <https://www.circuito.io/blog/arduino-code/>
- [24] Baha Hakim. Conception d'un capteur de gaz intelligent. 2011/2012
- [25] Clotaire Chevalier Cesar. Elaboration et caractérisation d'un réseau de nanofils de ZnO par méthode hydrothermale et son application à la détection de gaz.
- [26] Zhengzhou Winsen Electronics Technology CO., LTD. Ozone Gas Sensor (model: MQ131 High Concentration). 10/03/2015
- [27] <https://arduino.steamedu123.com/entry/MQ-131-Ozone-Gas-Sensor>
- [28] Zhengzhou Winsen Electronics Technology CO., LTD. Ozone Gas Sensor (model: MQ131 Low Concentration). 10/03/2015
- [29] <https://www.circuits-diy.com/mq131-ozone-gas-sensor-module/>
- [30] Hanwei electronics co. ltd. MQ-135 GAS SENSOR
- [31] Zhengzhou Winsen Electronics Technology CO., LTD. Ozone Gas Sensor (model: MQ135). 10/03/2015
- [32] https://easyeda.com/modules/MQ-135-Schematic-Module_14cf0a4bf8694912a79e60b4167deac0
- [33] Aosong Electronics Co.,Ltd . Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22 (DHT22 also named as AM2302).
- [34] <https://www.electroschematics.com/am2302-dht22-datasheet/>
- [35] <https://www.lcd-compare.com/definition-de-tft.htm>
- [36] LCDWIKI. 3.2inch SPI Module MSP3218 User Manual
- [37] <http://www.lcdwiki.com/File:MSP2807-008.jpg>
- [38] <https://fr.theastrologypage.com/real-time-clock>
- [39] Extremely Accurate I 2 C-Integrated RTC/TCXO/Crystal. DS3231
- [40] <https://techzeero.com/sensors-modules/ds3231-rtc-module/>
- [41] TECHNOLOGIE et REALISATION de CIRCUITS IMPRIMES ELECTRONIQUES. IUT de NICE Dpt. GEII Laboratoire ER1 P. LAURENT 2002
- [42] <https://www.proto-electronics.com/fr/blog/fichiers-gerber-a-quoi-ca-sert#:~:text=Les%20fichiers%20Gerber%20sont%20d%C3%A9sormais,il%20ait%20%C3%A9t%C3%A9%20soigneusement%20v%C3%A9rifi%C3%A9.>
- [43] Cours : Réalisation d'un circuit imprimé www.gecif.net
- [44] <https://ritme.com/software/origin/?country=fr>

Annexes

Programme du capteur MQ131 :

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include <MQ131.h>

LiquidCrystal lcd( 2, 3, 4, 5, 6, 7);

// MQ131 Sensor Pin
#define ANALOGPIN_A0 A4

void setup() {
  lcd.begin(16,2);
  MQ131.begin( 10, ANALOGPIN_A0, HIGH_CONCENTRATION, 1000000);
  MQ131.calibrate();
  delay(1000);
}

void loop() {
  MQ131.sample();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("O3:");
  lcd.print(MQ131.getO3(PPM));
  lcd.print(" ppm");
  delay(1000);
}
```

Programme du capteur MQ135 :

```
#include <LiquidCrystal.h>

int sensorValue;

const int rs = 2, e = 3, d4 = 4, d5 = 5, d6 = 6, d7 = 7;
LiquidCrystal lcd(rs, e, d4, d5, d6, d7);

#define ANALOGPIN A0

void setup()
{
  lcd.begin(16,2);
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
```

```
sensorValue = analogRead(0);  
lcd.setCursor(0,1);  
lcd.print("AnalogRead: ");  
lcd.print(sensorValue);  
delay(3000);  
}
```

Programme du capteur DHT22 :

```
#include <DHT.h>;  
#include <LiquidCrystal.h>  
  
const int rs = 2, e = 3, d4 = 4, d5 = 5, d6 = 6, d7 = 7;  
LiquidCrystal lcd(rs, e, d4, d5, d6, d7);  
  
#define DHTPIN 11  
#define DHTTYPE DHT22  
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);  
  
float hum;  
float temp;  
  
void setup()  
{  
  Serial.begin(9600);  
  lcd.begin(16, 2);  
  dht.begin();  
}  
  
void loop()  
{  
  temp = dht.readTemperature();  
  hum = dht.readHumidity();  
  
  lcd.setCursor(0,0);  
  lcd.print("Temp:");  
  lcd.print(temp);  
  lcd.println("Celsius");  
  
  lcd.setCursor(0,1);  
  lcd.print("Humidity:");  
  lcd.print(hum);  
  lcd.print("%");  
  
  delay(2000);  
}
```

```
}
```

Programme du RTC DS3231 :

```
#include <Wire.h>
#include <DS3231.h>

RTCLib myRTC;

void setup () {
    Serial.begin(9600);
    Wire.begin();
}

void loop () {
    DateTime now = myRTC.now();

    Serial.print(now.year(), DEC);
    Serial.print('/');
    Serial.print(now.month(), DEC);
    Serial.print('/');
    Serial.print(now.day(), DEC);
    Serial.print(' ');
    Serial.print(now.hour(), DEC);
    Serial.print(':');
    Serial.print(now.minute(), DEC);
    Serial.print(':');
    Serial.print(now.second(), DEC);
    Serial.println();

}
```

Programme de la carte SD:

```
#include <SPI.h>
#include <SD.h>

File myFile;

void setup() {
    // Open serial communications and wait for port to open:
    Serial.begin(9600);
    while (!Serial) {
        ; // wait for serial port to connect. Needed for native USB port only
    }
}
```

```

Serial.print("Initializing SD card...");

if (!SD.begin(4)) {
  Serial.println("initialization failed!");
  while (1);
}
Serial.println("initialization done.");

// open the file. note that only one file can be open at a time,
// so you have to close this one before opening another.
myFile = SD.open("test.txt", FILE_WRITE);

// if the file opened okay, write to it:
if (myFile) {
  Serial.print("Writing to test.txt...");
  myFile.println("testing 1, 2, 3.");
  // close the file:
  myFile.close();
  Serial.println("done.");
} else {
  // if the file didn't open, print an error:
  Serial.println("error opening test.txt");
}

// re-open the file for reading:
myFile = SD.open("test.txt");
if (myFile) {
  Serial.println("test.txt:");

  // read from the file until there's nothing else in it:
  while (myFile.available()) {
    Serial.write(myFile.read());
  }
  // close the file:
  myFile.close();
} else {
  // if the file didn't open, print an error:
  Serial.println("error opening test.txt");
}
}

void loop() {
  // nothing happens after setup
}

```

MQ131 Semiconductor Sensor for Ozone

Sensitive material of MQ131 gas sensor is SnO₂, which with lower conductivity in clean air. When Ozone gas exists. The sensor's conductivity is more higher along with the gas concentration rising.

Please use simple electrocircuit, Convert change of conductivity to correspond output signal of gas concentration.

MQ131 gas sensor has high sensitivity to Ozone, also sensitive to CL₂, NO₂, etc.

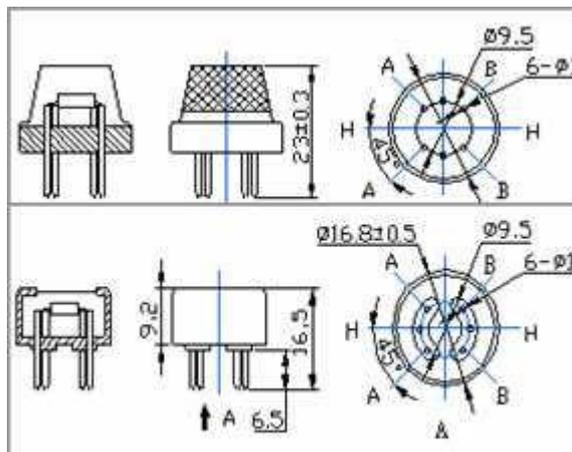
Character

- * Good sensitivity to Ozone in wide range
- * High sensitivity to Ozone
- * Long life and low cost
- * Simple drive circuit

Application

- * Domestic Ozone concentration overload Detector
- * Industrial Ozone concentration overload Detector
- * Portable Ozone concentration overload Detector

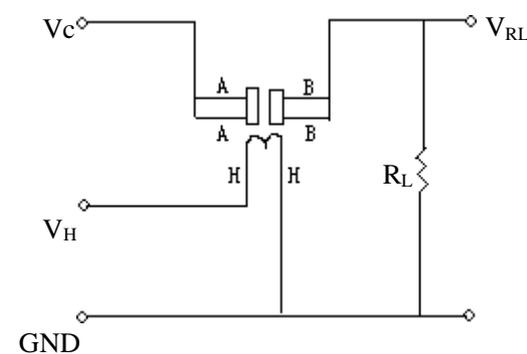
Configuration



Technical Data

Basic test loop

Model No.	MQ131		
Sensor Type	Semiconductor		
Standard Encapsulation	Bakelite (Black Bakelite)		
Detection Gas	Ozone		
Concentration	10-1000ppm Ozone		
Circuit	Loop Voltage	V _c	≤24V DC
	Heater Voltage	V _H	5.0V±0.2V AC or DC
	Load Resistance	R _L	Adjustable
Character	Heater Resistance	R _H	31Ω±3Ω (Room Tem. 3)
	Heater consumption	P _H	≤900mW
	Sensing Resistance	R _s	50KΩ-500KΩ (in 50ppm O ₃)
	Sensitivity	S	R _s (in air)/R _s (in 50ppm O ₃) ≥3
	Slope	α	(R _{50ppm} /R _{10ppm} O ₃)
Condition	Tem. Humidity	20?±2?: 65%±5%RH	
	Standard test circuit	V _c : 5.0V±0.1V: V _H : 5.0V±0.1V	
	Preheat time	Over 48 hours	



The above is basic test circuit of the sensor. The sensor need to be put 2 voltage, heater voltage (V_H) and test voltage (V_C). V_H used to supply certified working temperature to the sensor, while V_C used to detect voltage (V_{RL}) on load resistance (R_L) whom is in series with sensor. The sensor has light polarity, V_c need DC power. V_C and V_H could use same power circuit with precondition to assure performance of sensor. In order to make the sensor with better performance, suitable R_L value is needed:

$$\text{Power of Sensitivity body (Ps): } P_s = V_c^2 \times R_s / (R_s + R_L)^2$$

$$\text{Resistance of sensor (Rs): } R_s = (V_c / V_{RL} - 1) \times R_L$$

Sensitivity Characteristics

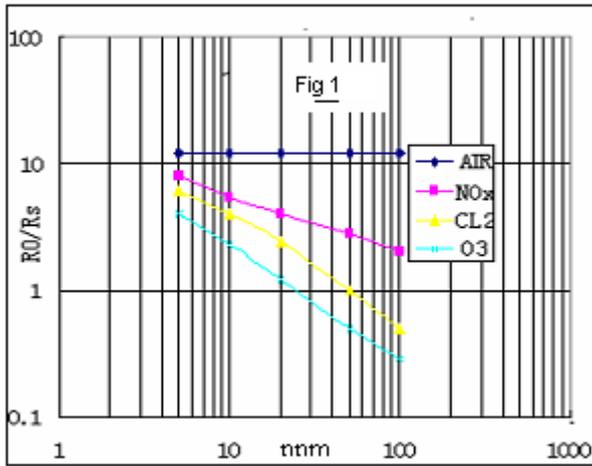


Fig.1 shows the typical sensitivity characteristics of MQ131, ordinate means resistance ratio of the sensor (R_s/R_o), abscissa is concentration of gases. R_s means resistance in different gases, R_o means resistance of sensor in 50ppm CL₂. All test are under standard conditions.

Influence of Temperature/Humidity

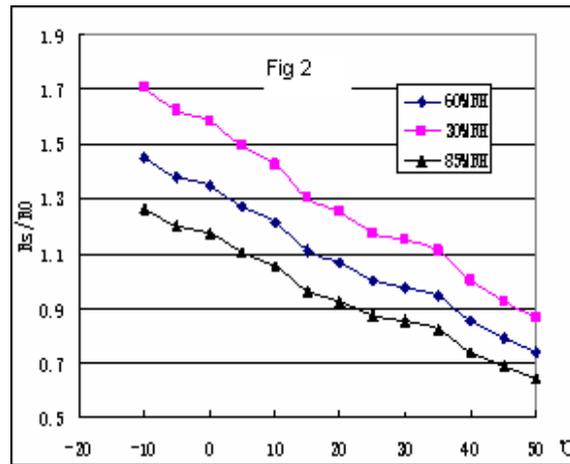
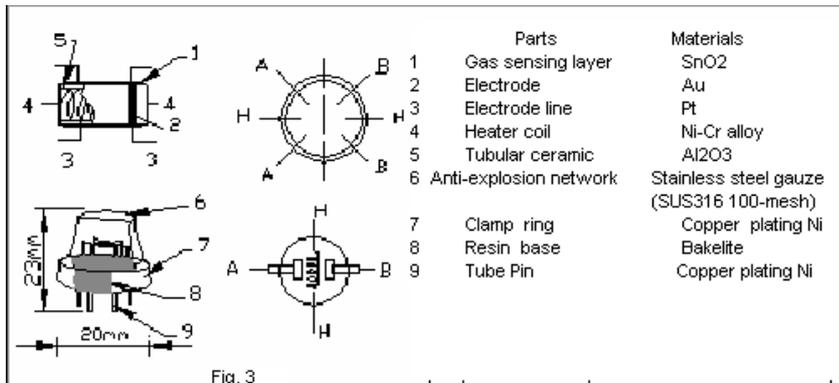


Fig.2 shows the typical temperature and humidity the characteristics. Ordinate means resistance ratio of the sensor (R_s/R_o), R_s means resistance of sensor in 50ppm Ozone under different tem. and humidity.

R_o means resistance of the sensor in environment of test 50ppm Ozone, 20%/65%RH

Structure and configuration



Structure and configuration of MQ131 gas sensor is shown as Fig. 3, sensor composed by micro AL₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-4 have 6 pin, 4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Notification**1 Following conditions must be prohibited****1.1 Exposed to organic silicon steam**

Organic silicon steam cause sensors invalid, sensors must be avoid exposing to silicon bond, fixture, silicon latex, putty or plastic contain silicon environment

1.2 High Corrosive gas

If the sensors exposed to high concentration corrosive gas (such as H_2S , SO_x , Cl_2 , HCl etc), it will not only result in corrosion of sensors structure, also it cause sincere sensitivity attenuation.

1.3 Alkali, Alkali metals salt, halogen pollution

The sensors performance will be changed badly if sensors be sprayed polluted by alkali metals salt especially brine, or be exposed to halogen such as fluorine.

1.4 Touch water

Sensitivity of the sensors will be reduced when splattered or dipped in water.

1.5 Freezing

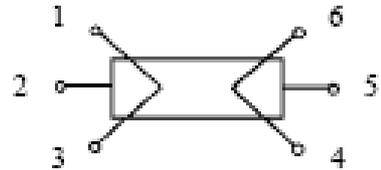
Do avoid icing on sensor's surface, otherwise sensor would lose sensitivity.

1.6 Applied voltage higher

Applied voltage on sensor should not be higher than stipulated value, otherwise it cause down-line or heater damaged, and bring on sensors' sensitivity characteristic changed badly.

1.7 Voltage on wrong pins

For 6 pins sensor, if apply voltage on 1/3 pins or 4/6 pins, it will make lead broken, and without signal when apply on 2/4 pins

**2 Following conditions must be avoided****2.1 Water Condensation**

Indoor conditions, slight water condensation will effect sensors performance lightly. However, if water condensation on sensors surface and keep a certain period, sensor's sensitivity will be decreased.

2.2 Used in high gas concentration

No matter the sensor is electrified or not, if long time placed in high gas concentration, it will affect sensors characteristic.

2.3 Long time storage

The sensors resistance produce reversible drift if it's stored for long time without electrify, this drift is related with storage conditions. Sensors should be stored in airproof without silicon gel bag with clean air. For the sensors with long time storage but no electrify, they need long aging time for stability before using.

2.4 Long time exposed to adverse environment

No matter the sensors electrified or not, if exposed to adverse environment for long time, such as high humidity, high temperature, or high pollution etc, it will effect the sensors performance badly.

2.5 Vibration

Continual vibration will result in sensors down-lead response then repute. In transportation or assembling line, pneumatic screwdriver/ultrasonic welding machine can lead this vibration.

2.6 Concussion

If sensors meet strong concussion, it may lead its lead wire disconnected.

2.7 Usage

For sensor, handmade welding is optimal way. If use wave crest welding should meet the following conditions:

2.7.1 Soldering flux: Rosin soldering flux contains least chlorine

2.7.2 Speed: 1-2 Meter/ Minute

2.7.3 Warm-up temperature: 100 ± 20 °C

2.7.4 Welding temperature: 250 ± 10 °C

2.7.5 1 time pass wave crest welding machine

If disobey the above using terms, sensors sensitivity will be reduced.

TECHNICAL DATA MQ-131 GAS SENSOR

FEATURES

- Fast response and High sensitivity
- Stable and long life
- Simple drive circuit
- Wide detecting range

APPLICATION

They are used in air quality control equipments for buildings/offices, are suitable for detecting Of O₃.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V _c	Circuit voltage	5V±0.1	AC or DC
V _H	Heating voltage	6V±0.1	AC or DC
R _L	Load resistance	Variable	
R _H	Heater resistance	31Ω±5%	Room Tem
P _H	Heating consumption	Less than 1100mw	

B. Environment condition

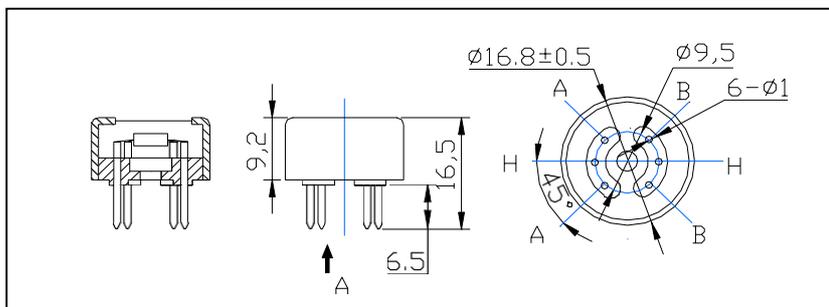
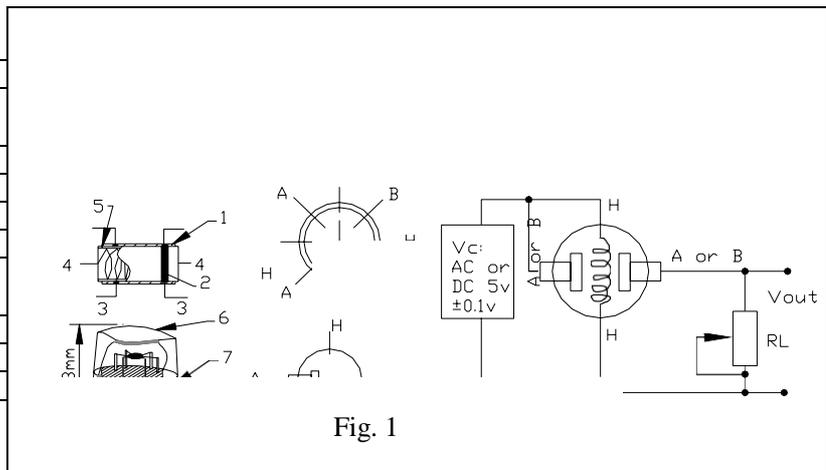
Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T _{ao}	Using Tem	-10 -50	
T _{as}	Storage Tem	-20 -70	
R _H	Related humidity	Less than 95% RH	

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remark 2
R _s	Sensing Resistance	100KΩ-200KΩ (50ppb O ₃)	Detecting concentration scope 10ppb-2ppm O ₃
α O ₃ (100ppb/50ppb)	Concentration Slope rate	≤0.65	
Standard Detecting Condition	Temp: 20 ±2 Vc:5V±0.1 Humidity: 65%±5% Vh: 6V±0.1		
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit

	Parts	Materials
1	Gas sensing layer	SnO ₂
2	Electrode	Au
3	Electrode line	Pt
4	Heater coil	Ni-Cr alloy
5	Tubular ceramic	Al ₂ O ₃
6	Anti-explosion network	Stainless steel gauze (SUS316 100-mesh)
7	Clamp ring	Copper plating Ni
8	Resin base	Bakelite
9	Tube Pin	Copper plating Ni



Structure and configuration of MQ-131 gas sensor is shown as Fig.1, sensor composed by micro Al_2O_3 ceramic tube, Metal-oxide semiconductor sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by nylon and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-131 have 6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as above Fig.1.

E. Sensitivity characteristic curve

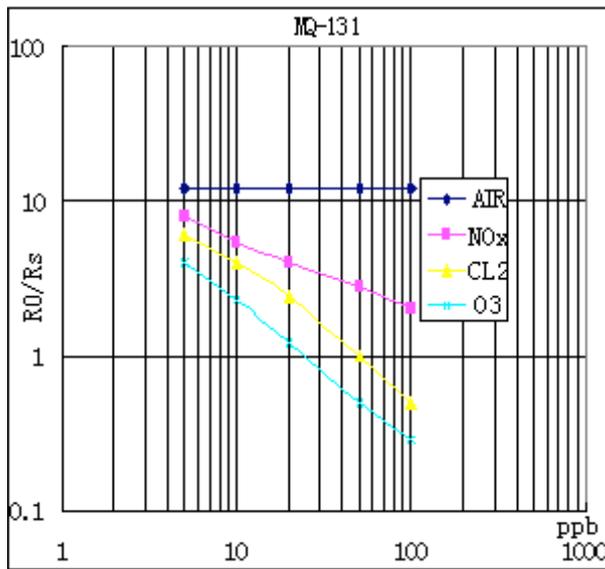


Fig.3 sensitivity characteristics of the MQ-131

Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-131 for several gases.

in their: Temp: 20
Humidity: 65%

O_2 concentration 21%
 $R_L = 20k\Omega$

R_0 : sensor resistance in the clean air.

R_s : sensor resistance at various concentrations of gases.

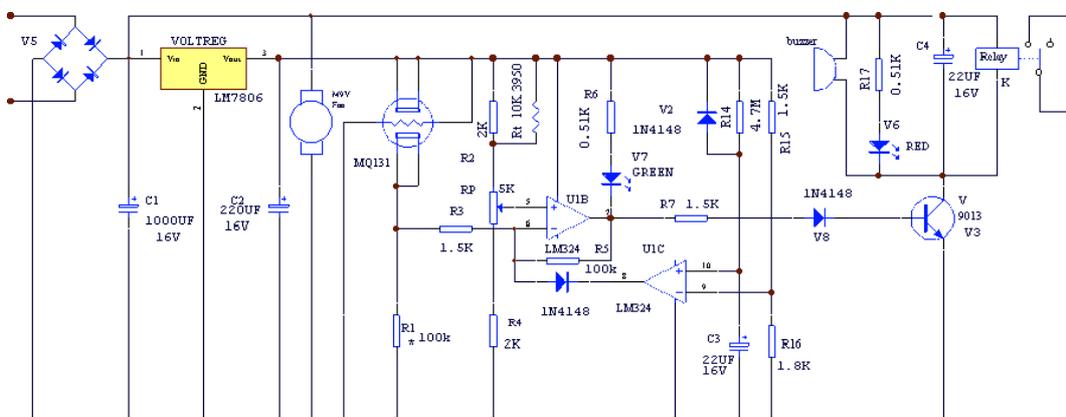
APPLICATION

Resistance value of MQ-131 is difference to various kinds and various

Concentration gases. When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 50ppb O_3 in air and use value of Load resistance that (R_L) about 100 $K\Omega$ (50 $K\Omega$ to 200 $K\Omega$). When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.

Noting: there are a round hole in the up and down side of the sensors, this design enable the sensor inner gas to exchange better with outside air, and the sensor shall has higher sensitivity, quicker response and resume time with a fan .

REFERENCE APPLICATION CIRCUIT:



TECHNICAL DATA MQ-135 GAS SENSOR

FEATURES

- Wide detecting scope
- Fast response and High sensitivity
- Stable and long life
- Simple drive circuit

APPLICATION

They are used in air quality control equipments for buildings/offices, are suitable for detecting of NH₃, NO_x, alcohol, Benzene, smoke, CO₂, etc.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V _c	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V _H	Heating voltage	5V±0.1	AC OR DC
R _L	Load resistance	can adjust	
R _H	Heater resistance	33Ω±5%	Room Tem
P _H	Heating consumption	less than 800mw	

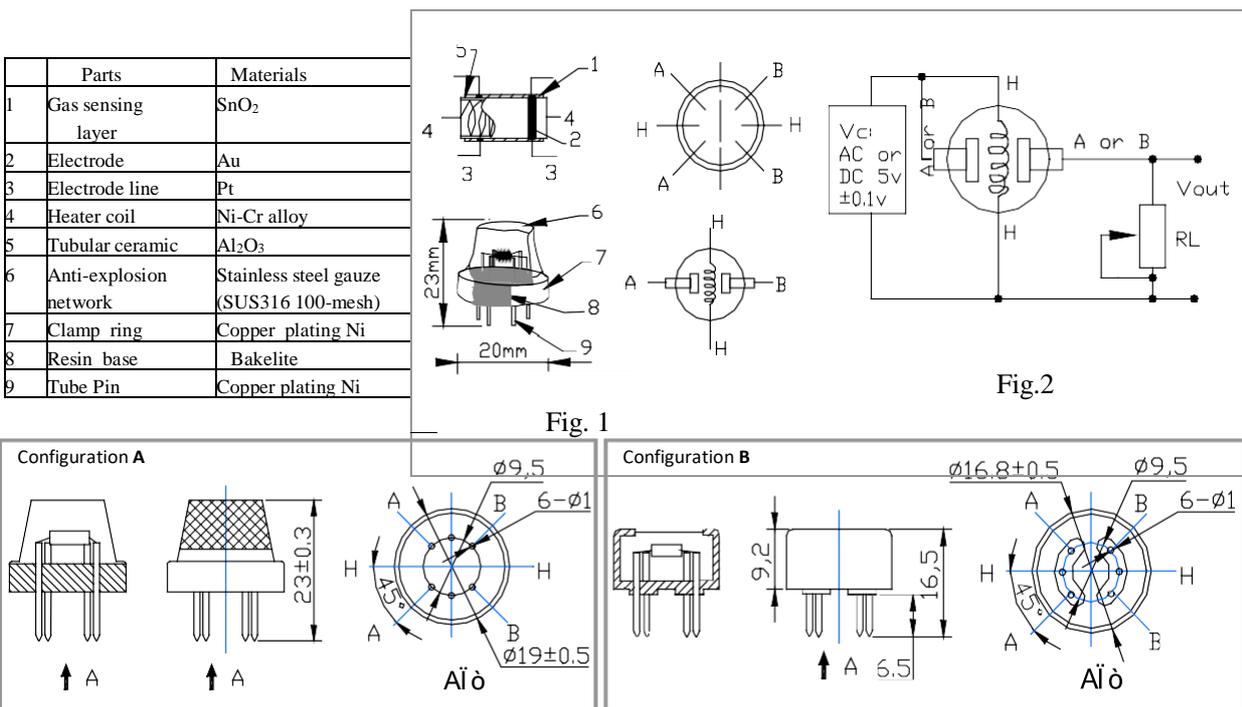
B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T _{ao}	Using Tem	-10 -45	
T _{as}	Storage Tem	-20 -70	
R _H	Related humidity	less than 95%Rh	
O ₂	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remark 2
R _s	Sensing Resistance	30KΩ-200KΩ (100ppm NH ₃)	Detecting concentration scope 10ppm-300ppm NH ₃ 10ppm-1000ppm Benzene 10ppm-300ppm Alcohol
α (200/50) NH ₃	Concentration Slope rate	≤0.65	
Standard Detecting Condition	Temp: 20 ±2 V _c :5V±0.1 Humidity: 65%±5% V _H : 5V±0.1		
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit



Structure and configuration of MQ-135 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro Al_2O_3 ceramic tube, Tin Dioxide (SnO_2) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-135 have 6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-135

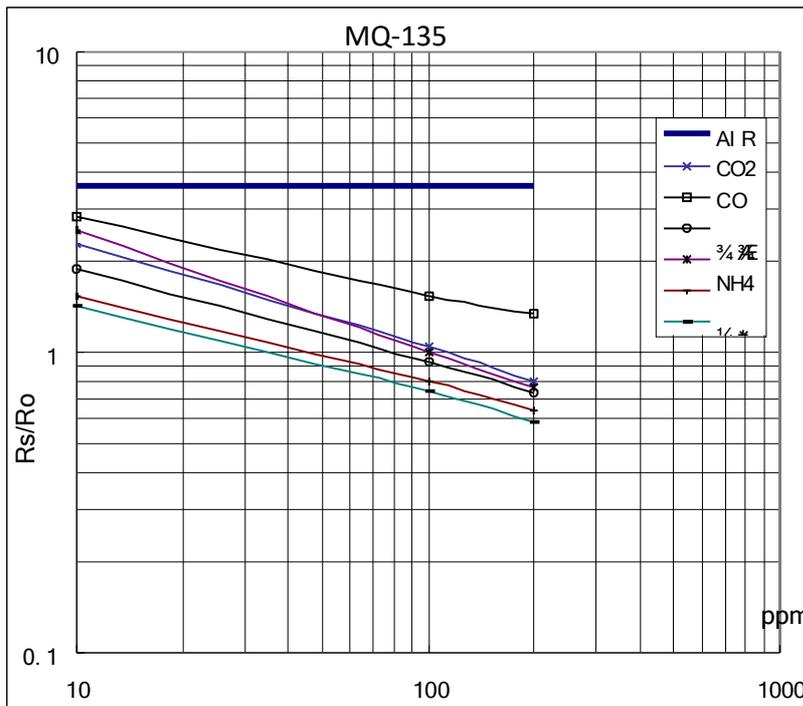


Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-135 for several gases.

in their: Temp: 20
Humidity: 65%

O_2 concentration 21%
 $R_L = 20k\Omega$

R_o : sensor resistance at 100ppm of NH_3 in the clean air.

R_s : sensor resistance at various concentrations of gases.

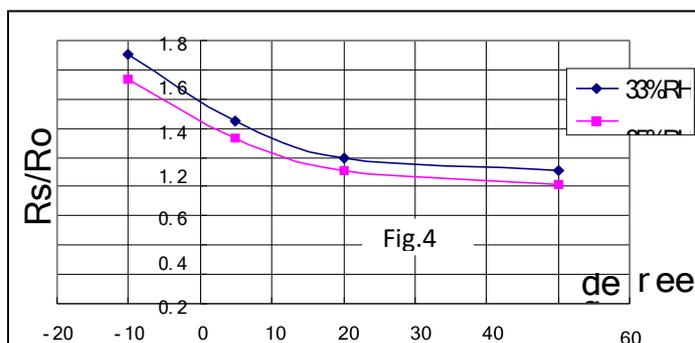


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-135 on temperature and humidity.

R_o : sensor resistance at 100ppm of NH_3 in air at 33% RH and 20 degree.

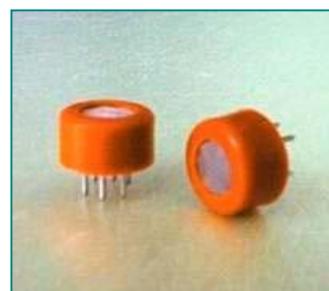
R_s : sensor resistance at 100ppm of NH_3

at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-135 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 100ppm NH_3 or 50ppm Alcohol concentration in air and use value of Load resistance that (R_L) about 20 $K\Omega$ (10 $K\Omega$ to 47 $K\Omega$).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.

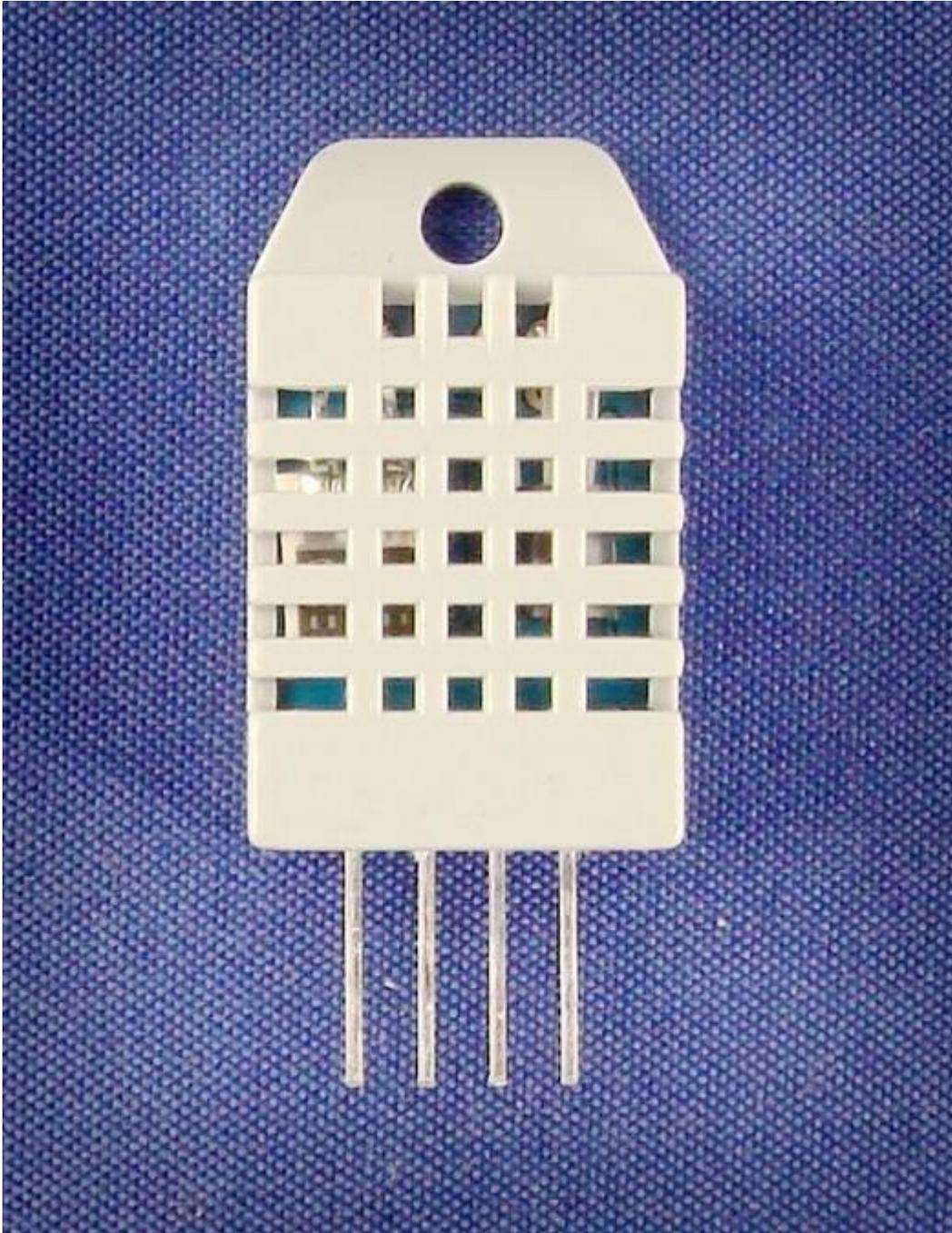


Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

Digital-output relative humidity & temperature sensor/module

DHT22 (DHT22 also named as AM2302)



Capacitive-type humidity and temperature module/sensor

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

1. Feature & Application:

- * Full range temperature compensated
- * Relative humidity and temperature measurement
- * Calibrated digital signal
- * Outstanding long-term stability
- * Extra components not needed
- * Long transmission distance
- * Low power consumption
- * 4 pins packaged and fully interchangeable

2. Description:

DHT22 output calibrated digital signal. It utilizes exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability. Its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in type of programme in OTP memory, when the sensor is detecting, it will cite coefficient from memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(20m) enable DHT22 to be suited in all kinds of harsh application occasions.

Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

3. Technical Specification:

Model	DHT22
Power supply	3.3-6V DC
Output signal	digital signal via single-bus
Sensing element	Polymer capacitor
Operating range	humidity 0-100% RH; temperature -40~80 Celsius
Accuracy	humidity +-2% RH(Max +-5% RH); temperature <+-0.5 Celsius
Resolution or sensitivity	humidity 0.1% RH; temperature 0.1 Celsius
Repeatability	humidity +-1% RH; temperature +-0.2 Celsius
Humidity hysteresis	+0.3% RH
Long-term Stability	+0.5% RH/year
Sensing period	Average: 2s
Interchangeability	fully interchangeable
Dimensions	small size 14*18*5.5mm; big size 22*28*5mm

4. Dimensions: (unit ---mm)

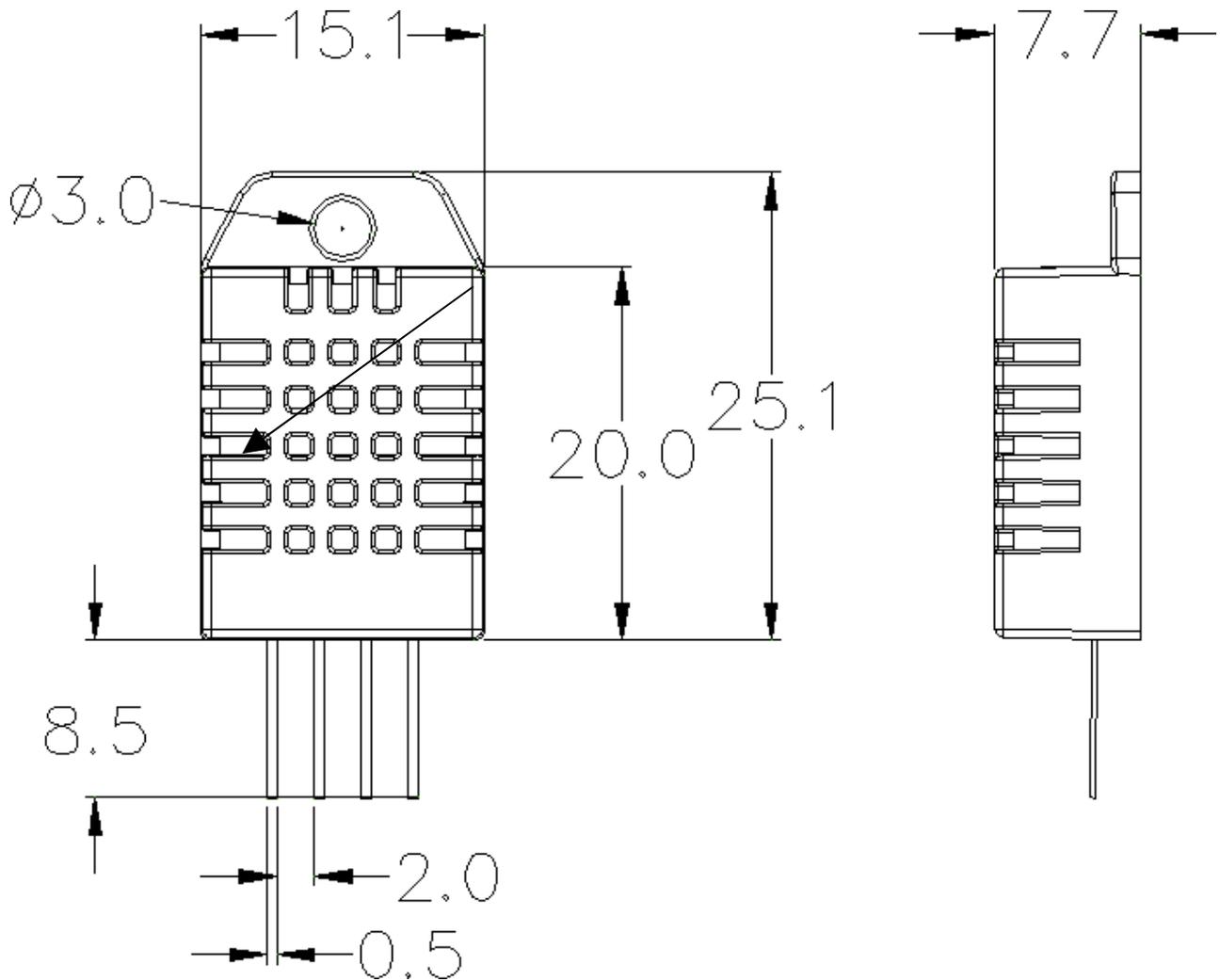
- 1) Small size dimensions: (unit ----- mm)

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors



Pin sequence number: 1 2 3 4 (from left to right direction).

Pin	Function
1	VDD--- power supply
2	DATA--signal
3	NULL
4	GND

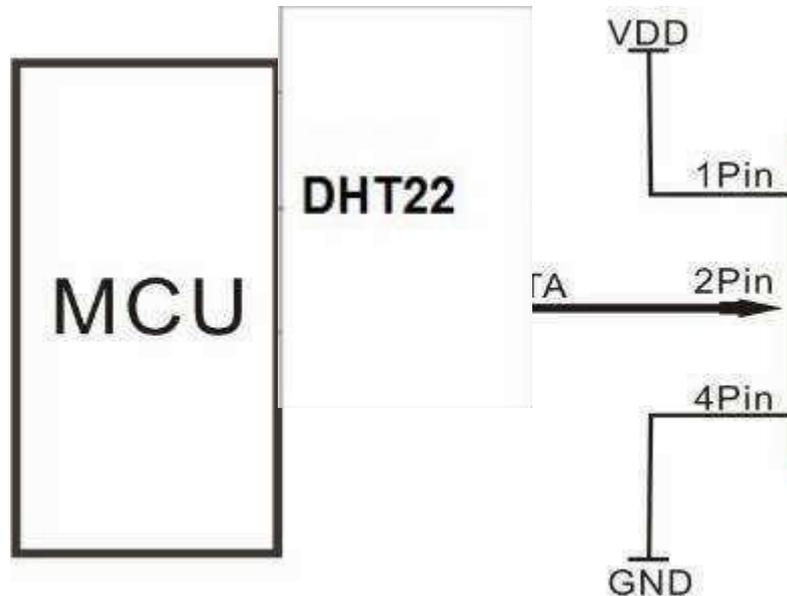
Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

5. Electrical connection diagram:



3Pin---NC, AM2302 is another name for DHT22

6. Operating specifications:

(1) Power and Pins

Power's voltage should be 3.3-6V DC. When power is supplied to sensor, don't send any instruction to the sensor within one second to pass unstable status. One capacitor valued 100nF can be added between VDD and GND for wave filtering.

(2) Communication and signal

Single-bus data is used for communication between MCU and DHT22, it costs 5mS for single time communication.

Data is comprised of integral and decimal part, the following is the formula for data.DHT22

send out higher data bit firstly!

DATA=8 bit integral RH data+8 bit decimal RH data+8 bit integral T data+8 bit decimal T data+8 bit check-sum

If the data transmission is right, check-sum should be the last 8 bit of "8 bit integral RH data+8 bit decimal RH data+8 bit integral T data+8 bit decimal T data".

When MCU send start signal, DHT22 change from low-power-consumption-mode to running-mode. When MCU finishes sending the start signal, DHT22 will send response signal of 40-bit data that reflect the relative humidity

Thomas Liu (Business Manager)

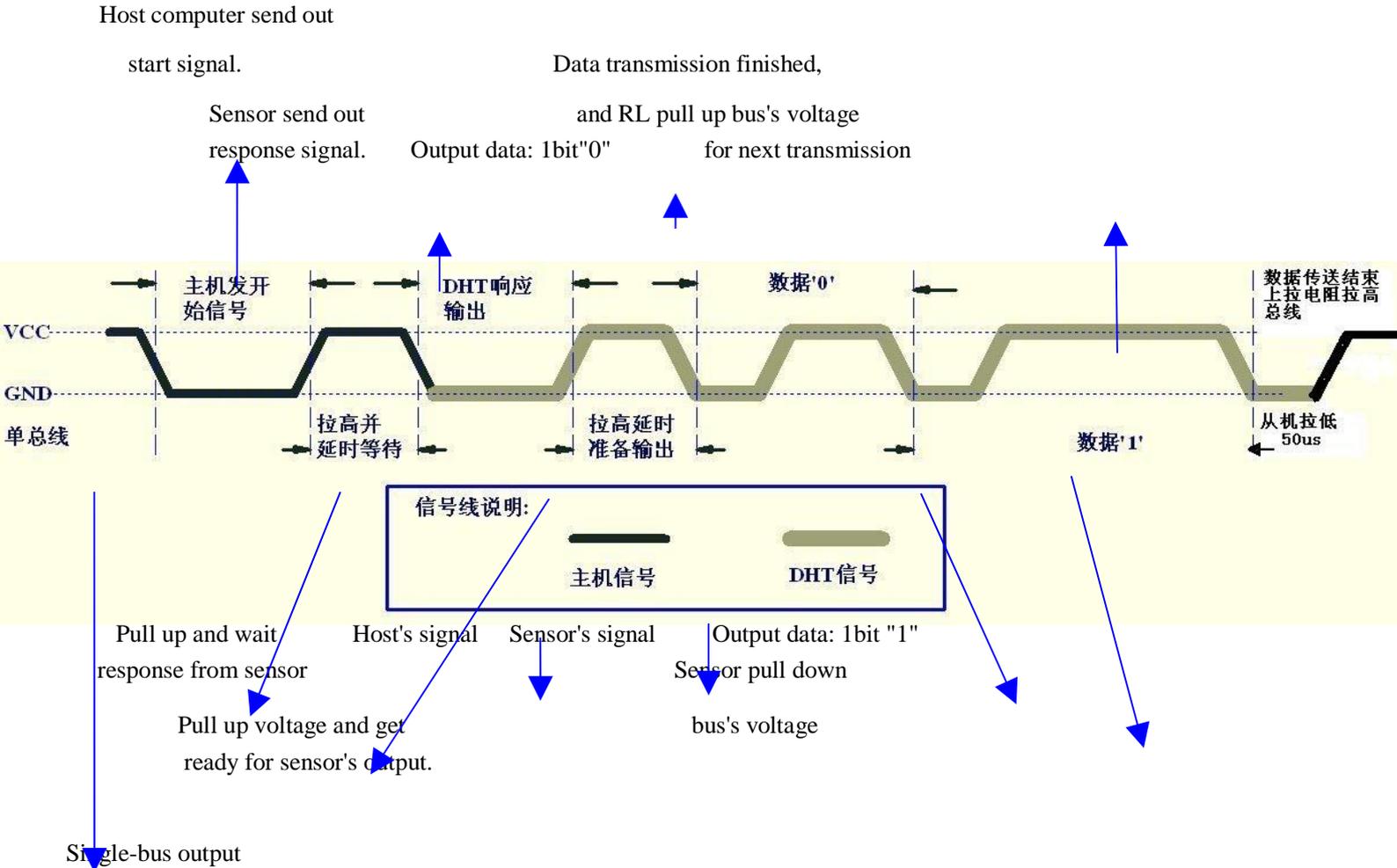
Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

and temperature information to MCU. Without start signal from MCU, DHT22 will not give response signal to MCU. One start signal for one time's response data that reflect the relative humidity and temperature information from DHT22. DHT22 will change to low-power-consumption-mode when data collecting finish if it don't receive start signal from MCU again.

1) Check bellow picture for overall communication process:



2) Step 1: MCU send out start signal to DHT22

Data-bus's free status is high voltage level. When communication between MCU and DHT22 begin, program of MCU will transform data-bus's voltage level from high to low level and this process must beyond at least 1ms to ensure DHT22 could detect MCU's signal, then MCU will wait 20-40us for DHT22's response.

Check bellow picture for step 1:

Thomas Liu (Business Manager)

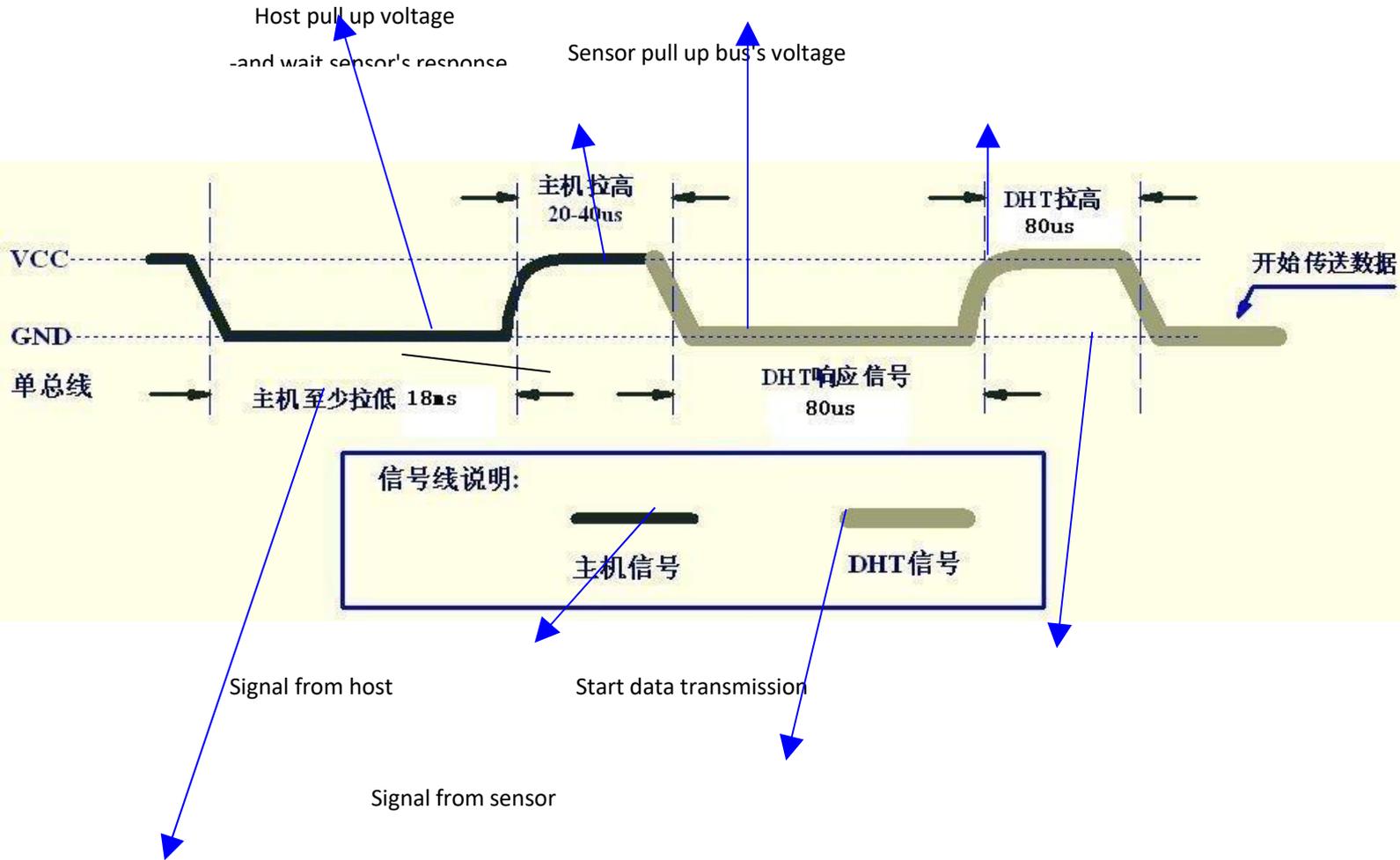
Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

Host computer send start signal
and keep this signal at least **1ms**

Sensor send out response signal
and keep this signal **80us**



Single-bus signal

Step 2: DHT22 send response signal to MCU

When DHT22 detect the start signal, DHT22 will send out low-voltage-level signal and this signal last 80us as response signal, then program of DHT22 transform data-bus's voltage level from low to high level and last 80us for DHT22's preparation to send data.

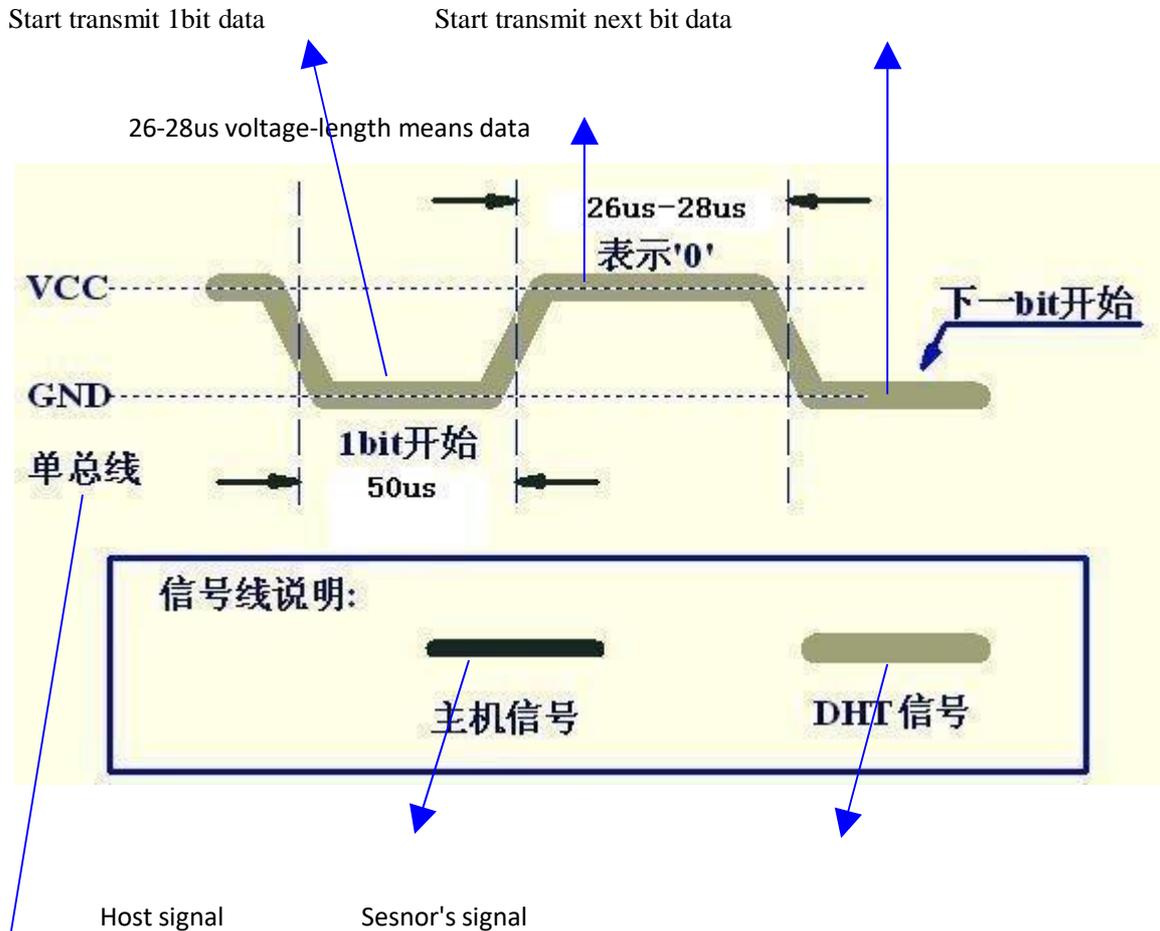
Check bellow picture for step 2:

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors



Single-bus signal

Step 3: DHT22 send data to MCU

When DHT22 is sending data to MCU, every bit's transmission begin with low-voltage-level that last 50us, the following high-voltage-level signal's length decide the bit is "1" or "0".

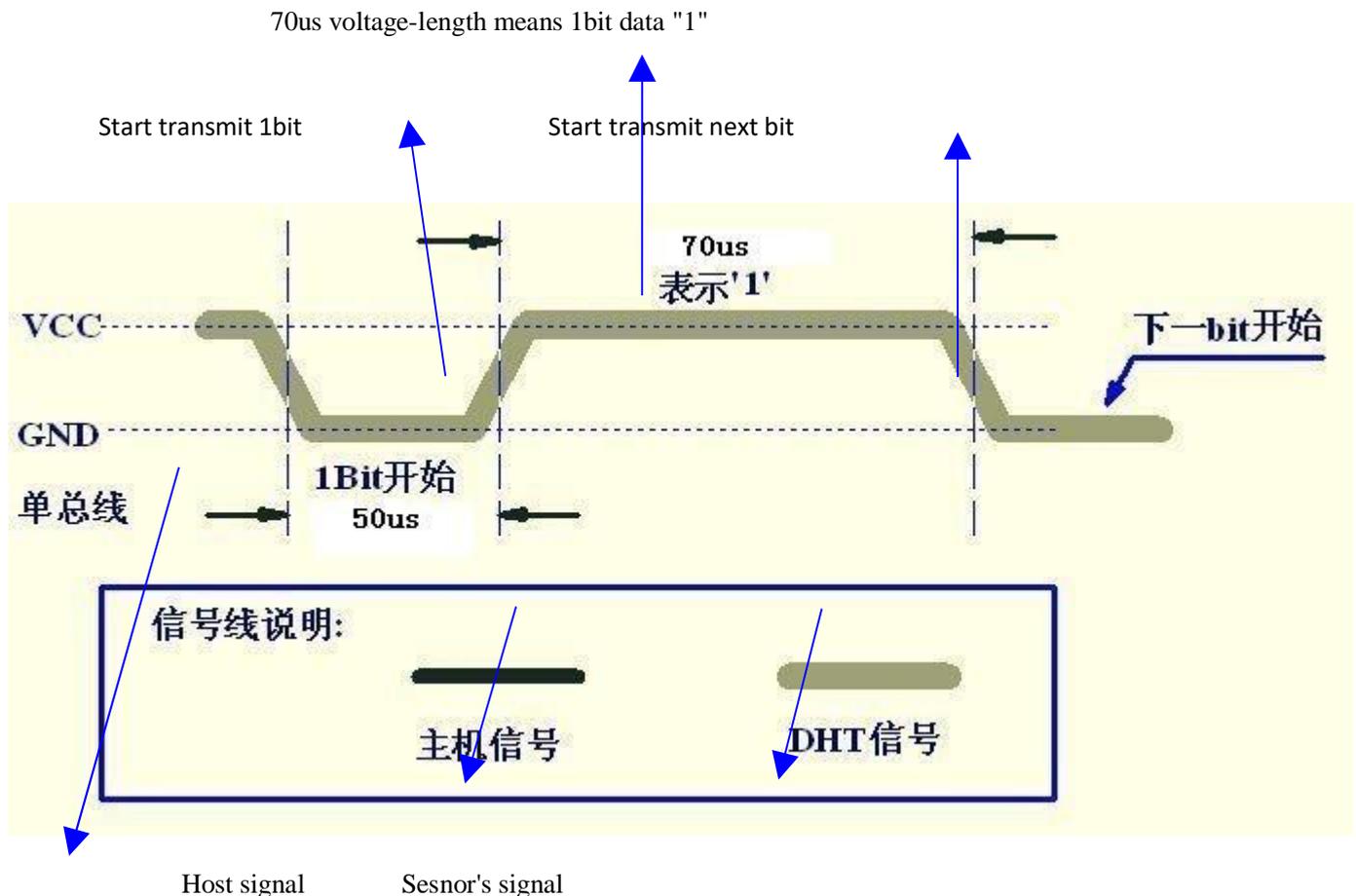
Check bellow picture for step 3:

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors



Single-bus signal

If signal from DHT22 is always high-voltage-level, it means DHT22 is not working properly, please check the electrical connection status.

7. Electrical Characteristics:

Item	Condition	Min	Typical	Max	Unit
Power supply	DC	3.3	5	6	V
Current supply	Measuring	1		1.5	mA
	Stand-by	40	Null	50	uA
Collecting period	Second		2		Second

*Collecting period should be : >2 second.

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

8. Attentions of application:

(1) Operating and storage conditions

We don't recommend the applying RH-range beyond the range stated in this specification. The DHT22 sensor can recover after working in non-normal operating condition to calibrated status, but will accelerate sensors' aging.

(2) Attentions to chemical materials

Vapor from chemical materials may interfere DHT22's sensitive-elements and debase DHT22's sensitivity.

(3) Disposal when (1) & (2) happens

Step one: Keep the DHT22 sensor at condition of Temperature 50~60Celsius, humidity <10%RH for 2 hours;

Step two: After step one, keep the DHT22 sensor at condition of Temperature 20~30Celsius, humidity >70%RH for 5 hours.

(4) Attention to temperature's affection

Relative humidity strongly depend on temperature, that is why we use temperature compensation technology to ensure accurate measurement of RH. But it's still be much better to keep the sensor at same temperature when sensing.

DHT22 should be mounted at the place as far as possible from parts that may cause change to temperature.

(5) Attentions to light

Long time exposure to strong light and ultraviolet may debase DHT22's performance.

(6) Attentions to connection wires

The connection wires' quality will effect communication's quality and distance, high quality shielding-wire is recommended.

(7) Other attentions

* Welding temperature should be bellow 260Celsius.

* Avoid using the sensor under dew condition.

* Don't use this product in safety or emergency stop devices or any other occasion that failure of DHT22 may cause personal injury.

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn