

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI OUZOU**



**FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE**  
**DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE**

**Mémoire de Fin d'Etude de Master**  
**ACADEMIQUE**

**Filière : Génie Electrique**

**Spécialité : Electronique Biomédicale**

*Présenté par*

**Mouloud DOUAI**

**Ilyas CHERFI**

**Mémoire dirigé par Mr. Hakim ACHOUR**

Thème

**Conception et réalisation d'un système  
automatique de mesure gaz avec la  
compensation des grandeurs d'influence**

## Remerciement

Avant tout nous tenons à remercier celui qui nous a créé, protégé, aidé et nous a donné la patience et le courage pour pouvoir accomplir entre autre notre mémoire de fin d'étude dans les meilleurs conditions en disant « Dieu Merci ».

Ce mémoire n'aurait jamais été entrepris ni achevé sans la patiente assistance, les méticuleux contrôles et suivis que m'a prodigué notre promoteur, Mr ACHOUR Hakim qui a accepté de nous encadrer, ainsi que les savants conseils et orientations de Mr LAGHROUCHE Mourad, nous leur témoignons ici de notre gratitude et reconnaissance.

Nous tenons également à remercier :

Mr BENNAMANE Kamal pour l'honneur qu'il nous fait de présider le jury et d'évaluer ce travail.

Mr LAGHROUCHE Mourad, Mr KANANE Hocine pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous remercions tous nos enseignants durant notre cursus pour leur contribution et le temps qu'ils ont consacré pour nous instruire. Qu'ils veuillent apercevoir ici nos termes les plus sincères de remerciements.

Une pensée émue pour nos amis qui nous ont beaucoup aidé dans ce travail, particulièrement : SEDIRI Djebar, BELAKEBI Said, CHERFI Firouz, IGOUGIL Lila, et tous ceux et toutes celles qui nous ont encouragé, à quelque titre ou degré que ce soit, à achever ce mémoire, qui est notre modeste contribution à la recherche scientifique.

## **DEDICACES**

A ma très chère mère qui s'est tant sacrifiée pour les besoins de nos études,

A mon très cher père pour tous les efforts consentis afin de nous armer du  
savoir,

A mes frères Djaffar et Mhena, mes sœurs : Nadira, Rachida, Fariza, Saida,  
Samia, Lila, Amina ; pour leur affectueux soutien moral,

A toute ma famille,

A tous mes enseignants,

A tous mes amis sans exception,

A tous ceux à qui je tiens.

**Mouloud. D**

## **DEDICACES**

A ma très chère mère qui s'est tant sacrifiée pour les besoins de nos études,

A mon très cher père pour tous les efforts consentis afin de nous armer du

savoir,

A mon frère Amirouch, mes sœurs : Lidia, tassadit, meriem ; pour leur

affectueux soutien moral,

A toute ma famille,

A tous mes enseignants,

A tous mes amis(e) sans exception,

A tous ceux à qui je tiens.

**Ilyas. C**

# SOMMAIRE

<b>Chapitre I : Généralités sur les gaz et les capteurs.....</b>	<b>10</b>
<b>I.1. Introduction :.....</b>	<b>10</b>
<b>I.2. Généralités sur les gaz :.....</b>	<b>11</b>
<b>I.2.1. Définition : .....</b>	<b>11</b>
<b>I.2.2. Propriétés physiques des gaz :.....</b>	<b>11</b>
<b>I.2.3. Grandeurs physiques caractéristiques d'un gaz : .....</b>	<b>11</b>
<b>I.2.4. Comportement qualitatif d'un gaz :.....</b>	<b>11</b>
<b>I.2.5. Principaux types de gaz : .....</b>	<b>12</b>
<b>I.2.6. Unité de mesure de concentrations des gaz :.....</b>	<b>12</b>
<b>I.3. Capteurs de gaz.....</b>	<b>14</b>
<b>I.3.1. Définition d'un capteur de gaz .....</b>	<b>14</b>
<b>I.3.2. Principales familles de capteurs.....</b>	<b>14</b>
<b>I.3.3. Caractéristiques d'un capteur de gaz.....</b>	<b>18</b>
<b>I.3.4. Capteurs de gaz à base d'oxyde métallique :.....</b>	<b>20</b>
<b>I.4. Conclusion : .....</b>	<b>26</b>
<b>Chapitre II : Conception du système de détection de gaz .....</b>	<b>27</b>
<b>II.1 Introduction :.....</b>	<b>27</b>
<b>II.2 Partie acquisition et de transmission :.....</b>	<b>28</b>
<b>II.2.1 Bloc acquisition :.....</b>	<b>28</b>
<b>II.2.2 Bloc transmission :.....</b>	<b>44</b>
<b>II.2.2 Bloc transmission :.....</b>	<b>44</b>
<b>II.2.3 Bloc traitement : .....</b>	<b>49</b>
<b>Chapitre III : Réalisation du système de détection de gaz</b>	
<b>III.1. Introduction : .....</b>	<b>63</b>
<b>III.2. Bloc acquisition et transmission : .....</b>	<b>64</b>
<b>III.2.1. Le « TGS2620 » Conditionnement :.....</b>	<b>64</b>
<b>III.2.2. Le « SHT75 » Conditionnement : .....</b>	<b>65</b>
<b>III.2.3. Bloc transmission :.....</b>	<b>66</b>
<b>III.2.4. Assemblage : .....</b>	<b>67</b>

<b>III.3.Bloc réception et surveillance :</b> .....	<b>71</b>
<b>III.3.1La réception :</b> .....	<b>71</b>
<b>III.3.2.Leds et Buzzer :</b> .....	<b>72</b>
<b>III.3.3.Circuit imprimé :</b> .....	<b>72</b>
<b>III.3.4.Liste des composants :</b> .....	<b>73</b>
<b>III.3.5.Implantation des composants :</b> .....	<b>73</b>
<b>III.4.Boitier du bloc acquisition et transmission :</b> .....	<b>76</b>
<b>III.5.Boitier du bloc reception et surveillance :</b> .....	<b>76</b>
<b>III.7.Processing :</b> .....	<b>77</b>
<b>III.7.1.Petit aperçu sur le programme du bloc réception et surveillance:</b> .....	<b>78</b>
<b>III.8.Conclusion :</b> .....	<b>79</b>

# Introduction Générale

Un gaz est un ensemble d'atomes ou de molécules très faiblement liés et quasi-indépendants. Dans l'état gazeux, la matière n'a pas de forme propre ni de volume propre : un gaz tend à occuper tout le volume disponible. Cette phase constitue l'un des trois états dans lequel peut se trouver un corps pur, les autres étant les phases solide et liquide.

Les gaz hydrocarbures sont la deuxième source d'énergie après le pétrole, leur combustion facile donne un avantage majeur dans l'utilisation de ces derniers, ils sont très présents dans le domaine industriel et les domiciles familiaux. Ces gaz peuvent être nocifs pour la santé humaine. Le méthane ou le propane à titre d'exemple provoquent des nausées et même causer la mort, lorsqu'ils sont respirés à haute concentration.

La combustion incomplète du carbone, due à une insuffisance d'air ou d'oxygène, est source de monoxyde de carbone (CO) (charbon, bois, gaz naturel, huile, essence, fuel, etc.).

Le CO est un gaz toxique, inodore, incolore, à peine plus léger que l'air et se mélangeant donc très vite avec celui-ci, qui est très utilisé en milieu industriel en tant que combustible.

Les accidents dus aux installations gaz, sont responsables d'un nombre important de victimes. La vétusté des installations, l'absence d'entretien des appareils et certains comportements imprudents sont des facteurs de risque : 98 % des accidents, fuites et explosions sont recensés dans les installations intérieures.

Alors comment peut-on se protéger de ces gaz, tout aussi utiles que toxiques, et comment peut-on réduire les accidents liés aux fuites de ces gaz ?

Si jusqu'au 18<sup>e</sup> siècle, l'intérêt de tels systèmes s'avérait limité, l'histoire des capteurs de gaz, relativement courte, est allée de pair avec celle de l'industrialisation. Dans un contexte d'exploitation de plus en plus importante des ressources minières, la nécessité de pouvoir se prémunir contre les risques d'accident s'est faite de plus en plus prégnante. Ainsi, les premiers détecteurs massivement utilisés furent au 19<sup>e</sup> siècle les canaris (Figure n°1), dont le changement de comportement ou la mort précoce permettait de repérer la présence de poches de gaz dans les mines de charbon. Les mineurs pouvaient ainsi parfois éviter l'intoxication ou pire, le coup de grisou : l'explosion d'une poche de gaz (essentiellement du méthane) libérée

par accident. Toutefois, la fiabilité douteuse et le manque de précision de ce mode de détection couplé à une croissance massive de l'exploitation des ressources ont rendu nécessaire le développement de nouveaux moyens de mesure.



**Figure n°01 – A gauche : boîte contenant un canari, le premier capteur de gaz connu. Utilisé dans les mines pour détecter la présence de méthane ou de monoxyde de carbone. La bouteille d'air comprimé permet de maintenir l'oiseau en vie. A droite : une lampe de sûreté, utilisée comme alternative au canari. Elle représente le premier capteur de gaz artificiel de l'histoire.**

La lampe de sûreté, qui permet de générer une explosion confinée en présence de méthane est, à ce titre, le premier exemple de capteur de gaz artificiel. Bien qu'étant simples, ces méthodes de mesures furent utilisées plusieurs décennies durant, les canaris étant par exemple utilisés dans certaines mines jusqu'au milieu des années 1903. Avec les avancées industrielles dans les domaines de l'exploitation des énergies, la mise en œuvre de systèmes d'analyse plus complexes a été rendue nécessaire. Il ne s'agit plus seulement de détecter la présence de méthane, mais de déterminer la composition et les concentrations de mélanges gazeux.

L'apparition des premiers détecteurs de gaz dans les années 1970 au Japon ont permis de faire chuter de plus de 60% le nombre d'accidents dus aux bouteilles de gaz domestiques sur 10 ans. Ces détecteurs sont à base de capteur d'oxyde métallique, leur principe de fonctionnement est basé sur la variation de la conductivité d'une couche d'oxyde métallique en fonction de la composition gazeuse environnante. La structure de ces capteurs peut être miniaturisée, ce qui se traduit par une puissance électrique consommée réduite. De plus, leur

fabrication est compatible avec les procédés utilisés en microélectronique. Il en découle un faible coût de fabrication et la possibilité d'intégrer le capteur et les circuits électroniques associés dans un seul composant.

Outre que cette génération de capteur, L'utilisation des microcontrôleurs permet d'élargir ce domaine, il devient possible de mémoriser les mesures, de calculer des moyennes dans le temps et aussi faire un système d'alarme et de surveillance pour gérer les fuites de gaz.

C'est dans ce contexte que notre travail a été réalisé. Nous allons concevoir et réaliser un système automatique de mesure gaz à base d'un capteur MOX le « FIGARO TGS 2620 » et un microcontrôleur « ATMEGA2560 » avec système d'aération et d'alarme. Et pour cela nous avons réparti notre travail en trois grands chapitres comme suit :

Dans le **premier chapitre**, après avoir donné quelques notions sur les gaz, leur comportement et leurs caractéristiques, nous allons présenter les familles de capteurs et plus précisément les oxydes métalliques, en expliquant leur structure interne et l'influence de l'environnement extérieur sur la sensibilité de ces derniers.

Le **deuxième chapitre** est réparti en deux parties ; la première est consacrée à la présentation des modules et des capteurs utilisés pour notre conception. En effet c'est dans cette partie que nous allons effectuer l'étalonnage du « TGS 2620 », et étudier le phénomène de compensation pour obtenir les bonnes concentrations gazeuses dans différentes conditions climatiques. En plus des capteurs, les modules de transmission de données « NRF24L01 », les cartes Arduino « Uno » et « ADK » et leur langage de programmation ainsi que le programme « Processing » de visualisation graphique seront aussi présentés, afin de préparer la deuxième partie.

La seconde partie est réservée à la conception, c'est là où nous allons programmer les cartes à microcontrôleurs pour accomplir les tâches souhaitées, les organigrammes seront là pour détailler les étapes du processus.

Le **troisième chapitre** est exclusivement réservé pour la pratique, nous allons effectuer le câblage de tous les modules sur leurs cartes Arduino respectives. Ces modules seront soudés sur des maquettes électroniques en forme de shield (bouclier) arduino. L'intérêt de ces boucliers c'est qu'ils sont très stables une fois fixés sur les cartes.

Le système d'aération sera aussi mit en place sur la chambre de simulation, cette dernière à pour but de contenir le gaz comme dans une chambre réelle afin de recréer les conditions de fuites dans les domiciles.

# Chapitre I

Généralités sur les gaz et les  
capteurs

## I.1. Introduction :

Ce chapitre est composé en deux parties principales, la première est celle dans laquelle on va faire un petit aperçu sur les gaz, leurs caractéristiques, leur comportement, ainsi que leurs principaux types. Comme certains de ces types sont nocifs pour notre santé, alors on va pouvoir cerner quelques gaz, voir leurs concentrations maximales et quel est leur impacte sur la santé humaine.

Dans la deuxième partie, nous présenterons d'abord les principales familles de détection des gaz. En particulier les différents types de capteurs, et plus particulièrement les capteurs à base d'oxyde métallique. Ensuite on fera une étude plus détaillée sur leur structure interne et leur principe de fonctionnement. On termine ainsi avec l'interaction gaz et solide pour comprendre ce qui se passe lorsqu'un oxyde métallique est mis en contact avec un environnement gazeux.

## I.2. Généralités sur les gaz :

### I.2.1. Définition :

Un gaz est un ensemble d'atomes ou de molécules très faiblement liés et quasi indépendants. Dans l'état gazeux, la matière n'a pas de forme propre ni de volume propre. Cette phase constitue l'un des trois états dans lequel peut se trouver un corps pur.

### I.2.2. Propriétés physiques des gaz :

Les molécules gazeuses sont continuellement en mouvement, elles ne se touchent que lors de collisions accidentelles. Les distances qui les séparent sont généralement très grandes comparées au diamètre de ces molécules.

Les gaz n'ont donc pas de forme propre ils ont la particularité d'occuper tout l'espace qui leur est offert et sont compressibles.

### I.2.3. Grandeurs physiques caractéristiques d'un gaz :

- **La température** : caractérise l'agitation thermique d'un gaz.
- **la pression** : créée par les chocs continuels des molécules sur la surface des parois du récipient.
- **le volume** : celui du récipient, car le gaz occupe tout l'espace qui lui est offert.
- **La quantité de matière** : nombre de molécules constituant le gaz.

### I.2.4. Comportement qualitatif d'un gaz :

- Un gaz s'étend dans tout l'espace disponible. Il est facilement compressible.
- Le poids d'un gaz est toujours très faible car sa masse volumique est toujours faible.
- Un gaz exerce une pression sur les parois du récipient le contenant. Cette pression augmente si on le chauffe car sa température augmente et le gaz tend alors à se dilater. Si on le comprime fortement, sa température augmente.

## I.2.5. Principaux types de gaz :

On peut distinguer différentes catégories de gaz :

### **Gaz toxiques :**

Tout gaz ou mélange de gaz qui présente un effet nocif et aigu sur l'organisme, comme le monoxyde de carbone.

### **Gaz asphyxiant :**

Tout gaz ou mélange de gaz dont la teneur en oxygène, nulle ou inférieure à 20%, n'entretient pas la vie. Par dilution ou remplacement de l'oxygène normalement présent dans l'air, il entraîne l'asphyxie.

### **Gaz inflammable :**

Tout gaz ou mélange de gaz qui se comporte comme un combustible et peut s'enflammer dans l'air.

Un gaz inflammable expose au risque d'incendie et d'explosion. Exemples : hydrogène, butane, acétylène.

### **Gaz oxydant :**

Tout gaz ou mélange de gaz qui entretient la combustion. Autrement appelé comburant. Un tel gaz expose au risque d'incendie et d'explosion.

Exemples : oxygène, protoxyde d'azote

### **Gaz médical :**

Tout gaz ou mélange de gaz destiné à être administré à des patients à des fins thérapeutiques ou diagnostiques, exerçant son action par des moyens pharmacologiques et ayant le statut de médicament.

## I.2.6. Unité de mesure de concentrations des gaz :

Ppm ou ppmv = Partie par million en volume

C'est-à-dire : sur un million de molécules d'air, on trouve une molécule du gaz en question.

Ppb ou ppbv = Partie par milliard (billion en anglais) en volume, soit =  $1\text{mm}^3/\text{m}^3$ .

Ppt ou pptv = Partie par trillion en volume, unité rarement employée dans le rapport.

## Chapitre I : Généralités sur les gaz et les capteurs

### I.2.6.1. Quelques gaz et leurs concentrations maximales :

Le tableau ci-dessous représente les différentes concentrations maximales des différents gaz en présence de l'air.

Gaz	Concentration max (ppm)
Méthane «CH <sub>4</sub> »	1650
Isobutane « C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> »	1300
Ethanol « C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O »	2000
Hydrogène « H <sub>2</sub> »	50
Monoxyde de carbone « CO »	200
Dioxyde de carbone «CO <sub>2</sub> »	1000
Oxyde d'azote	25
Ammoniac	20

Tableau n°01:concentration maximal en présence de l'air

### I.2.6.2. Impacte d'une mauvaise concentration sur la santé :

Lors d'une mauvaise concentration l'air ce pollue, et les personnes qui sont en ça présence subissent des conséquences qui peuvent les conduire jusqu'à la mort. Dans le tableau suivant nous avons inscrit quelques polluants et leurs effets sur la santé :

Polluants	Effets sur la Santé
CO	A fortes doses, il est un toxique cardio-respiratoire souvent mortel. A faibles doses, il diminue la capacité d'oxygénation du cerveau, du cœur et des muscles. Sa nocivité est particulièrement importante chez les insuffisants coronariens et les fœtus.
Méthane	provoquent l'asphyxie.
Dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> )	Gaz irritant pouvant pénétrer profondément dans les poumons. Il altère l'activité respiratoire et augmente les crises chez les asthmatiques. Chez les plus jeunes, il favorise des infections microbiennes des bronches.
Ethanol	L'inhalation de vapeurs d'éthanol peut entrainer des céphalées, un léger engourdissement, une sensation de chaud et froid, une irritation nasale

Tableau°02 : représentation de quelques gaz et leurs effets sur la santé

## I.3. Capteurs de gaz

### I.3.1. Définition d'un capteur de gaz :

Un capteur de gaz est défini comme un composant dont au moins une de ses propriétés physiques change quand il est soumis à un changement d'environnement gazeux. D'une manière générale, un capteur est composé de deux éléments principaux, l'élément sensible et le transducteur. L'élément sensible est le cœur du capteur, sur lequel se passe la réaction avec l'espèce gazeuse. Le transducteur est le dispositif permettant la conversion du résultat de la réaction entre le gaz et l'élément sensible en un signal facilement mesurable (signal électrique ou optique). Parfois, l'élément sensible et le transducteur sont confondus, comme par exemple, dans les capteurs MOX.

### I.3.2. Principales familles de capteurs

De nombreux auteurs classent les capteurs en fonction de leur principe de détection. Le tableau, basé sur cette classification, présente les principaux types de capteurs. Dans ce qui suit, nous donnerons un aperçu du principe de détection de quelques types de capteurs.

Principe	Grandeur mesurée	Exemple de capteur
Potentiométrique	Tension	Cellule électrochimique
ampérométrique	courant	Cellule électrochimique
Capacitif	Capacité /charge	Capteur d'humidité
calorimétrique	température	Pellistor
gravimétrique	masse	Capteur à microbalance
résonance	Fréquence	Capteur à ondes de surface
optique	Pic d'absorption	Détecteur infrarouge
fluorescence	Intensité lumineuse	Fibre optique
résistif	résistance	Capteur MOX

**Tableau°03: Tableau : Classification des capteurs de gaz selon leur principe de détection**

## I.3.2.1. Capteur à microbalance de quartz

Le dispositif est constitué d'un matériau piézoélectrique de géométrie simple (disque ou plaque rectangulaire) utilisé dans un oscillateur. Le principe de fonctionnement repose sur la variation de la fréquence de résonance du matériau sensible quand une espèce s'adsorbe à sa surface. Cette variation est décrite par l'équation de Sauerbrey :

$$\Delta f = \left( f_c - f_q \right) = - \frac{2 \cdot f_q^2 \cdot m_f}{\rho_q \cdot v_q}$$

Où «  $m_f$  » est la masse du film par unité de surface, «  $\rho_q$  » la masse volumique, «  $f_q$  » la fréquence propre de résonance du quartz, «  $f_c$  » la fréquence de résonance du quartz en présence de l'espèce à détecter et «  $v_f$  » la vitesse de propagation de l'onde dans le quartz.

Ce type de capteur est utilisé pour détecter les composés organiques volatiles. Ses avantages sont une bonne sensibilité, un fonctionnement à la température ambiante et une réponse linéaire. Cependant, il n'est pas sélectif et, de plus, il est sensible à la température.

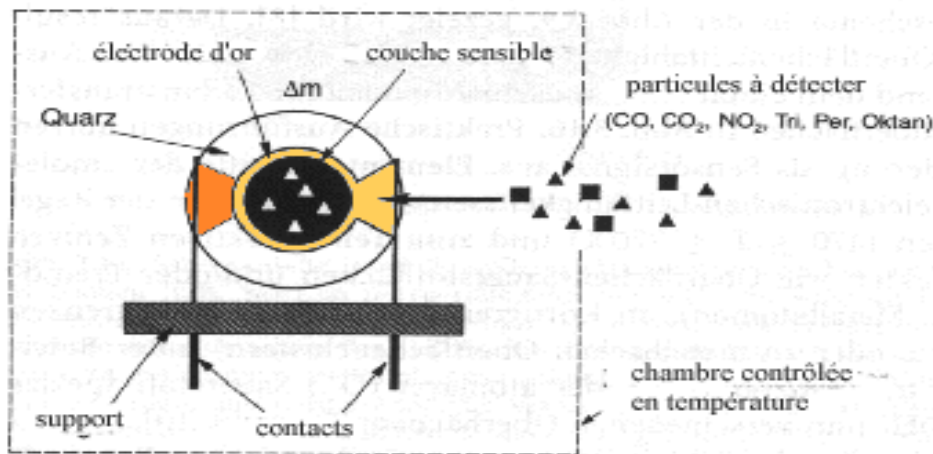


Figure n °02 : structure interne d'un capteur à microbalance de quartz

## I.3.2.2. Capteur à ondes acoustiques de surface

Le principe de fonctionnement est proche de celui des capteurs à microbalance de quartz. Sur un matériau piézo-électrique sont déposées deux paires d'électrodes interdigitées, l'une pour l'excitation des ondes, l'autre pour leur détection après propagation.

Une couche sensible est déposée sur le trajet de l'onde entre les deux électrodes. Elle permet l'adsorption de la substance à détecter. Cette adsorption modifie la propagation de l'onde et donc sa fréquence. Ces capteurs sont très sensibles.

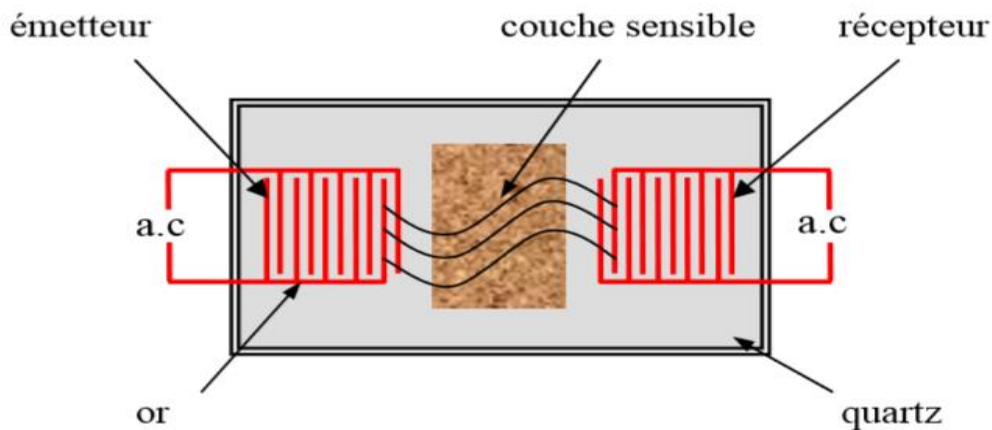


Figure n°03 : Structure d'un capteur à ondes acoustiques de surface

### I.3.2.3. Capteur à transistors à effet de champs (GASFET) :

Les capteurs de gaz de ce type ont la structure classique d'un transistor MOS à effet de champs sauf que la grille est remplacée par un oxyde métallique sensible au gaz. L'interaction de l'oxyde métallique avec le gaz à détecter se traduit par une variation de la tension de seuil du transistor. La figure présente une structure typique de ce capteur. En gardant les polarisations drain-source  $V_{DS}$  et grille-source  $V_{GS}$  constantes, la nature et la quantité du gaz adsorbé conduisent à une variation du courant drain-source  $I_{DS}$  facilement mesurable. Ce type de capteur est principalement utilisé pour la détection de l'hydrogène.

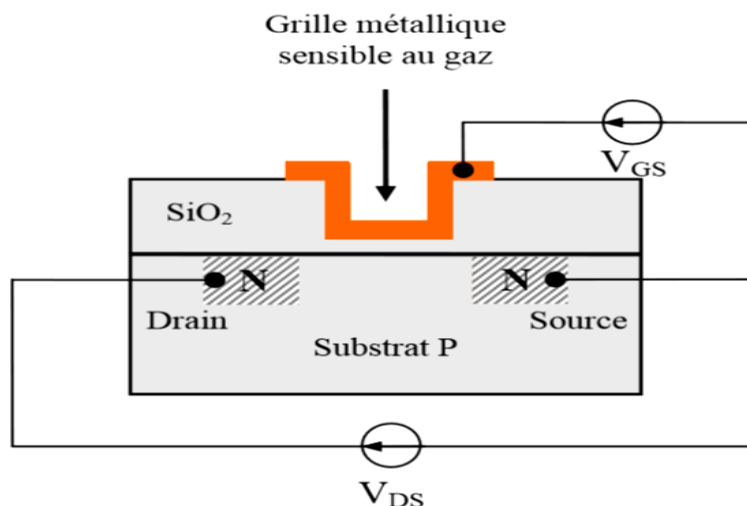


Figure n°04: Schéma d'un capteur de gaz de type GASFET

## I.3.2.4. Capteur électrochimique

Le principe de fonctionnement est basé sur les réactions d'oxydoréduction. La structure la plus simple comprend une membrane semi-perméable jouant un rôle de barrière de diffusion, un électrolyte et deux électrodes entre lesquelles est appliquée une différence de potentiel. L'absorption du gaz à détecter donne lieu à une réaction électrochimique spécifique, ce qui induit une force électromotrice liée au transfert de charges entre le gaz et la cellule. Ces capteurs sont sensibles et possèdent une bonne sélectivité aux gaz. Cependant, leur durée de vie est limitée et la mesure dépend de l'histoire du capteur.

## I.3.2.5. Capteur à fibre optique

Le principe de fonctionnement est basé sur la modification de la propagation de la lumière en présence du gaz à détecter. Il existe deux principaux types de capteurs de gaz à fibres optiques: les capteurs extrinsèques et les capteurs intrinsèques. Dans les capteurs extrinsèques, l'élément sensible se trouve au bout de la fibre, tandis que la surface de la fibre constitue elle-même l'élément sensible dans le cas des capteurs intrinsèques. La particularité de ces capteurs est qu'ils permettent de déporter la mesure dans les environnements difficiles à atteindre ou perturbés (par exemple, dans le cas de pollution radioélectrique).

## I.3.2.6. Capteur à base d'oxyde métallique

Les capteurs de gaz à base d'oxydes métalliques (capteur MOX) ont été développés par « Seiyama » et « Taguchi » dans les années 70. Ils utilisaient l'oxyde de zinc (ZnO) et le dioxyde d'étain (SnO<sub>2</sub>) comme matériaux sensibles pour la détection des gaz de pétrole liquéfiés LPG (liquid petroleum gases). Depuis, de nombreux travaux de recherches ont été réalisés et le sont encore à ce jour pour améliorer leurs performances. Le principe de détection repose sur la variation de conductivité électrique d'un oxyde métallique quand celui-ci est mis en contact avec un nouvel environnement gazeux. **Ce type de capteur étant utilisé dans notre travail, nous allons l'étudier en détail dans la suite de ce chapitre.**

## I.3.3. Caractéristiques d'un capteur de gaz

Les auteurs définissent souvent les performances d'un capteur de gaz par « la règle des 3S » (Sensibilité, Stabilité, Sélectivité). Les caractéristiques présentées ci-dessous sont utilisées pour évaluer les performances des capteurs de gaz.

### I.3.3.1. Sensibilité :

La sensibilité, par définition, est le rapport de la variation de la réponse électrique du capteur à celle de la concentration du gaz :

$$S = \frac{\Delta R}{\Delta[\text{gaz}]}$$

Cependant, dans le domaine des capteurs MOX, on utilise parfois d'autres paramètres pour traduire la sensibilité du capteur (Tableau n°3). Quelle que soit la définition utilisée, plus la valeur du paramètre est grande, mieux le capteur réagit au gaz. Actuellement, les capteurs de gaz sont suffisamment sensibles.

type	formule	mesure	Type capteur
Différence	$R_s - R_0$	Résistance	MOX
Fractionnelle	$R_s / R_0$	Résistance	MOX
Relative (utilisée dans ce travail)	$(R_s - R_0) / R_0$	Résistance	MOX
logarithmique	$\text{Ln} (R_s / R_0)$	Résistance	MOX

**Tableau n°3: Différentes définitions de la 'sensibilité' du capteur, les indices S et 0 correspondent respectivement à la mesure sous gaz et**

### I.3.3.2. Stabilité :

Ce paramètre est utilisé pour caractériser la dérive du signal du capteur dans le temps. Il existe un vieillissement du capteur, ce qui limite son utilisation à long terme. Différentes solutions sont proposées pour y remédier, notamment par un traitement préalable de la couche sensible.

## I.3.3.3. Sélectivité

La sélectivité est définie comme étant la capacité d'un capteur à répondre à un certain gaz en présence des gaz interférents. C'est le paramètre le plus important car le capteur est souvent utilisé pour détecter un gaz dans une atmosphère contenant plusieurs gaz. Actuellement, les capteurs à base d'oxydes métalliques souffrent d'un manque important de sélectivité et de nombreuses méthodes sont étudiées pour résoudre ce problème.

## I.3.3.4. Température de fonctionnement :

Le processus d'adsorption et de désorption des molécules de gaz à la surface du capteur dépend fortement de sa température de fonctionnement. Afin de garantir une bonne réversibilité des phénomènes d'adsorption et de désorption, les capteurs MOX fonctionnent à température élevée, typiquement entre 300°C et 500°C. La réduction de la température de fonctionnement entraîne une diminution de la puissance électrique consommée. Dans ce but, des recherches sur des capteurs fonctionnant à des températures plus basses ou à température ambiante sont en cours.

## I.3.3.5. Temps de réponse :

Le temps de réponse est défini comme étant le temps nécessaire pour que la réponse du capteur atteigne 90% de son amplitude maximale lorsqu'il est exposé au gaz (Figure n°05). Ce temps dépend de plusieurs paramètres tels que la température de fonctionnement du capteur et la cinétique de réponse au gaz. Pour les capteurs MOX, le temps de réponse est relativement court, en particulier avec des capteurs à base de couches minces constituées de grains de taille nanométrique. Ce temps est de l'ordre de quelques millisecondes pour l'oxygène.

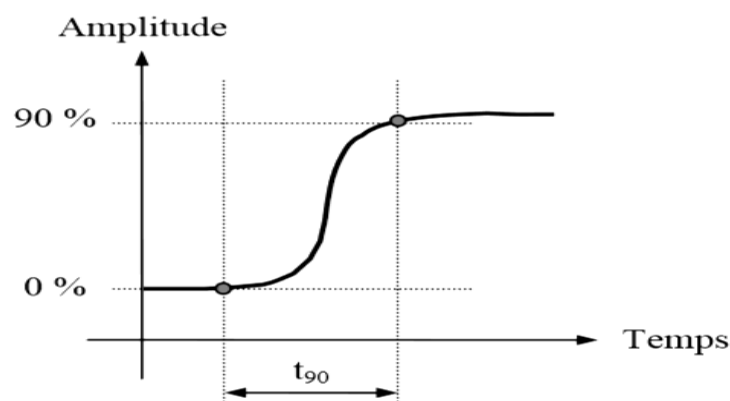


Figure n°05 : courbe du temps de réponse d'un capteur

## I.3.3.6. Autres performances

Outre les trois caractéristiques les plus importantes décrites précédemment (règle des 3S), la puissance électrique consommée, l'encombrement et le coût du capteur jouent aussi un rôle important. Ces performances sont plus facilement maîtrisables avec les technologies de la microélectronique que celles décrites précédemment.

## I.3.4. Capteurs de gaz à base d'oxyde métallique :

### I.3.4.1. Matériaux sensibles :

La plupart des oxydes métalliques présentent des variations de conductivité lorsqu'ils sont soumis à un changement de l'environnement gazeux. Les oxydes métalliques sont utilisés en couches minces ou épaisses qui peuvent être élaborées par des techniques de dépôt différentes (pulvérisation cathodique, spin-coating, évaporation...). Un matériau a une sensibilité maximum à un gaz pour une température de fonctionnement donnée. Le tableau n°4 regroupe des exemples de quelques matériaux sensibles et la température de fonctionnement optimale du capteur, ainsi que les gaz détectés. Malgré un grand nombre de matériaux testés, le dioxyde d'étain est le matériau le plus utilisé.

Matériau sensible	type	Gaz à détecter	Température (°C)
SnO <sub>2</sub>	n	O <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> SO <sub>2</sub> , Cl <sub>2</sub>	300 350
TiO <sub>2</sub>	n	O <sub>2</sub> , CO, H <sub>2</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> , NH <sub>3</sub> SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S	500 450
WO <sub>3</sub>	n	O <sub>2</sub> , CO, H <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S, NO <sub>2</sub>	500 450
CrNbO <sub>4</sub>	p	CO, H <sub>2</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> , NH <sub>3</sub>	280
CoTa <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	p	H <sub>2</sub> , CO, NH <sub>3</sub>	550
CuTa <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	n	O <sub>3</sub> , CO, H <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S	380
SrTiO <sub>3</sub>	n	O <sub>2</sub>	700-1100
CeO <sub>2</sub>	n	O <sub>2</sub>	700-1100
(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sub>0.45</sub> (V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>0.55</sub>	n	NO	315

**Tableau n°4 : Matériaux sensibles utilisés pour capteurs de gaz**

## I.3.4.2. Structure d'un capteur MOX :

Du fait que les capteurs MOX fonctionnent à température élevée (typiquement entre 300°C et 500°C), ils nécessitent une structure comportant une couche sensible associée à un élément de chauffage. La figure n°6 présente la structure la plus ancienne, proposée par Taguchi (capteur Figaro série TGS8xx). La couche sensible est déposée sur un tube en céramique poreux de diamètre de 1 mm et de longueur de 3 mm. L'élément de chauffage est un fil métallique bobiné à l'intérieur du tube. Les contacts électriques de la couche sensible sont fixés aux deux extrémités du tube avec une colle conductrice.

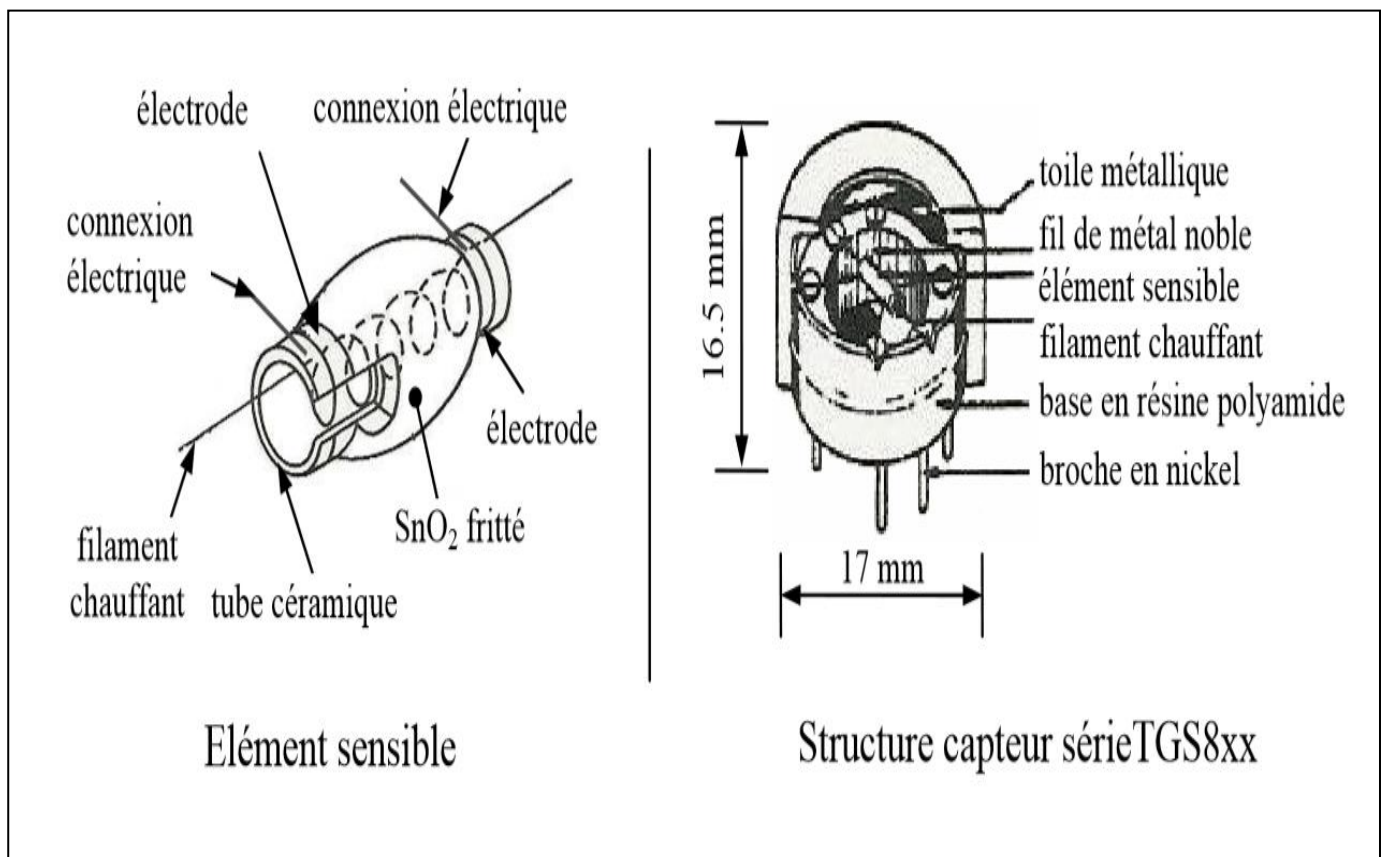
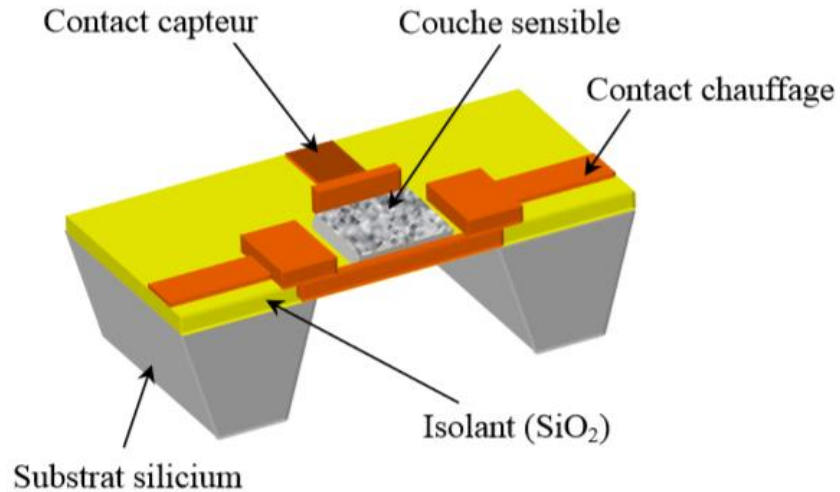
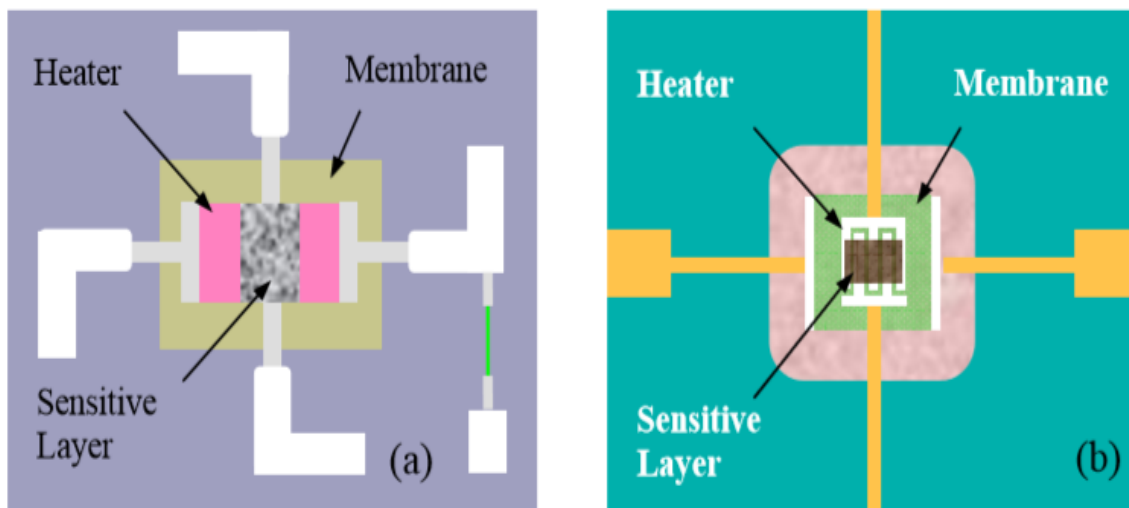


Figure n°06 : Structure d'un capteur Figaro (série TGS)

Les progrès de la microélectronique permettant la miniaturisation des composants électroniques, une nouvelle génération des capteurs de gaz est apparue. La figure n°7 présente la structure d'un microcapteur de gaz, réalisée en technologie silicium. L'élément sensible et l'élément de chauffage sont montrés à la figure n°8. Ces microstructures permettent de réduire la consommation électrique. La miniaturisation permet d'associer plusieurs capteurs sur un même substrat et ainsi de réaliser un réseau de capteurs.



**Figure n°07 : Structure en 3-D d'un micro-capteur de gaz MOX**



**Figure n°08 : Structures : (a) d'un micro-capteur MiCS et (b) un microcapteur en cours de développement au L2MP-LAAS**

## I.3.4.2. Principe de fonctionnement :

La conductivité des capteurs MOX est le paramètre mesuré. Pour les oxydes métalliques de type n, par exemple SnO<sub>2</sub>, la conductivité augmente en présence d'un gaz réducteur alors qu'elle diminue en présence d'un gaz oxydant. Ceci résulte d'un ensemble de réactions physico-chimiques entre la couche sensible du capteur et les molécules de gaz adsorbées à sa surface. Dans ce qui suit, nous détaillons quelques points importants à prendre en compte pour comprendre ce qui se passe lorsqu'un oxyde métallique est mis en contact avec un environnement gazeux.

## I.3.4.3. Conductivité du SnO<sub>2</sub>

La conductivité d'un semi-conducteur est définie par l'équation suivante :

$$\sigma = q(n\mu_n + p\mu_p)$$

Où «  $q$  » est la charge de Coulomb,  $n$  et  $p$  les concentrations en électrons libres et en trous, «  $\mu_n$  » et «  $\mu_p$  » la mobilité des électrons et des trous.

Le dioxyde d'étain est un semiconducteur extrinsèque de conductivité de type n (les porteurs électroniques majoritaires sont les électrons). Le nombre d'électrons libres est très supérieur à celui de trous. Sa conductivité peut donc s'écrire :

$$\sigma \approx n\mu_n q$$

Comme dans tous les semi-conducteurs, l'augmentation de la température entraîne un passage des électrons de la bande de valence vers la bande de conduction. Le nombre de porteurs de charges libres croît de façon exponentielle avec la température. D'autre part, la conductivité de SnO<sub>2</sub> dépend également de la morphologie de la couche sensible (conduction dans les grains et aux joints de grains, état de surface...).

### I.3.4.4. Interaction gaz-solide :

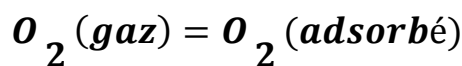
Les interactions gaz- solide peuvent être classées en quatre catégories.

- Les chocs entre les molécules gazeuses et le solide : le matériau est insensible au gaz dans ce type d'interaction.
- L'adsorption : il y a fixation d'une fraction de la phase gazeuse sur la surface du solide. On peut subdiviser l'adsorption en deux catégories : la physisorption, dans laquelle les forces d'attraction entre les molécules de gaz et le solide sont des forces physiques du type Van Der Waals, et la chimisorption, dans laquelle les forces de liaisons mettent en jeu un transfert de charge entre l'adsorbat et l'adsorbant.
  - La réaction : adsorption du gaz dans le solide suivie d'une réaction qui crée un nouveau matériau.
  - La désorption : l'adsorption des molécules gazeuses est suivie de la création d'une espèce gazeuse.

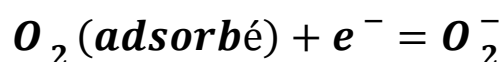
### I.3.4.5. Rôle de l'oxygène et principe de détection :

L'oxygène joue un rôle primordial dans la détection des gaz par les oxydes métalliques. Les molécules d'oxygène peuvent être adsorbées à la surface d'un oxyde métallique lorsque celui-ci est mis en contact avec l'oxygène selon les réactions suivantes :

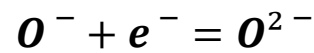
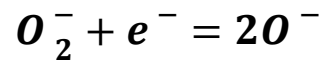
- Adsorption physique de l'oxygène :



- Adsorption chimique de l'oxygène :

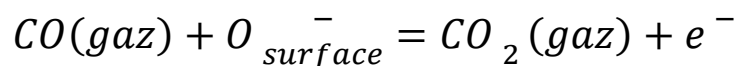


- Dissociation de l'oxygène :

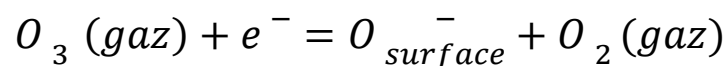


L'adsorption chimique de l'oxygène à la surface du SnO<sub>2</sub> conduit à un transfert des électrons libres du réseau vers les molécules adsorbées. Il résulte donc une diminution de la conductivité électrique.

Quand le SnO<sub>2</sub> est exposé à des gaz autres que l'oxygène présent dans l'air, il peut y avoir une réaction chimique avec les espèces préadsorbées, notamment les espèces oxygénées. Les réactions qui ont lieu sont essentiellement des réactions d'oxydoréduction. Par exemple, pour un gaz réducteur comme CO, la réaction suivante se produit :



Dans ce cas, le nombre des porteurs majoritaires augmente, ce qui conduit à une augmentation de la conductivité électrique. Inversement, pour un gaz oxydant comme O<sub>3</sub>, la réaction suivante se produit :



Le nombre de porteurs majoritaires diminue ce qui conduit à une diminution de la conductivité électrique.

La variation de la résistance du capteur à base d'oxyde métallique en fonction de la concentration de gaz est décrite par la formule suivante :

$$R = K \cdot [C]^\alpha \quad [3]$$

Où « K » et «  $\alpha$  » sont des constantes et [C] la concentration d'un gaz dans l'air.

### I.4. Conclusion :

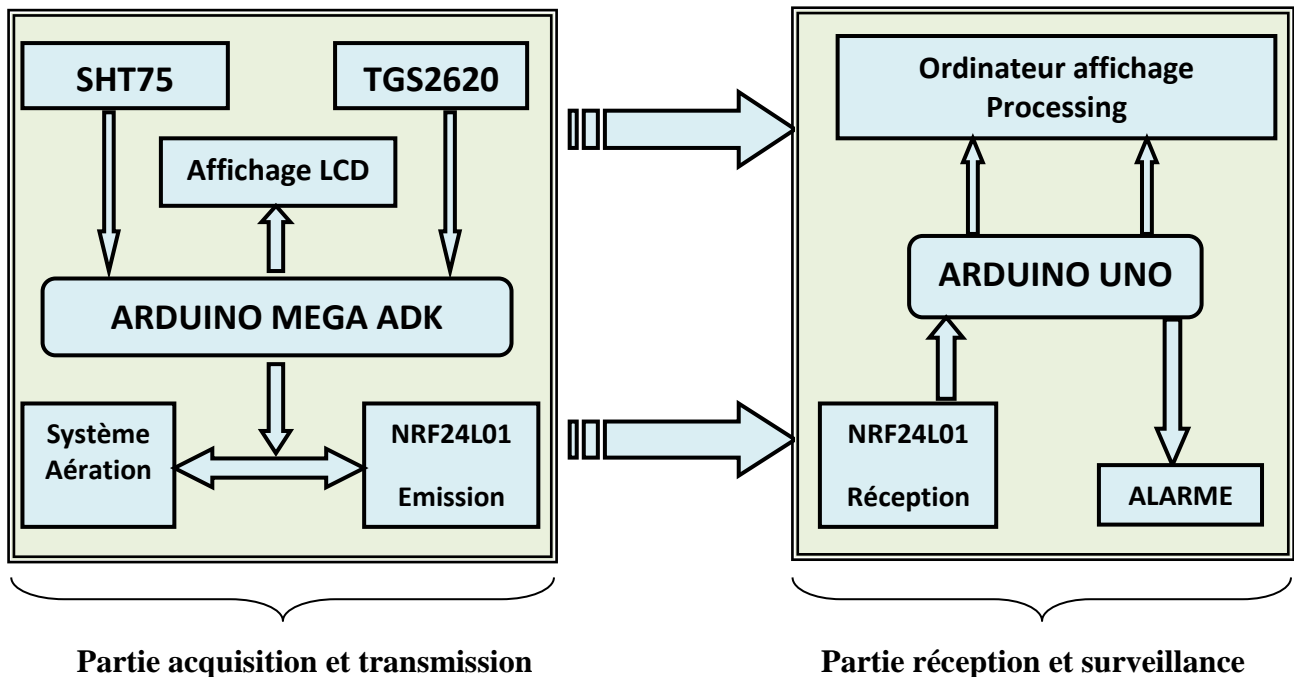
Comme on a pu le constater, le monde des capteurs est très vaste. Notre étude nous a permis de cerner les principales familles de détection des gaz, ainsi que les différents types de capteurs et leurs caractéristiques, Principalement les capteurs à base d'oxyde métalliques. Ces derniers restent favorables pour notre conception à cause de leurs caractéristiques, ils ont une sensibilité très élevée, et un temps de réponse très court, une taille miniature et aussi ils sont d'un coût très faible.

# Chapitre II

Conception du système de détection  
de gaz

### Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons passer à la conception de notre système de détection de gaz à base d'un microcontrôleur. La base de notre conception va se faire en deux parties essentielles : la première est la partie acquisition et transmission la deuxième est la partie réception et surveillance comme le montre le schéma suivante :



A travers ce chapitre, une étude sera faite sur tous les modules présents dans les deux grande parties, entre autres le « TGS 2620 » ; son conditionnement et son étalonnage seront détaillés pour une acquisition correcte des variations de concentrations gazeuse. Un afficheur LCD permet la sélection et l'affichage de la liste des gaz à détecter, en l'occurrence le Méthane, et le Co.

Une fois le signal est acquit et traité, l'unité d'envoi transmet le signal, vers la partie surveillance pour une surveillance à temps réel des concentrations. Un programme de visualisation graphique nommé « Processing » nous permettra d'afficher les données reçues sous forme de graphe.

Ce processus est sous le commandement des cartes à microcontrôleur Arduino, elles ont l'avantage d'être simple à programmer et de proposer de multitudes bibliothèques qui remplacent un grand nombre de fonction. Le déroulement du processus en question suivra une organisation spécifique qui sera donnée sous forme d'organigramme explicatif.

### Partie acquisition et de transmission :

Cette partie comprend trois blocs principaux, dont l'entité gaz est acquise, traitée et conditionnée par le cerveau artificiel. Puis ensuite, elle sera transmise vers la partie réception et surveillance que nous allons étudier dans la deuxième partie de ce chapitre.

La figure suivante représente les différentes communications entre les blocs constituant cette partie :

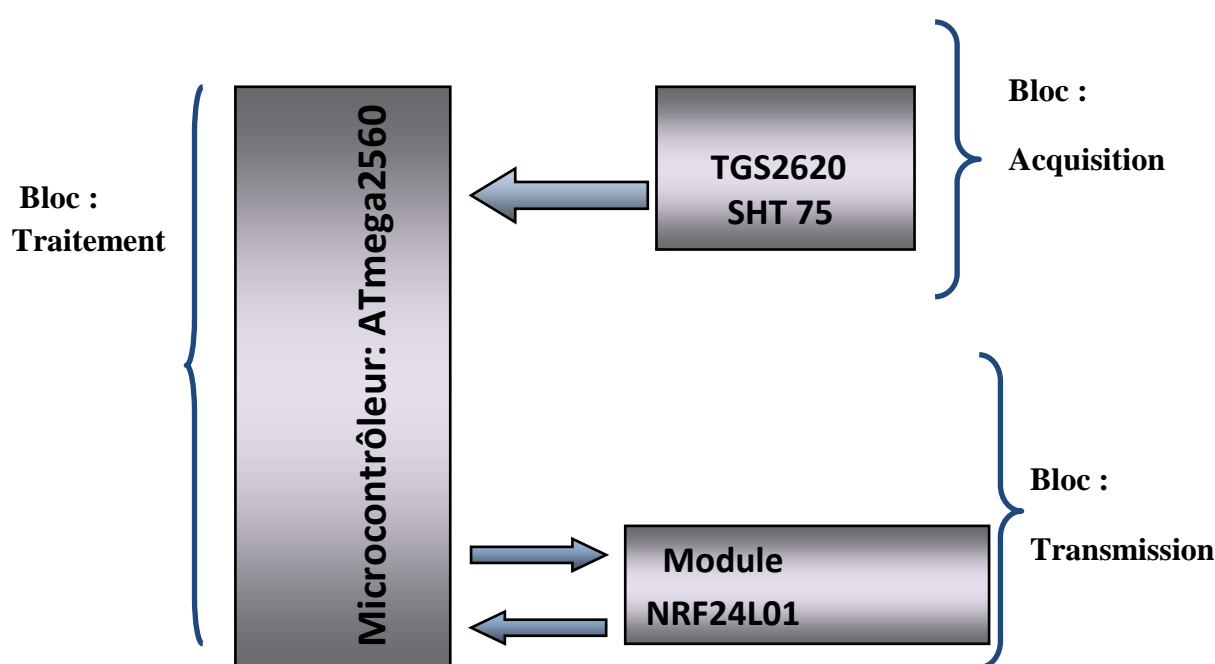


Figure n° 9: les différents blocs de la partie acquisition et transmission

#### .Bloc acquisition :

Ce bloc est constitué de deux capteurs, un capteur de gaz « tsg2620 » et un autre capteur « SHT57 » de température et d'humidité.

### Capteur de gaz TGS2620 :

#### Description :

Le figaro « TGS2620 » est un capteur à oxyde métallique à faible coût pour les vapeurs d'hydrocarbures, tel que (l'Ethanol, Methane, CO, Iso-butane, hédrogène) doté un épais film d'oxyde d'étain ( $\text{SnO}_2$ ) avec un élément chauffant. Lorsque le film est soumis à une température de « 300 à 500 °c » dans l'air, les électrons donneurs de la surface cristalline mis en contact avec l'oxygène «  $\text{O}_2$  », génèrent un revêtement d'ions d'oxygène chargés négativement «  $\text{O}^{2-}$  ». La présence d'un gaz peut réagir avec la couche d'ions d'oxygène, ce qui diminue le nombre de «  $\text{O}^{2-}$  » qui réduit à son tour la charge d'espace et augmente la circulation du courant. Le capteur doit être réchauffé et laissé se stabiliser pour atteindre la précision souhaitée, une fois que ces conditions sont satisfaites, des résultats très fiables sont possible pour de longues périodes d'utilisation.

- Le temps de préchauffage pour le « TGS 2620 » est administré en deux minutes.
- Le temps de stabilisation environ une heure.
- stabilisation initiale pour la première utilisation donnée dans la documentation Figaro est de deux à sept jours.

#### Structure :

**La figure n°11** montre la structure de TGS2620. Le matériau de capteur est imprimé sur les électrodes présentes sur le substrat. Une électrode est reliée à la broche n°2 et l'autre est relié à la broche n°3. Le réchauffeur en «  $\text{RuO}_2$  » imprimé sur la face arrière du substrat et connecté aux broches n°1 et n°4. Le capuchon de sonde est fabriqué en acier inoxydable.

#### Informations de base et spécifications :

##### Caractéristiques :

- Sélectivité élevée aux vapeurs organiques volatils
- Faible consommation d'énergie
- Petite taille
- Longue durée de vie



**Figure n°10 : TGS 2620**

## Chapitre II : Conception du système de détection de gaz

### Applications :

- testeurs d'alcool
- détecteurs de vapeurs organiques / alarmes
- détecteurs de solvants pour les usines, nettoyeurs à sec, et les industries des semi-conducteurs

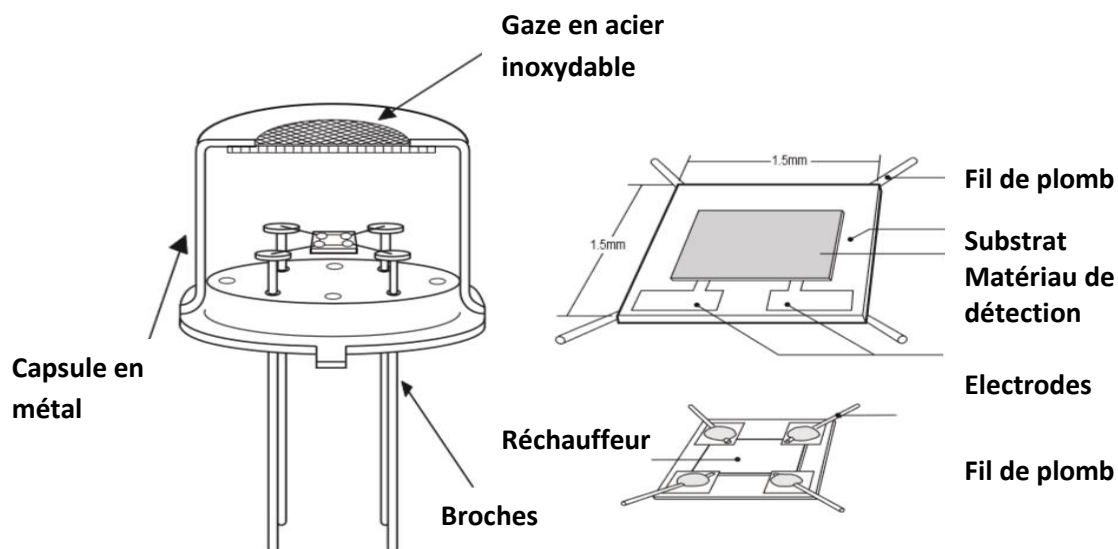


Figure n°11 : composition interne du TGS2620

### Spécifications et conditions d'exploitation :

Les notes ci-dessous doivent être maintenues en tout temps pour assurer les performances du capteur stables :

Article	Spécification
Tension du circuit	5.0V ± 0.2V AC/DC
Tension de chauffage	5.0V ± 0.2V AC/DC
Résistance de chauffage	83Ω (typique)
Résistance de charge (RL)	variable (0.45kΩ min.)
puissance de dissipation du Capteur	≤15mW
Exploitation et stockage température	-40°C ~ +70°C
concentration optimale de détection	50 ~ 5,000ppm

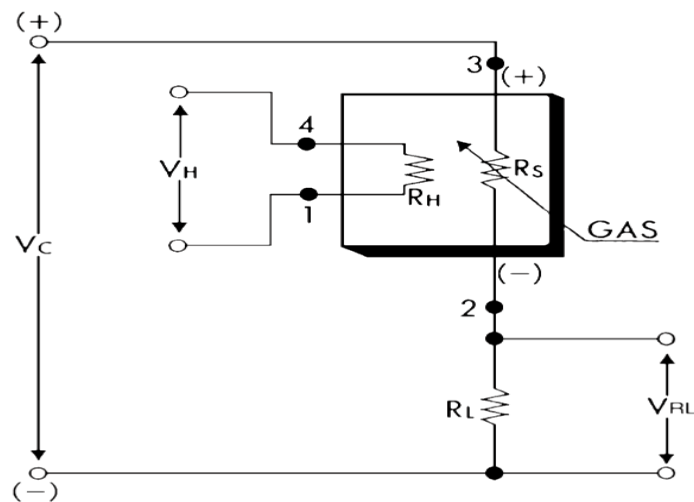
Tableau n°05 : conditions d'exploitation

Article	Spécification
<b>Résistance du capteur</b>	<b>1kΩ ~ 5kΩ</b>
<b>Résistance du capteur Rapport (<math>\beta</math>)</b>	<b>0.3 ~ 0.5</b>
<b><math>\beta = R_s(300\text{ppm éthanol})/R_s(50\text{ppm éthanol})</math></b>	
<b>Courant de chauffage</b>	<b>42 ± 4mA</b>
<b>La consommation de puissance de Chauffage (PH)</b>	<b>approx. 210mW</b>

**Tableau°06 : spécification du TGS2620**

Circuit de mesure de base :

La figure n°10 représente le circuit de mesure de base. La tension du circuit est appliquée aux bornes de l'élément capteur de résistance ( $R_s$ ), entre les deux électrodes du capteur et la résistance de charge ( $R_L$ ) connectée en série. Lorsque DC est utilisée pour  $V_c$ , la polarité doit être respectée. Le  $V_c$  peut être appliqué de façon intermittente. Le signal du capteur ( $V_{RL}$ ) est mesuré indirectement en tant que variation de tension aux bornes de  $R_L$ .



**Figure n° 12 : Circuit de mesure de base**

**NOTE :** Dans le cas de  $V_H$ , Les broches 1 et 4 sont interchangeables. Contrairement à  $V_C$  les broches 2 et 3 doivent être utilisées comme indiqué dans la figure n°12.

## Chapitre II : Conception du système de détection de gaz

---

La valeur de la résistance ( $R_s$ ) est obtenue à partir de la formule suivante :

$$R_s = \frac{V_c - V_{RL}}{V_{RL}} \times RL$$

Ainsi que l'équation de la résistance du capteur en fonction du gaz est :

$$R_s = A. [C]^{-\alpha} \quad [3]$$

«  $R_s$  » Résistance du capteur

«  $A$  » Constant pour ce capteur particulier

«  $[C]$  » La concentration du gaz

«  $\alpha$  » La pente de la courbe sur un terrain log.

Les informations du datasheet représentées montrent que les deux coefficients «  $A$  » de Base et «  $\alpha$  » de sensibilité, varient entre les capteurs, en particulier le coefficient de base. Ainsi, **chaque capteur doit être étalonné avant utilisation**, et la résistance variable qui constitue la majeure partie de la résistance «  $RL$  », fournit un moyen de le faire.

Etalonnage du Capteur :

*Sensibilité aux différents gaz :*

La figure ci-dessous, montre la sensibilité relative de TGS2620 à divers gaz. L'axe des «  $Y$  » représente le rapport «  $R_s/R_o$  » en fonction des concentrations en ppm.

**$R_s$**  résistance du capteur à divers gaz.

**$R_o$**  la résistance du capteur à 300 ppm d'éthanol.

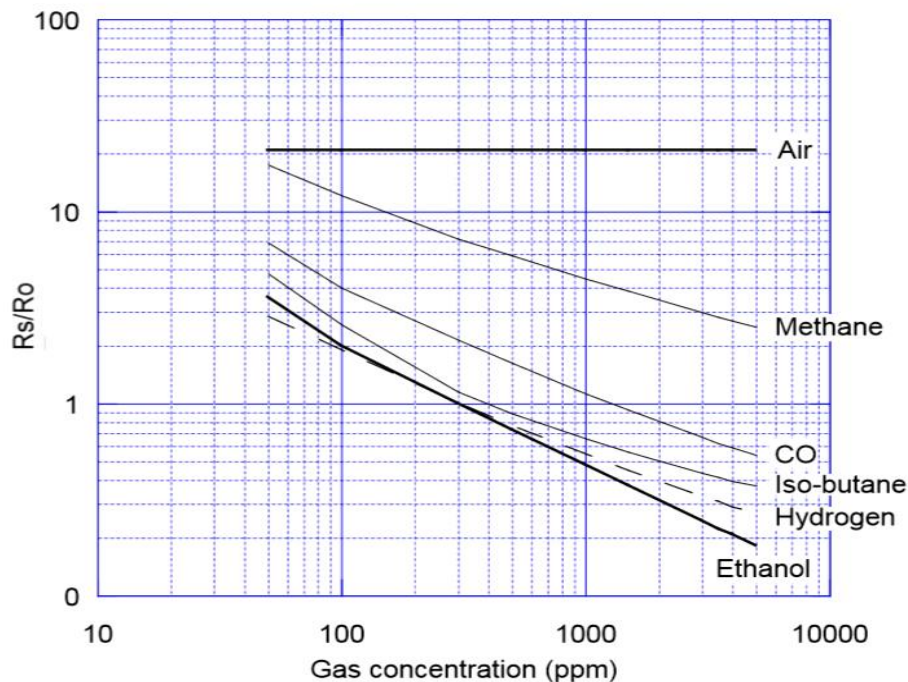


Figure n°13 : Sensibilité aux différents gaz

### Méthode :

#### *Analyse de régression :*

L'objectif de l'analyse de régression est de décrire la relation entre deux variables à partir des données observées, et de prédire la valeur de la variable dépendante en fonction de la valeur de la variable indépendante. Même si nous pouvons faire de telles prédictions, cela ne signifie pas que nous pouvons prétendre à une quelconque relation de causalité entre les variables indépendantes et dépendantes.

Pour procéder à l'analyse de régression on a utilisé la méthode avec « Excel », une méthode très efficace et qui ne nécessite pas trop de calculs mathématiques.

On sait que l'équation de la résistance du capteur en fonction de la concentration du gaz est de nature « puissance ».

#### *.Etapas de détermination de la fonction :*

Introduction des valeurs «  $R_s$  » et les concentrations «  $[C]$  » dans Excel comme montre la figure ci-dessous (Cas de l'éthanol) :

	A	B	C	D
1	Rs/RO	PPM		
2	3,6	50		
3	3	61		
4	2	100		
5	1,42	200		
6	1	300		
7	0,85	400		
8	0,6	700		
9	0,48	1000		
10	0,32	2000		
11	0,25	3000		
12	0,18	5000		
13				
14				

Figure n°14 : création d'une matrice de données avec Excel

- On bascule en suite vers « Insertion », et on choisit « Nuage de points » qui se trouve dans la fenêtre des graphiques :

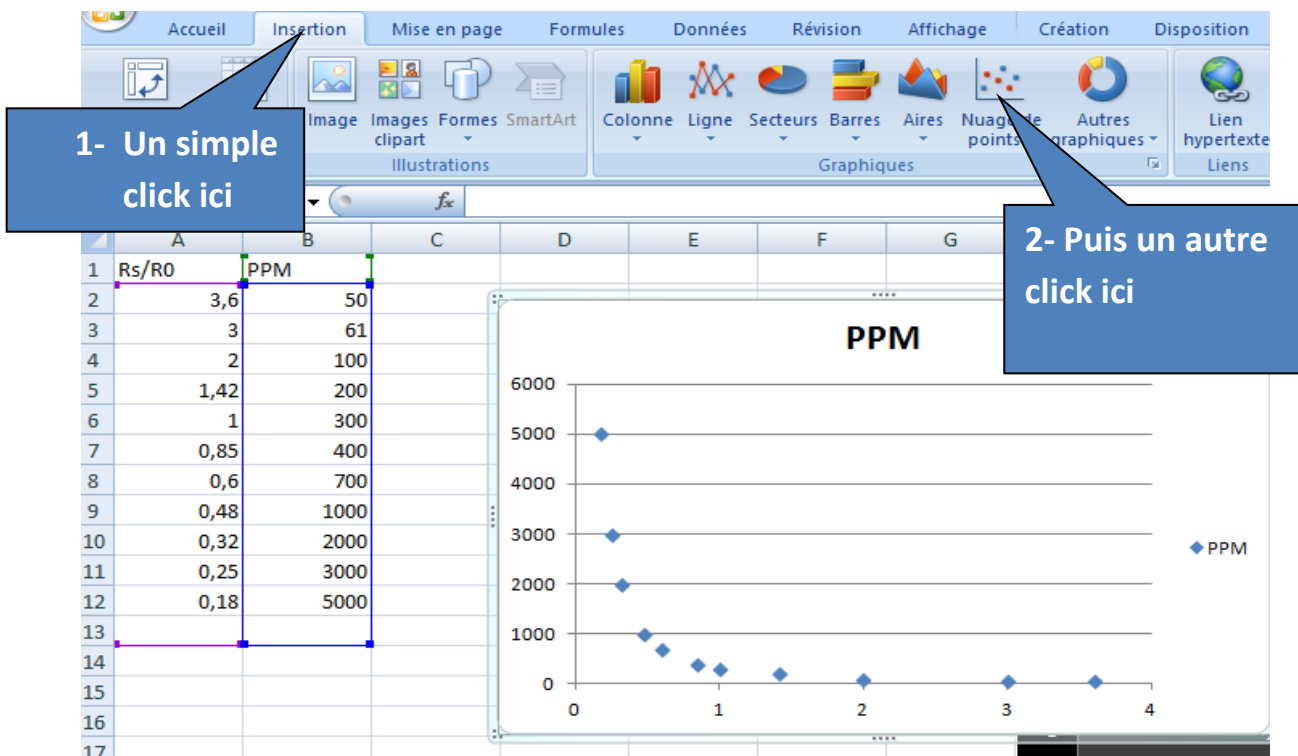


Figure n°15 : étapes d'insertion d'un nuage de points

## Chapitre II : Conception du système de détection de gaz

Une fois qu'on a notre nuage de point, on sélectionne un point puis on fait un click droit pour ajouter une courbe de tendance.

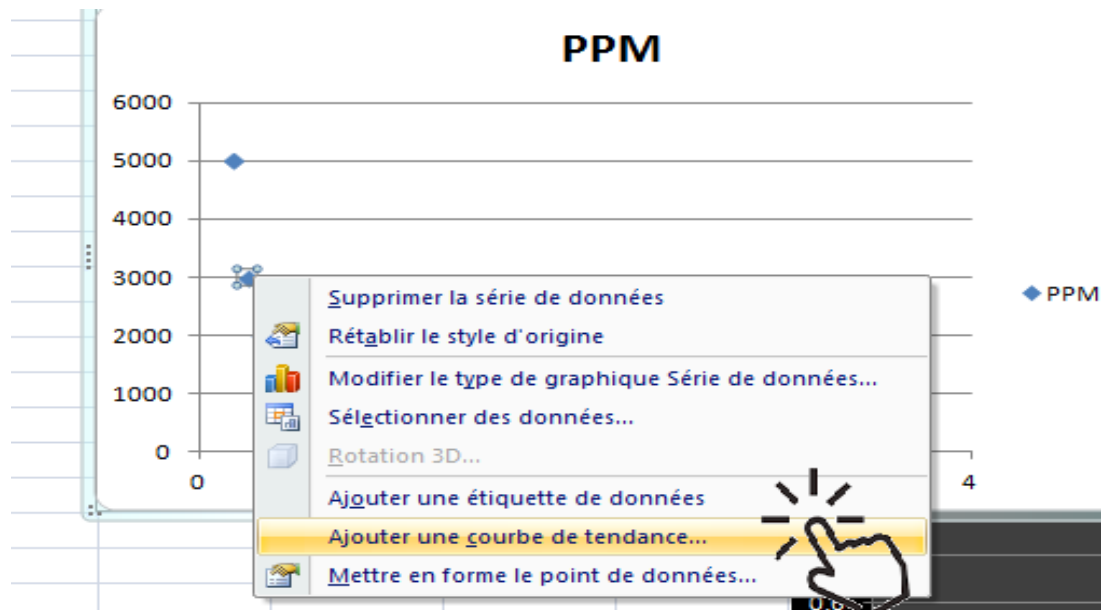


Figure n°16 : Courbe de tendance

- Puis une nouvelle fenêtre apparaît :

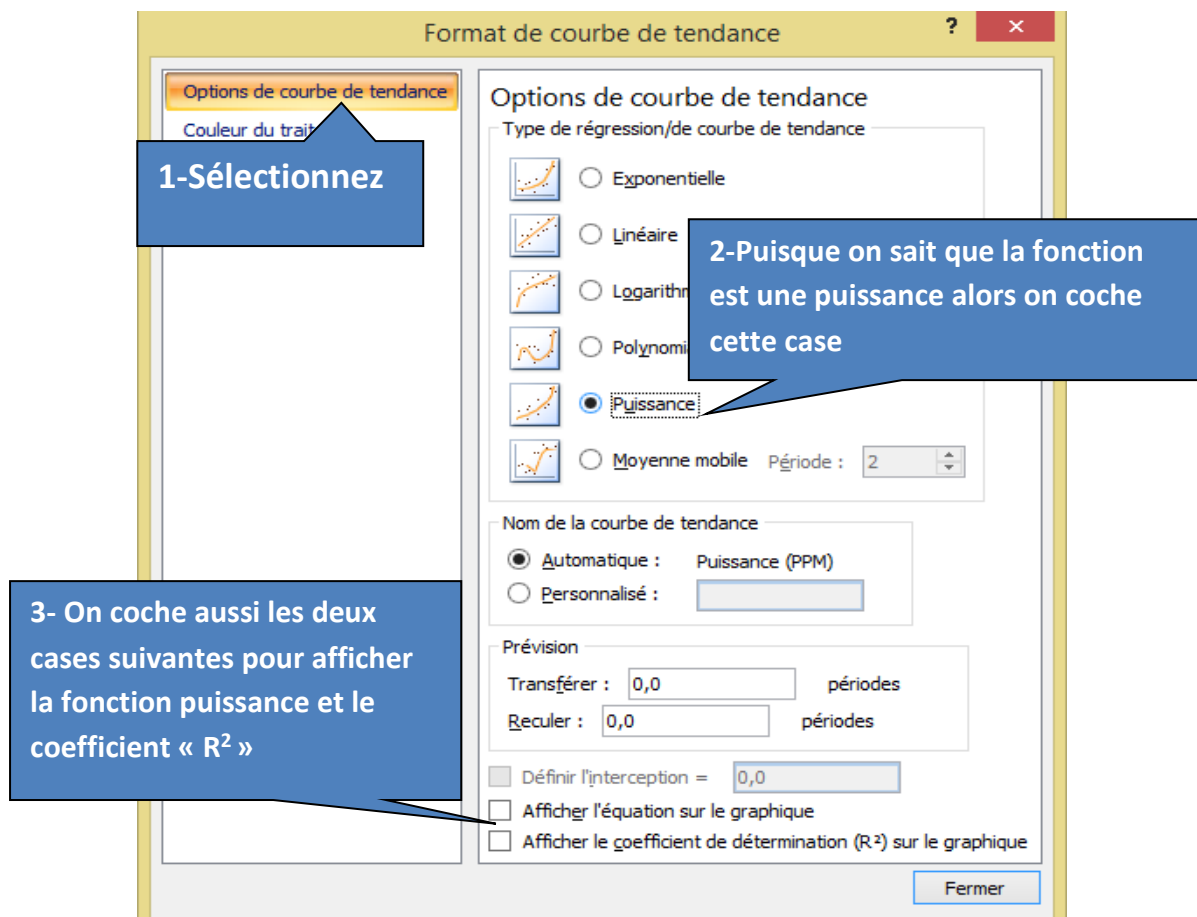


Figure n°17 : Option et format de la courbe de tendance

## Chapitre II : Conception du système de détection de gaz

- Après avoir tout coché, notre fonction va s'afficher sur la fenêtre de la courbe de tendance ainsi que le coefficient de détermination «  $R^2$  » comme suit :

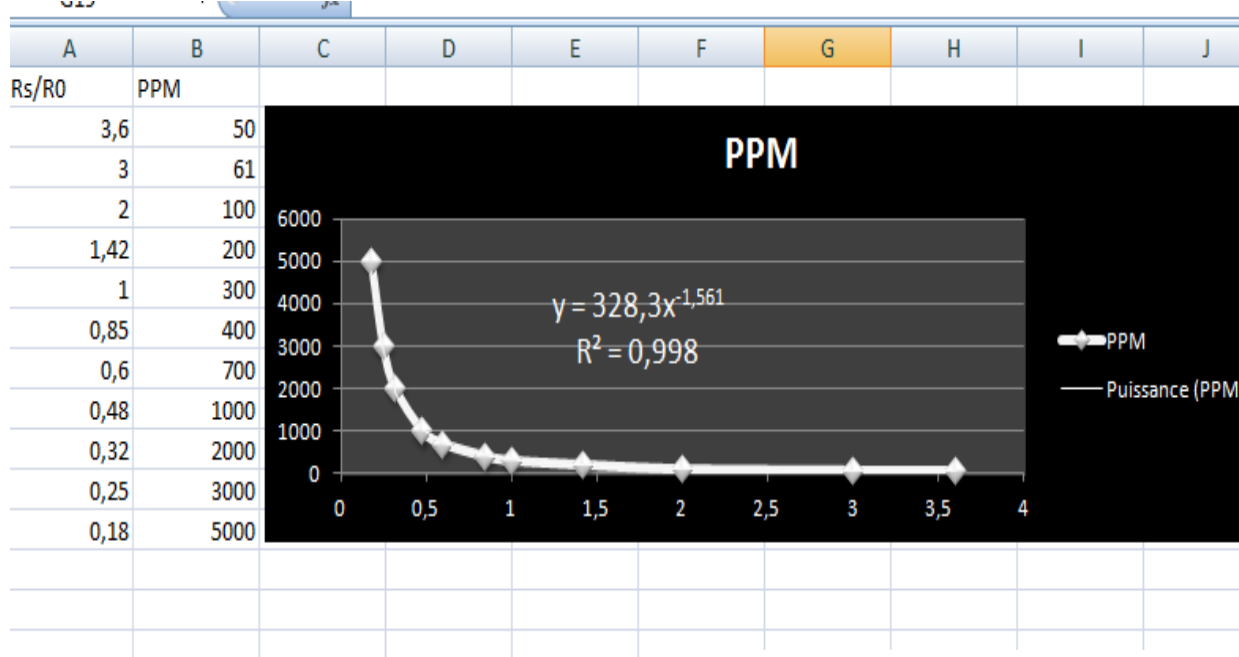


Figure n°18 : courbe de tendance

### Note :

Plus le coefficient de détermination «  $R^2$  » est proche de « 1 », plus la fonction obtenue est bien adaptée à la courbe.

Dans l'exemple précédent, on a pu déterminer la fonction de concentration du « PPM » en dépendance du rapport « Rs/Ro ». Les mêmes étapes devraient être suivies pour avoir toutes les fonctions des différents gaz.

GAZ	Equation PPM(Rs/Ro)	$R^2$
Ethanol 'C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O'	$328,3X^{-1.561}$	0.998
monoxyde de carbone 'CO'	$1367,9X^{-1.798}$	0.989
Iso-butane	$545,7X^{-1.746}$	0.970
Hydrogène 'H <sub>2</sub> '	$345,79X^{-1.918}$	0.9905
Méthane 'CH <sub>4</sub> '	$37818X^{-2.36}$	0.990

Tableau n°07 : les différentes équations de concentration en fonction de la ration Rs/Ro

## Chapitre II : Conception du système de détection de gaz

Remarque :

Les équations du **tableau n°07** ne sont valables que dans les conditions suivantes :

- Température :  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ .
- Humidité :  $65 \pm 5\% \text{ RH}$

Donc en cas de changement de température ou de l'humidité, le comportement du capteur change et entraîne une défaillance dans les résultats obtenus. Pour remédier à ce problème On fait appel à une autre fonction dite de « **Compensation** ».

*Influence de la température et de l'humidité sur le capteur :*

La Figure n°19, montre la dépendance de la température et de l'humidité TGS2620. L'axe des Y représente le rapport «  $R_s/R_o$  », tel que :

- «  $R_s$  » la résistance du capteur à 300 ppm d'éthanol sous diverses conditions atmosphériques
- «  $R_o$  » la résistance du capteur à 300 ppm d'éthanol à  $20^\circ\text{C} / 65\% \text{ HUM}$ .

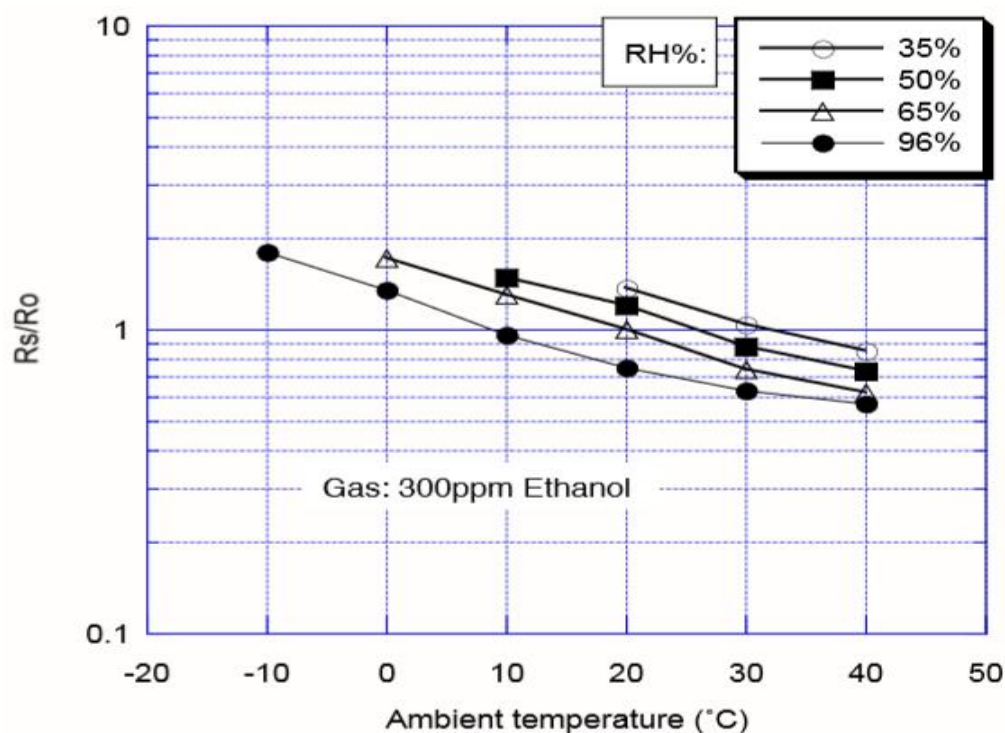


Figure n°19 : La dépendance à la température et l'humidité de ( $R_s / R_o$ )

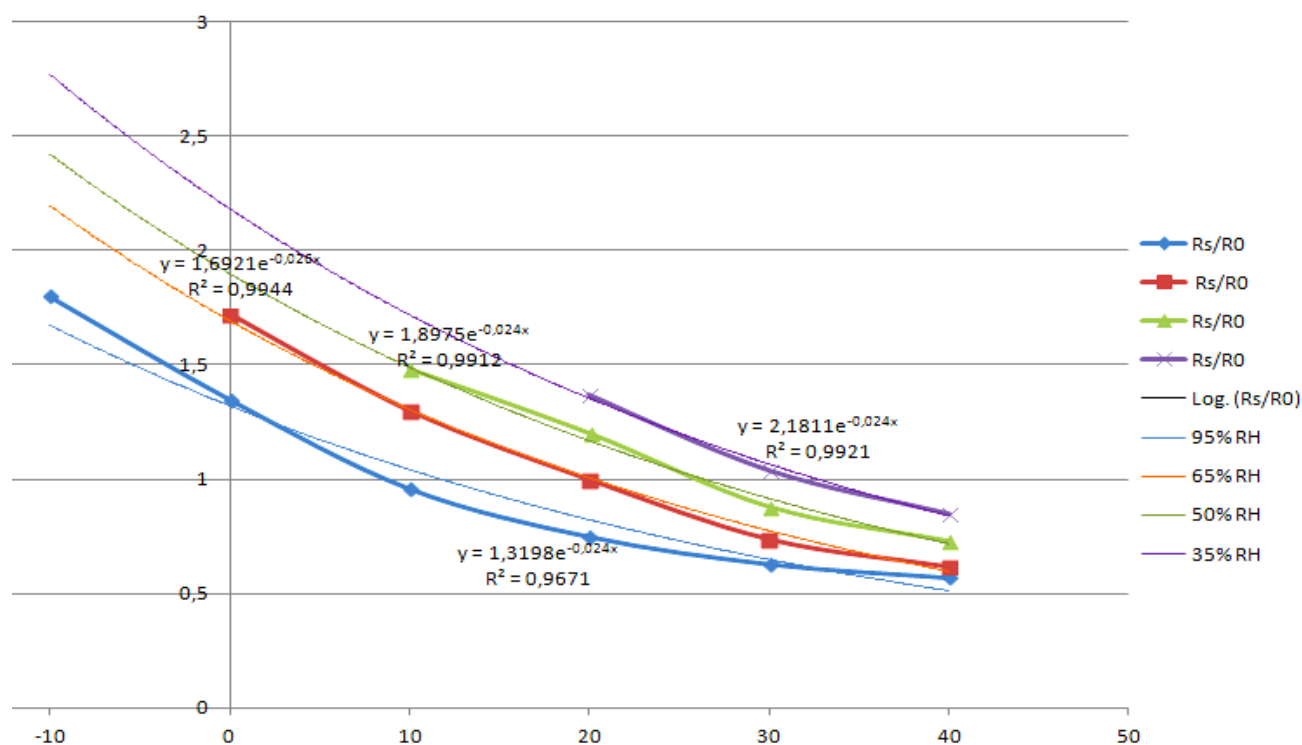
## Chapitre II : Conception du système de détection de gaz

Ce tableau présente les valeurs du rapport de résistance des capteurs ( $R_s / R_o$ ) dans les mêmes conditions que celles utilisées pour produire la figure suivante.

RH (°C)	35%RH	50%RH	65%RH	95%RH
-10				1.80
0			1.72	1.35
10		1.48	1.30	0.96
20	1.37	1.20	1.00	0.75
30	1.04	0.88	0.74	0.63
40	0.85	0.73	0.62	0.57

**Tableau n°08 : les valeurs du  $R_s/R_o$  en dépendance de (T, RH) à 300 PPM de l'éthanol**

Les graphiques ci-dessous représentent les différentes variations de «  $R_s/R_o$  » en dépendance de la températures et humidité.



**Figure n °20 : différentes fonctions de  $R_s/R_o$**

## Chapitre II : Conception du système de détection de gaz

Les graphiques de la Figure n °20 ont été obtenus de la même méthode avec laquelle on a réussi à extraire les fonctions de concentrations en ppm. Comme le montre l'exemple illustré ci-dessous :

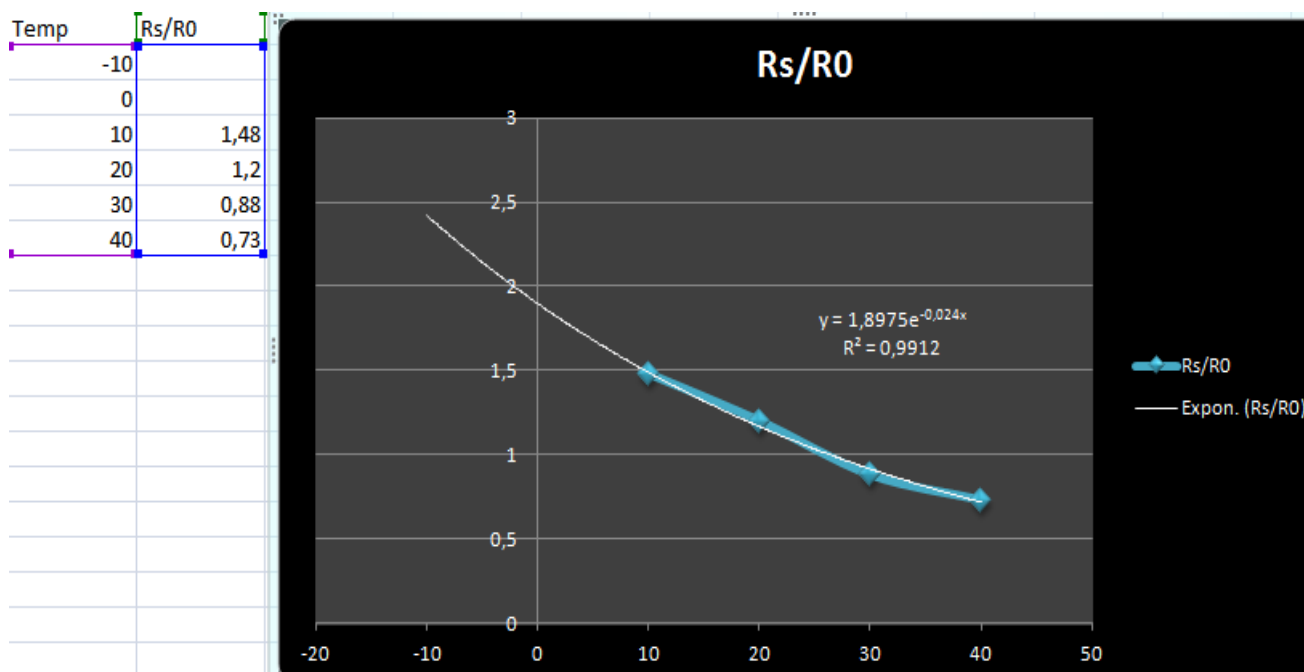


Figure n°21 : graphe de compensation de la température à 65%d'humidité

Les fonctions de compensation sont établies dans le tableau suivant :

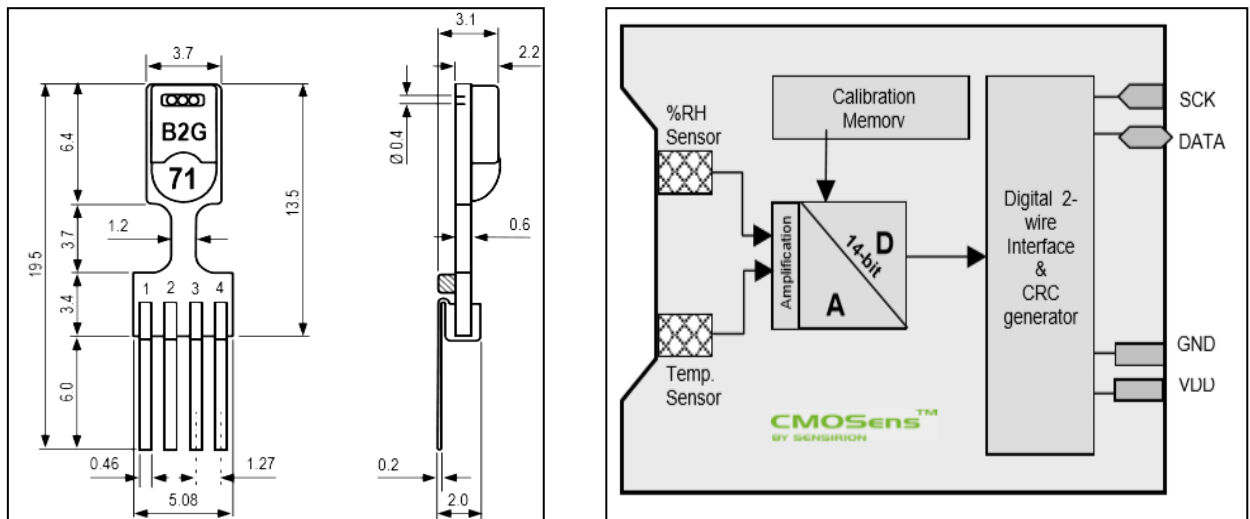
Humidité	Equations (Température)	R <sup>2</sup>
95%	$1.319\exp^{-0.02x}$	0.967
65%	$1.692 \exp^{-0.02x}$	0.994
50%	$1,897\exp^{-0.02x}$	0.991
35%	$2.181\exp^{-0.02x}$	0.992

Tableau n°09 : fonctions de compensation de température en dépendance de l'humidité

### Capteur de température et d'humidité :

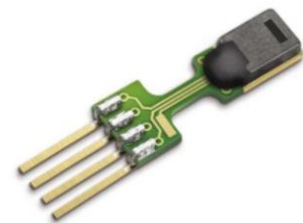
Description :

Le SHT75 est une seule puce d'un module multi-capteurs de température et d'humidité relative, comprenant une sortie numérique calibrée. Avec une très grande fiabilité et une excellente stabilité à long terme. Le dispositif comprend un élément de détection capacitif de polymère pour l'humidité relative et un capteur de température de bande interdite. Les deux sont parfaitement couplés à un convertisseur analogique/ numérique de 14bit et un circuit d'interface série sur la même puce. Cela se traduit par une excellente qualité de signal, un temps de réponse rapide et d'une insensibilité aux perturbations extérieures à un prix très compétitif. Chaque SHT75 est étalonné individuellement dans une chambre de précision.



**Figure n° 22 : Structure interne du SHT75 et dimensions**

Les coefficients d'étalonnage sont programmés dans la mémoire OTP. Ces coefficients sont utilisés de manière interne au cours des mesures pour étalonner les signaux en provenance des capteurs. L'interface série 2-fils et de régulation de tension interne permet l'intégration du système facile et rapide. Sa petite taille et de faible consommation d'énergie, faisant de lui le choix idéal pour les applications les plus exigeantes.



**Figure n° 23 : Le capteur SHT75**

## Chapitre II : Conception du système de détection de gaz

---

Spécifications :

*Broches électriques (GND, VDD) :*

La tension d'alimentation de SHT75 doit être dans la gamme de 2,4 et 5,5V, la tension d'alimentation recommandée est de 3.3V. Après la mise sous tension l'appareil a besoins de 11ms pour atteindre son état "sommeil". Aucune commande ne doit être envoyée avant cette date. Les broches d'alimentation (VDD, GND) peuvent être découplées avec un condensateur de 100 nF.

*Interface série (Bidirectionnel 2-fils) :*

L'interface série du SHT75 est optimisée pour la lecture du capteur et la consommation d'énergie.

*Entrée d'horloge série (SCK) :*

SCK est utilisé pour synchroniser la communication entre microcontrôleur et SHT75. L'interface se compose d'une logique entièrement statique il n'y a pas de fréquence minimum SCK.

*Les données série (DATA) :*

La broche « DATA » est utilisé pour transférer des données entré/sortie du capteur. Pour envoyer une commande au capteur, DATA est valide sur le front montant de l'horloge série (SCK) et doit rester stable tant que SCK est a l'état haut. Après le front descendant du SCK la valeur de données peut être modifiée.

Envoi d'une commande :

Pour lancer une transmission, une séquence "Transmission Start" doit être émise. Elle consiste à un abaissement de la ligne DATA en SCK est élevée, suivie d'une impulsion faible sur SCK et d'élever à nouveau DATA en SCK est encore élevé.



**Figure n°24 : communication entre le MC et SHT75**

## Chapitre II : Conception du système de détection de gaz

---

La commande suivante se compose de trois bits d'adresse (seulement 000) et cinq bits de commande. Le SHT75 indique la bonne réception d'une commande en tirant la broche DATA faible (ACK bit) après le front descendant de 8eme impulsion d'horloge SCK. La ligne de données est libéré (et va vers le haut) après le front descendant de la 9eme impulsion d'horloge SCK.

Command	Code
Reserved	0000x
<b>Measure Temperature</b>	<b>00011</b>
<b>Measure Humidity</b>	<b>00101</b>
Read Status Register	00111
Write Status Register	00110
Reserved	0101x-1110x
<b>Soft reset</b> , resets the interface, clears the status register to default values wait minimum 11 ms before next command	<b>11110</b>

**Tableau n° 10 : liste des codes de commandes SHT75**

*Séquence de mesure (RH et T) :*

Après l'émission d'une commande de mesure ('00000101' pour RH, '00000011' pour la température), le contrôleur doit attendre pour terminer la mesure. Cela prend environ 210 ms pour une mesure 14bit. Pour signaler la fin d'une mesure, le SHT75 tire vers le bas la ligne de données et entre en mode veille. Le contrôleur doit attendre ce signal "données prêtes" avant de redémarrer SCK pour la lecture des données. Les données de mesure sont stockées jusqu'à une nouvelle lecture.

Deux octets de données de mesure et un octet de somme de contrôle CRC (Cyclic Redundancy Check) seront alors transmises. Le MC doit reconnaître chaque octet en tirant sur la ligne DATA bas. Toutes les valeurs sont MSB en premier, justifié à droite. (Par exemple le 5 SCK est MSB pour une valeur de 12bit, pour un résultat 8bit le premier octet n'est pas utilisé). La communication se termine après le bit d'acquiescement des données CRC. Si CRC-8 checksum ne sert pas, le contrôleur peut mettre fin à la communication après les données de mesure LSB en gardant ACK élevé. Le dispositif revient automatiquement en mode veille après que la mesure et la communication ont pris fin.

## Chapitre II : Conception du système de détection de gaz

### Séquence de réinitialisation de connexion :

Si la communication avec l'appareil est perdue la séquence signal suivante réinitialise son interface série: Tout en laissant DATA haut, et bascule SCK 9 fois ou plus. Ceci doit être suivi par une séquence "Transmission Start" précédant la commande suivante. Cette séquence remet à zéro l'interface uniquement. Le registre d'état conserve son contenu.

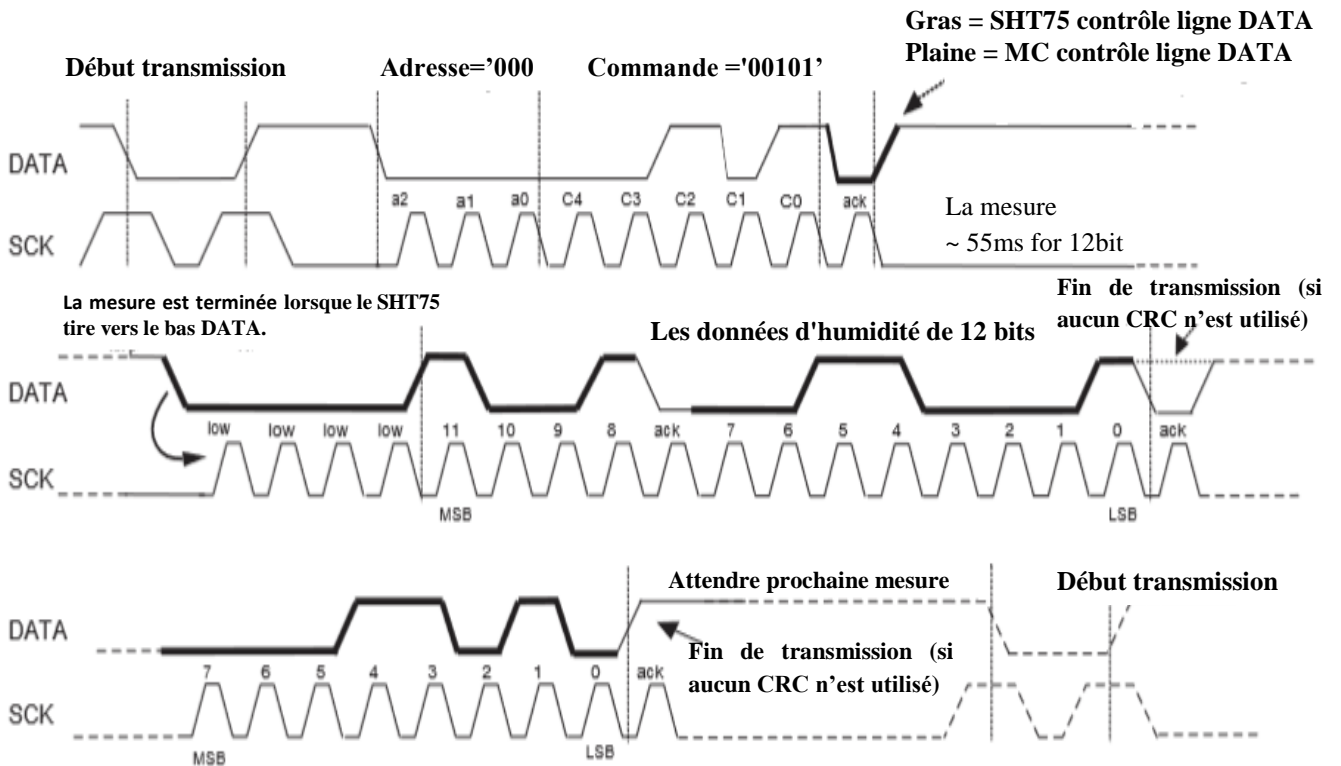


Figure n°25 : Exemple RH séquence de mesure pour la valeur "0000'1001 '0011'0001"

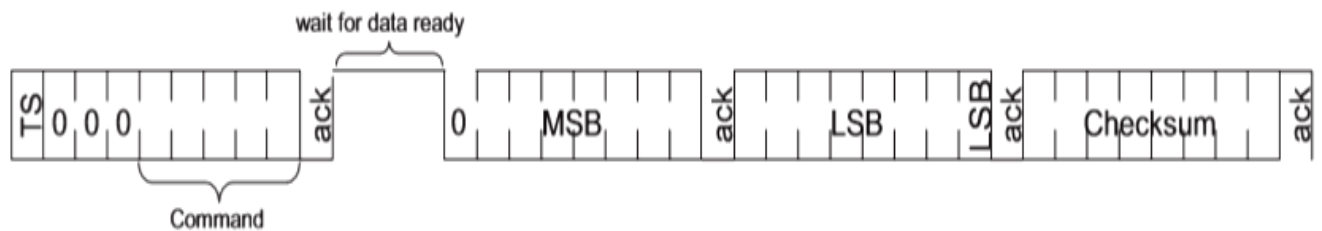


Figure n°26 : Vue d'ensemble de la séquence de mesure.

MSB = Most Significant Byte, LSB = Last Significant Byte, LSb = Last Significant Bit, TS = Transmission Start, ACK = DATA pin low.

### Bloc transmission :

Ce bloc est constitué de deux modules de transmission de données appelés « NRF24L01 »

### Le module de transmission :

Le nRF24L01 est un émetteur-récepteur de 2,4 GHz avec un moteur de protocole de bande de base intégré, adapté pour les applications ultra faible puissance sans fil. Le nRF24L01 est conçu pour fonctionner dans la large bande de fréquences ISM (industriel, scientifique et médical) du monde de 2.400 - 2,4835 GHz.

Pour concevoir un système de radio avec ce module, il nous suffit simplement un MCU (microcontrôleur) et quelques composants passifs externes. On peut utiliser et configurer le nRF24L01 à travers une interface périphérique série (SPI).

Le contrôleur radio nRF24L01 est emballé sur une planche MiRF-v2 qui comprend un régulateur de tension, 16 MHz oscillateur, 8 broches breakout, connecteur d'antenne externe, et d'autres composants électroniques. Dans ce rapport, on utilise généralement le terme «nRF24L01» pour désigner l'ensemble du paquet de panneaux MiRF-v2 et la puce nRF24L01 réelle.

### Diagramme interne :

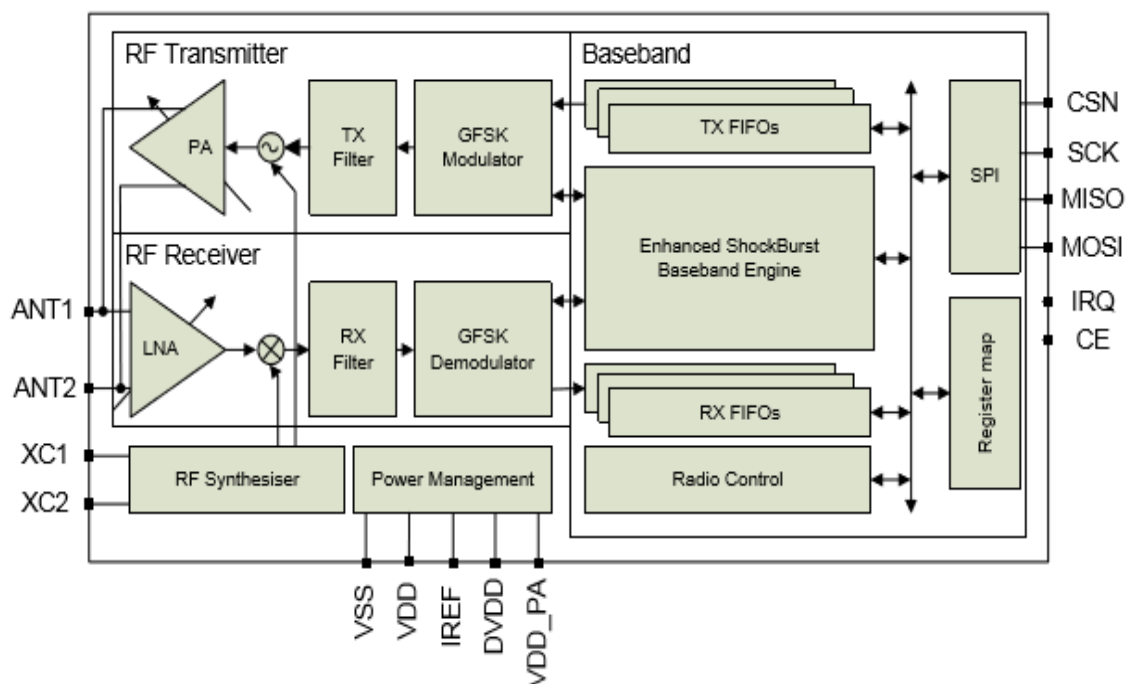


Figure n°27 : Diagramme interne du « NRF24L01 »

### Interface Périphérique Série:

Le bus SPI est un bus série à grande vitesse qui relie un dispositif maître à un ou plusieurs dispositifs esclaves. Dans ce cas, Toutes les communications sont initiées par le maître. Le protocole SPI se comporte comme un tampon circulaire, de sorte que chaque fois que le maître envoie un octet à l'esclave, l'esclave envoie un octet au maître, pour l'esclave c'est l'octet d'état. Le bus fonctionne sur une interface à 4 fils comme suite:

**CSN : Chip Select Not (Actif si bas)** : sélectionne quel esclave doit écouter sur le bus. Beaucoup d'esclaves peuvent être connectés au bus (ils partagent les trois autres fils), mais un seul peut être sélectionné pour communiquer à la fois.

**SCK : SPI Shift Clock** : transporte le signal d'horloge qui synchronise le maître avec l'esclave actif. Cette vague est envoyée par le maître, il est automatiquement généré par le module SPI du microcontrôleur lors d'une transaction SPI. Il détermine la vitesse avec laquelle la connexion SPI transmet des données.

**MOSI : Master Out Slave In** : transporte des bits de données du maître à l'esclave.

**MISO : Master in Slave Out** porte bits de données de l'esclave au maître.

SPI 4 fils est un protocole full-duplex, bien que l'esclave ne peut pas initier un transfert de données. L'esclave doit alerter le maître qu'il a des données prêtes à l'aide d'un mécanisme externe, comme une interruption externe, de sorte que le maître peut lancer le transfert. Le protocole SPI utilise un cycle 2-mot avec un seul mot sur le maître et l'autre sur l'esclave. Pour envoyer un bit, le maître décale le bit de son tampon sur la ligne MOSI et les tiques de l'horloge. L'esclave se déplace son prochain bit de son tampon sur la ligne MISO, et déplace la ligne MOSI dans la mémoire tampon. Ce processus se fait huit fois pour transférer un octet. L'image suivante montre comment les bits sont décalés autour de l'anneau de 2 octets:

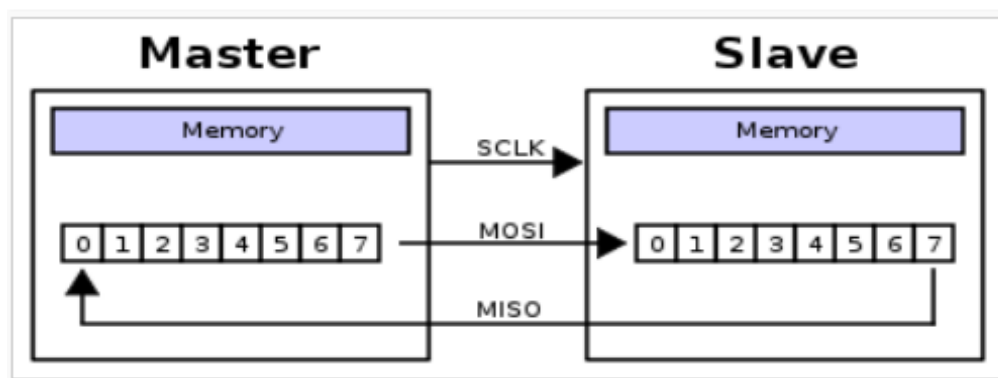


Figure n°28 : communication du SHT75 avec arduino ADK via le bus SPI

## Chapitre II : Conception du système de détection de gaz

Le nRF24L01 fournit une interface robuste pour configurer ses paramètres de l'envoi et de la réception de données. Le microcontrôleur communique avec son interface firmware via le bus SPI. Cette interface est basée sur un ensemble de registres avec lesquels on peut écrire et lire dessus, ainsi que plusieurs instructions de 1 octet pour commander le firmware d'effectuer diverses tâches. Pour faire quelque chose sur le NRF24L01, le microcontrôleur envoie une instruction sur SPI, généralement suivie par un ou plusieurs arguments octets. Lors du chargement des paquets sur ou hors de la radio, le microcontrôleur doit désactiver le transceiver en basculant la broche CE vers le bas.

Le pilote cache les détails du firmware à partir d'applications, mais il est utile de comprendre comment fonctionne la radio (en particulier lorsqu'ils traitent avec des bugs dans le pilote).

### Les registres :

Les registres sont utilisés pour configurer les différents paramètres et fonctionnalités que le nRF24L01 dispose. Chaque registre (sauf les trois registres de charge utile) a une adresse de 5 bits qui est masquée dans les instructions de R\_REGISTER et W\_REGISTER respectivement lire et écrire dans le registre. Les registres suivants sont disponibles:

Registre	Fonction d'exécution
CONFIG	Configuration des interruptions, CRC, la puissance et l'état Tx / Rx.
EN_AA	Activer et désactiver Enhanced ShockBurst™ sur les tuyaux Rx individuels.
EN_RXADDR	Activer et désactiver les tuyaux Rx.
SETUP AW	Définir la largeur d'adresse
SETUP RETR	Configurer le délai de nouvelle tentative et le nombre de tentatives que la radio utilisera lorsqu'elle ne reçoit pas un paquet ACK.
RF CH	Réglez le canal RF sur lequel les émissions de radio.
RF SETUP	Configurer sur l'air des données du taux de la radio, la puissance de sortie, et le gain de LNA.
STATUS	Obtenir les bits d'interruption d'état, Tx FIFO bit complet, et le nombre de la conduite qui a reçu un paquet.
OBSERVE_TX	Obtenir un compte de paquets perdus et re-transmis.
CD	Obtenez le détection de porteuse bits.
RX ADDR Pn	Définir l'adresse de Rx tuyau n.
TX ADDR	Définir l'adresse de destination pour les paquets transmis.
RX PW Pn	Régler la largeur de charge utile statique sur Rx tuyau n.
<a href="#">FIFO STATUS</a>	Obtenir le statut de l'auto-retransmit, Tx FIFO plein / vide, Rx FIFO plein / vide.

ACK PLD	La charge utile d'envoyer des paquets ACK, si des charges utiles de paquet ACK sont activés (par écrit l'instruction de W_ACK_PAYLOAD).
TX PLD	Le Tx FIFO (écrit avec les instructions W_TX_PAYLOAD et W_TX_PAYLOAD_NO_ACK).
RX PLD	La Rx FIFO (lire à partir de l'instruction de R_RX_PAYLOAD).
DYNPD	Activer ou désactiver la fonction dynamique de calcul de la charge utile sur les tuyaux Rx
FEATURE	Activer ou désactiver la charge utile dynamique, la charge utile ack, et les caractéristiques d'ack sélectifs.

**Tableau n°11: différents Registres et leurs fonctions d'exécution**

### .FIFOs :

Il y a deux files d'attente de paquets ou « FIFOs » dans la radio, une pour les paquets reçus « Rx FIFO » et l'autre pour les paquets à transmettre « le Tx FIFO ». Chaque FIFO peut contenir jusqu'à trois paquets. Si une transmission échoue, le paquet n'est pas effacé de la « Tx FIFO », il doit être retiré en utilisant l'instruction « FLUSH\_TX ».

La « Rx FIFO » est différent des tuyaux Rx, un tuyau se réfère de la première jusqu'à la sixième adresses par laquelle la radio peut être adressée, tandis que la « Rx FIFO » est la file d'attente de 3 paquets dans laquelle les paquets reçus sont stockés jusqu'à ce que le microcontrôleur les lise de la radio. Tous les six tuyaux Rx mettent les données dans le même paquet « Rx FIFO ».

Lorsque le « Rx FIFO » est pleine, les nouveaux paquets sont ignorés jusqu'à ce qu'un espace dans la FIFO soit disponible.

### Format des Paquets :

La radio génère des paquets de types, « ShockBurst™ » Le format original ressemble à ceci :



**Figure n°29 : structure des paquets de type « ShockBurst »**

### .Interruptions :

La radio peut générer trois interruptions:

**RX\_DR** : La radio a reçu un paquet.

**TX\_DS** : La radio a transmis avec succès un paquet.

**MAX\_RT** : la transmission a échoué.

### .Glossaire des termes :

Term	Description
CLK	Clock
CRC	Cyclic Redundancy Check
CS	Chip Select
CE	Chip Enable
DR	Data Ready
GFSK	Gaussian Frequency Shift Keying
ISM	Industrial-Scientific-Medical
MCU	Micro controller
OD	Overdrive
PWR_DWN	Power Down
PWR_UP	Power Up
RX	Receive
ST_BY	Standby
TX	Transmit

Tableau n°12 : Glossaire des termes

**Note** : les échanges de données entre modules sont bidirectionnels.

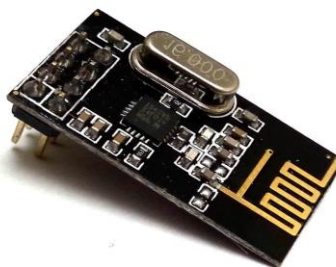


Figure n°30 : le module NRF24L01

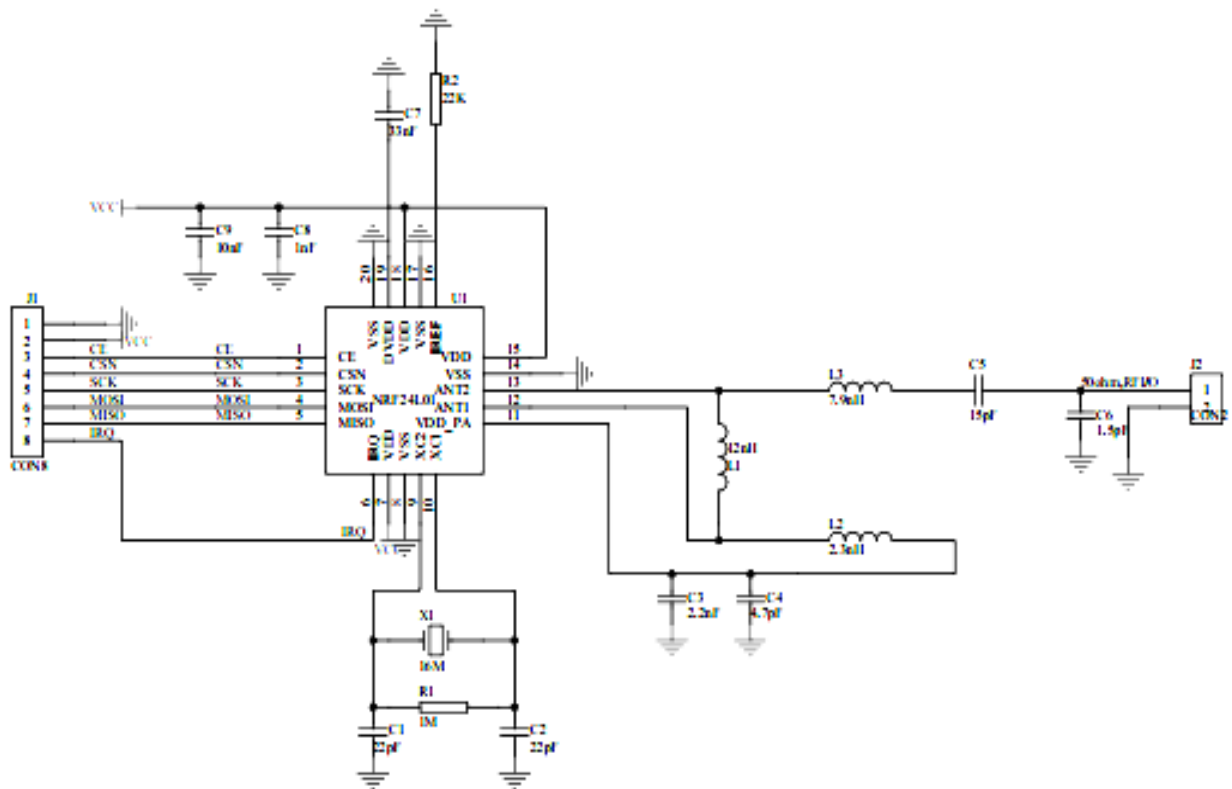


Figure n°31 : Le schéma électronique du module NRF24L01

### Bloc traitement :

Notre système à détection de gaz va se faire à base d'un microcontrôleur, alors pour cela nous avons utilisé le module « arduino ».

### .Définition du module Arduino :

Le module Arduino est un circuit imprimé en matériel libre (plateforme de contrôle) dont les plans de la carte elle-même sont publiés en licence libre dont certains composants de la carte : comme le microcontrôleur et les composants complémentaires qui ne sont pas en licence libre. Un microcontrôleur programmé peut analyser et produire des signaux électriques de manière à effectuer des tâches très diverses. Arduino est utilisé dans beaucoup d'applications comme l'électrotechnique industrielle et embarquée ; le modélisme, la domotique mais aussi dans des domaines différents comme l'art contemporain et le pilotage d'un robot, commande des moteurs et faire des jeux de lumières, communiquer avec l'ordinateur, commander des appareils mobiles (modélisme). Aujourd'hui elle fait son

## Chapitre II : Conception du système de détection de gaz

apparition dans le domaine de l'électronique biomédicale. Chaque module d'Arduino possède un régulateur de tension +5 V et un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles). Pour programmer cette carte, on utilise le logiciel IDE Arduino.

### La carte Arduino MEGA ADK :

La MEGA ADK est une carte basée sur le « ATmega2560 » microcontrôleur. Il dispose d'une interface hôte USB pour connecter avec des téléphones Android, basé sur le « MAX3421e » IC. Ainsi que d'un « ATmega8U2 » programmée comme un convertisseur USB-série. Elle dispose de 54 broches numériques d'entrée / sortie (dont 15 peuvent être utilisés comme sorties PWM), 16 entrées analogiques, 4 UART (ports série de matériel), un oscillateur quartz 16 MHz, une connexion USB, une prise d'alimentation et un bouton de remise à zéro.

La MEGA ADK dispose de 256 Ko de mémoire flash pour le stockage de code (dont 8 Ko est utilisé pour le bootloader), 8 Ko de SRAM et 4 Ko de mémoire EEPROM (qui peut être lu et écrit avec la bibliothèque EEPROM).



Figure n°32 : Arduino MEGA ADK

Caractéristiques :

- Microcontrôleur: ATmega2560
- Tension de fonctionnement: 5V
- Tension d'entrée (recommandé): 7-12
- Tension d'entrée (limites): 6-20V
- Digital I / O Pins: 54 (dont 15 fournissent la sortie PWM)
- Pins d'entrées analogiques: 16

- DC Courant par I / O Pin : 40 mA
- Courant DC pour 3.3V Pin: 50 mA
- Mémoire flash: 256 Ko dont 8 Ko utilisé par bootloader.
- SRAM: 8 KB.
- EEPROM: 4 KB.
- Vitesse d'horloge: 16 MHz.



**Figure n °33 : Le ATMEGA2560 microcontrôleur**

### Partie programme :

Une telle carte d'acquisition qui se base sur sa construction sur un microcontrôleur doit être dotée d'une interface de programmation comme est le cas de notre carte.

L'environnement de programmation open-source pour Arduino peut être téléchargé gratuitement (pour Mac OS X, Windows, et Linux).

### Description du programme :

Un programme arduino est une suite d'instructions élémentaires sous forme textuelle (ligne par ligne). La carte lit puis effectue les instructions les une après les autres dans l'ordre défini par les lignes de codes.

### L'environnement de la programmation :

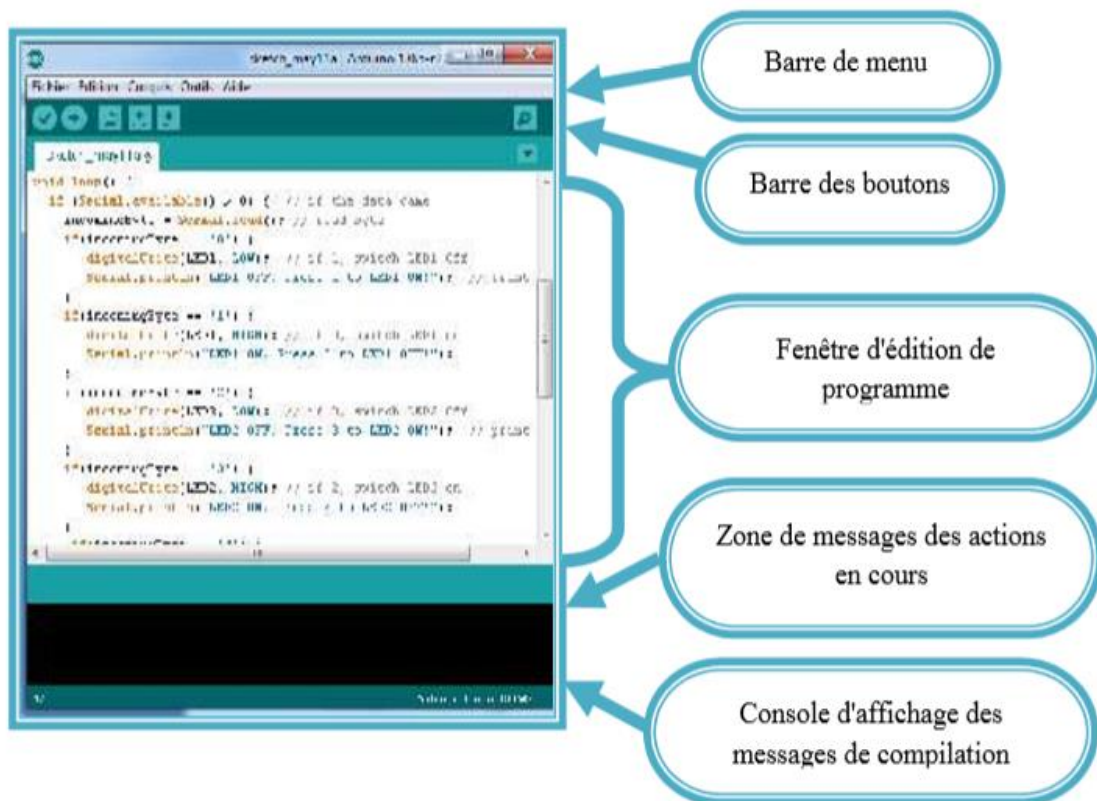
Le logiciel de programmation de la carte Arduino sert d'éditeur de code (langage proche du C). Une fois, le programme tapé ou modifié au clavier, il sera transféré et mémorisé dans la carte à travers de la liaison USB. Le câble USB alimente à la fois en énergie la carte et transporte aussi l'information ce programme appelé IDE Arduino.

### Structure générale du programme (IDE Arduino) :

Comme n'importe quel langage de programmation, une interface souple et simple est exécutable sur n'importe quel système d'exploitation Arduino basé sur la programmation en C.



**Figure n°34 : Icône du programme arduino**



**Figure n°35 : Interface IDE Arduino**

Injection du programme :

Avant d'envoyer un programme dans la carte, il est nécessaire de sélectionner le type de la carte (Arduino UNO) et le numéro de port USB (COM 3).

Les étapes de téléchargement du programme :

Une simple manipulation enchaînée doit être suivie afin d'injecter un code vers la carte Arduino via le port USB.

1. On conçoit ou on ouvre un programme existant avec le logiciel IDE Arduino.
2. On vérifie ce programme avec le logiciel Arduino (compilation).
3. Si des erreurs sont signalées, on modifie le programme.
4. On charge le programme sur la carte.
5. On câble le montage électronique.
6. L'exécution du programme est automatique après quelques secondes.

7. On alimente la carte soit par le port USB, soit par une source d'alimentation autonome (pile 9 volts par exemple).
8. On vérifie que notre montage fonctionne.

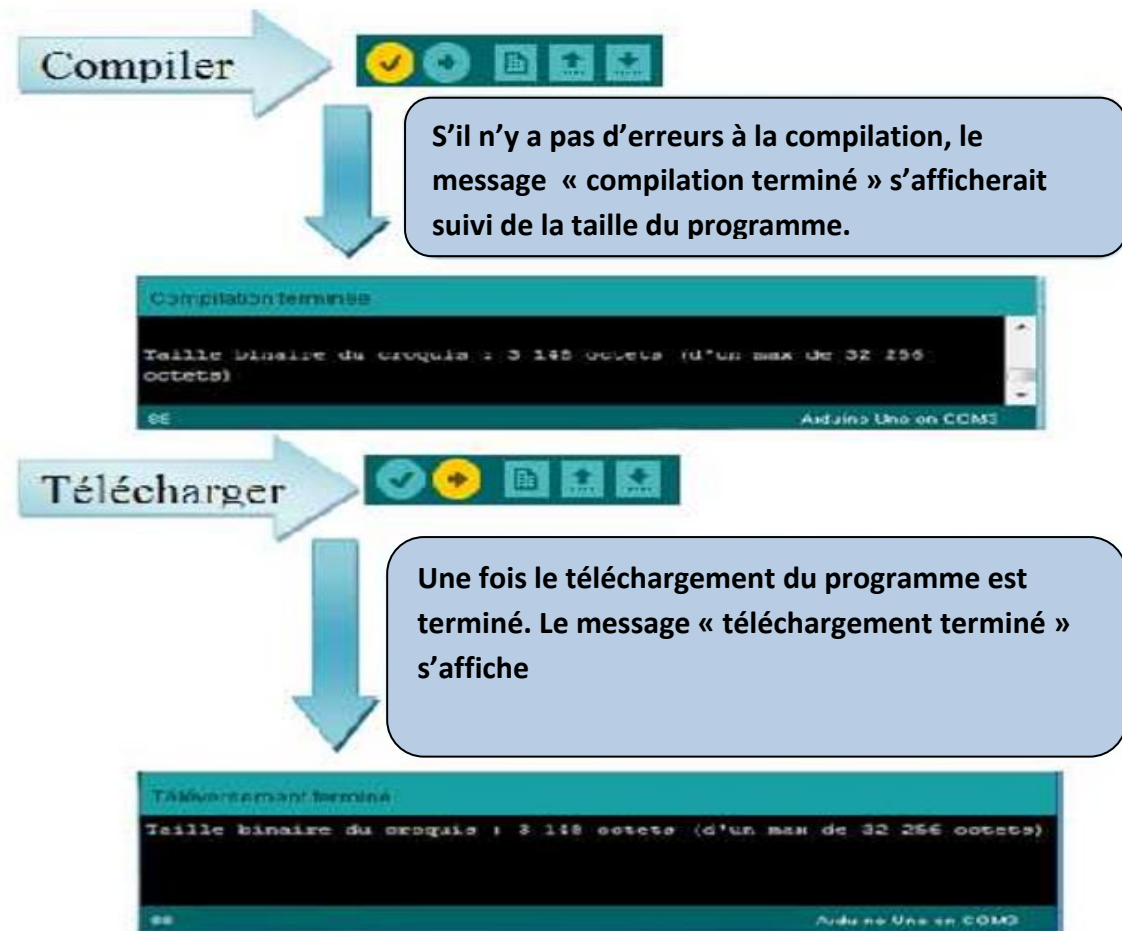
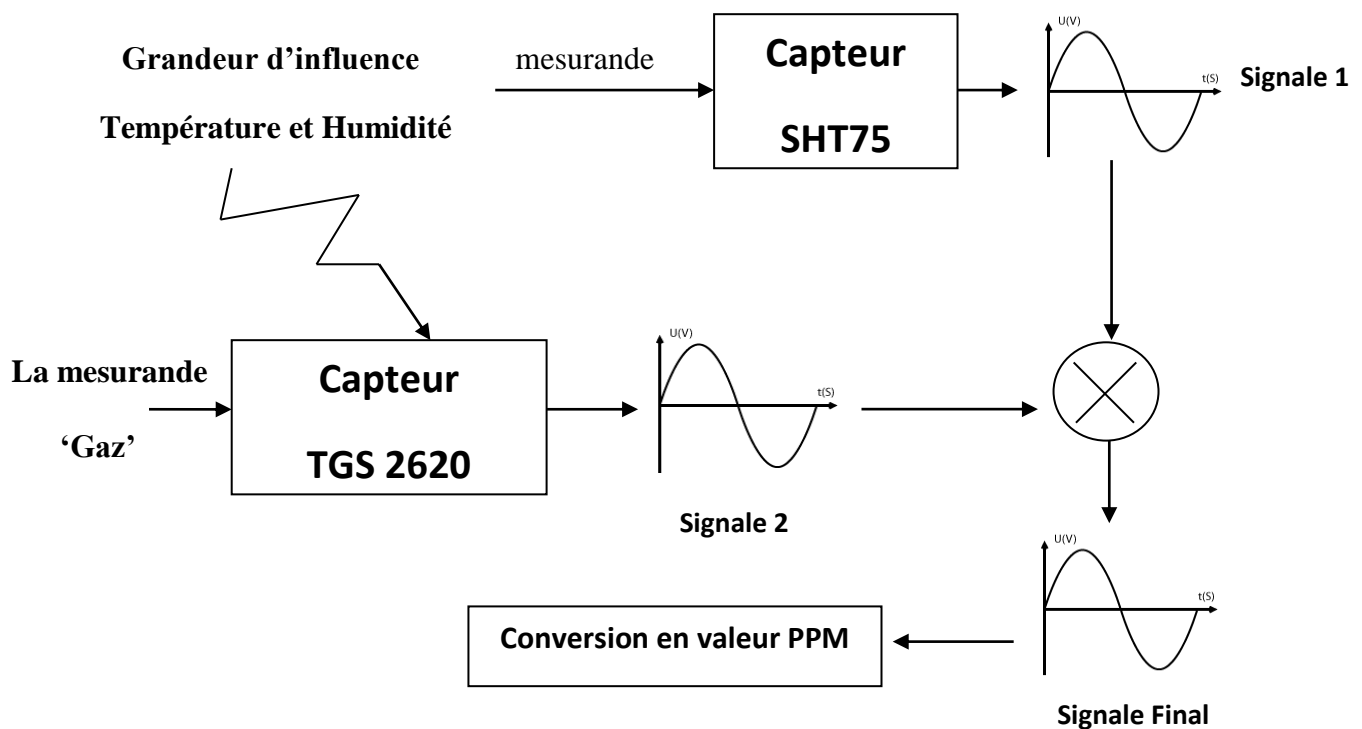


Figure n °35 : compilation et téléversement du programme

### Déroulement du programme :

Le bloc d'acquisition et d'envoi de donnée est le bloc principale, le « TGS 2620 » converti les variations de concentrations en un signal analogique, ce dernier est injecté vers la Pin A10 de l'Arduino ADK. Une fonction permet la transformation des valeurs du signal reçu en une concentration en PPM en tenant compte de changement de température et d'humidité. La figure ci-dessous montre les différentes étapes pour passer de la grandeur physique 'Gaz' à une valeur en 'PPM' :



**Figure n° 37: Etape de passage d'une grandeur physique à une valeur PPM**

Une fois les données sont acquises et traitées, Le « NRF24L01 » se charge de leur envoi pour l'unité de surveillance. En cas de haute concentration, un signal est envoyé vers la broche n°12 de l'ADK pour l'activation du système d'aération placé sur notre chambre de simulation, et qui a pour but de diminuer la concentration du gaz en question.

Le tout est organisé et affiché sur un écran LCD, avec option de sélection de gaz à détecter comme le montre l'organigramme de la **figure 38**:

## Chapitre II : Conception du système de détection de gaz

Organigramme d'acquisition et traitement :

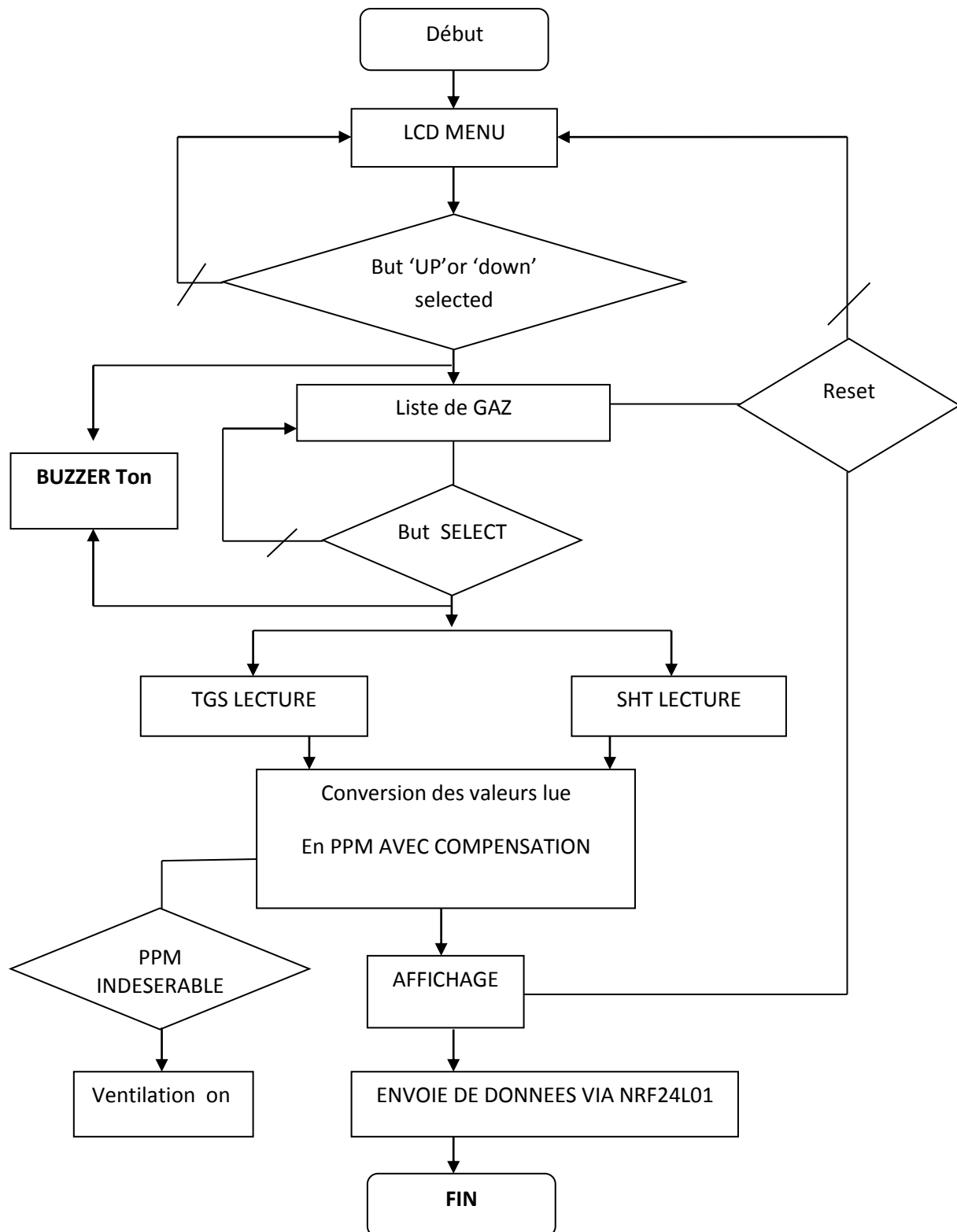


Figure n°38 : Organigramme Arduino ADK

### Partie réception et surveillance :

Cette partie comprend trois blocs principaux, dont les valeurs envoyées par l'émetteur sont captées par le récepteur, Puis seront transmises vers l'ordinateur en passant par notre carte d'acquisition « Arduino uno ».

Grace à un autre programme « Processing », les valeurs reçues seront affichées sous forme d'un graphe. Et enregistrées dans un fichier « .txt » pour une surveillance permanente.

En cas d'une néfaste concentration du gaz, un système d'alarme se déclenche dans le poste surveillance, ainsi qu'une commande sera envoyé vers la partie d'acquisition et de transmission, pour que cette dernière déclenche à son tour un système de ventilation, afin d'évacuer le gaz.

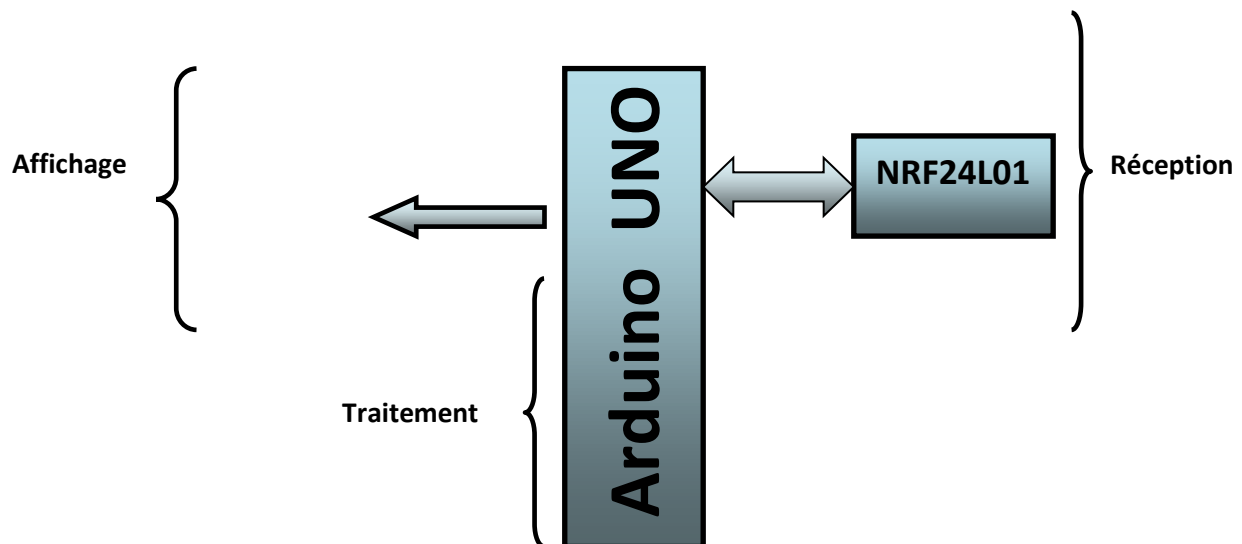


Figure n°39 : les différents blocs de la partie acquisition et transmission

### Bloc réception :

Pour la réception de données, on a utilisé le même module de transmission que celui de la partie précédente, sauf que cette fois le « NRF24L01 » communique avec le microcontrôleur d'arduino uno le « AT MEGA 328 ». Le mode de fonctionnement et l'échange de données est tout à fait le même.

### Bloc Traitement :

Pour ce bloc, nous avons utilisé la carte arduino uno. La « UNO » possède suffisamment de broches pour satisfaire les conditions de branchement des modules :

#### .La carte Arduino uno :

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

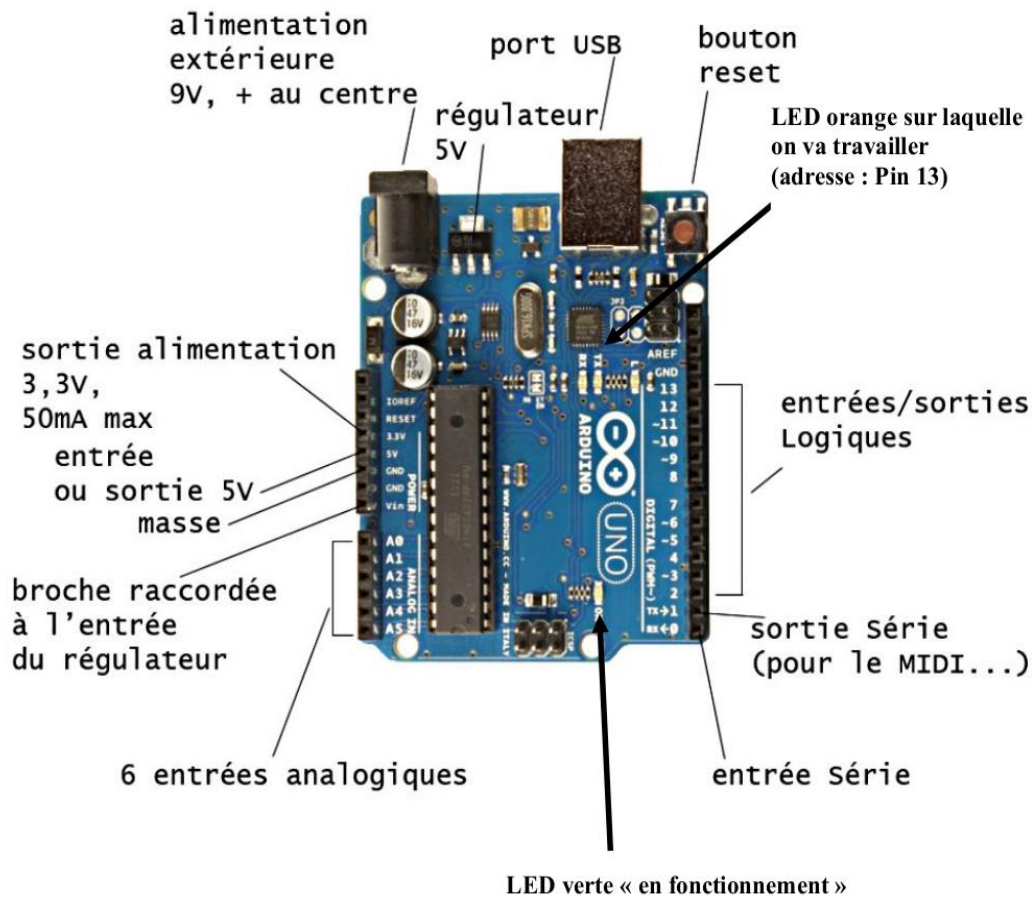


Figure n°40 : La carte Arduino uno

### Déroulement du programme :

Le Bloc de réception et de surveillance reçoit les concentrations via le « NRF24L01 », une fonction de comparaison s'exécute et compare les valeurs reçues aux valeurs normales programmées. Si un dépassement est remarqué, l'alarme se met en marche comme l'illustre l'logigramme suivant :

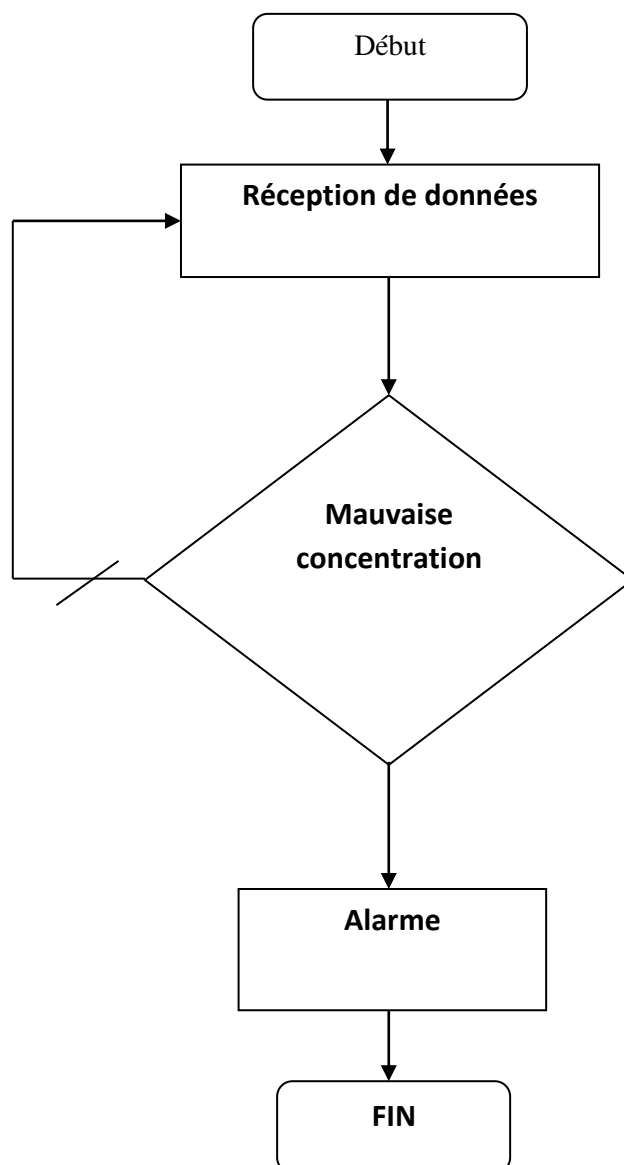


Figure n°41: Organigramme du programme de traitement

### Bloc d'affichage :

Les données interceptées par le récepteur, sont affichées dans un graphe à l'aide d'un logiciel appelé « Processing ».

### . Processing :

#### Présentation :

Conçu par des artistes, pour des artistes, Processing est un des principaux environnements de création utilisant le code informatique pour générer des œuvres multimédias sur ordinateur. L'attrait de ce logiciel réside dans sa simplicité d'utilisation et dans la diversité de ses applications : image, son, applications sur Internet et sur téléphones mobiles, conception d'objets électroniques interactifs, et il peut aussi communiquer avec l'Arduino via le port Série.

Processing fédère une forte communauté d'utilisateurs professionnels et amateurs : artistes, graphistes, vidéastes, typographes, architectes, web designers et designers en général. Il est également utilisé par des enseignants en arts qui souhaitent familiariser leurs étudiants avec les potentialités artistiques de la programmation, les concepteurs du logiciel l'ayant pensé dès l'origine comme un outil d'apprentissage.



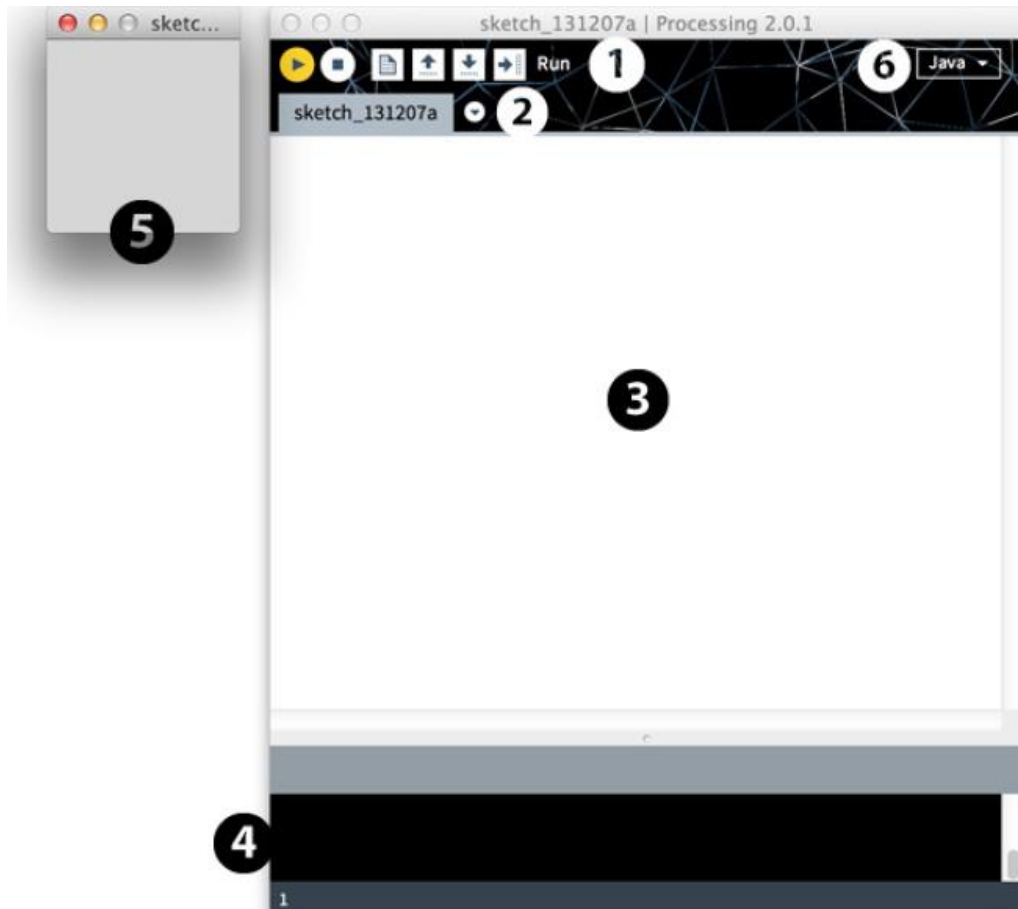
**Figure n° 42: Icône Processing**

#### Interface d'utilisation :

Les points de 1 à 6 sont illustrés dans la figure n°43 :

1. Barre d'actions.
2. Barre d'onglets.
3. Zone d'édition (pour y saisir votre programme).
4. Console (destinée aux tests et messages d'erreur).
5. Fenêtre de visualisation (espace de dessin).

### 6. Liste déroulante pour les modes.



**Figure n°43 : interface processing**

### Déroulement du programme :

Processing communique avec l'Arduino à travers le port série, la fonction « import processing.serial.\* » permet le transfert de toutes les valeurs de Arduino à travers le port série vers l'EPPROM du programme. Avant la création du graphe, des initialisations doivent être faites, en fait il faut d'abord définir la taille de la fenêtre de visualisation et de créer le fichier « concentrations.txt » où stocker les concentrations, sans oublier la remise à zéro du curseur graphique Xpos.

On passe à la partie visualisation, les plans de la concentration en fonction du temps sont lâchés sur la fenêtre, le curseur Xpos explore le plan temps tout en suivant le changement de concentration créant une sorte de graphe multi couleurs. Les concentrations sont archivées dans leur fichier spécifié en cas de besoin. L'organigramme de la figure suivante nous propose les étapes détaillées de ce processus :

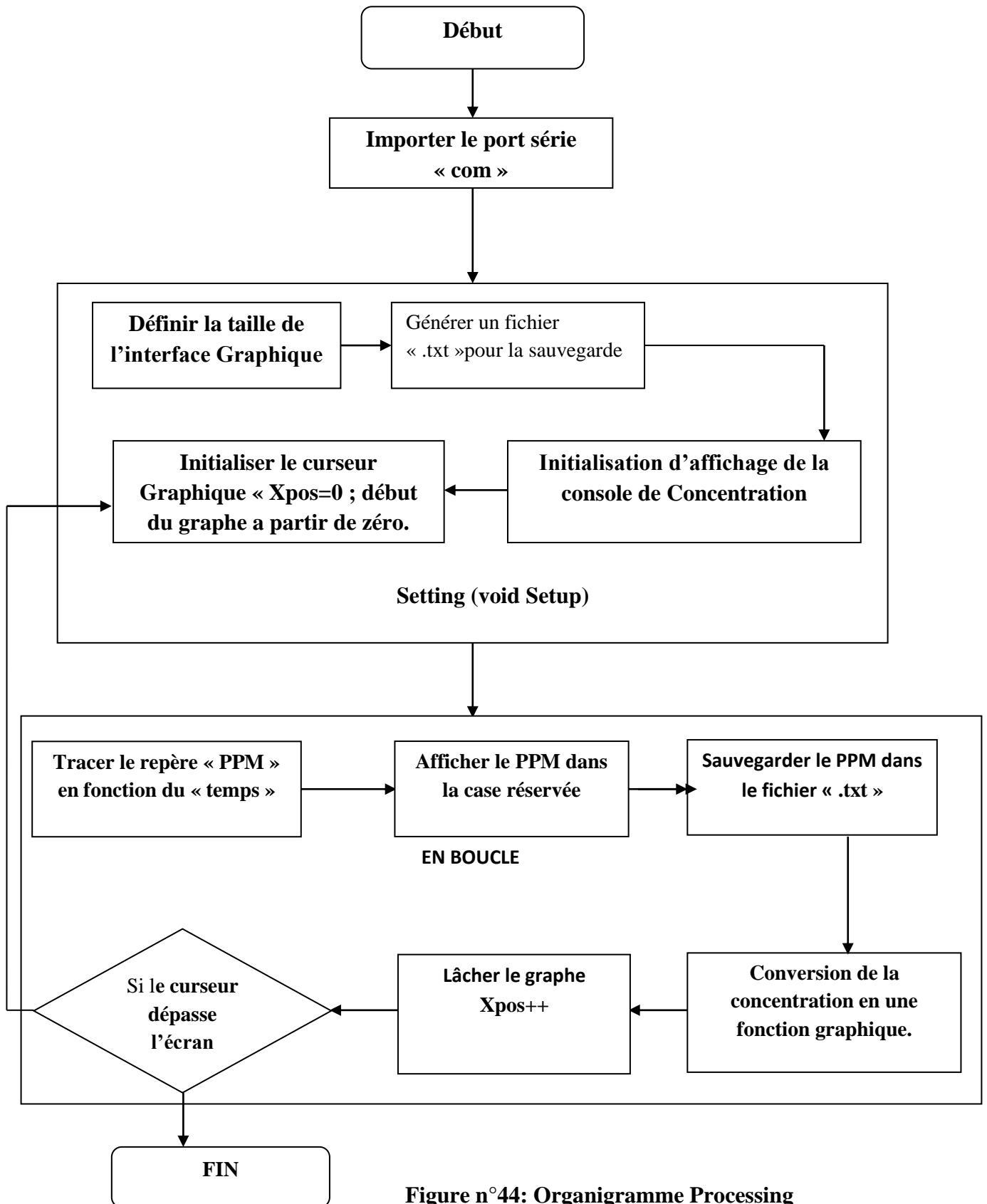


Figure n°44: Organigramme Processing

### Conclusion :

A travers ce chapitre on a pu faire un pas vers la réalisation de notre projet, nous avons fait face à plusieurs contraintes telles que le choix du matériel utilisé comme le module de transmission, les cartes d'acquisition et les capteurs (TGS2620 et SHT75), Ainsi que l'étalonnage et la compensation de ces derniers, ce qui nous a obligé à appliquer une méthode statistiques appelée « la lagrangienne » et ceci à l'aide de Microsoft Excel.

Après avoir résolu les problèmes précédents, on a passé à la définition de la partie logiciel qui comprend la programmation avec arduino et processing. Désormais il nous reste plus qu'à procéder à la réalisation de notre projet à travers une étude pratique dans le suivant chapitre.

# Chapitre III

Réalisation du système de détection  
de gaz

### Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons passer à la réalisation, au départ une liste de composant sera présentée pour chaque partie de notre système à microcontrôleur, par la suite les shield Arduino prendront forme en branchant chaque module sur sa maquette ou dans sa place réservée.

Une fois le soudage terminé, des couvertures en papier maquette feront guise de boîtier pour notre système, afin d'assurer la protection des parties intérieures, et donner un côté esthétique satisfaisant.

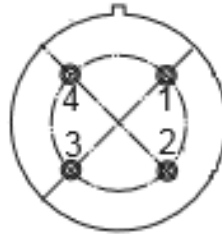
Enfin, la chambre de simulation sera préparée, en fixant les ventilateurs d'aération sur les parois des murs pour l'évacuation en cas d'urgence et la mise en place des deux capteurs pour la surveillance.

### Bloc acquisition et transmission :

#### Le « TGS2620 » Conditionnement :

**Conditions d'alimentation :** les numéros « 1 » à « 4 », représentent les broches du capteur tgs2620, les connexions entre le capteur et le microcontrôleur sont comme suit :

1	2	3	4
GND	MC	+5v	+5v



Vue de dessus



Vue en 3D

**Note :** Dans le cas de VH, il n'y a pas de polarité, donc les broches 1 et 4 peuvent être considérées comme interchangeables. Contrairement à VC, lorsqu'il est utilisé avec alimentation en courant continu, les broches 2 et 3 doivent être utilisées comme indiqué.

**Représentation :** ce schéma montre le montage du circuit capteur TGS avec la carte arduino mega adk. En utilisant un breadboard et des fils de couleurs et un trimmer pour calibrer le capteur.

- Broche « 3 » et « 4 » vers +5v arduino mega (rouge).
- « 1 » vers la sortie du trimmer puis branché au GND (jaune).
- « 2 » vers entrée du trimmer (jaune).
- Sortie variable du trimmer vers « A10 » entrée analogique ADK (marron).

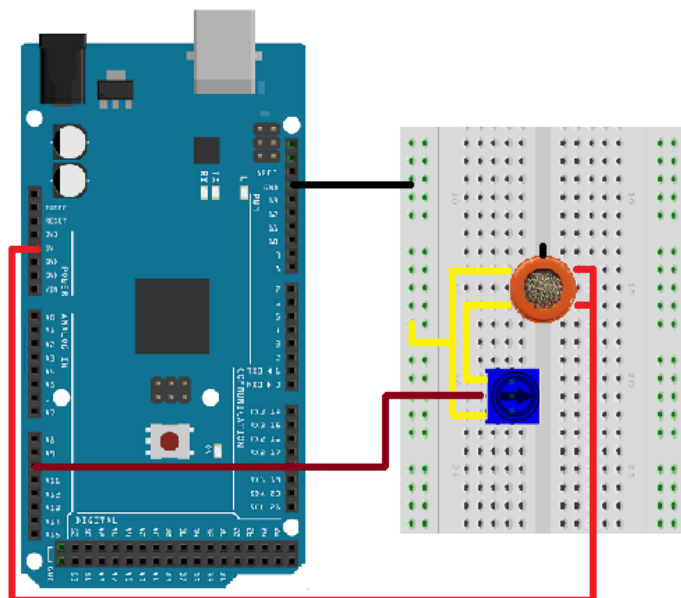


Figure n°45: montage du TGS avec la carte arduino mega adk

### Le « SHT75 » Conditionnement :

**Conditions d'alimentation :** les numéros « 1 » à « 4 », représentent les broches du capteur SHT, les connexions entre le capteur et le microcontrôleur sont comme suit :

1	2	3	4
MC	3.3V	GND	MC

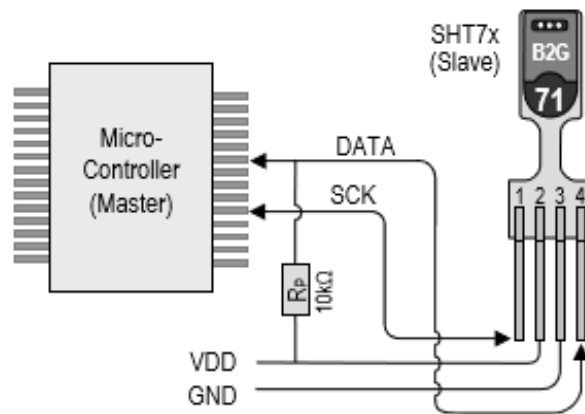


Figure n°46 : connexions entre le SHT75 et un microcontrôleur

**Note :** L'alimentation recommandée est de 3.3V. Le VDD et la masse sont découplés par un condensateur 100nF intégré sur le côté arrière de l'emballage du capteur.

**Représentation :** ce schéma montre le montage du circuit capteur SHT avec la carte arduino mega adk.

- Broche « 3 » et « 4 » vers +5v arduino mega (rouge).
- « 1 » vers la sortie du trimer puis branché au GND (jaune).
- « 2 » vers entrée du trimer (jaune).
- Sortie variable du trimer vers « A10 » entrée analogique ADK (marron).

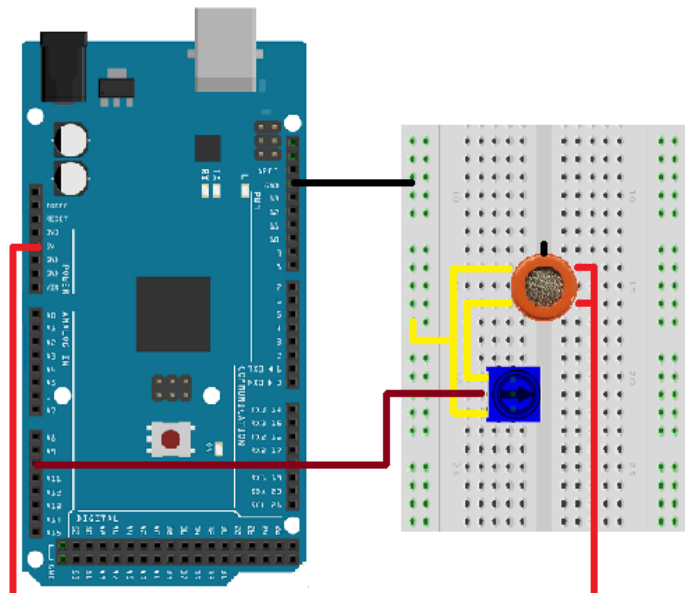


Figure n°47 : connexions entre SHT75 et la carte arduino mega adk

### Bloc transmission :

La figure suivante présente la planche MiRF-v2 sur laquelle est implanté le NRF24L01. Afin que ce module puisse communiquer avec le microcontrôleur d'arduino adk, on doit relier les connections comme indiquées dans le tableau suivant :

Broche module	Broche Arduino ADK	Fonction
1	GND	Masse
2	3.3v	VCC/3.3v
3	23(configurable)	CE
4	24(configurable)	CSN
5	52	SCK
6	51	MOSI
7	50	MISO

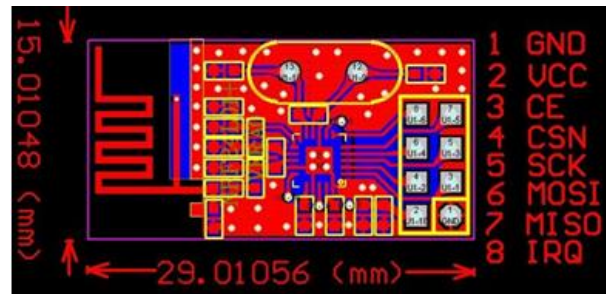


Figure n°48: représentation de NRF24L01

Tableau n °13: les connections entre les broches module et broches Arduino ADK

**Représentation :** pour un bon fonctionnement du NRF24L01, les connections entre lui et la carte arduino ADK doivent se faire comme nous le montre la figure ci-dessous :

- « 1 » vers GND (noir)
- « 2 » vers +3.3V (rouge)
- « 3 » vers digital ADK 23 (vert)
- « 4 » vers digital ADK 24 (jaune)
- « 5 » vers ADK entrée SCK (marron)
- « 6 » vers ADK entrée MOSI (violet)
- « 7 » ADK MISO entrée (orange)
- « 8 » non connectée

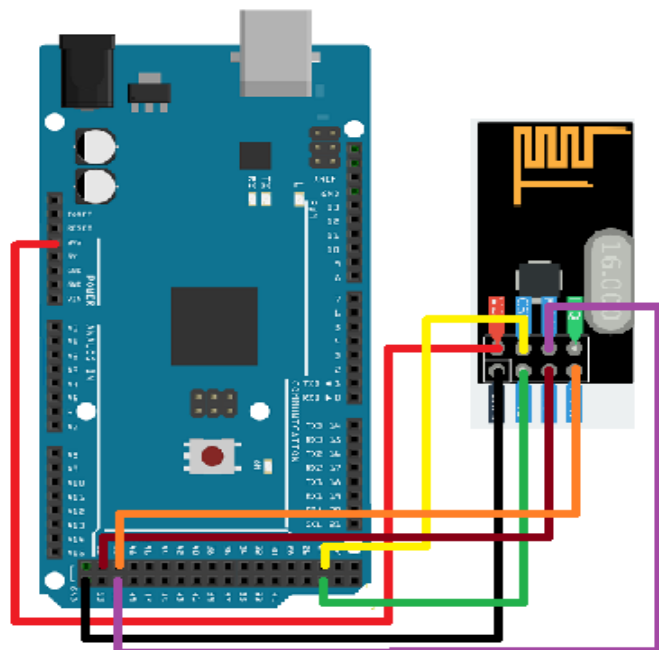
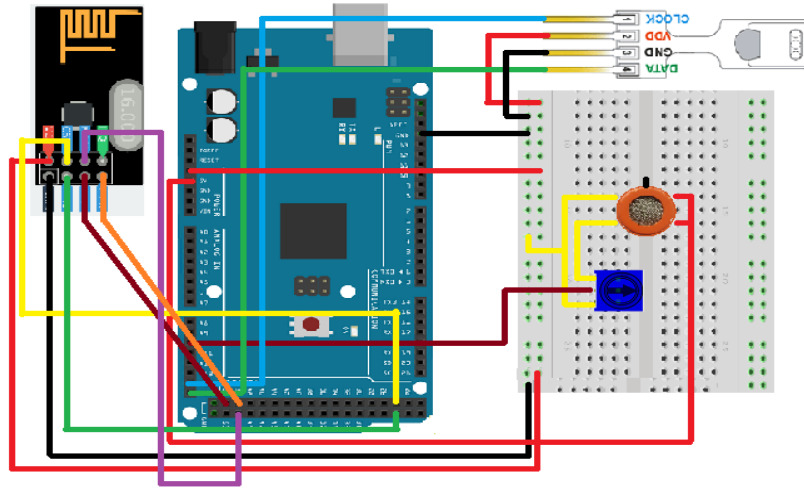


Figure n°49 : représentation du branchement du NRF24L01 avec Arduino ADK

### Assemblage :

Une fois que chaque élément fonction bien, on assemble le tout comme montre le schéma suivant :



**Figure n°50: représentation de l'ensemble des composants connectés à l'arduino MEGA Adk**

### Affichage :

Pour une simple utilisation de l'appareil, on a ajouté une interface d'affichage avec des boutons d'exploration, pour cela nous avons utilisé un Schild LCD arduino :



**Figure n°51: Schild LCD arduino**

Ce dernier est très simple à utiliser, il suffit de le monter sur la carte arduino, tout en respectant les noms des pins indiqués dessus. Une fois c'est fait, on passe à sa programmation.

### Système d'aération :

La figure suivante montre le montage des ventilateurs avec arduino mega adk, il peut être activé ou désactivé via un transistor. Il est alimenté par une tension externe de 12v.

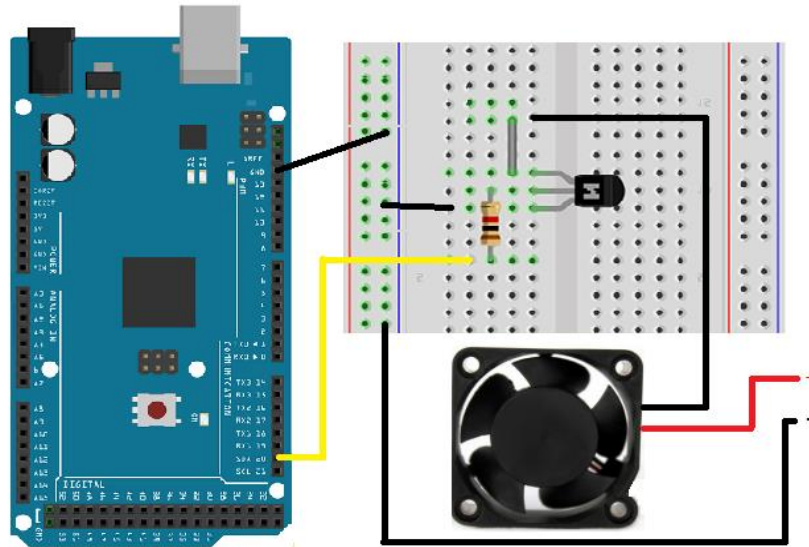


Figure n°52 : montage des ventilo avec sur arduino mega

### Leds et Buzzer :

Les trois leds sont conçu pour indiquer l'état du bloc, la jaune indique que l'appareil est allumé, verte indique qu'il est entrain d'envoyer les données et la rouge en cas de danger.

Pour le buzzer on l'a ajouté pour la sélection, si un bouton est appuyé celui la produit un son.

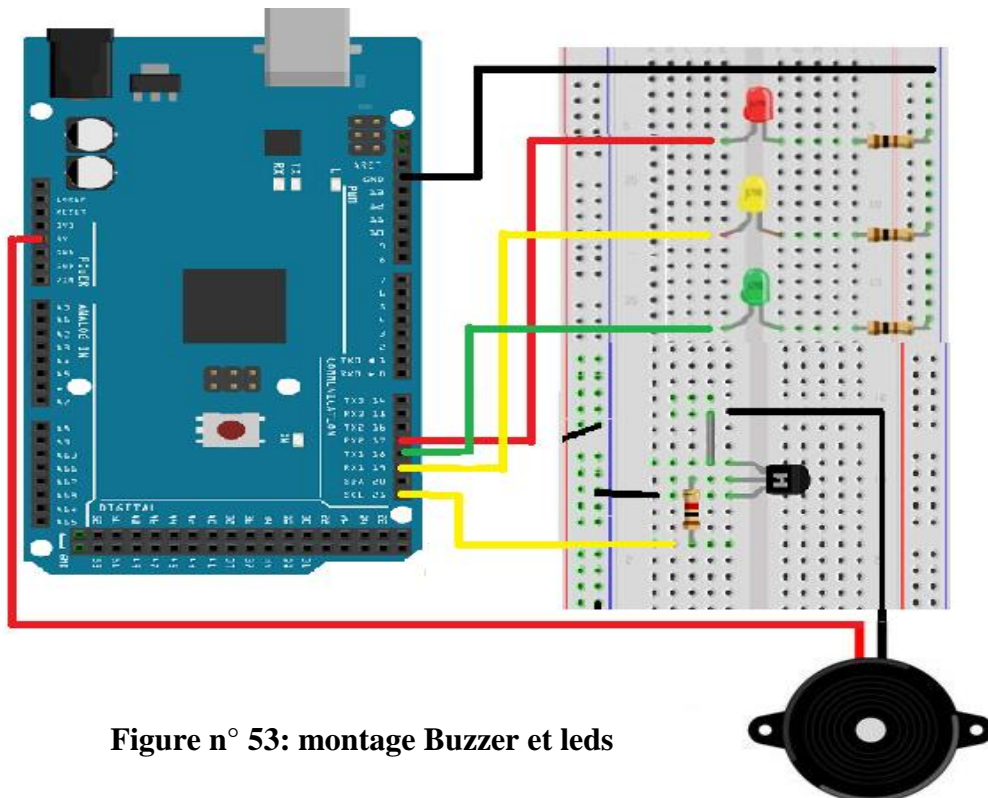


Figure n° 53: montage Buzzer et leds

### Le circuit imprimé :

Le circuit que nous avons conçu, ressemble a un shield arduino mega comme le montre la figure ci-dessous :

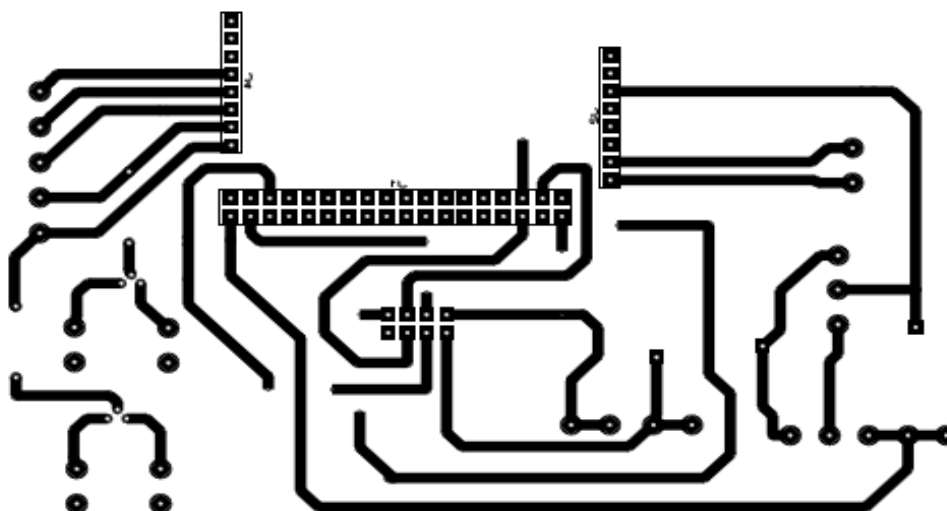


Figure n°54 : schéma montrant le circuit imprimé

### Liste des composants :

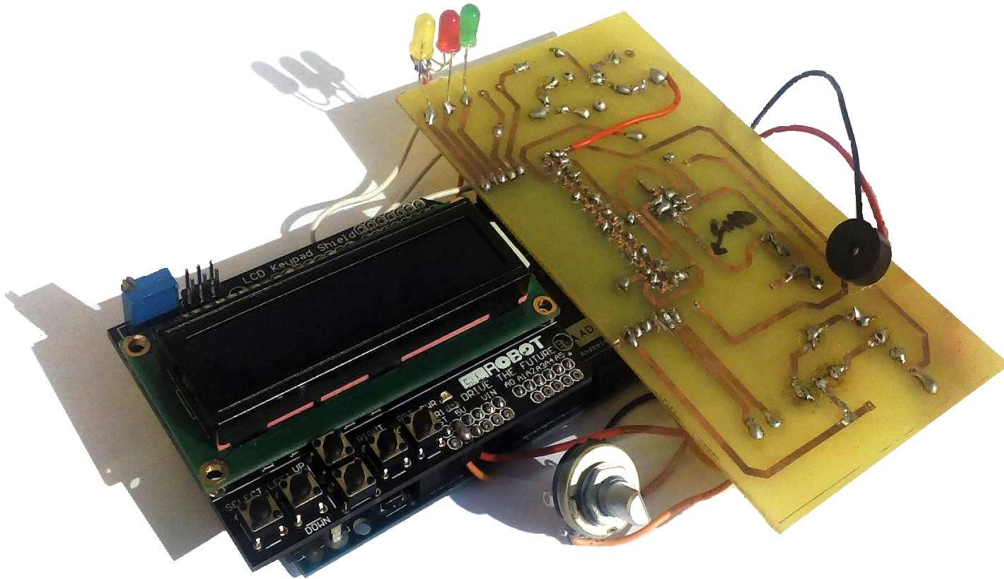
Les composants électroniques utilisés dans cette partie sont inscrit dans le tableau suivant :

Quantité	Composant
1 x	Arduino Mega ADK.
1 x	Figaro TGS 2620.
1 x	SHT 75.
1 x	Arduino LCD Shield Keypad.
1 x	2.4 ghz NRF24L01.
1 x	Potentiomètre 20 Ko.
1 x	Résistance 10 Ko.
1 x	Buzzer 5V.
2 x	Ventilateur DC 12V.
2 x	Transistor NPN 2N2222.
3 x	Led (rouge, verte, orange).
/	Câbles de branchage.

Tableau n° 14: liste des composants de l'émetteur

### Implantation des composants :

Après l'implantation des composants sur le circuit imprimé le résultat est comme suit :



**Figure n°55 : représentation du circuit imprimé Après l'implantation des composants**

En raison de la mauvaise sélectivité du capteur MOX utilisé, on a laissé des broches externes pour qu'on puisse rallonger le TGS, et l'isoler de sorte que ce capteur ne soit soumis qu'à un seul gaz à la fois, pour ce fait on a simulé une chambre à échelle réduite dans laquelle le « TGS2620 » et « SHT75 » respectivement, capteur de gaz et capteur de température et humidité, seront introduits.



**Figure n°56: chambre de simulation**

### Petit aperçu sur le programme :

Voici quelques instructions du programme de traitement de la partie acquisition et transmission :

#### Inclusion des librairies :

```
#include <LiquidCrystal.h> // bibliothèque LCD
#include <Sensirion.h> // bibliothèque SHT7X
#include <SPI.h> // Pour la gestion du port SPI
#include <Mirf.h> // Pour la gestion de la communication
#include <nRF24L01.h> // Pour les définitions des registres nrf24l01
#include <math.h> // bibliothèque mathématique
```

#### Declaration des variables :

```
int jaune=17; declaration led jaune
int verte=19; declaration led verte
int valeur = 0; // contient la valeur à envoyer
int gaz; // variable des concentrations
double Rapport; // rapport Rs/Ro
float temperature; // variable temperature
```

#### Partie configuration :

```
pinMode(rouge, OUTPUT); // led rouge en sortie
pinMode(jaune, OUTPUT); // led jaune en sortie
pinMode(verte, OUTPUT); // led verte en sortie
pinMode(buzzer,OUTPUT); // buzzer en sortie
Mirf.cePin = 23; // CE sur broche 23 // configuration broche CE en pin8
Mirf.csnPin = 24; // CSN sur broche 24 // configuration broche CSN en pin7

// Chaque module nRF24L01 doit se voir attribuer une adresse RADDR et TADDR
de 5 octets, ces deux adresses permettent de définir quelle module doit
recevoir tel ou tel message
Mirf.setTADDR((byte *)"nrf02"); // Le 1er envoie au 2eme module
Mirf.setRADDR((byte *)"nrf01"); // On définit ici l'adresse du 1er module
```

#### Partie instruction :

```
mainMenu(); // rappel de la fonction MENU LCD

switch (x) { // comparaison par rapport à x
  case 1: // si x égale 1
    for(int i=0;i<j;i++){ // ouverture de la boucle pour
      while(Mirf.isSending()) } // le module en cours d'émission
      delay(5); }
    flash(50); // rappel de la fonction blink led verte
    lcd.setCursor(0,0); // position du curseur lcd sur (0,0)
    lcd.print("Me:"); // écriture lcd

    affichageHumidityTemperature(); // rappel de la fonction
    affichage humidité et temperature
    tgs(); //fonction tgs qui fait les conversion en ppm sont faite
  if( ppm > p){ // ppm supérieur à la valeur p «dépend du type de gaz »
    Alarme() ; } // rappel de la fonction d'alarme
```

### Bloc réception et surveillance :

#### La réception :

Pour la réception de données, on a utilisé le même module de transmission que celui de la partie précédente, sauf que cette fois les connections avec arduino uno sont un peu différentes de l'ADK.

Broche module	Broche Arduino	Fonction
1	GND	Masse
2	3.3v	VCC/3.3v
3	7 (configurable)	CE
4	8 (configurable)	CSN
5	13	SCK
6	11	MOSI
7	12	MISO

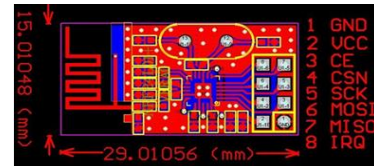


Figure n°57 : module NRF24L01

Tableau n15° : les connections entre les broches du module et broches Arduino UNO

**Représentation :** pour un bon fonctionnement du NRF24L01, les connections entre lui et la carte arduino doivent se faire comme nous le montre la figure ci-dessous

- « 1 » vers GND (noir)
- « 2 » vers +3.3V (rouge)
- « 3 » vers digital in 7(vert)
- « 4 » vers digital in 8 (jaune)
- « 5 » vers pin 13 entrée SCK (marron)
- « 6 » vers pin 11 entrée MOSI (violet)
- « 7 » pin 12 MISO entrée (orange)
- « 8 » non connectée

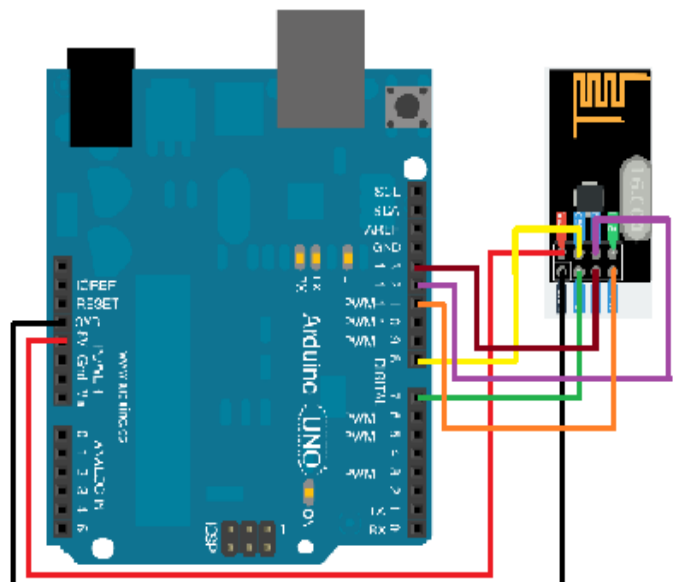


Figure n°58 : représentation des connections entre NRF24L01 et arduino

### Leds et Buzzer :

Les trois leds sont conçu pour indiquer l'état du bloc, la jaune indique que l'appareil est allumé, verte indique qu'il est entrain d'envoyer les données et la rouge en cas de danger. Le buzzer est utilisé comme une alarme. En cas de mauvaise concentration le buzzer sonne.

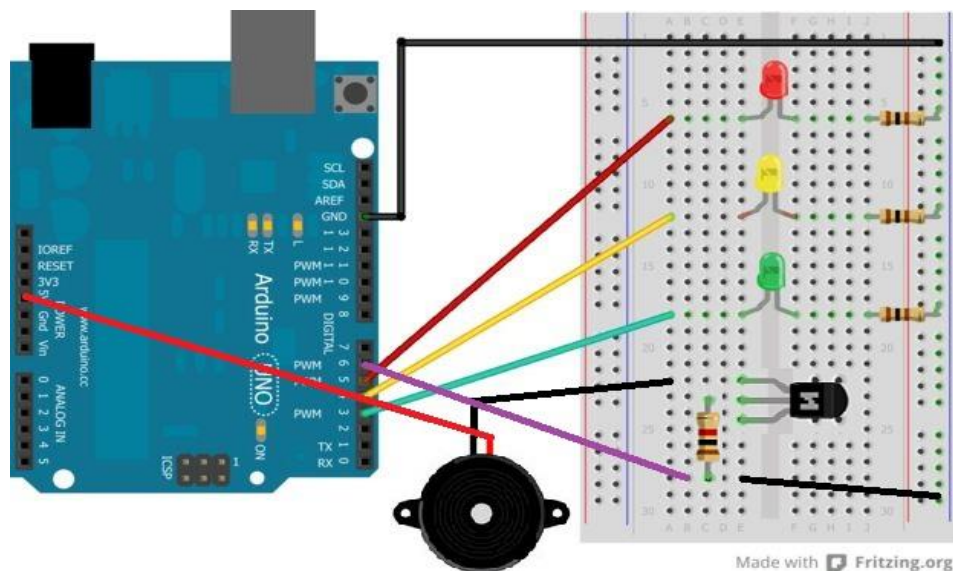


Figure n°59 : montage des leds et Buzzer

### Circuit imprimé :

Le circuit qu'on a conçu, est sous forme d'un shield arduino comme le montre la figure ci-dessous :

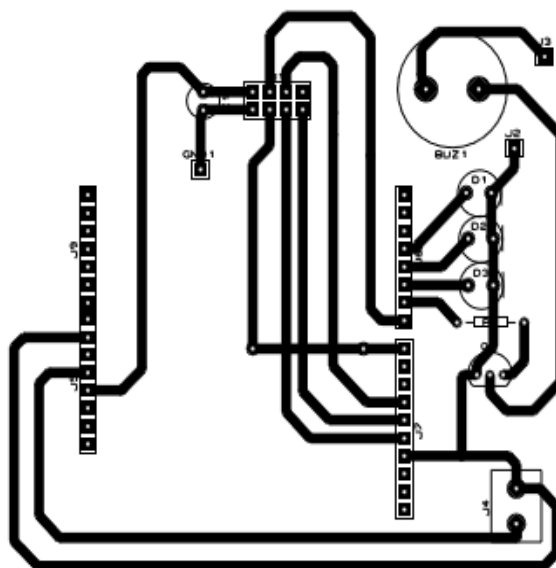


Fig. n°60 : circuit imprimé avec composants

## Chapitre III : Réalisation du système de détection de gaz

### Liste des composants :

Les composants électroniques utilisés dans cette partie sont inscrit dans le tableau suivant :

Quantité	Composant
1 x	Arduino Uno.
1 x	2.4 ghz NRF24L01.
1 x	Résistance 10 Ko.
1 x	Buzzer 12V.
1 x	Transistor NPN 2N2222.
1 x	Câble USB 2.0 A vers B.
3 x	Led (rouge, verte, orange).

Tableau n°16: liste des composants du récepteur

### Implantation des composants :

Après l'implantation des composants sur le circuit imprimé le résultat est comme suit :

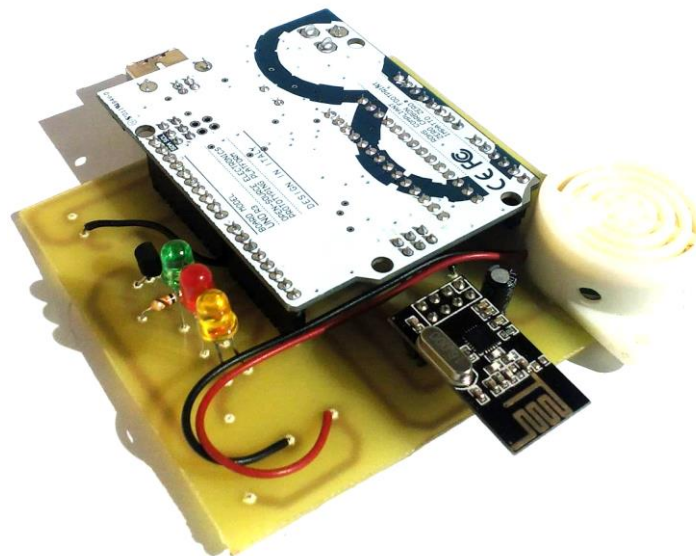


Figure n°61 : représentation du circuit imprimé Après l'implantation des composants

### Petit aperçu sur le programme du bloc réception et surveillance:

Voici quelques instructions du programme de traitement de la partie réception et surveillance :

#### Inclusion des bibliothèques :

```
#include <SPI.h> // Pour la gestion du port SPI
#include <Mirf.h> // Pour la gestion de la communication
#include <nRF24L01.h> // Pour les définitions des registres nrf24l01
#include <math.h> // bibliothèque mathématique
```

#### Déclaration des variables :

```
int Buz=6; // déclaration buzzer
int ledR =5; déclaration led rouge
int ledV=4; déclaration led verte
int ledJ=3; déclaration led jaune
int valeur = 0; // contient la valeur à recevoir
```

#### Partie configuration :

```
pinMode(rouge, OUTPUT); // led rouge en sortie
pinMode(jaune, OUTPUT); // led jaune en sortie
pinMode(verte, OUTPUT); // led verte en sortie
pinMode(buzzer,OUTPUT); // buzzer en sortie
Mirf.cePin = 8; // configuration broche CE en pin8
Mirf.csnPin = 7; // configuration broche CSN en pin7
Serial.begin(9600) ; // gestion du port série
// Chaque module nRF24L01 doit se voir attribuer une adresse RADDR
et TADDR de 5 octets, ces deux adresses permettent de définir quelle
module doit recevoir tel ou tel message
Mirf.setTADDR((byte *)"nrf01"); // Le 1er envoie au 2eme module
Mirf.setRADDR((byte *)"nrf02"); // On définit ici l'adresse du 1er
module
```

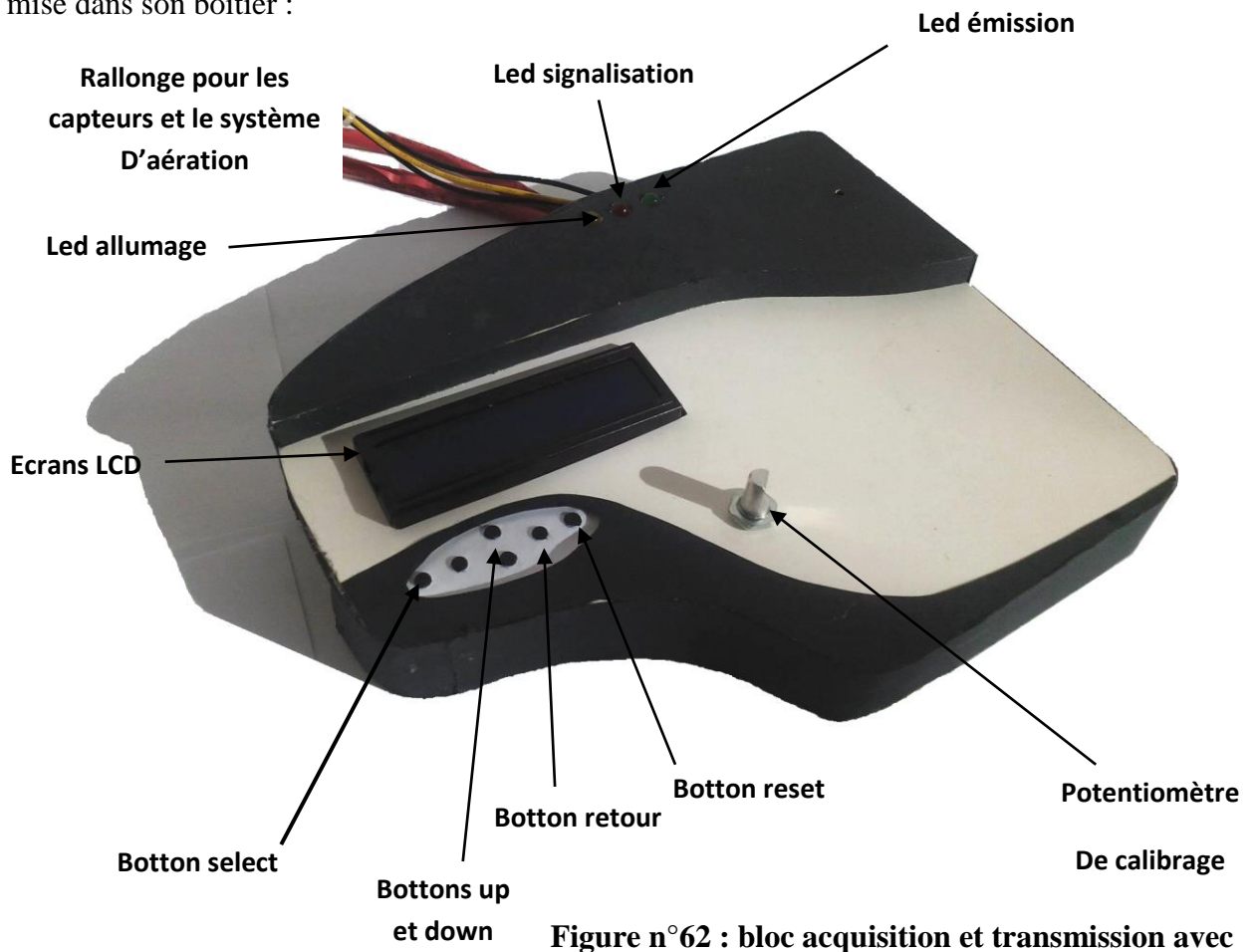
#### Partie instruction :

```
while(!Mirf.dataReady()) // en attente de réception
{
    delay(5); // delait de 5 ms
}
Mirf.getData(valeur_octet); // récupère 2 octets

if(valeur> p){ // p dépend du type de gaz
    Alarme(); rappel de la fonction alarme
}
else{ digitalWrite(Buz,LOW);} // sinon le buzzer passé en état bas
```

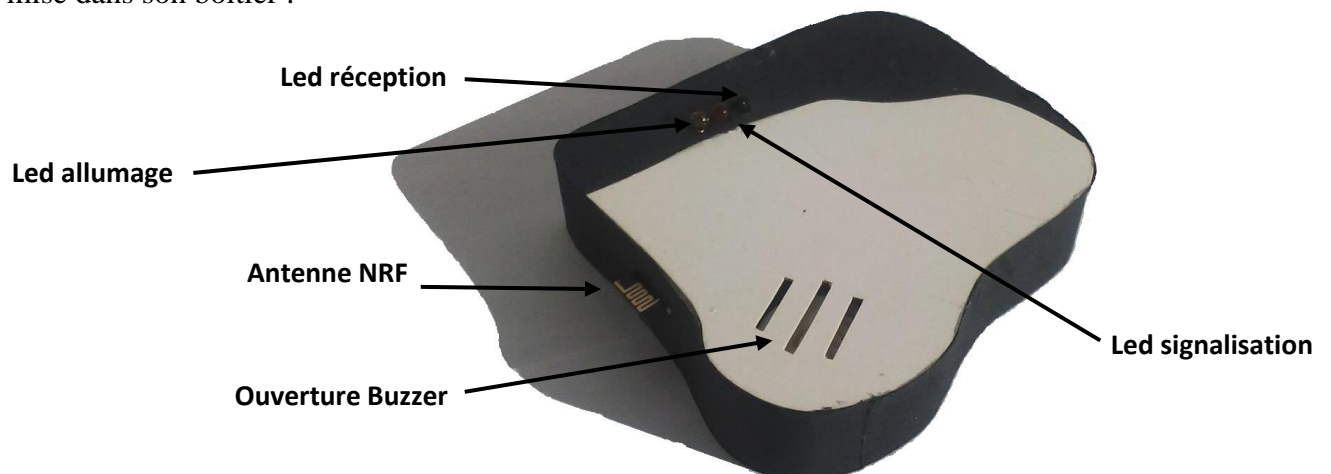
### Boitier du bloc acquisition et transmission :

La figure ci- dessous montre la maquette avec composants du bloc acquisition et transmission mise dans son boitier :



### Boitier du bloc réception et surveillance :

La figure ci- dessous montre la maquette avec composants du bloc réception et surveillance mise dans son boitier :



### Processing :

Processing communique avec Arduino via le port série, une fois les données des concentrations sont interceptées, le programme exécute le graphe, comme le montre la figure ci-dessous.

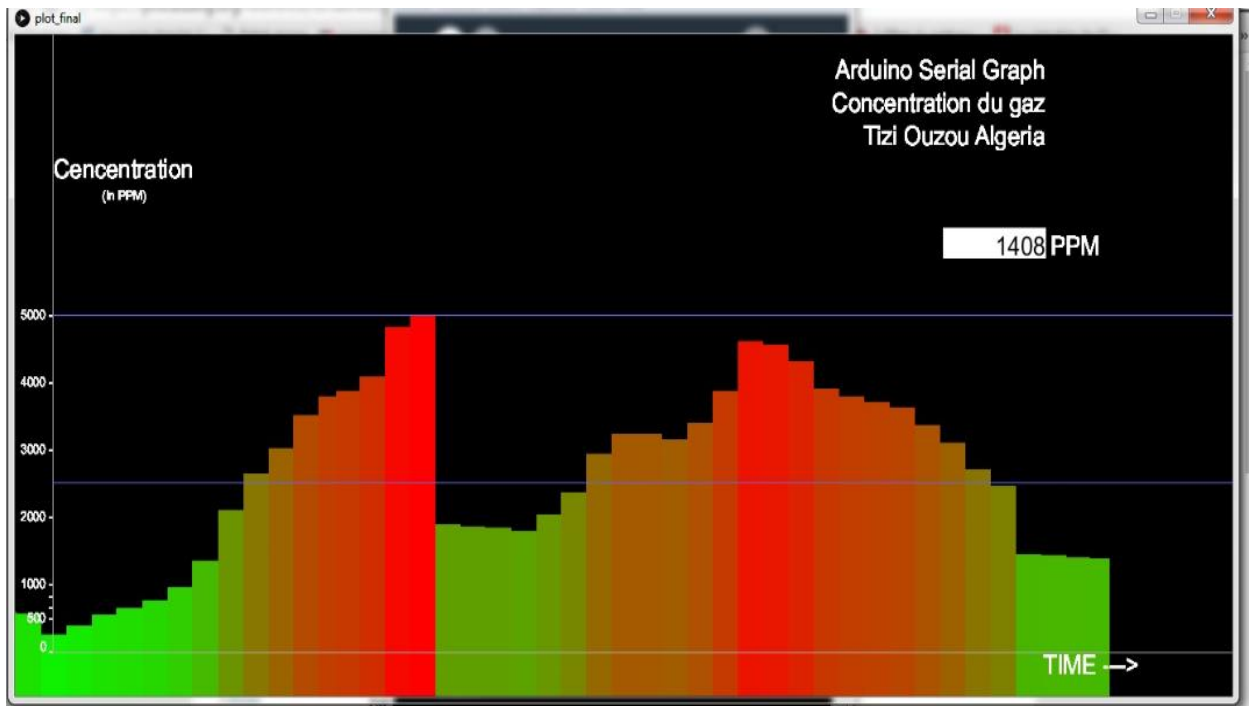


Figure n°64 : Graphe avec processing

Le programme enregistre aussi la concentration dans un fichier nommé « Concentration.txt ».

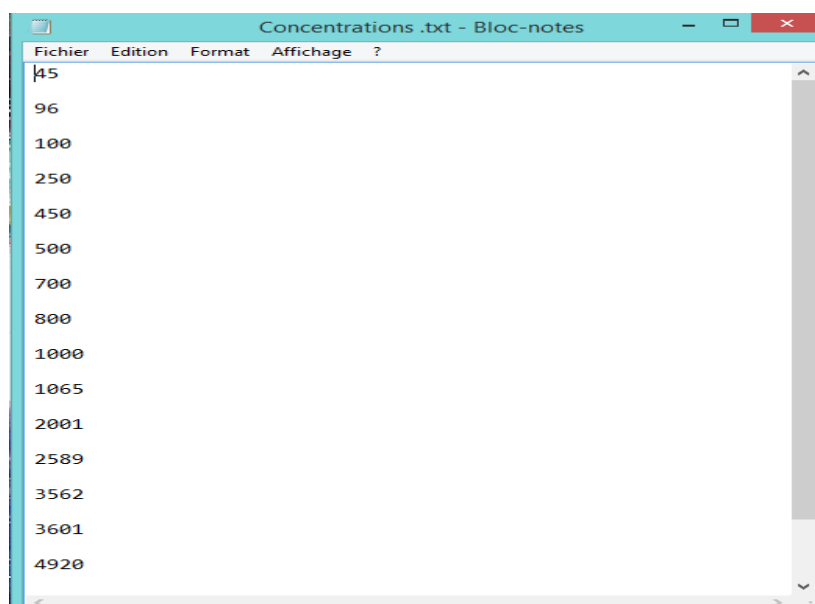


Figure n°65 : le fichier de sauvegarde processing

### Petit aperçu sur le programme du bloc réception et surveillance:

Voici quelques instructions du programme de traitement de la partie réception et surveillance

#### Partie déclaration des variables :

```
int xPos = 40;           // constante de début de graph.
float inByte = 0; // des valeurs int à déclarer comme dans
tous les programmes
float w;                // longueur maximale du graphe
int valeur; // variable PPM
```

#### Partie configuration :

```
PrintWriter output; // initialiser le fichier txt
size(300, 600); // taille de la fenêtre de
visualisationoutput=createWriter("Concentration.txt"); //
créer le fichier de sauvegarde
println(Serial.list()); // afficher les concentrations sur la
console en bas sur processing.
f=createFont("Arial",12,true); // type de polices.
F=createFont("Arial",24,true); // majuscule
```

#### Partie instruction :

```
output.println(int(inByte)); // copier les valeurs reçues vers
le fichier txt.
textFont(F); // Tailles de polices
fill(255); // couleur des polices.
valeur= int(inByte); // convertir les valeurs de inByte en
naturelle.
valeur= int(map(valeur,0,5000,0,255)); // pour le changement
de couleur du graph .
String inString = myPort.readStringUntil('\n'); // charger les
valeurs ASCII du Sérial Port
current= int( map(inByte,0, 5000, 40, height-255)); //
convertir le signal lu pour l'adappter sur l'interface de
visualisation
```

### Conclusion :

Lors de ce chapitre, nous avons montré comment faire l'assemblage de notre système de détection de gaz, en déterminant les conditions d'alimentations et le câblage des différents modules sur leurs cartes d'acquisition respectives.

Quant à la surveillance, le capteur et les deux systèmes d'alarme et de surveillance, sont mis en examen dans une mini chambre de simulation où un gaz a été introduit pour tester leurs fiabilité, et le résultat fût irréprochable.

# Conclusion Générale

Le Gaz Naturel est extrait des gisements naturels est principalement composé de Méthane. C'est la deuxième source d'énergie la plus utilisée dans le monde après le pétrole. Le Méthane (gaz de ville) et du Propane (gaz en bouteille), sont à l'origine de la majorité des accidents liés aux fuites de gaz.

L'arrivée des capteurs de gaz a permis de réduire de 70% les accidents liés aux fuites de gaz. Les capteurs chimiques utilisés, à base d'oxyde métallique sont particulièrement intéressants en raison de leur facilité d'exploitation et à leur faible sensibilité aux grandeurs d'influence. L'oxyde métallique le plus répandu est le dioxyde d'étain ( $\text{SnO}_2$ ) à cause de sa bonne détection.

La révolution des microcontrôleurs a permis de réduire le coût, la taille et les performances de ces dispositifs (effet de la miniaturisation), ceux-ci sont aujourd'hui largement utilisés pour des applications industrielles ou grand public. Les cartes Arduino munies de ces microcontrôleurs proposent un langage libre de droit simple à programmer et des bibliothèques polyvalentes pour élargir leurs champs d'applications.

A travers ce travail, nous avons conclu que les avantages des capteurs à base d'oxyde métallique sont un peu écornés par leur manque de sélectivité. En effet, ces capteurs ont une réponse liée aux propriétés d'oxydoréduction du gaz détecté. Cette réponse est donc similaire pour tous les gaz oxydants, d'une part et pour tous les gaz réducteurs. Le manque de sélectivité reste le problème majeur, difficile à résoudre. De nombreuses méthodes sont étudiées depuis une vingtaine d'années pour y remédier. Les solutions proposées portent sur le choix ou sur la modification du matériau de la couche sensible du capteur (ajout de dopants, filtre, catalyseur...), ou sur la stratégie de mesure (fonctionnement statique ou dynamique, modulation de la température du capteur, mesure de bruit...). Une autre solution consiste en une combinaison de plusieurs capteurs et de méthodes de traitement de données comme les réseaux de neurones.

# Bibliographie

## I. Ouvrages:

[1] **J.W. Gardner:** Microsensors: Principles and Applications John Wiley & Sons. 1994.

[2] **N. Taguchi :** Japanese Patent Application, 1962.

[3] **R. Lalauze :** Interaction gaz-solide, Les capteurs chimiques, Edition spéciale du club CMC2, 1996.

[4] **Z. Tianshu, P. Hing, Y. Li and Z. Jiancheng:** Selective detection of ethanol vapor and hydrogen using Cd-doped SnO<sub>2</sub>-based sensors, Sensors and Actuators B 60 (1999).

## II. Rapports et études:

[1]**FIGARO** an ISO9001 company: Technical information for TGS2620.

[2] **INERIS** (Institut National de l'Environnement industriel et des risques) : Principes et techniques pour la détection des gaz, Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs.

[3] **LAAS-CNRS** (Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes) : Conception d'un démonstrateur de détecteur de gaz portatif capteur de gaz.

I.4.1. [4] **NORDIC SEMICONDUCTOR:** Nrf24L01 + preliminary Product Specification.

[5]**SENERION:** Datasheet SHT7x (SHT71, SHT75) Humidity and Temperature Sensor IC.

## IV. Site internet:

[www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)

[www.electronicsforu.com](http://www.electronicsforu.com)

[www.itechnofrance.wordpress.com](http://www.itechnofrance.wordpress.com)

[www.learningaboutelectronics.com](http://www.learningaboutelectronics.com)

[www.libelium.com](http://www.libelium.com)

[www.openclassrooms.com](http://www.openclassrooms.com)

[www.quadrixtrem.com](http://www.quadrixtrem.com)

### **Thèses :**

#### **[1] B.Amina :**

« Capteurs à base des couches minces d'oxyde de cuivre (II) (CuO) : Optimisation et modélisation en vue de la détection de gaz », thèse de Doctorat en Sciences pour l'Ingénieur, université d'Aix Marseille, 2013.

#### **[2] Cyril Tropis :**

« Analyse et optimisation des performances d'un capteur de gaz a base de SnO<sub>2</sub> nanoparticulaire : Application à la détection de CO et CO<sub>2</sub>, Thèse de doctorat, Université Paule Sabatier – Toulouse III, 2009.

#### **[3] G.Mounir :**

« Films minces de SnO<sub>2</sub> (dioxyde d'étain) dopés au platine ou au palladium et utilisés pour la détection des gaz polluants : analyses in-situ des corrélations entre la réponse électrique et le comportement des agrégats métalliques », Thèse de doctorat, institut national polytechnique de Grenoble, 2005.

#### **[4] Hamida Hallil :**

« Conception et réalisation d'un nouveau capteur de gaz passif communicant à transduction RF. Micro et nanotechnologies/Micro électronique », Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier Toulouse III, 2010.

#### **[5] Philippe Menini :**

« Du capteur de gaz à oxydes métalliques vers les nez électroniques sans fil » Thèse de doctorat, Micro et nanotechnologies/Micro électronique. Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2012.

#### **[6] V. Virginie :**

« Matériaux hybrides organiques-inorganiques par greffage covalent de polymères sur des oxydes métalliques », Thèse de doctorat, Institut de physique et chimie des Matériaux de Strasbourg, 2011.

# Liste des tableaux

<b>Tableau n°01:concentration maximal en présence de l'air.....</b>	<b>13</b>
<b>Tableau°02 : représentation de quelques gaz et leurs effets sur la santé.....</b>	<b>13</b>
<b>Tableau°03: Classification des capteurs de gaz selon leur principe de détection .....</b>	<b>14</b>
<b>Tableau n°3: Différentes définitions de la 'sensibilité' du capteur.....</b>	<b>18</b>
<b>Tableau n°4 : Matériaux sensibles utilisés pour capteurs de gaz... ..</b>	<b>20</b>
<b>Tableau n°05 : conditions d'exploitation .....</b>	<b>30</b>
<b>Tableau°06 : spécification du TGS2620.....</b>	<b>31</b>
<b>Tableau n°07 : les différentes équations de concentration en fonction de la ration Rs/Ro .</b>	<b>36</b>
<b>Tableau n°08 : les valeurs du Rs/Ro en dépendance de (T, RH) à 300PPM de l'éthanol... ..</b>	<b>38</b>
<b>Tableau n°09 : fonctions de compensation de température en dépendance de l'humidité .</b>	<b>39</b>
<b>Tableau n° 10 : liste des codes de commandes SHT75.....</b>	<b>42</b>
<b>Tableau n°11: différents Registres et leurs fonctions d'exécution.....</b>	<b>47</b>
<b>Tableau n°12 : Glossaire des termes .....</b>	<b>48</b>
<b>Tableau n °13: les connections entre les broches module et broches Arduino ADK.....</b>	<b>66</b>
<b>Tableau n° 14: liste des composants de l'émetteur .....</b>	<b>69</b>
<b>Tableau n15° : les connections entre les broches module et broches Arduino ADK.....</b>	<b>72</b>
<b>Tableau n°16: liste des composants du récepteur .....</b>	<b>74</b>

# Liste des Figures

**Figure n°01 boîte contenant un canari et la lampe de sûreté**

Figure n °02 : structure interne d'un capteur à microbalance de quartz .....	15
Figure n°03 : Structure d'un capteur à ondes acoustiques de surface .....	16
Figure n°04: Schéma d'un capteur de gaz de type GASFET .....	16
Figure n°05 : courbe du temps de réponse d'un capteur .....	19
Figure n°06 : Structure d'un capteur Figaro (série TGS).....	21
Figure n°07 : Structure en 3-D d'un microcapteur de gaz MOX (Société MiCS).....	22
Figure n°08 : Structures d'un microcapteur MiCS et L2MP-LAAS .....	22
Figure n°9 : les différents blocs de la partie acquisition et transmission .....	28
Figure n°10 : TGS 2620 .....	29
Figure n°11 : composition interne du TGS2620 .....	30
Figure n°12 : Circuit de mesure de base .....	31
Figure n°13 : Sensibilité aux différents gaz .....	33
Figure n°14 : création d'une matrice de données avec Excel .....	34
Figure n°15 : étapes d'insertion d'un nuage de points .....	34
Figure n°16 : Courbe de tendance .....	35
Figure n°17 : Option et format de la courbe de tendance .....	35
Figure n°18 : courbe de tendance .....	36
Figure n°19 : La dépendance à la température et l'humidité de (Rs / Ro) .....	37
Figure n °20 : différentes fonctions de Rs/Ro .....	38
Figure n°21 : graphe de compensation de la température à 65%d'humidité .....	39
Figure n°22 : structure interne du SHT75 et dimensions .....	40
Figure n°23 : Le capteur SHT75 .....	40
Figure n°24 : communication entre le MC et SHT75 .....	41
Figure n°25 : Exemple RH séquence de mesure .....	43
Figure n°26 : Vue d'ensemble de la séquence de mesure .....	43
Figure n°27 : Diagramme interne NRF24L01.....	44
Figure n°28 : communication du SHT75 avec arduino ADK via le bus SPI .....	45
Figure n°29 : structure des paquets de type « ShockBurst » .....	47
Figure n°30 : le module NRF24L01.....	45
Figure n°31 Le schéma électronique du module NRF24L01 .....	49
Figure n°32 : La carte Arduino MEGA ADK .....	50
Figure n °33 : Le ATMEGA2560 microcontrôleur .....	51

Figure n°34 : Icône du programme arduino .....	51
Figure n°35 : Interface IDE Arduino .....	52
Figure n °36 : compilation et téléversement du programme .....	53
Figure n° 37: Etape de passage d'une grandeur phtisique à une valeur PPM .....	54
Figure n°38 : Algorigramme Arduino ADK .....	55
Figure n°39 : les différents blocs de la partie acquisition et transmission .....	56
Figure n°40 : Arduino UNO .....	57
Figure n°41: algorigramme du programme de traitement .....	58
Figure n°42: Icône precessing .....	59
Figure n°43: interface processing .....	60
Figure n°44: Alglorigramme Processing .....	61
Figure n°45: montage du TGS avec la carte arduino mega adk .....	64
Figure n°46: connexions entre le SHT75 et un microcontrôleur .....	65
Figure n°47: connexions entre SHT75 et la carte arduino mega adk .....	65
Figure n°48 : représentation de NRF24L01.....	66
Figure n°49 : représentation du branchement du NRF24101 avec Arduino ADK .....	66
Figure n°50: représentation de l'ensemble des composants .....	67
Figure n°51: Schild LCD arduino .....	67
Figure n°52 : montage des ventilo avec sur arduino mega .....	68
Figure n° 53: montage Buzzer et leds .....	68
Figure n°54 : schéma montrant le circuit imprimé .....	69
Figure n°55 : représentation du circuit imprimé Après l'implantation des composants .....	70
Figure n°56: chambre de simulation .....	70
Figure n°57 : module NRF24L01 .....	71
Figure n°58 : représentation des connections entre NRF24L01et arduino .....	72
Figure n°59 : montage des leds et Buzzer .....	73
Figure n°60 : circuit imprimé avec composants .....	73
Figure n°61 : représentation du circuit imprimé Après l'implantation des composants .....	74
Figure n°62 : bloc acquisition et transmission avec boitier .....	76
Figure n°63 : Boitier récepteur .....	76
Figure n°64 : graphe avec processing .....	77
Figure n°65 : le fichier de sauvegarde processing .....	77

# Table des matières

# Table des matières

---

Chapitre I : Généralités sur les gaz et les capteurs.....	10
I.1. Introduction : .....	10
I.2. Généralités sur les gaz :.....	11
I.2.1. Définition :.....	11
I.2.2. Propriétés physiques des gaz :.....	11
I.2.3. Grandeurs physiques caractéristiques d'un gaz : .....	11
I.2.4. Comportement qualitatif d'un gaz : .....	11
I.2.5. Principaux types de gaz : .....	12
I.2.6. Unité de mesure de concentrations des gaz :.....	12
I.2.6.1. Quelques gaz et leurs concentrations maximales :.....	13
I.2.6.2. Impacte d'une mauvaise concentration sur la santé : .....	13
I.3. Capteurs de gaz.....	14
I.3.1. Définition d'un capteur de gaz :.....	14
I.3.2. Principales familles de capteurs .....	14
I.3.2.1. Capteur à microbalance de quartz .....	15
I.3.2.2. Capteur à ondes acoustiques de surface.....	15
I.3.2.3. Capteur à transistors à effet de champs (GASFET) :.....	16
I.3.2.4. Capteur électrochimique .....	17
I.3.2.5. Capteur à fibre optique .....	17
I.3.2.6. Capteur à base d'oxyde métallique .....	17
I.3.3. Caractéristiques d'un capteur de gaz .....	18
I.3.3.1. Sensibilité :.....	18
I.3.3.2. Stabilité : .....	18
I.3.3.3. Sélectivité .....	19
I.3.3.4. Température de fonctionnement : .....	19
I.3.3.5. Temps de réponse : .....	19
I.3.3.6. Autres performances.....	20
I.3.4. Capteurs de gaz à base d'oxyde métallique : .....	20
I.3.4.1. Matériaux sensibles : .....	20
I.3.4.2. Structure d'un capteur MOX : .....	21
I.3.4.2. Principe de fonctionnement : .....	23
I.3.4.3. Conductivité du SnO <sub>2</sub> .....	23
I.3.4.4. Interaction gaz-solide : .....	24

# Table des matières

---

<b>Chapitre II : Conception du système de détection de gaz</b> .....	<b>27</b>
II.1.Introduction :.....	27
II.2.Partie acquisition et de transmission :.....	28
II.2.1 .Bloc acquisition :.....	28
<b>II.2.1.1.Capteur de gazes TGS2620</b> : .....	<b>29</b>
II.2.1.1.1.Description :.....	29
II.2.1.1.2.Structure :.....	29
II.2.1.1.3.Informations de base et spécifications :.....	29
II.2.1.1.3.1.Caractéristiques : .....	29
II.2.1.1.3.2.Applications : .....	30
II.2.1.1.4.Spécifications et conditions d'exploitation :.....	30
II.2.1.1.5.Circuit de mesure de base :.....	31
II.2.1.1.6.Etalonnage du Capteur : .....	32
II.2.1.1.6.1.Sensibilité aux différents gaz :.....	32
II.2.1.1.6.2.Analyse de régression : .....	33
II.2.1.1.6.2.1.Etapes de détermination de la fonction :.....	33
II.2.1.1.6.3.Remarque : .....	37
II.2.1.1.6.4.Influence de la température et de l'humidité sur le capteur : .....	37
II.2.1.2.Capteur de température et d'humidité :.....	40
II.2.1.2.1.Description :.....	40
II.2.1.2.2.Spécifications : .....	41
II.2.1.2.2.1Broches électriques (GND, VDD) :.....	41
II.2.1.2.2.2.Interface série (Bidirectionnel 2-fils) : .....	41
II.2.1.2.2.3.Entrée d'horloge série (SCK) : .....	41
II.2.1.2.2.4.Les données série (DATA) : .....	41
II.2.1.2.3.Envoi d'une commande : .....	41
II.2.1.2.3.1.Séquence de mesure (RH et T) : .....	42
II.2.1.2.3.2.Séquence de réinitialisation de connexion :.....	43
II.2.2.Bloc transmission : .....	44
II.2.2.1.Le module de transmission :.....	44
II.2.2.2.Diagramme interne :.....	44
II.2.2.3.Interface Périphérique Série:.....	45
II.2.2.4.Les registres :.....	46

# Table des matières

---

II.2.2.5.FIFOs :	47
II.2.2.6.Interruptions :	48
II.2.2.7.Glossaire des termes :	48
II.2.3.Bloc traitement :	49
II.2.3.Bloc traitement :	49
II.2.3.1.Définition du module Arduino :	49
II.2.3.2.La carte Arduino MEGA ADK :	50
II.2.3.2.1.Caractéristiques :	50
II.2.3.3.Partie programme :	51
II.2.3.3.1.Description du programme :	51
II.2.3.3.2.L'environnement de la programmation :	51
II.2.3.3.3.Structure générale du programme (IDE Arduino) :	51
II.2.3.3.4.Injection du programme :	52
II.2.3.3.5.Les étapes de téléchargement du programme :	52
II.2.3.3.5.1Déroutement du programme :	54
II.2.3.3.5.2Organigramme d'acquisition et traitement :	55
II.3.Partie réception et surveillance :	56
II.3.1.Bloc réception :	56
II.3.2.Bloc Traitement :	57
II.3.2.1La carte Arduino uno :	57
II.3.2.2.Déroutement du programme :	58
II.3.3.Bloc d'affichage :	59
II.3.3.1.Processing :	59
II.3.3.1.1.Présentation :	59
II.3.3.1.2.Interface d'utilisation :	59
II.3.3.2.Déroutement du programme :	60
II.4.Conclusion :	62
Chapitre III : Réalisation du système de détection de gaz	63
III.1.Introduction :	63
III.2.Bloc acquisition et transmission :	64
III.2.1.Le « TGS2620 » Conditionnement :	64
III.2.2.Le « SHT75 » Conditionnement :	65

# Table des matières

---

III.2.3.Bloc transmission :	66
III.2.4.Assemblage :	67
III.2.4.1. Affichage :	67
III.2.4.2. Système d'aération :	68
III.2.4.3. Leds et Buzzer :	68
III.2.4.4. Le circuit imprimé :	69
III.2.4.5. Liste des composants :	69
III.2.4.6. Implantation des composants :	70
III.2.4.6.Petit aperçu sur le programme du bloc acquisition et transmission :	71
III.3.Bloc réception et surveillance :	72
III.3.1La réception :	72
III.3.2.Leds et Buzzer :	73
III.3.3Circuit imprimé :	73
III.3.4.Liste des composants :	74
III.3.5.Implantation des composants :	74
III.3.6. Petit aperçu sur le programme du bloc réception et surveillance:	75
III.4.Boitier du bloc acquisition et transmission :	76
III.5.Boitier du bloc reception et surveillance :	76
III.7.Processing :	77
III.7.1.Petit aperçu sur le programme du bloc réception et surveillance:	78
III.8.Conclusion :	79
Conclusion générale.....	80
Bibliographie .....	81
Liste des tableaux.....	83
Liste des figures.....	84
Table des matières	