

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOU MAMMARI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET DE L'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE



Mémoire de fin d'études

En vue d'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat en ELECTRONIQUE,

Option : INSTRUMENTATION

Thème

ETUDE ET REALISATION D'UNE CHAINE DE
MESURE DE CO₂.

Dirigé par:

M^r K. BENNAMANE.

Présenté par :

M^r ZERIOUL Lounis.

Promotion : 2009-2010.

Remerciements

Je remercie, avant tout, le bon dieu de m'avoir donné le courage et la possibilité de réaliser ce modeste travail.

Je tiens à remercier infiniment mon promoteur M^r BENNAMANE pour son encadrement, ses conseils, sa disponibilité et son soutien tout au long de la réalisation de ce travail.

Je tiens aussi à remercier M^r LAGHROUCHE pour son aide ainsi que toute personne ayant contribué à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail,

- ✓ D'abord à toute la famille révolutionnaire nationale et particulièrement à mon grand-père tombé au champ d'honneur, dont je porte le nom avec honneur et fierté.
- ✓ A la mémoire de mon grand-père maternel.
- ✓ A mes grands-mères.
- ✓ A mes chers parents.
- ✓ A mon frère Faredj, sa femme Houria et leur petit ange « Cindal ».
- ✓ A mes trois sœurs, Djedjiga et son mari Kamal, Silia et Lydia.
- ✓ A mes cousins, tantes et oncles.
- ✓ A mes amis (es), mes collègues et tous les étudiants de la 5^{eme} année électronique.

Sommaire

Sommaire

<i>Titre</i>	<i>Page</i>
Introduction générale	1

Chapitre I : Les capteurs

I.1. Définition	2
I.2. Classification des capteurs	2
I.2.1. Capteur actif	2
I.2.2. Capteur passif.....	8
I.2.3. Capteurs composites. Corps d'épreuve	9
I.3. Capteur intégré	10
I.3.1. Avantages et inconvénients.....	10
I.4. Capteur intelligent.....	11
I.5. Caractéristiques métrologiques des capteurs.....	13
I.5.1. Erreurs systématiques	13
I.5.2. Incertitudes aléatoires	14
I.5.3. Traitement d'incertitudes aléatoires	14
I.5.3.1. Caractéristiques statistiques d'un capteur	15
I.5.4. Fidélité - Justesse – Précision	16
I.5.5. Etalonnage des capteurs	17
I.5.5.1. Etalonnage simple	17
I.5.5.2. Etalonnage multiple	17
I.5.6. Résolution	18
I.5.7. Sensibilité	18
I.5.8. Finesse	18
I.5.9. Linéarité	18
I.6. Conditionneur associé	19
I.6.1. Conditionneurs de capteurs actifs	19
I.6.1.1. Capteur source de tension	19
I.6.1.2. Capteur source de courant	21
I.6.1.3. Capteur source de charge	22
I.6.2. Conditionneurs de capteurs passifs	23
I.6.2.1. Montage potentiométrique	23
I.6.2.2. Montage en pont	25
I.6.2.3. Montage oscillant	26

Chapitre II : Les capteurs de gaz

II.1. Définition d'un capteur de gaz	28
II.2. Principales familles de capteurs de gaz	29
II.2.1. Capteur à microbalance de quartz	29
II.2.2. Capteur à ondes acoustiques de surface	29
II.2.3. Capteur à transistor à effet de champs (GASFET)	30
II.2.4. Capteur électrochimique	31
II.2.5. Capteur à fibre optique	32
II.2.6. Microcapteur catalytique	32
II.2.7. Capteur à base d'oxyde métallique.....	33
II.3. Performances d'un capteur de gaz	33
II.3.1. Sensibilité	34
II.3.2. Stabilité	34
II.3.3. Sélectivité	34
II.3.4. Température de fonctionnement	35
II.3.5. Temps de réponse	35
II.4. Le capteur HS 135	35
II.4.1. Principe de détection	35
II.4.2. Caractéristiques du capteur HS 135.....	37
II.4.3. Conditions de travail du capteur HS 135	38
II.4.4. Structure du capteur HS 135.....	39
II.4.5. Symbole	39
II.4.6. Calibrage et mise en fonction du capteur HS 135	39
II.5. Le Nez électronique	40
II.5.1. Définition	40

Chapitre III : Les capteurs de gaz à base d'oxyde métallique.

III.1. Les oxydes métalliques	42
III.1.1. Les oxydes métalliques sensibles (les plus répandus)	42
III.1.2. Cas du dioxyde d'étain	43
III.1.3. Epaisseur et Morphologie	44
III.2. Les interaction gaz / oxyde métallique	45
III.3. Principe de fonctionnement	46
III.3.1. Conductivité du SnO ₂	46
III.3.2. Rôle de l'oxygène et principe de détection.....	47
III.4. Conception	48
III.4.1. Electrodes	50
III.4.1.1 Matériau pour les électrodes.....	50
III.4.1.2. Géométrie des électrodes	51

III.4.2. Elément chauffant	52
III.4.2.1. Matériau utilisé	53
III.4.2.2. Géométrie utilisée	53
III.5. Mode de fonctionnement	53
III.5.1. Utilisation en mode isotherme	54
III.5.2. Utilisation à température variable (mode dynamique)	55
III.6. Voies de recherche	56
III.6.1 Techniques physiques	56
III.6.1.1. Morphologie	56
III.6.1.3. Dopage	57
III.6.1.2. Température	57

Chapitre IV : Conception et réalisation.

IV.1. Introduction	59
IV.2. Le PIC 16F876	59
IV.2.1. Le module de la conversion Analogique / Numérique	61
IV.2.1.1. Déroulement d'une Conversion	63
IV.2.1.2. Temps de conversion	64
IV.2.1.3. Etapes de programmation	64
IV.2.2. Le module USART	65
IV.2.2.1. Utilisation en mode asynchrone	65
IV.2.2.1.1. utilisation du port en transmission	66
IV.2.2.1.2. Déroulement de la transmission	67
IV.2.2.1.3. Vitesse de communication	68
IV.2.2.1.4. Etapes de programmation	68
IV.3. Schéma électrique du système et circuit imprimé	68
IV.4. Organigrammes du programme	72
IV.4.1. Organigramme général	72
IV.4.2. Organigramme de la conversion Analogique/Numérique	73
IV.4.2. Organigramme de la transmission série asynchrone	74
IV.5. Réalisation et programmation	75
Conclusion générale	76
Bibliographie	77
Annexe	78

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Ces dernières années, l'activité de recherche dans le domaine de la détection des gaz s'est considérablement amplifiée. Cet intérêt est dû essentiellement aux problèmes liés à la pollution et aux réglementations strictes en matière de sécurité prises par plusieurs pays dans de nombreux secteurs industriels. Les espèces gazeuses à surveiller proviennent pour la plupart de la pollution automobile et de la pollution industrielle. Le dioxyde de carbone (CO₂) est en tête de ces gaz.

Afin de contrôler l'émission du CO₂, qui est un des principaux gaz supposé influencer de manière notable sur le réchauffement climatique, il est nécessaire de développer des systèmes de détection avec des systèmes fiables.

Dans ce mémoire nous nous proposons d'étudier et de réaliser une carte électronique à base du PIC 16F876 permettant la conversion analogique/numérique de la tension issue d'un capteur de gaz, afficher le résultat de la mesure et envoyer le résultat vers un PC via le port série.

Ce travail est réalisé au sein du département d'électronique de l'université MOULOU MAMMARI, il est organisé en quatre chapitres.

Dans le premier chapitre, des rappels généraux sur les capteurs sont donnés, à savoir les différents types de capteurs, principe de détection, conditionneurs...etc.

Le deuxième chapitre traite les différents types de capteurs de gaz et leurs caractéristiques générales.

Le troisième chapitre est consacré aux capteurs de gaz à base d'oxyde métallique qui sont les plus utilisés actuellement pour leur grande sensibilité et compatibilité avec la technologie CMOS.

Dans le quatrième chapitre, le PIC 16F876 est présenté particulièrement son convertisseur analogique/numérique et le module de transmission série (USART). Par la suite, on donne le schéma de notre carte et les différents organigrammes.

Enfin, on termine notre travail par une conclusion générale.

CHAPITRE I

LES CAPTEURS

I.1. Définition :

Le capteur est le premier élément d'une chaîne de mesure, qui permet de convertir une grandeur physique (**m**) dite « mesurande » en une grandeur électrique **s(m)**, fonction connue du mesurande, telle que chaque valeur **s** de cette grandeur électrique puisse être liée de façon univoque à la valeur **m** du mesurande.

La grandeur électrique **s (m)** est à l'origine de ce signal électrique que traite le système de mesure.

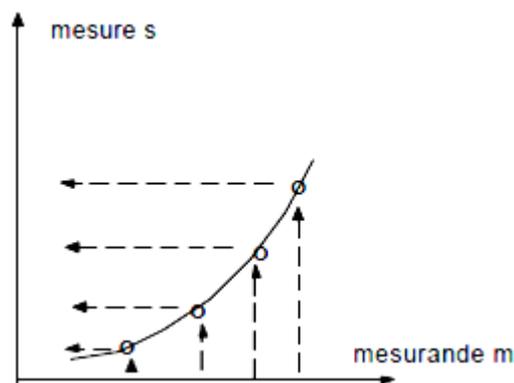


Figure I.1 : Courbe caractéristique d'un capteur.

I.2. Classification des capteurs :

Etant un élément de circuit électrique, le capteur se présente, selon sa sortie, comme capteur actif ou capteur passif.

I.2.1. Capteur actif :

Comme son nom l'indique, ce capteur fonctionne en générateur. Son principe repose sur un effet physique qui assure la conversion en énergie

électrique de l'énergie propre au mesurande : énergie thermique, mécanique ou de rayonnement.

Les plus importants parmi ces effets sont récapitulés dans le *tableau 1.2*.

Mesurande	Effet utilisé	Grandeur de sortie
Température	Thermoélectricité	Tension
Flux de rayonnement Optique	Pyroélectricité Photoémission Effet photovoltaïque Effet photo électromagnétique	Charge Courant Tension Tension
Force Pression Accélération	Piézoélectricité	Charge
Vitesse	Induction électromagnétique	Tension
Position (aimant)	Effet Hall	Tension

Tableau 1.2 : Principes physiques de base de capteurs actifs.

➤ **Effet thermoélectrique :**

Une hétérojonction portée à des températures T_1 et T_2 est le siège d'une force électromotrice $e(T_1, T_2)$, cet effet est connu sous le nom d'**effet Seebeck**.

Application : Détermination à partir de la mesure de e d'une température inconnue T_1 lorsque T_2 (0° par exemple) est connue ; illustration par la figure suivante :

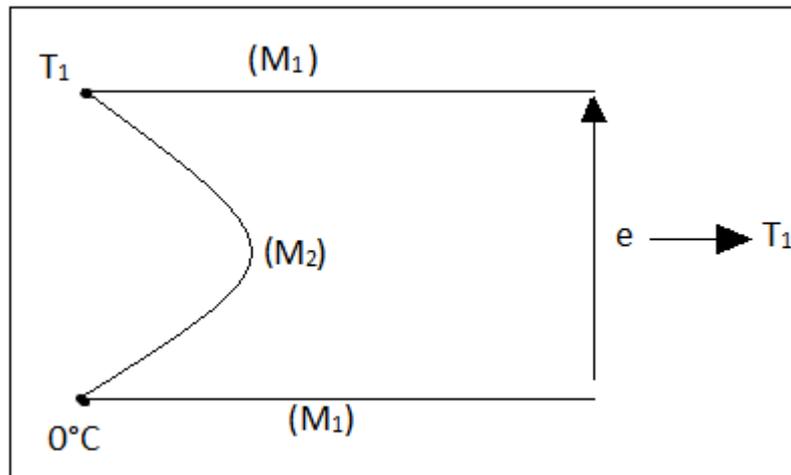


Figure I.3 : Application de l'effet thermoélectrique.

➤ **Effet pyroélectrique :**

Certains cristaux dits pyroélectriques, le sulfure de zinc (**ZnS**) par exemple, ont une polarisation électrique spontanée qui dépend de leur température ; ils portent en surface des charges électriques proportionnelles à cette polarisation et de signes contraires sur les surfaces opposées.

Application : un flux de rayonnement lumineux absorbé par un cristal pyroélectrique élève sa température ce qui entraîne une modification de sa polarisation qui est mesurable par la variation de tension aux bornes d'un condensateur associé.

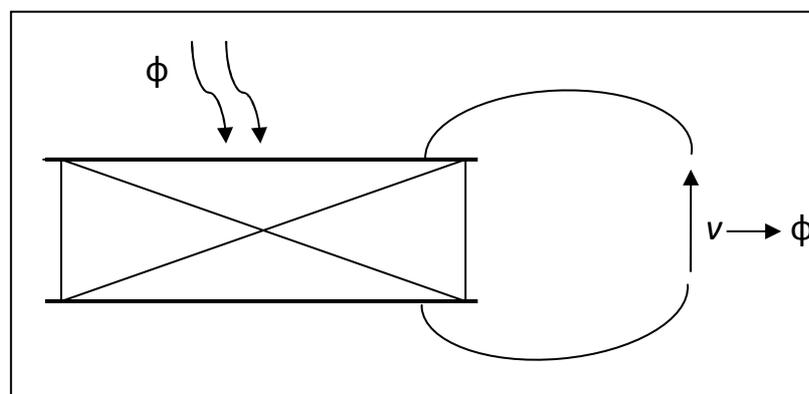


Figure I.4 : Illustration de l'effet pyroélectrique.

➤ **Effet piézoélectrique :**

L'application d'une force et plus généralement d'une contrainte mécanique à certains matériaux dits piézoélectriques, le quartz par exemple, entraîne une déformation qui suscite l'apparition de charges électriques égales et de signes contraires sur les faces opposées.

Application : mesure de force ou de grandeurs s'y ramenant (pression, accélération) à partir de la tension que provoquent aux bornes d'un condensateur associé à l'élément piézoélectrique les variations de sa charge.

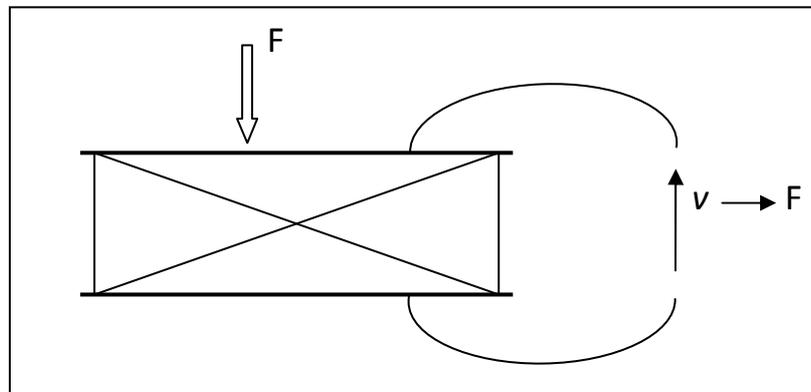


Figure I.5 : Application de l'effet piézoélectrique.

➤ **Effet d'induction électromagnétique :**

Lorsqu'un conducteur se déplace dans un champ d'induction fixe, il est le siège d'une f.é.m proportionnelle au flux coupé par unité de temps, donc à sa vitesse de déplacement.

De même, lorsqu'un circuit fermé est soumis à un flux d'induction variable du fait de son déplacement ou de celui de la source de l'induction (aimant par exemple), la f.é.m dont il est le siège est égale (et de signe contraire) à la vitesse de variation du flux d'induction.

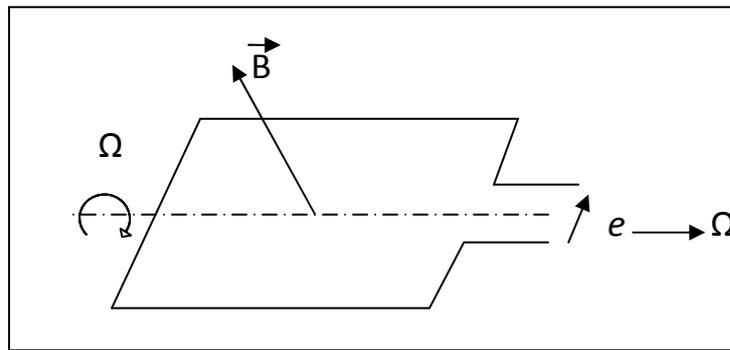


Figure I.6 : Application de l'effet d'induction électromagnétique.

➤ **Effets photoélectriques :**

On en distingue plusieurs, qui diffèrent par leurs manifestations mais qui ont une origine commune, la libération de charges électriques dans la matière sous l'influence d'un rayonnement lumineux ou plus généralement électromagnétique, dont la longueur d'onde est inférieure à une valeur seuil caractéristique du matériau.

➤ **Effet photoémisif :**

Les électrons libérés sont émis hors de la cible éclairée et forment un courant collecté par application d'un champ électrique.

➤ **Effet photovoltaïque :**

Des électrons et des trous sont libérés au voisinage d'une jonction de semi-conducteurs P et N illuminée ; leur déplacement dans le champ électrique de la jonction modifie la tension à ses bornes.

➤ **Effet photo électromagnétique:**

L'application d'un champ magnétique perpendiculaire au rayonnement provoque dans le matériau éclairé l'apparition d'une tension électrique dans la direction normale au champ et au rayonnement.

Applications: Les effets photo électromagnétiques qui permettent d'obtenir un courant ou une tension en fonction de l'éclairement d'une cible sont à la base de méthodes de mesure des grandeurs photométrique (intensité de la lumière) d'une part, et ils assurent d'autre part, la transposition en signal électrique des informations dont la lumière est le véhicule.

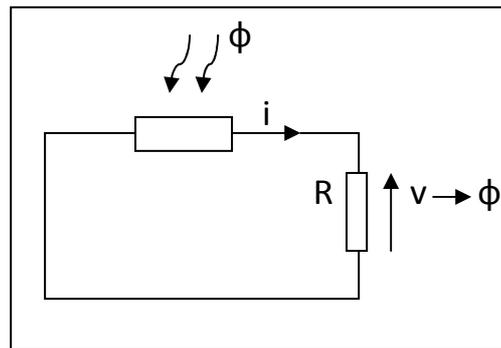


Figure I.7 : Application de l'effet photo électromagnétique.

➤ **Effet Hall :**

Un matériau, généralement semi-conducteur et sous forme de plaquette, est parcouru par un courant I et soumis à une induction B faisant un angle θ avec le courant. Il apparaît, dans une direction perpendiculaire à l'induction et au courant une tension v_H qui a pour expression :

$$V_H = K_H \cdot I \cdot B \cdot \sin \theta \quad (I.1)$$

Ou K_H dépend du matériau et des dimensions de la plaquette.

Application : un aimant lié à l'objet dont on veut connaître la position détermine les valeurs de B et θ au niveau de la plaquette : La tension v_H , qui par ce biais est fonction de la position de l'objet en assure donc une traduction électrique.

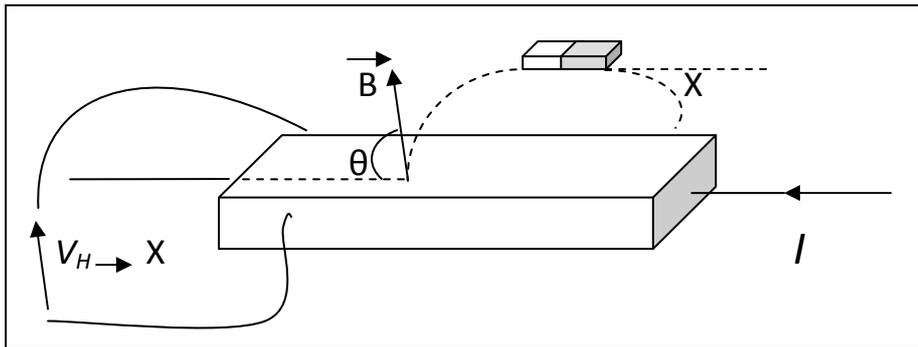


Figure I.8: Application de l'effet Hall.

I.2.2. Capteur passif:

Le principe des capteurs de ce type est de mesurer leurs impédances dont l'un des paramètres déterminants est sensible au mesurande (géométrie et dimensions, propriétés électriques des matériaux : résistivité ρ , perméabilité magnétique μ , constante diélectrique ϵ).

Les paramètres géométriques ou dimensionnels de l'impédance peuvent varier si le capteur comporte soit un élément mobile, soit un élément déformable qui va provoquer une variation du signal électrique délivré par le capteur.

Les propriétés électriques des matériaux, selon la nature de ces derniers, peuvent être sensibles à des grandeurs physiques variées : température, éclaircissement, pression, humidité,...etc. Si une seule de ces grandeurs est susceptible d'évolution, toutes les autres étant maintenues constantes il s'établit une correspondance univoque entre la valeur de cette grandeur et celle de l'impédance du capteur. La courbe d'étalonnage traduit cette correspondance et permet, à partir de la mesure de l'impédance de déduire la valeur de la grandeur physique agissante (mesurande).

Le *tableau 1.9* donne un aperçu des divers mesurandes susceptibles de modifier les propriétés électriques des matériaux utilisés dans la réalisation des capteurs.

Mesurande	Caractéristique électrique sensible	Type de matériaux utilisés
Température	Résistivité	Matériaux : platine, nickel, cuivre, semi-conducteurs.
Très basse température	Constante diélectrique	verres
Flux du rayonnement optique	Résistivité	semi-conducteurs.
Déformation	Résistivité	Alliages de nickel, silicium dopé.
	Perméabilité magnétique	Alliages ferromagnétique.
Position (aimant)	Résistivité	Matériaux magnéto-résistants: bismuth, antimoniure d'indium
Humidité	Résistivité	Chlorure de lithium.
	Constante diélectrique	Alumine ; polymères.
Niveau	Constante diélectrique	Liquide isolants.

Tableau I.9 : Principes physiques et matériaux.

L'impédance d'un capteur passif et ses variations ne sont mesurables qu'en intégrant le capteur dans un circuit électrique, par ailleurs alimenté et qui est son conditionneur. Les conditionneurs les plus utilisés sont : le montage potentiométrique, le pont d'impédances, les circuits oscillant et l'amplificateur opérationnel.

I.2.3. Capteurs composites. Corps d'épreuve:

Pour des raisons de cout ou de facilité d'exploitation, on peut être amené à utiliser un capteur, non pas sensible au mesurande mais à l'un de ses effets. Le corps d'épreuve est le dispositif qui, soumis au mesurande étudié en assure une première traduction en une autre grandeur physique non électrique,

dit mesurande secondaire, qu'un capteur adéquat traduit alors en grandeur électrique (*figure I.10*).

L'ensemble formé par le corps d'épreuve et un capteur actif ou passif constitue un **Capteur composite**.

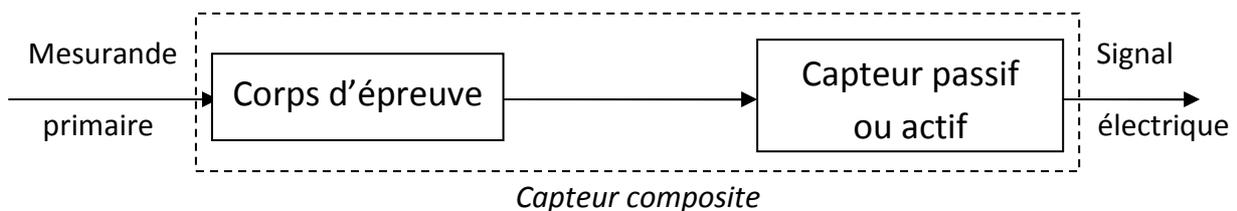


Figure I.10 : Structure d'un capteur composite

Les corps d'épreuve sont très utilisés pour la mesure de grandeurs mécaniques (traction, pression,...etc.): celles-ci imposent au corps d'épreuve des déformations ou des déplacements auxquels un capteur approprié est sensible.

I.3. Capteur intégré :

Un capteur intégré est un composant réalisé par les techniques de la Microélectronique et qui regroupe sur un substrat de silicium commun le capteur proprement dit, le corps d'épreuve éventuel et des circuits électroniques de conditionnement du signal (*figure. I.11*).

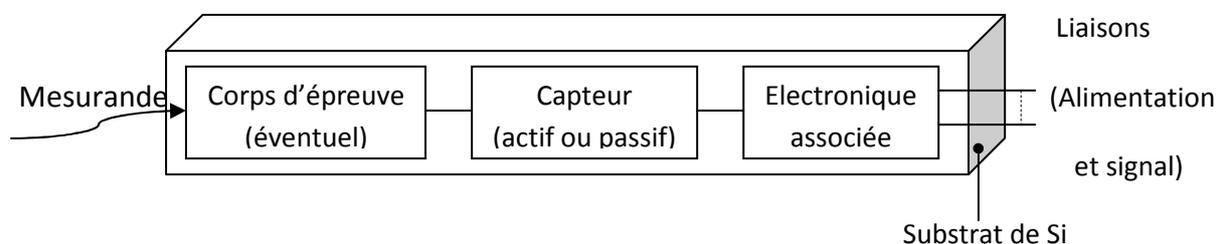


Figure. I.11: Structure générale d'un capteur intégré

I.3.1. Avantages et inconvénients :

L'intégration apporte de multiples avantages :

Miniaturisation, diminution des couts par la fabrication en grande série, accroissement de la fiabilité par suppression de nombreuses connexions soudées, interchangeabilité amélioré, meilleure protection vis-à-vis des parasites, le signal étant conditionné à sa source.

L'utilisation du silicium impose cependant une limitation de la plage d'emploi de -50° à 150° environ.

I.4. Capteur intelligent:

On désigne par capteur intelligent l'ensemble de mesure d'une grandeur physique constitué de deux parties (*figure I.12*) :

- Une chaine de mesure pilotée par microprocesseur ,
 - Une interface de communication bidirectionnelle,
- La Chaine de mesure comporte :
- Le capteur principal spécifique du mesurande étudié, et identifiable par un code (adresse) stocké en PROM (*Programmable Read Only Memory*).
 - Les capteurs secondaires propres aux grandeurs d'influence susceptibles d'affecter la réponse du capteur principal.
 - Les dispositifs classiques permettant l'obtention sous forme numérique de la grandeur de sortie de chaque capteur : conditionneur, multiplexeur, amplificateur, échantillonneur-bloqueur, convertisseur analogique-numérique.
 - Un microprocesseur affecté aux taches suivantes : gestion de l'acquisition, correction de l'effet des grandeurs d'influence au moyen des paramètres stockés en PROM et des données fournies par les capteurs secondaires, diagnostic des capteurs.

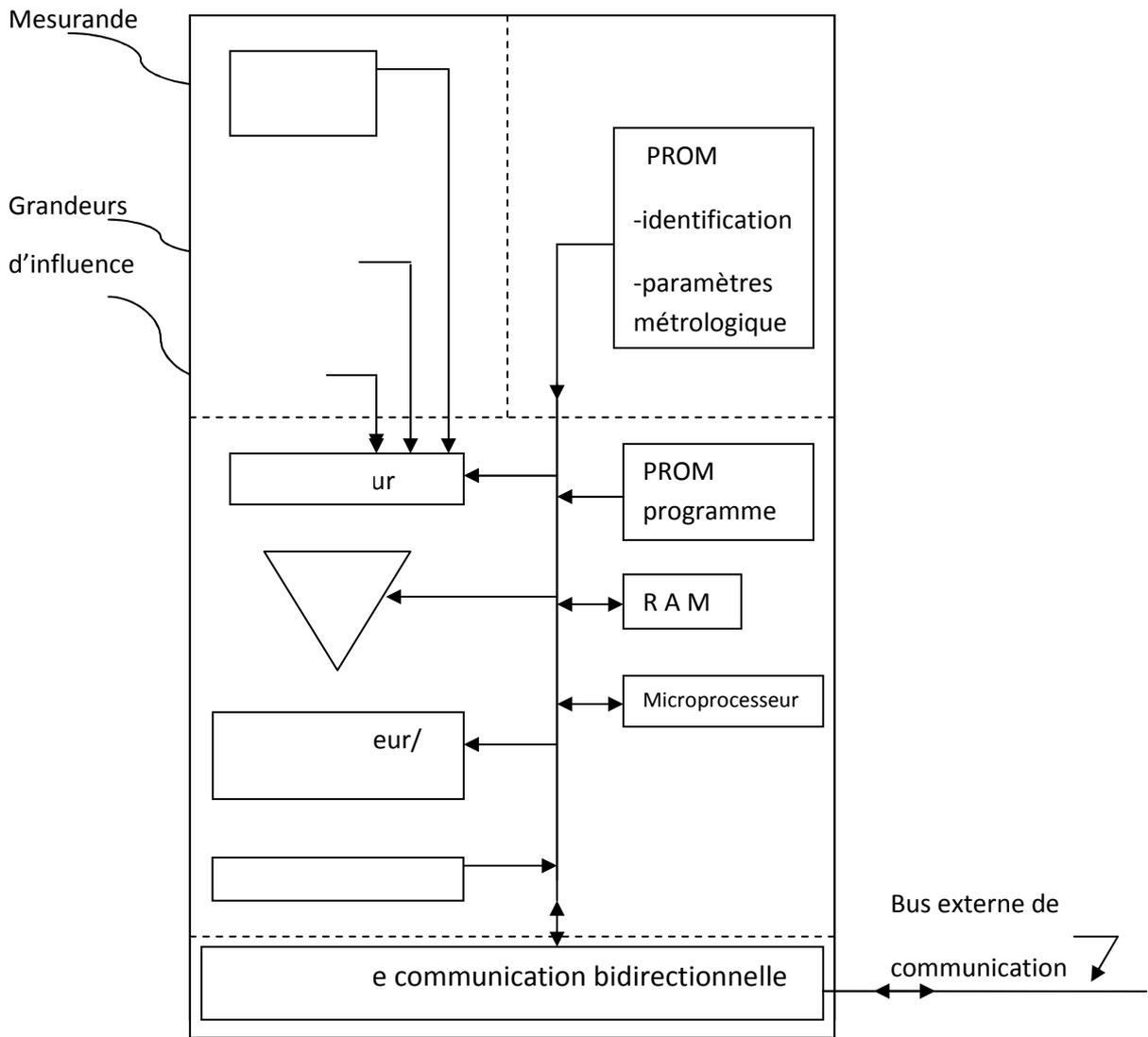
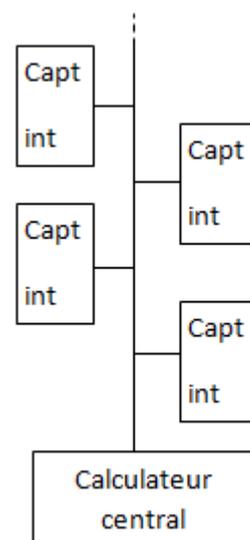


Figure .I.12 : Structure générale d'un capteur intelligent.

Figure .I.13 : Liaison par bus d'un ensemble de capteurs intelligents à un ordinateur central.



Les messages porteurs de code du capteur concerné transitent par l'interface :

- Soit dans le sens calculateur vers capteur : configuration, étalonnage...etc.
- Soit dans le sens capteur vers calculateur : résultats de mesure, état de la chaîne (étendu de mesure, dépassement de gamme du mesurande ou d'une grandeur d'influence,...etc.).

Le capteur intelligent offre des avantages spécifiques : configurabilité à distance ; crédibilité accrue des mesures et aide à la maintenance grâce aux informations d'état fournies ; répartition des tâches, déchargeant le calculateur central.

I.5. Caractéristiques métrologiques des capteurs:

Commençons par une présentation des erreurs qui sont associées à une mesure au moyen d'un capteur.

L'incertitude de mesure est l'écart entre la valeur vraie du mesurande et la mesure effectuée par le capteur. Les seuls mesurandes connus sont les étalons dont la valeur est fixée par convention. On distingue les erreurs systématiques des incertitudes aléatoires car elles ont des origines et des conséquences sur la mesure très différentes.

I.5.1. Erreurs systématiques :

L'erreur systématique est toujours due à une mauvaise connaissance ou à une mauvaise utilisation du capteur. L'erreur systématique se détecte en comparant les valeurs moyennes d'un même mesurande, données par deux capteurs différents. Les causes les plus fréquentes d'erreurs systématiques sont les suivantes :

- Etalonnage incorrect ou non effectué au delà de la durée de vie ou après une altération du capteur.
- Emploi incorrect. Par exemple, non attente du régime permanent, erreur sur l'un des éléments d'un conditionneur, modification du mesurande par le capteur lui même.

- Exploitation inadéquate des données. Par exemple, erreur de linéarisation dans la chaîne de mesure, saturation d'un amplificateur de la chaîne de mesure...etc.

Il est clair que la détection de l'erreur systématique conduit toujours à son élimination.

I.5.2. Incertitudes aléatoires :

Ce sont les erreurs dont on peut connaître la cause sans que cette connaissance permette de prévoir la valeur de la mesure. Leur évaluation ne peut être que statistique. La cause principale de ces incertitudes est la présence de signaux ou d'influences « parasites » dont l'amplitude est aléatoire et que l'on qualifie par le terme assez vague de « bruit », citons à titre d'exemples :

- La fluctuation des sources d'alimentation de la chaîne de mesure ou du conditionneur.
- Les signaux électromagnétiques produits dans l'environnement et captés par un élément de l'ensemble capteur, conditionneur, chaîne de mesure.
- La fluctuation thermique (agitation thermique des porteurs de courant).
- La fluctuation des grandeurs d'influence (l'humidité, température...etc.).

Il existe bien d'autres causes d'incertitudes aléatoires comme les erreurs de lecture, les phénomènes d'hystérésis...etc.

Contrairement aux erreurs systématiques, les erreurs aléatoires ne peuvent pas être annulées, mais on doit cependant les réduire, soit en utilisant des dispositifs de protection (régulations des f.é.m, stabilisation de la température, isolation mécanique, blindage électromagnétique...etc.), soit en mettant en œuvre des procédures adaptées (capteur intelligent, filtrage, traitement du signal...). Il est, en tout cas, toujours indispensable de les évaluer.

I.5.3. Traitement d'incertitudes aléatoires :

L'incertitude de type aléatoire n'est pas prévisible mais son évaluation peut se faire par des techniques statistiques. Face à ce flou, le sens exact de la notion de statistique est intéressant à préciser. Le célèbre ministre Disraeli de la reine Victoria (Royaume-Uni, 1804-1881) a dit un jour "il y a trois sortes de

mensonges: l'information fausse, l'omission et les statistiques". Cette boutade montre bien l'idée que l'on aime donner des statistiques : elles ne peuvent prévoir un événement particulier (un résultat de mesure par exemple) mais fournissent simplement la probabilité d'occurrence d'une valeur parmi un grand nombre. Elles sont représentatives d'une foule et non d'un individu. C'est pourquoi, comme aurait pu ajouter Disraeli, les statistiques sont utilisées par les gouvernements pour gérer le plus grand nombre possible d'événements, sans avoir besoin de prendre nécessairement connaissance des problèmes individuel.

I.5.3.1. Caractéristiques statistiques d'un capteur :

Supposons que l'on fasse n mesures $m_1, \dots, m_i, \dots, m_n$ d'un même mesurande m .

➤ *Valeur moyenne :*

On appelle valeur moyenne de \mathbf{m} la quantité \bar{m} telle que :

$$\bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n} \quad (1.2)$$

➤ *Variance :*

La variance est une mesure arbitraire servant à caractériser la dispersion d'une distribution ou d'un échantillon.

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2}{n} \quad (1.3)$$

➤ *Ecart-type :*

L'écart-type mesure la dispersion de cette série de valeurs (m_1, \dots, m_n) autour de la moyenne \bar{m} .

$$\sigma = \sqrt{V} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2}{n}} = \sqrt{\frac{n[(\overline{m^2}) - (\bar{m})^2]}{n}} \quad (1.4)$$

I.5.4 .Fidélité - Justesse – Précision :

➤ **Fidélité :**

Elle définit la qualité d'un capteur à délivrer une mesure répétitive sans erreurs. L'erreur de fidélité correspond à l'écart type obtenu sur une série de mesures correspondant à un mesurande constant.

➤ **Justesse :**

C'est l'aptitude d'un capteur à délivrer une réponse proche de la valeur vraie et ceci indépendamment de la notion de fidélité. Elle est liée à la valeur moyenne obtenue sur un grand nombre de mesures par rapport à la valeur réelle.

➤ **Précision :**

Elle définit l'écart en pourcentage que l'on peut obtenir entre la valeur réelle et la valeur obtenue en sortie du capteur. Ainsi un capteur précis aura à la fois une bonne fidélité et une bonne justesse.

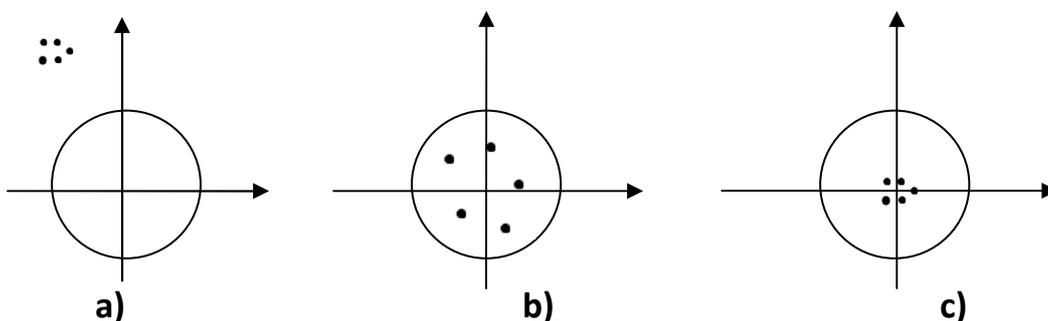


Figure. I.14 : a) Fidélité, b) Justesse, c) Précision

Ces trois propriétés caractérisent le capteur et son étalonnage. On dit qu'un capteur est fidèle si l'écart-type qu'il fournit est faible, qu'il est juste s'il

est dépourvu d'erreur systématique et qu'il est précis s'il est à la fois juste et fidèle.

I.5.5. Etalonnage des capteurs :

L'étalonnage est l'opération qui établit la relation entre le mesurande et la grandeur électrique de sortie. Cette relation peut dépendre non seulement du mesurande mais aussi des grandeurs d'influence. S'il n'y a pas de grandeurs d'influence, l'étalonnage est simple, dans le cas contraire il est multiple.

I.5.5.1. Etalonnage simple :

On distingue deux méthodes possibles :

- ✓ L'étalonnage direct dans lequel les valeurs du mesurande sont issues d'étalons ou d'objets de référence pour lesquels le mesurande est connu avec une incertitude donnée.
- ✓ L'étalonnage par comparaison dans lequel on compare les mesures du capteur à étalonner avec celles provenant d'un autre capteur lui-même préalablement étalonné et considéré comme étant la référence, ce qui signifie que son étalonnage est raccordé à des étalons et que l'incertitude correspondante est connue.

I.5.5.2. Etalonnage multiple :

L'existence de grandeurs d'influence susceptibles de varier au cours des mesures oblige à paramétrer l'étalonnage pour différentes valeurs de ces grandeurs : c'est l'étalonnage multiple. Quelques cas particuliers d'étalonnages multiples méritent d'être mentionnés :

- ✓ Pour les capteurs présentant une hystérésis, il est nécessaire de procéder à l'étalonnage par une succession ordonnée et spécifiée des valeurs du mesurande.
- ✓ Pour les capteurs de grandeurs dynamiques, il faut relever la réponse en fréquence pour un mesurande d'amplitude fixée et la réponse en amplitude pour une fréquence fixée.
- ✓ Dans certains cas, notamment pour beaucoup de capteurs mécaniques et thermiques, lorsque le constructeur ne donne pas d'indication relative à l'usage du capteur, il est souvent souhaitable d'effectuer l'étalonnage après

son installation sur le site. Ainsi, l'étalonnage d'un accéléromètre peut être effectué après sa fixation à la structure dont on veut mesurer l'accélération, en particulier si, dans le certificat d'étalonnage, le constructeur a spécifié une procédure différente.

I.5.6. Résolution :

Elle correspond à la plus petite variation du mesurande que le capteur est susceptible de détecter.

I.5.7. Sensibilité :

Elle détermine l'évolution de la grandeur de sortie s en fonction de la grandeur d'entrée m en un point donné m_i . C'est la pente de la tangente à la courbe issue de la caractéristique du capteur.

$$S = \left(\frac{ds}{dm} \right)_{m=m_i} \quad (1.5)$$

Dans le cas d'un capteur linéaire, la sensibilité S du capteur est constante. Il faut noter que la sensibilité d'un capteur peut être fonction du conditionneur auquel il est associé.

I.5.8. Finesse :

C'est la qualité d'un capteur à ne pas venir modifier par sa présence la grandeur à mesurer. Cela permet d'évaluer l'influence du capteur sur la mesure. On la définit non seulement vis à vis du capteur mais aussi vis à vis de l'environnement d'utilisation du capteur.

I.5.9. Linéarité :

Zone dans laquelle la sensibilité du capteur est indépendante de la valeur du mesurande, qui peut être définie par une droite approchant au mieux la caractéristique réelle du capteur. On définit à partir de cette droite l'écart de

linéarité qui exprime en pourcentage l'écart maximal entre la courbe réelle et la droite approchant la courbe.

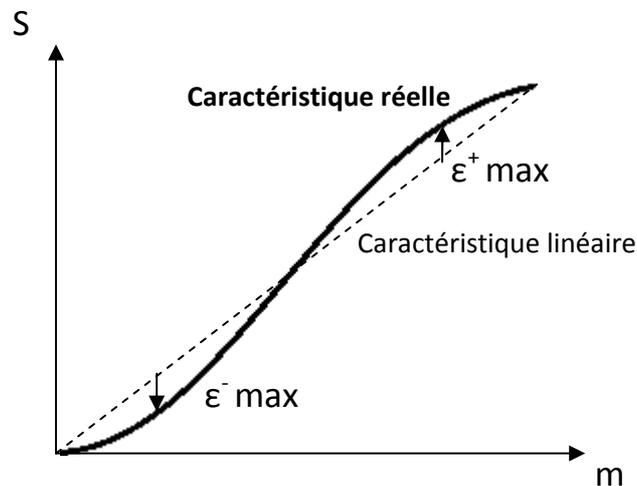


Figure I.15 : Exemple de linéarisation de caractéristiques

I.6. Conditionneur associé :

Le conditionnement de la mesure consiste à rendre exploitable la mesure issue du capteur. L'association capteur-conditionneur détermine le signal électrique et ses caractéristiques. On effectue une adaptation de la source du signal à la chaîne de mesure complète.

I.6.1. Conditionneurs de capteurs actifs :

On distingue trois types :

I.6.1.1. Capteur source de tension :

On peut adopter le modèle suivant pour la sortie du capteur auquel on vient connecter une impédance (Z_i) correspondant à l'impédance d'entrée du conditionneur (Z_c).

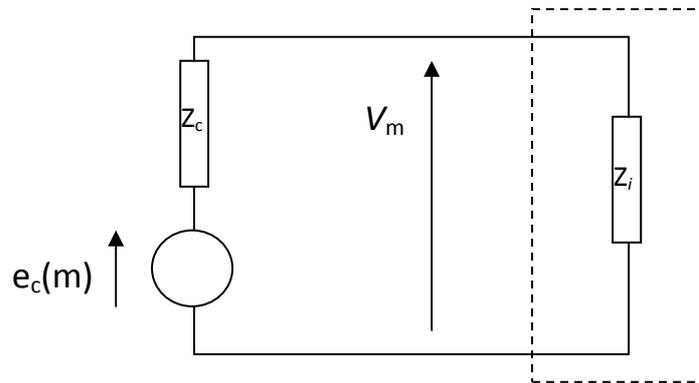


Figure I.16 : Modèle du capteur source de tension.

$$V_m = e_c \cdot \frac{Z_i}{Z_i + Z_c} \approx e_c \quad \text{pour } Z_i \gg Z_c \quad (\text{I. 6})$$

On utilisera des dispositifs à forte impédance d'entrée de manière à obtenir une tension en sortie du conditionneur aussi proche que la tension en sortie du capteur ($V_m \approx e_c$). On pourra utiliser un montage suiveur ou un amplificateur différentiel plus classiquement appelé amplificateur d'instrumentation.

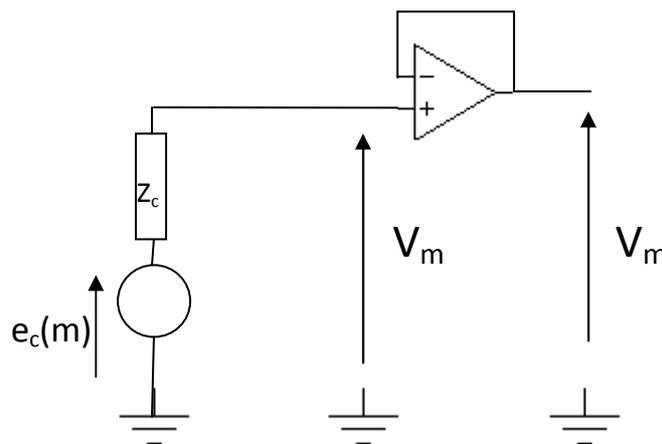


Figure. I.17: Montage suiveur.

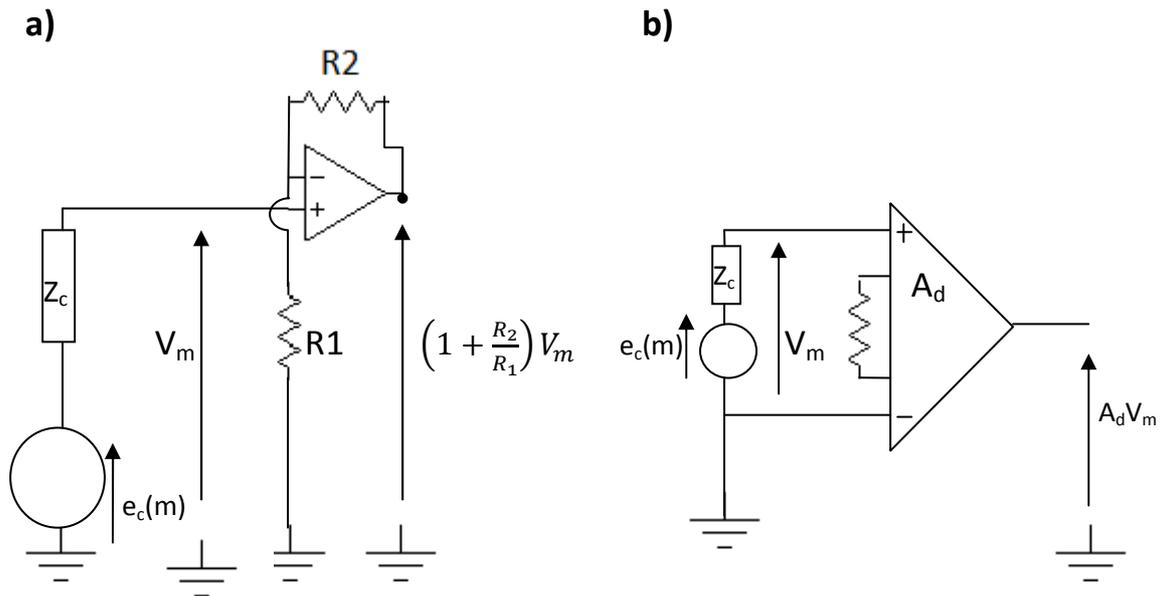


Figure I.18 : a) Amplificateur opérationnel. b) Amplificateur différentiel ou d'instrumentation.

I.6.1.2. Capteur source de courant :

Dans ce cas, le capteur peut se modéliser par une source de courant avec une impédance en parallèle.

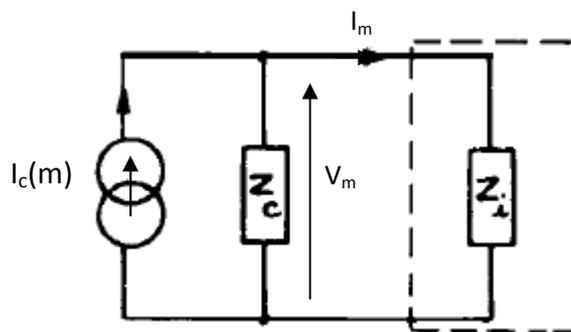


Figure I.19 : Modèle du capteur type source de courant.

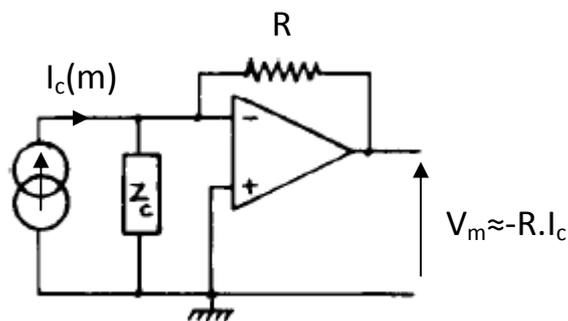


Figure I.20: Convertisseur courant-tension.

On fait appel dans ce cas à un convertisseur courant-tension de manière à obtenir une tension proportionnelle au courant de sortie du capteur.

I.6.1.3. Capteur source de charge :

Ce capteur se comporte en générateur et présente une impédance interne capacitive. C'est le cas d'un cristal piézo-électrique. Il faut faire attention dans le cas où l'on vient brancher une impédance équivalente résistive à ses bornes. Cette résistance peut engendrer une décharge trop rapide de la capacité empêchant toute mesure.

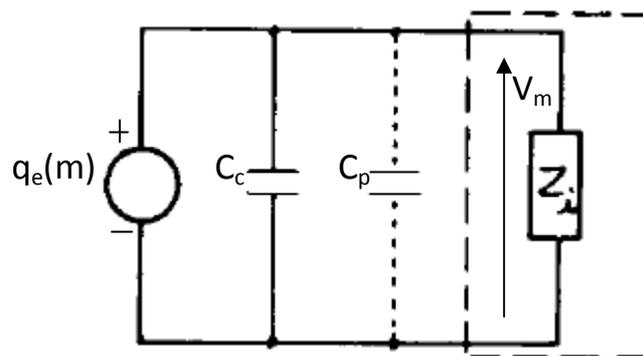


Figure. I.21 : Modèle du capteur type source de charge.

Dans ce cas, il est préférable d'utiliser un amplificateur de charge dont le principe est présenté ci-dessous.

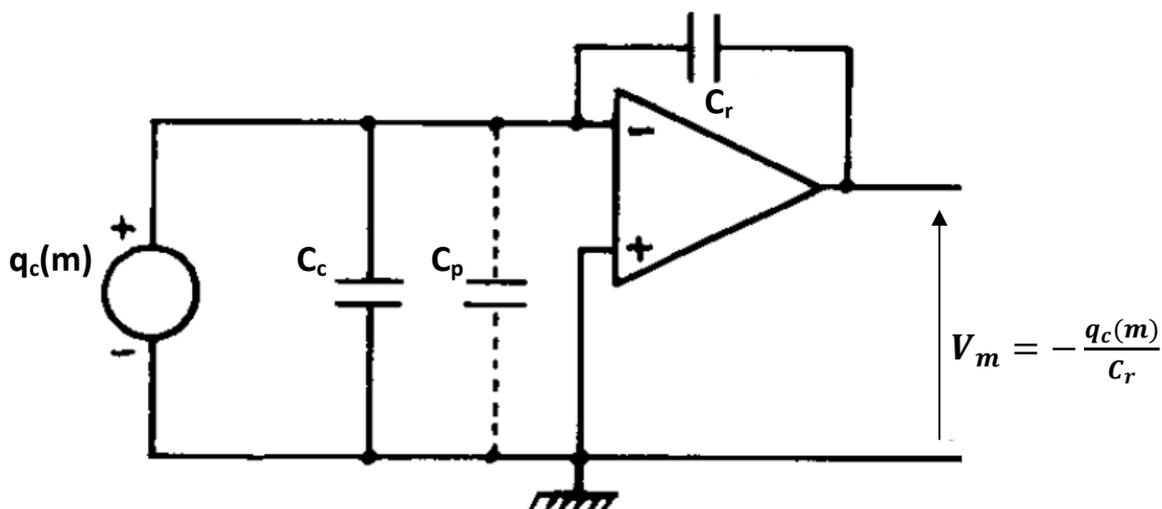


Figure. I.22: Amplificateur de charge.

I.6.2. Conditionneurs de capteurs passifs :

Comme ce capteur donne une image du mesurande par l'intermédiaire d'une impédance, on associe toujours une source externe de tension ou de courant au capteur.

Deux grands principes de conditionneurs peuvent être employés :

- ✓ Montage en pont : on récupère alors une tension proportionnelle au mesurande.
- ✓ Montage oscillant : la fréquence du signal de sortie est modulée par le mesurande.

I.6.2.1. Montage potentiométrique :

Deux cas peuvent se présenter.

➤ Cas de résistances :

On utilise un simple pont diviseur alimenté par une source de tension continue V_e . L'impédance interne de la source (R_s) et l'impédance de l'appareil de mesure (R_d) doivent être prises en compte. Le capteur est modélisé par la résistance R_c .

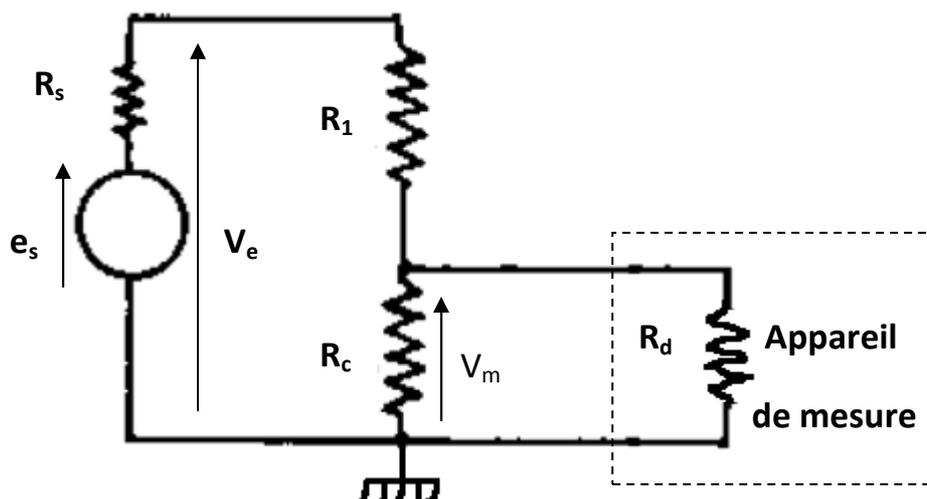


Figure. I.23: Modèle du montage potentiométrique.

En négligeant R_s et R_d , on obtient :

$$V_m = \frac{R_c}{R_c + R_1} V_e \quad (1.7)$$

Remarque : Cas d'une alimentation en courant :

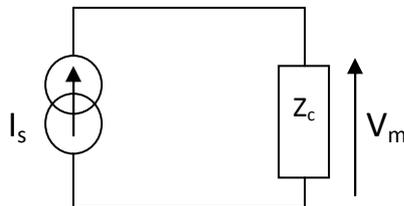


Figure. I.24 : Capteur alimenté en courant.

L'utilisation d'une source de courant I_s rend le montage directement linéaire si l'on néglige l'impédance interne de la source, c'est à dire :

$$V_m = I_s R_c \quad (1.8)$$

➤ **Cas d'impédances complexes (Z_c) :**

Le capteur est capacitif (détecteur de niveau par exemple) ou inductif (détecteur de position). On utilise alors une source d'alimentation sinusoïdale associée à pont diviseur.

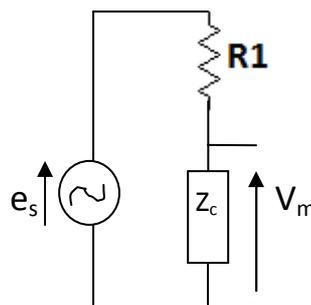


Figure. I.25 : Montages en pont dans le cas d'impédances complexes.

En supposant $R_1 \ll |Z_c|$ et que l'impédance du capteur varie de Z_{c0} à $Z_{c0} + \Delta Z_c$ on obtient une variation de tension à ses bornes qui vaut :

$$\Delta V_m = \frac{e_s}{R_1} \Delta Z_c \quad (1.9)$$

De même en utilisant une source de courant I_s :

$$\Delta V_m = I_s \Delta Z_c \quad (I.10)$$

I.6.2.2. Montage en pont :

L'utilisation d'un montage potentiométrique présente le défaut d'avoir en sortie la présence d'une tension, et ceci en l'absence de variations du mesurande. L'emploi d'un montage en pont présente l'avantage de s'affranchir de cette tension continue.

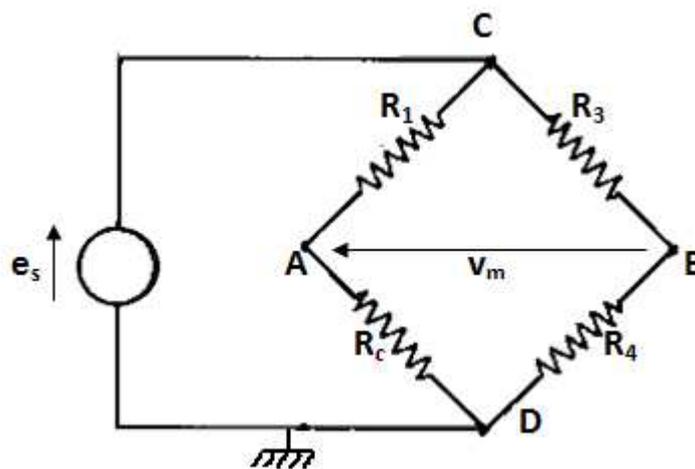


Figure. I.27 : montage en pont.

Après avoir calculé les potentiels aux points A et B, on obtient une tension de mesure encore appelée tension de déséquilibre du pont :

$$V_m = V_A - V_B = \frac{R_c R_3 - R_1 R_4}{(R_1 + R_c)(R_4 + R_3)} e_s \quad (I.11)$$

Si on veut une tension nulle en l'absence d'évolution du mesurande (cas stable $R_c = R_{c0}$), on trouve la condition d'équilibre d'un pont de Wheatstone :

$$R_c R_3 = R_1 R_4$$

Cas particulier $R_1=R_3=R_4=R$:

On suppose que le mesurande évolue autour d'une valeur R_{c0} : $R_c = R_{c0} + \Delta R$, avec $R_{c0} = R$. Comme ce pont correspond à un double montage potentiométrique, on aura alors dans ce cas une sensibilité maximale ; l'expression de V_m devient :

$$V_m = \frac{e_s}{4} \frac{\Delta R/R}{\left(1 + \Delta R/2R\right)} \quad (I.12)$$

En petites variation de R_c ($\Delta R/R \ll 1$), on peut linéariser la relation entre

$$V_m \text{ et } \Delta R : \quad V_m = \frac{e_s}{4} \frac{\Delta R}{R} \quad (I.13)$$

I.6.2.3. Montage oscillant :

Un circuit oscillant (LC) présente une fréquence de résonance F_0 telle que:

$$F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (I.14)$$

Si on insère un capteur capacitif ou inductif dans un tel circuit, ses variations entraîneront une variation Δf de la fréquence d'oscillation du circuit. En supposant des petites variations, on obtient une évolution :

$$\frac{\Delta F}{F_0} = -\frac{\Delta L}{2L_0} \quad \text{ou} \quad \frac{\Delta F}{F_0} = -\frac{\Delta C}{2C_0} \quad (I.15)$$

Dans le cas d'un capteur capacitif, on peut utiliser un multivibrateur astable à amplificateur opérationnel.

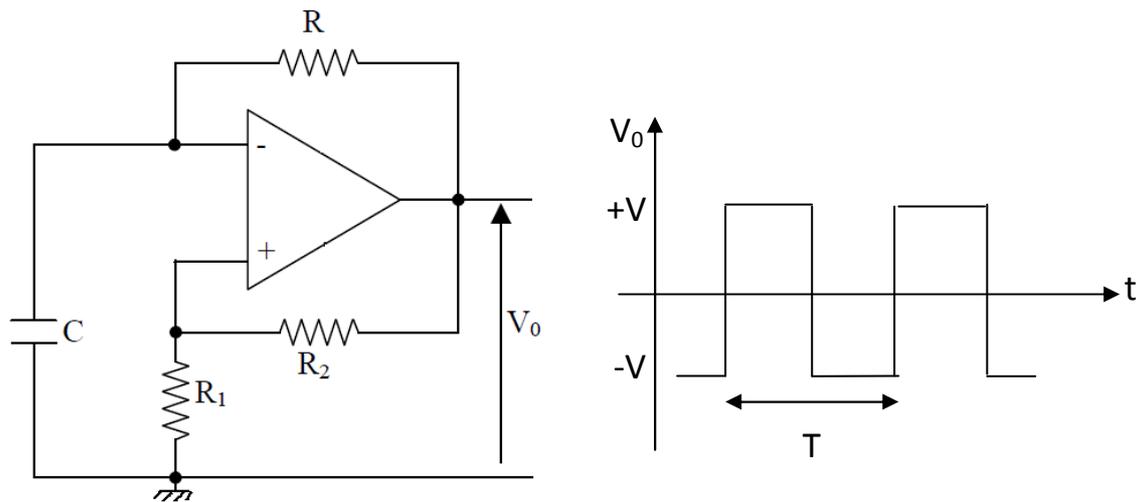


Figure. I.28 : Montage astable à circuit R-C.

La période des oscillations est directement reliée à la valeur de la capacité par la relation :

$$T = 2 \cdot RC \cdot \ln \left(1 + \frac{2R_1}{R_2} \right) \quad (I.16)$$

CHAPITRE II

LES CAPTEURS DE GAZ

L'analyse des gaz remonte à l'an 1777, année où Lavoisier montra que l'air était composé d'au moins deux gaz dont l'un est le dioxygène (O_2) est essentiel pour la combustion et la respiration et l'autre gaz le diazote (N_2) inerte. Environ deux cents ans après Lavoisier, des méthodes d'analyse de gaz performantes telles que la chromatographie en phase gazeuse et la spectrométrie de masse sont apparues. Ces analyses sont précises mais elles nécessitent un appareillage relativement lourd et onéreux. A côté des méthodes classiques d'analyse des gaz, les détecteurs à base d'oxyde métallique se sont développés ; ils présentent certains intérêts par rapport aux méthodes classiques. En effet, leur compatibilité avec la technologie de la microélectronique permet leur miniaturisation, ce qui entraîne une réduction du coût par une fabrication de masse, d'une part, et une faible puissance électrique consommée, d'autre part.

Dans ce chapitre, nous présenterons les différents types de capteurs de gaz.

II.1. Définition d'un capteur de gaz :

Un capteur de gaz est défini comme un composant dont au moins une de ses propriétés physiques varie 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 (*figure. II.1*). 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 à oxyde métallique.

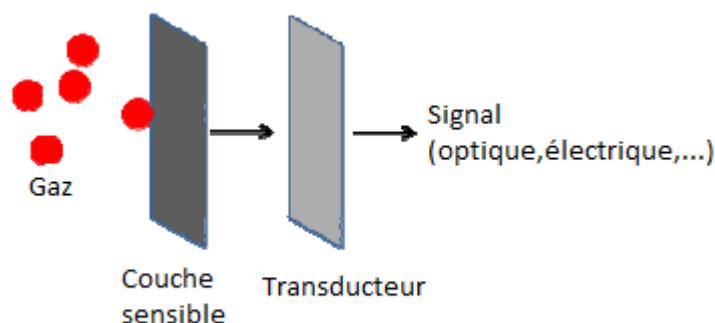


Figure. II.1. Structure générale d'un capteur de gaz.

II.2. Principales familles de capteurs de gaz :

La classification de ces capteurs s'effectue généralement en fonction de leur principe de détection. Dans ce qui suit, nous donnerons un aperçu du principe de détection de quelques uns.

II.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** (exemple du quartz) :

$$\Delta f = - \frac{2f_0^2}{S \cdot \rho_q \cdot V_q} \Delta m \quad (II.1)$$

Où

Δf : Variation de fréquence.

f_0 : la fréquence propre de résonance du quartz.

Δm : Variation de la masse des particules.

S : superficie de la zone active du quartz (zone entre les électrodes).

ρ_q : densité du quartz ($\rho_q = 2.648 \text{ g/cm}^3$).

V_q : 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 ; la bonne sensibilité (de l'ordre de quelques ppm avec certains hydrocarbures), fonctionnement à température ambiante et sa réponse linéaire. Cependant, il n'est pas sélectif de plus, il est sensible à la température.

II.2.2. Capteur à ondes acoustiques de surface :

Le principe de fonctionnement est proche de celui des capteurs à microbalance à quartz. Sur un matériau piézo-électrique sont déposées deux

paires d'électrodes interdigitées (figure II.2), 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 paires d'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, de l'ordre du ppm pour l'ammoniac (NH_3).

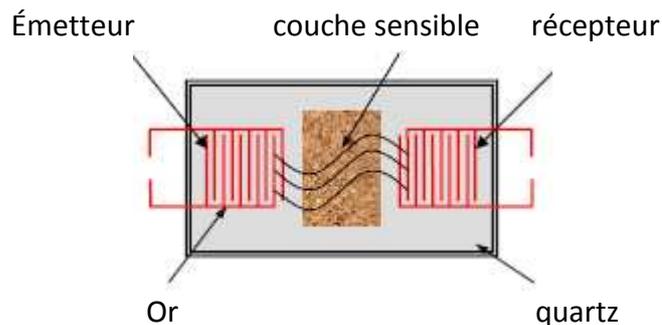


Figure II.2 : Structure d'un capteur à ondes acoustiques de surface.

II.2.3. Capteur à transistor 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. Le principe consiste à intégrer sur la grille du FET une membrane sensible à l'espèce à détecter. Lors de l'absorption d'un gaz accepteur ou donneur d'électrons il va se produire une modification du potentiel de surface, et par suite de la concentration de porteurs au niveau du canal et donc de sa conductance. La *figure .II.3* présente une structure typique de ce capteur.

Afin d'améliorer le temps de réponse on préconise un fonctionnement à température élevée (entre 100 et plus de 1000°C) ce qui justifie la présence d'un circuit de chauffage en périphérie du GAZFET.

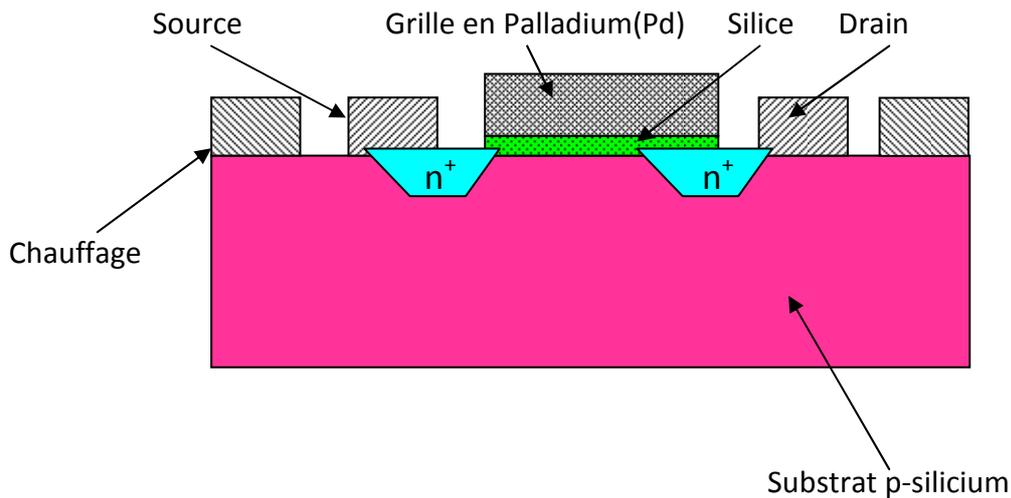


Figure. II.3 : Schéma d'un capteur de gaz de type GASFET.

II.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.

Prenons le cas d'un capteur d'Oxygène.

- 1. Anode
- 2. Électrolyte
- 3. Cathode
- 4. Trajet de diffusion
- 5. Filtre diffusant
- 6. Gaz mesuré

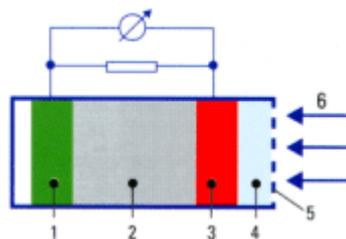


Figure II.4 : Capteur électrochimique d'Oxygène.

Ce capteur comprend un système de mesure électrochimique à l'intérieur duquel l'air devant être mesuré sera diffusé. L'oxygène existant sera réduit

dans l'électrolyte, générant ainsi un faible courant (processus électrochimique). Si la pression de l'air est constante, ce courant sera directement proportionnel à la concentration en oxygène présent dans l'air mesuré.

II.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 fibre optique: 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).

II.2.6. Microcapteur catalytique :

Le principe de fonctionnement de ce capteur se base sur la mesure de la chaleur dégagée par la combustion du gaz à détecter. Leur fabrication utilise les technologies de la microélectronique. Ils comportent deux éléments chauffants identiques, en couches de platine (Pt), déposés sur une membrane de nitrure de silicium (Si_3N_4) qui constitue un bon compromis adhérence-isolation thermique et électrique avec le substrat de silicium. Sur l'une des résistances de platine est déposé un catalyseur (le palladium, le plus utilisé), l'autre sert de référence. Lors de la combustion du gaz sur la couche active, il en résulte une variation de température de cette couche et donc de la résistivité du platine.

Ce type de capteurs possède un excellent temps de réponse (<10s) et une bonne linéarité, mais il ne peut détecter que des gaz combustibles (H_2 , CH_4 , C_4H_{10}). Son principal inconvénient est l'empoisonnement du catalyseur par certaines espèces chimiques (le plomb des anciens supercarburants par exemple).

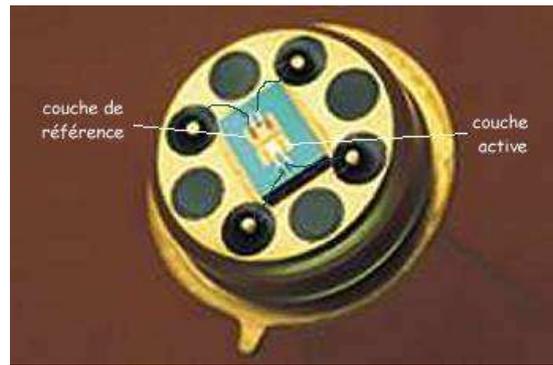


Figure. II.5 : Micro capteur catalytique.

Une autre procédure peut être exploitée avec les capteurs catalytiques : c'est de faire travailler le capteur à température constante, ainsi la quantité d'énergie pour maintenir la température sera différente sur l'élément sensible en contact avec le gaz de celle de l'élément de référence.

II.2.7. Capteur à base d'oxyde métallique :

Les capteurs de gaz à base d'oxydes métalliques ont été développés par Seiyama et Taguchi dans les années 60. Ils utilisaient ZnO et SnO_2 comme matériaux sensibles pour la détection des gaz du pétrole liquéfié 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.

Le capteur qu'on a utilisé pour notre système de mesure est de ce type.

II.3. Performances d'un capteur de gaz :

Comme on l'a cité dans le chapitre précédent, plusieurs critères peuvent être pris en compte pour définir les performances d'un capteur. L'importance des uns par rapport aux autres dépend logiquement de l'application visée.

Les caractéristiques présentées ci-dessous sont utilisées pour évaluer les performances des capteurs de gaz.

II.3.1. Sensibilité :

Dans le cas des capteurs de gaz, la sensibilité, par définition, est le rapport de la variation de la réponse électrique du capteur à celle de la concentration du gaz:

$$S = \frac{\Delta R}{\Delta [C]_{gaz}} \quad (II.2)$$

Avec C la concentration du gaz.

Cependant, dans le domaine des capteurs à oxyde métallique, on utilise parfois d'autres paramètres pour traduire la sensibilité du capteur.

R_s/R_0 sensibilité relative.

$(R_s - R_0)/R_0$ sensibilité fractionnelle.

$\ln(R_s/R_0)$ sensibilité logarithmique.

Les indices S et 0 correspondent respectivement à la mesure sous gaz et sous air.

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.

II.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. L'instabilité peut être considérée comme une source supplémentaire d'incertitude, d'autant plus grande que la durée d'utilisation du capteur est grande. Différentes solutions sont proposées pour y remédier, notamment par un traitement préalable de la couche sensible.

II.3.3. Sélectivité :

La sélectivité est définie comme étant la capacité d'un capteur à répondre à un certain gaz en présence de 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 flagrant de sélectivité mais de nombreuses méthodes sont étudiées pour résoudre ce problème.

II.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 à oxyde métallique par exemple, 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.

II.3.5. Temps de réponse :

Il exprime le temps nécessaire que met la valeur de sortie du capteur pour se stabiliser lorsque les conditions de mesure varient brutalement d'un état à un autre. Le temps de réponse est pris entre 10% et 90% de la valeur stabilisée. Dans le cas des capteurs de gaz, cette valeur dépend essentiellement de la cinétique des réactions chimiques mises en jeu.

Il est à noter qu'il est souvent très difficile d'estimer ce temps sans prendre en compte celui du banc de caractérisation qui peut être soit plus petit, soit équivalent, soit plus important, suivant les conditions de mesure.

II.4. Le capteur HS 135 :

Il est proposé actuellement sur le marché, de nombreux capteurs capables de détecter un gaz dangereux ou un pourcentage de fumée ambiante.

Le système qu'on est en train d'étudier fait appel à l'un de ces capteurs, le capteur **HS 135**, il est capable de déceler la présence du dioxyde de carbone (CO₂) connu aussi sous le nom du « gaz carbonique », la fumée, l'alcool, l'isobutane (i-C₄H₁₀) gaz utilisé souvent comme propulseur dans les aérosols ou encore le dioxyde de soufre (SO₂).

II.4.1. Principe de détection :

Le capteur **HS 135** fait partie des capteurs de gaz à base d'oxyde métallique, en effet, le cœur de ce capteur est un matériau semi-conducteur

qui a la propriété d'avoir une conductivité variable selon la composition de l'atmosphère qui l'entoure comme le montre la figure suivante.

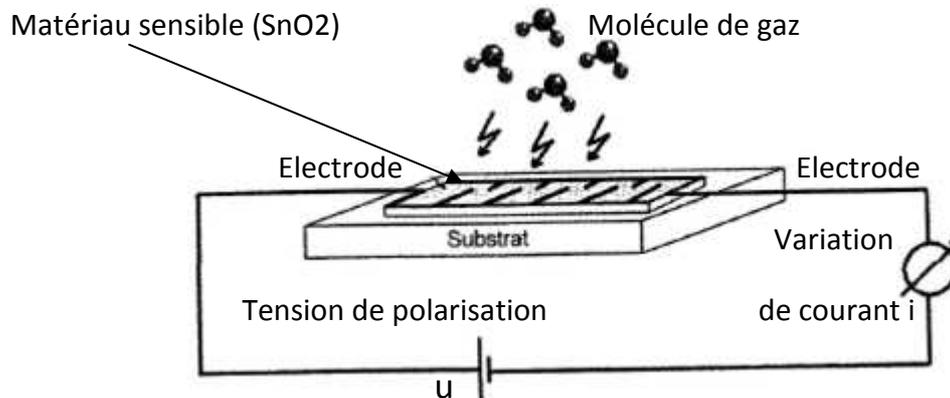


Figure. II.6. Principe de détection du capteur HS135.

L'élément sensible de ce capteur est constitué d'une couche semi-conductrice poreuse à base de dioxyde d'étain (SnO₂).

Ce semi-conducteur a la propriété d'offrir une faible conductivité en présence d'un environnement en air propre. Dès qu'il y a présence d'un gaz détectable, la conductivité augmente (cela correspond à la variation ohmique de la couche sensible du capteur) selon la concentration du gaz dans l'air.

La conductivité de la couche semi-conductrice est donc modulée par l'adsorption d'éléments chimiques auxquels le capteur est sensible. Afin d'augmenter la sensibilité de la couche sensible à base de SnO₂, il est possible d'introduire des dopants comme la platine (Pt).

Précisons également que ce type de capteurs est fabriqué avec une couche métallique résistive généralement en poly silicium, dont le rôle est de chauffer la couche sensible jusqu'à sa température de fonctionnement ; cette couche résistive se trouve sous le matériau semi-conducteur (SnO₂) mais elle est bien sur isolée de celui-ci.

Pour mesurer la variation de la résistance du matériau semi-conducteur (SnO₂) utilisé pour la fabrication du capteur, le principe consiste à mesurer la tension (V_{out}) aux bornes de la résistance de charge R_L placée en série avec la couche sensible du capteur **HS 135** comme l'illustre la *figure. II.7*.

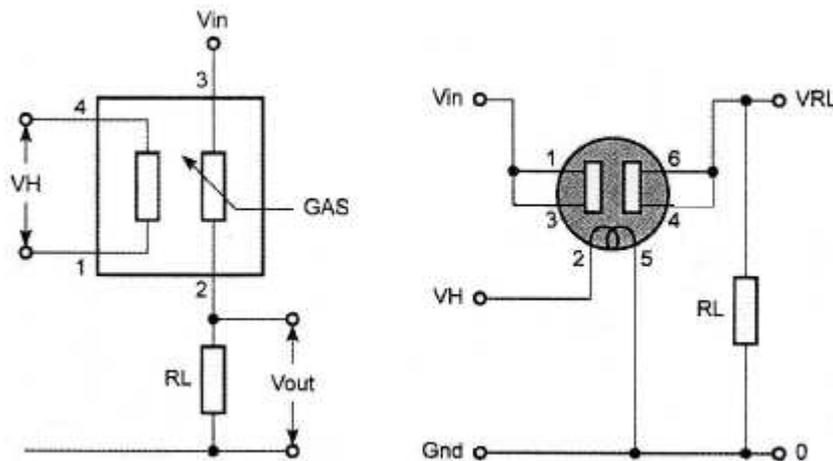


Figure. II.7. Principe de mesure.

II.4.2. Caractéristiques du capteur HS 135 :

Le capteur HS 135 est conçu pour détecter la concentration dans l'air de différents types de gaz tel que le CO₂, l'isobutane ou encore le dioxyde de soufre ; il permet également la détection des alcools ou la présence de fumées.

Les courbes de la *figure. II.8* indiquent pour une tension donnée (0-5 V) aux bornes de la résistance R_L la concentration en ppm (partie par million) d'un gaz tel que l'alcool ou l'isobutane (300-5000ppm) ; ces courbes indiquent également un pourcentage entre 0.3 et 20 % pour la concentration en CO₂ et entre 1 et 10 % pour la détection de fumée.

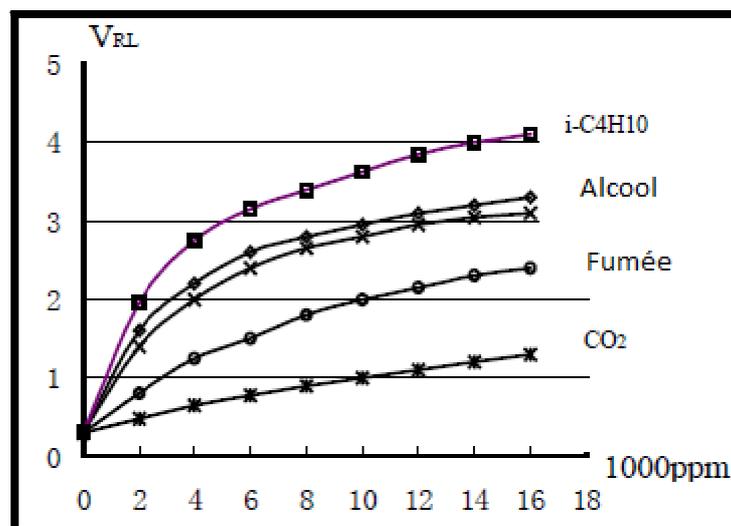


Figure. II.8 : sensibilité.

Remarque : On peut interpréter le ppm dans notre cas par ceci :

$$1\text{ppm} \iff 1 \text{ cm}^3 \text{ par } 1\text{m}^3.$$

II.4.3. Conditions de travail du capteur HS 135 :

- Les conditions de détection standards sont :
- Température : 20°C
- Tension d'alimentation, $V_c = 5V \pm 0.1$
- Humidité : 65 % \pm 5 % Rh
- Tension d'alimentation de la résistance de chauffage $V_h : 5V \pm 0.1$.

Il peut être utilisé dans les gammes indiquées dans le *tableau.II.9*.

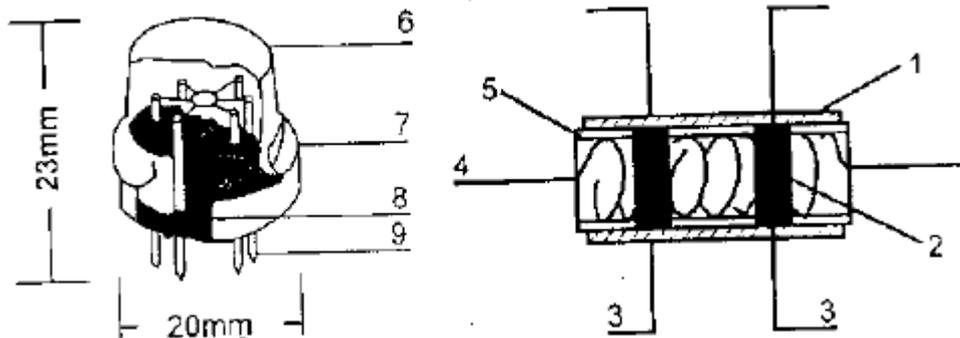
Le paramètre	Condition technique
Température de fonctionnement	-20°C_50°C
Température de stockage	-20°C_70°C
L'humidité en fonctionnement	Moins de 95% Rh
Concentration d'oxygène (O ₂)	21 % (condition standard) pas moins de 2 %

Tableau II.9 : Conditions de travail du capteur HS 135.

Remarque : la concentration de l'Oxygène influence sur la sensibilité des capteurs à base d'oxyde métallique comme on va le voir dans le chapitre qui va suivre.

II.4.4. Structure du capteur HS 135 :

La structure du capteur HS 135 est donnée par la figure suivante.



1 : couche sensible.

6 : assemblage anti-explosion.

2 : électrodes de mesure.

7 : cercle d'attachement.

3 : contacts des électrodes.

8 : la base.

4 : résistance de chauffage.

9 : fils de raccordement.

5. le corps (tube en céramique)

Figure. II.10. Structure du capteur HS 135.

II.4.5. Symbole :

Le symbole du capteur HS 135 est donné par la figure. II.11.

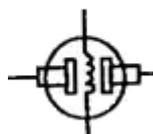


Figure. II.11. symbole du capteur HS 135.

II.4.6. Calibrage et mise en fonction du capteur HS 135 :

Pour calibrer ce capteur, il est conseillé d'utiliser l'isobutane ($i-C_4H_{10}$) dans l'étendu 300ppm – 1000ppm.

➤ **Les étapes d'ajustement :**

- a. Insérer le capteur dans le circuit de l'application.

- b. Si le capteur va être utilisé pour la première fois, on suggère un temps de pré-échauffement de pas moins de 24 heures afin de s’assurer que le capteur a atteint sa température de fonctionnement et par suite une stabilité maximale.
- c. Dans un environnement de concentration de gaz (i-C₄h₁₀) connue, on ajuste la résistance de charge RL de façon à avoir le signal de sortie approprié.

II.5. Le Nez électronique :

II.5.1. Définition :

Il existe Plusieurs définitions du terme nez électronique (*electronic nose*) mais la suivante est souvent utilisée : « Un nez électronique est un instrument composé d’une matrice de capteurs de gaz et des systèmes de reconnaissance de forme appropriés, capable de reconnaître des odeurs simples ou complexes».

L’idée de base des nez électroniques consiste à imiter le principe de fonctionnement du système olfactif humain. La *figure. II.12*, présente des similitudes entre le nez humain et le nez électronique.

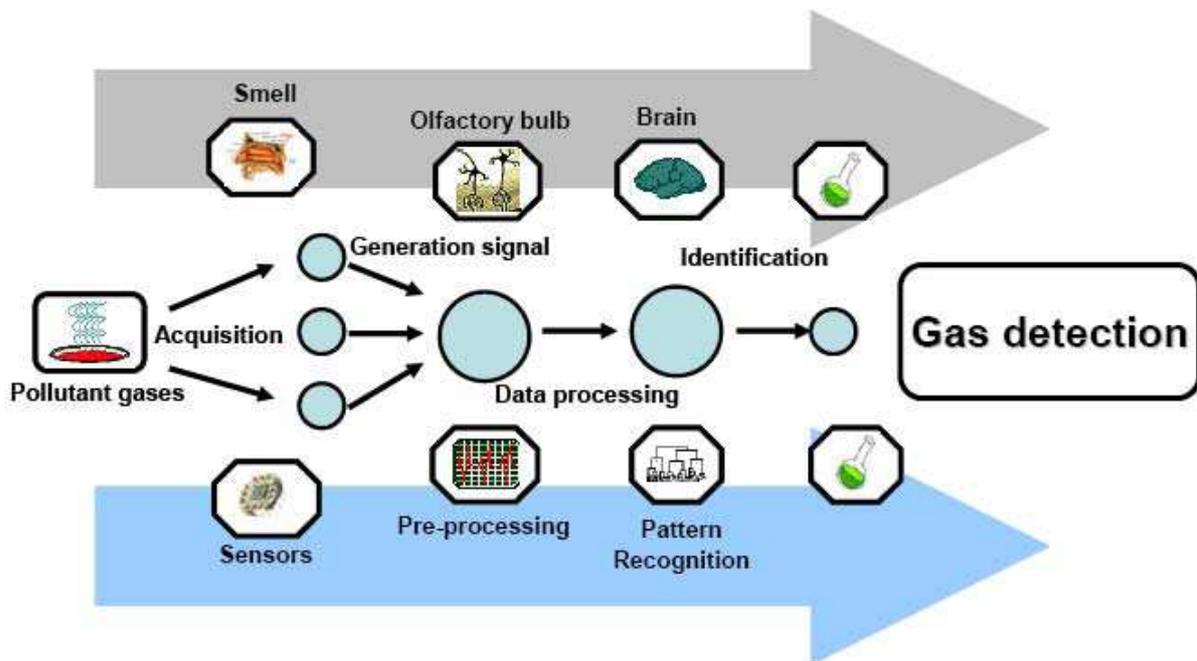


Figure. II.12 : Comparaison entre le nez humain et le nez électronique

Le système olfactif humain est composé de trois éléments principaux qui sont les récepteurs olfactifs « Smell », le bulbe olfactif « Olfactory bulb » et le cortex olfactif «Bain». Par analogie, ces trois éléments forment la base des nez électroniques dans lesquels on a respectivement une matrice de capteurs « Sensors », un système de traitement « Preprocessing» et un système approprié de reconnaissance de forme « Pattern Recognition ». Les performances entre les deux types de nez sont cependant incomparables. Si le nez humain est capable de distinguer plusieurs milliers d'odeurs, le nez électronique ne peut en déceler jusqu'à présent, qu'une dizaine. La sensibilité du nez humain est au-dessous du ppb (partie par billion, 10^{-12}) tandis que celle des nez électronique est de l'ordre du ppm.

CHAPITRE III

LES CAPTEURS DE GAZ A BASE D'OXYDE METALLIQUE

Les recherches actuelles, en accord avec les besoins industriels, visent à réduire les dimensions, diminuer la puissance consommée, diminuer le prix et augmenter les performances.

De part leur faible coût, (production en masse), leur possibilité de miniaturisation et leur bonne sensibilité, les capteurs de gaz à base d'oxyde métallique font l'objet d'une attention particulière. Cependant, certains points restent problématiques (comme la sélectivité) et empêchent d'atteindre les performances souhaitées avec ces systèmes.

III.1. Les oxydes métalliques :

Il existe deux grandes familles d'oxydes métalliques (Tableau. III.1). La première concerne les types P. Ils sont reconnus relativement instables à cause de leur tendance à échanger des oxygènes de leur réseau facilement avec l'air. Pour autant, les types P sont utilisés pour certaines applications comme les capteurs d'oxygène à haute température. La seconde famille regroupe les types N. Ils remplissent la majorité des applications de type capteurs de gaz car ils sont plus stables et ont des propriétés plus favorables à la chimisorption (adsorption mettant en jeu des électrons).

Oxyde métallique de type N	Oxyde métallique de type P
SnO₂	NiO
WO₃	PdO
ZnO	La ₂ O ₃
TiO₂	TeO ₂
In₂O₃	Ag ₂ O
Ta₂O₅	BaTiO ₃
Ga₂O₃	

Tableau. III.1 : Les types des oxydes métalliques.

III.1.1. Les oxydes métalliques sensibles (les plus répandus) :

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.

Un matériau a une sensibilité maximale à un gaz pour une température de fonctionnement donnée.

Le *tableau III.2* regroupe des exemples de quelques matériaux sensibles et la température de fonctionnement optimale du capteur, ainsi que les gaz détectés.

Oxydes métalliques	Gaz ciblés	Température optimale (°C)	Résistance à l'air
SnO ₂	O ₂ , CH ₄ , CO, H ₂ , NH ₃ , C ₃ H ₈ , SO ₂ , Cl ₂ .	300	2.10 ⁵
TiO ₂	O ₂ , CO, H ₂ , C ₃ H ₈ , SO ₂ , H ₂ S	500	2.10 ⁶
WO ₃	O ₂ , CH ₄ , H ₂ , C ₃ H ₈ , SO ₂ , H ₂ S	500	10 ³
La ₈ Sr ₂ MnO ₃	CO, H ₂ , NH ₃ , NO ₂ , Cl ₂	350	10 ⁷
CrNbO ₄ (p)	CO, H ₂ , C ₃ H ₈ , NH ₃	280	2. 10 ⁴
WNB ₄ O ₁₃	WNB ₄ O ₁₃	450	10 ⁶
CoTa ₂ O ₆ (p)	H ₂ , CO, NH ₃	550	2.10 ⁷
CuTa ₂ O ₆	O ₂ , CO, H ₂ , C ₃ H ₈ , NH ₃	380	N.C
Rb ₄ SiW ₁₇ O ₄₀	SO ₂ , H ₂ S	300	10 ⁴
GeO ₂	O ₂	700-1100	N.C
Ga ₂ O ₃	O ₂ , H ₂ , CH ₄ , NH ₃	550	10 ³
SrTiO ₃ (1%Fe)	CH ₄	650	N.C
SrTiO ₃ (1%Fe)	CO ₂	620	N.C

Tableau. III.2 : Matériaux sensibles avec température de fonctionnement et gaz détectables.

III.1.2. Cas du dioxyde d'étain :

Si le SnO₂ peut cristalliser exceptionnellement sous forme orthorhombique, dans certaines conditions spéciales de pressions élevées,

il est sous forme rutil (appelée aussi cassitérite) dans la majorité des cas (figure. III.3.)

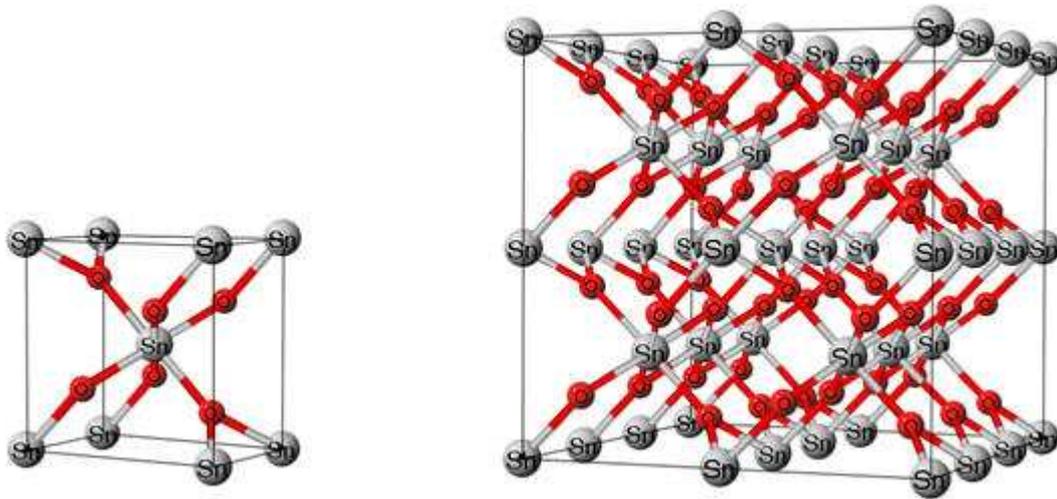


Figure. III.3 : Maille cristalline du SnO₂ sous sa forme la plus répandue (cassitérite)

III.1.3.Épaisseur et Morphologie :

La couche sensible d'un capteur de gaz à base d'oxyde métallique est définie suivant son épaisseur et sa morphologie. Elle peut être caractérisée par les termes suivants :

- **Couche épaisse :** (supérieure à 1 μ m), la conduction du matériau est régie par les effets de surface (réactions des gaz avec la surface de la couche) et le substrat (propriétés de conduction dans un semi-conducteur massif). La diffusion étant un phénomène plus long que les réactions chimiques de surface, la stabilisation de la réponse à un gaz va dépendre du temps que les modifications de surface affectent le volume du matériau.

- **Couche mince :** (entre 1 et 1000nm), la conduction du matériau est affectée principalement par les effets de surface. La sensibilité de la couche est améliorée car les phénomènes de diffusion sont diminués par rapport aux effets de surface.

- **Couche compacte** : C'est une couche où le contact avec le gaz ne se fait qu'en surface. Le gaz ne peut pas pénétrer dans le volume du matériau. La zone active est déterminée par les limites géométriques de la couche.
- **Couche poreuse**. Au contraire, le gaz peut se diffuser dans les pores du matériau. La surface spécifique de contact entre le gaz et la couche sensible est augmentée. Les effets de surface sont augmentés et par là même la sensibilité. Les conséquences de l'adsorption des gaz dans les mécanismes de conduction d'une telle couche sont plus importantes que pour une couche compacte.

III.2. Les interaction gaz / oxyde métallique :

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 (force très faible).
 - ✓ **La chimisorption**, dans laquelle les forces de liaisons mettent en jeu un transfert de charge entre l'adsorbat et l'adsorbant.

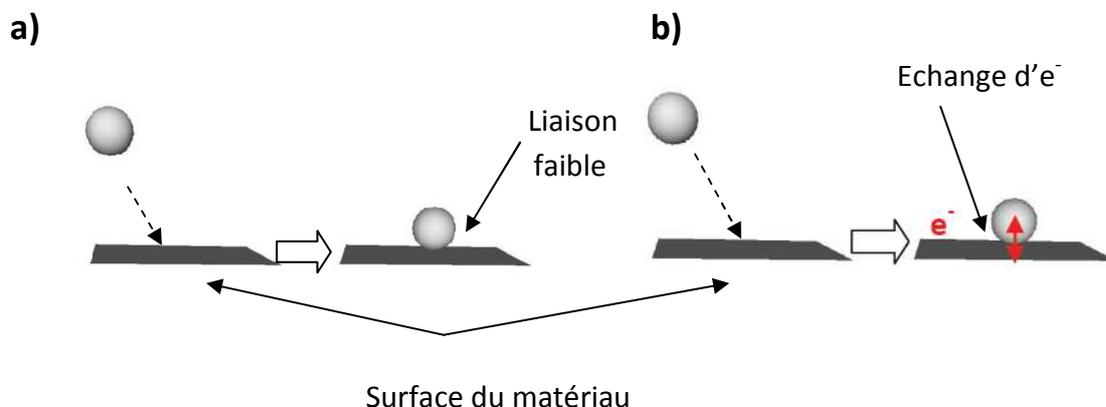


Figure.III. 4. Principe de **a)** physisorption et de **b)** chimisorption d'une molécule sur une surface.

- **La réaction** : adsorption du gaz dans le solide suivie d'une réaction qui crée un nouveau matériau.
- **La désorption** : Une molécule adsorbée peut se libérer de la surface s'il y a un apport d'énergie assez important : c'est la désorption.

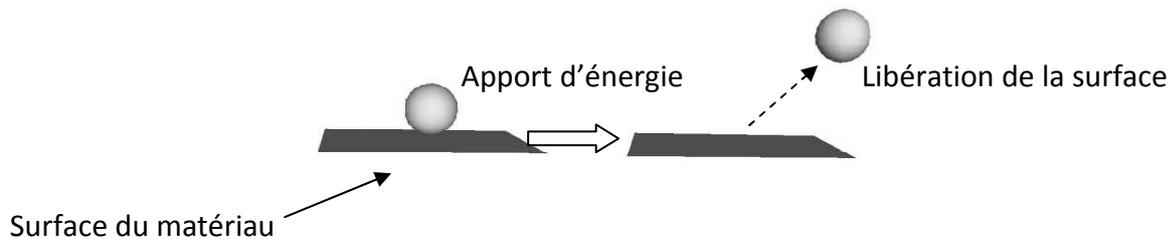


Figure.III.5. Phénomène de désorption d'une molécule d'une surface.

III.3. Principe de fonctionnement :

La conductivité des capteurs à base d'oxyde métallique est le paramètre mesuré. Pour les oxydes métalliques de type n, par exemple SnO₂, la conductivité augmente en présence d'un gaz réducteur (libérateur d'électrons) alors qu'elle diminue en présence d'un gaz oxydant (créateur de trous). 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 détaillerons 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.

III.3.1. Conductivité du SnO₂ :

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

$$\sigma = q (n\mu_n + p\mu_p) \quad (III.1)$$

Où

q : est la charge électrique de Coulomb,

n et p : les concentrations en électrons libres et en trous,

μ_n et μ_p : la mobilité des électrons et des trous.

Le dioxyde d'étain est un semi-conducteur (gap 3.6 eV) 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 :

$$\sigma \approx qn\mu_n \quad (III.2)$$

Comme dans tous les semi-conducteurs, l'augmentation de la température entraîne un passage d'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 SnO₂ dépend également de la morphologie de la couche sensible (conduction dans les grains et aux joints de grains, état de surface,...etc.).

III.3.2. 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 SnO₂ conduit à un transfert des électrons libres du réseau vers les molécules adsorbées. Il résulte donc une diminution de la conductivité électrique. Quand le SnO₂ est exposé à des gaz autres que l'oxygène présent dans l'air, il peut y avoir une réaction chimique avec les espèces pré adsorbées, 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:



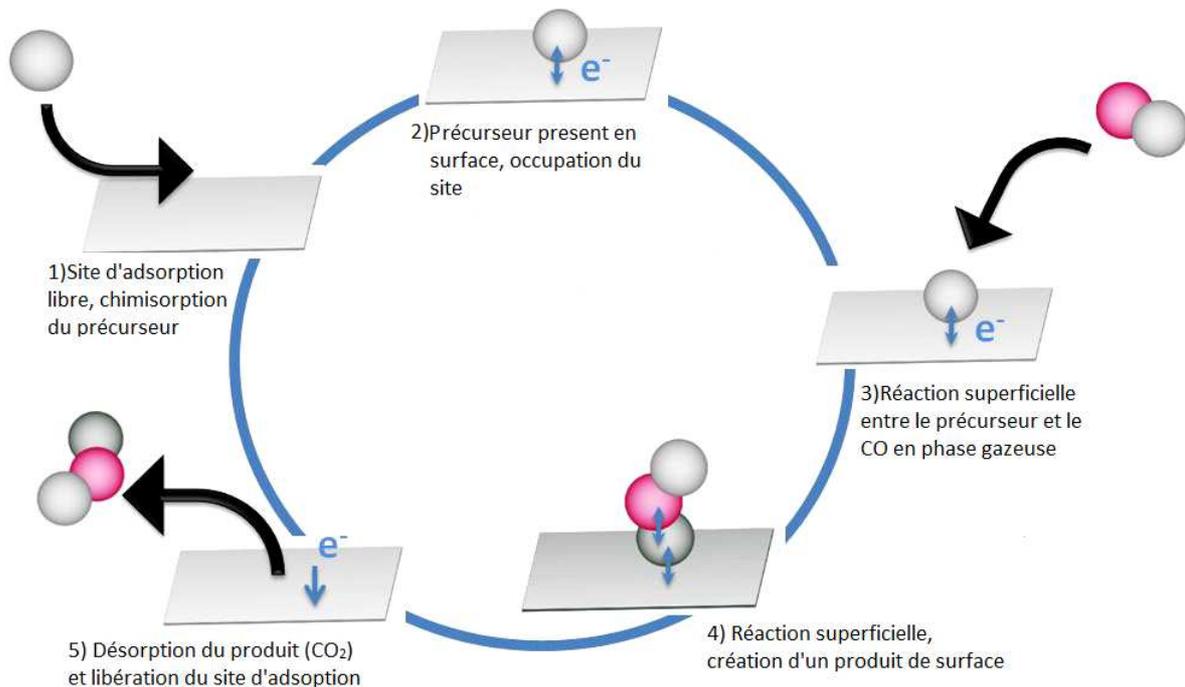


Figure.III.6. Principe de la réaction du CO avec une surface de SnO₂.

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 l'Ozone (O₃), la réaction suivante se produit :



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

III.4. Conception :

IL est à noter que, pour favoriser les phénomènes d'adsorption et les échanges d'électrons entre le gaz et le matériau sensible (oxyde métallique), il est nécessaire de chauffer la surface à des températures élevées (entre 300

et 500°C). Les capteurs de gaz à base d'oxydes métalliques sont donc composés de :

- ✓ Une couche sensible, constituant la partie qui va interagir avec l'ambiance gazeuse.
- ✓ Des électrodes pour la mesure électrique sur cette couche sensible.
- ✓ Une partie chauffante pour amener la couche sensible en température de fonctionnement adéquat. Cette partie doit bien entendu être isolée électriquement des électrodes de mesures.

La structure générale de ces capteurs est illustrée sur la *Figure.III.7*. Seulement quatre éléments technologiques sont nécessaires, les trois parties décrites, plus une couche isolante.

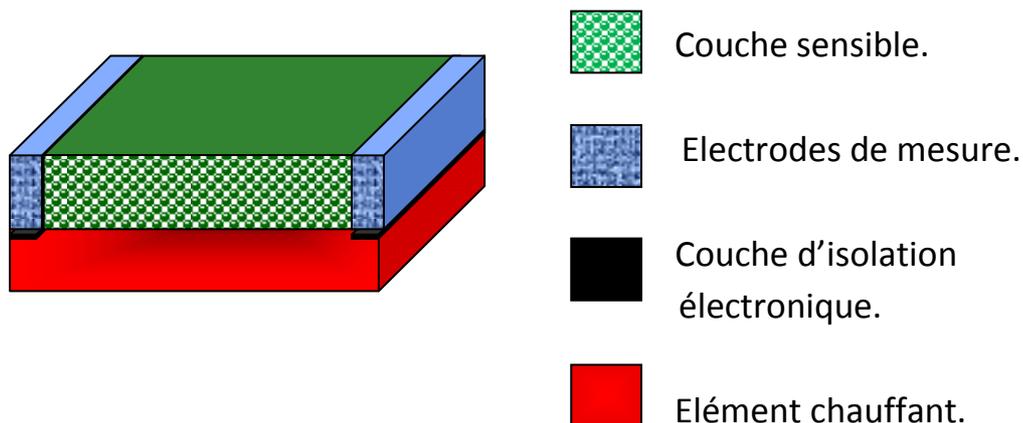


Figure.III.7. Structure du capteur à base d'oxyde métallique.

Ce schéma traduit la simplicité du concept de ces systèmes et donc leur caractéristique « bas coût ».

La *figure III.8* représente la structure d'un micro capteur de gaz, réalisée en technologie silicium. 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 permettant la miniaturisation des composants électroniques.

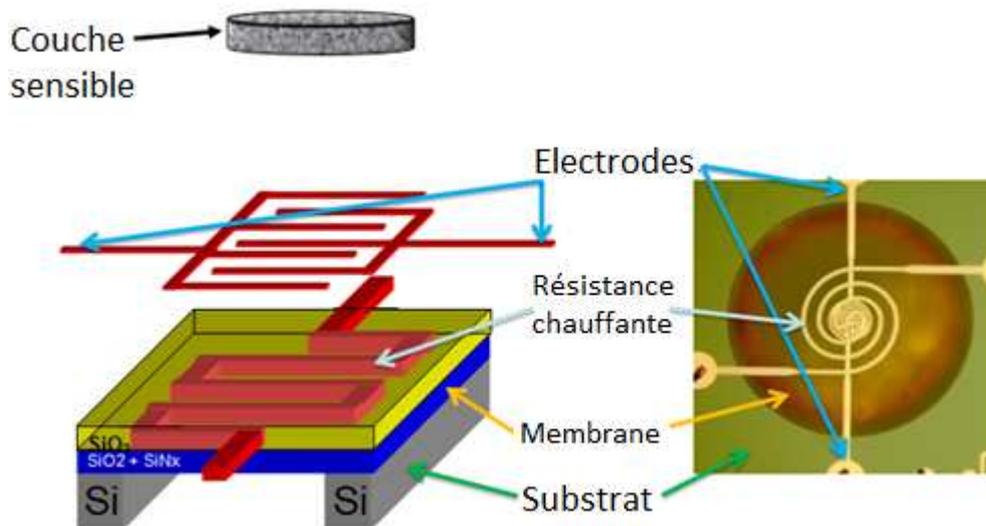


Figure III.8 : Structure d'un micro capteur de gaz à base d'oxyde métallique.

Etant donné que la couche sensible est obtenue par les différentes techniques de dépôt de couches (pulvérisation cathodique, évaporation...etc), nous allons maintenant voir les deux autres éléments.

III.4.1. Electrodes :

Les électrodes permettent d'établir un contact électrique avec la couche afin de mesurer sa conductivité (ou sa résistivité). Elles permettent la conduction des charges du matériau vers le circuit qui récupère le signal. Les électrodes sont optimales si elles établissent un bon contact ohmique avec la couche sensible et si elles favorisent le transfert du maximum de charges du matériau vers le circuit. Les paramètres qui entrent en jeu dans leur conception sont le matériau et la géométrie utilisés.

III.4.1.1 Matériau pour les électrodes :

Les matériaux recherchés doivent être des bons conducteurs et rester stables au cours du temps et surtout en fonction de la température de fonctionnement très élevée ; ces conditions entraînent l'utilisation de contacts métalliques. Les choix se portent sur des métaux comme l'Aluminium (Al), l'Or (Au), le Platine (Pt), le Tungstène (W), le Tantale (Ta) ou le Chrome (Cr).

Ces électrodes peuvent être une superposition de ces matériaux pour obtenir les caractéristiques visées.

Il a été démontré que les électrodes en Platine étaient les mieux adaptées pour un capteur de gaz avec une couche en SnO₂, ce qui en fait le matériau le plus utilisé de nos jours. En effet, généralement associé à une « couche d'accroche » en Titane, le Platine voit ses caractéristiques très stables en températures et dans le temps (il ne s'oxyde pas en dessous de 650°C). Il permet également de jouer un effet catalyseur pour certains gaz comme le CO. Par contre, pour la détection de gaz oxydants, il a été montré que l'ajout d'une couche d'or améliorerait les performances.

III.4.1.2. Géométrie des électrodes :

La géométrie des électrodes détermine les lignes de courant (les chemins possibles pour les porteurs) dans le matériau. Les paramètres de conception sont la surface, la forme, l'espacement inter-électrode et la position. D'après des études existantes (simulation numérique) portant sur l'influence de la forme et de la position des électrodes sur la réponse d'un capteur de gaz, il a été constaté que la géométrie des électrodes a une influence sur la sensibilité et la sélectivité du capteur. De mauvaises électrodes peuvent faire un mauvais capteur même si le matériau sensible est bien adapté. De même, plus la surface de contact électrode/couche sensible est grande, plus la résistance mesurée est faible.

Il existe plusieurs géométries adaptées pour des mesures à 2 électrodes (mesure en 2 points parallèles, perpendiculaires, contacts inter digités, ...etc.), des mesures 4 points ou encore le micro contact.

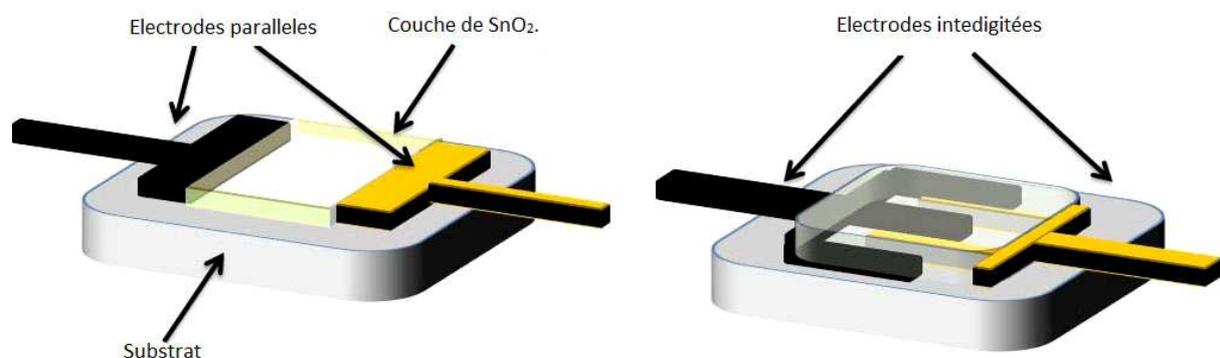


Figure.III.9. Exemples de configurations d'électrodes pour des mesures à deux points.

Il existe des systèmes plus complexes à multi-électrode comme le montre la *Figure.III.10*.

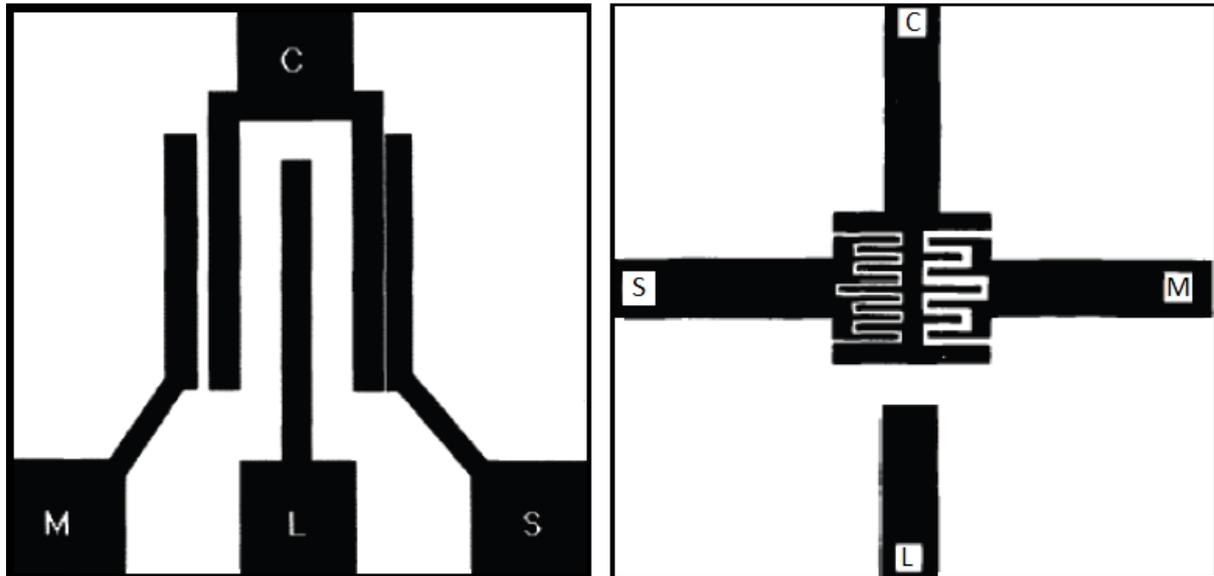


Figure.III.10. Exemples de multi électrodes utilisées. **C** (Common), électrode de référence. **S** (Small), électrode proche de C, espacement faible. **M** (Medium), espacement moyen. **L** (Large), espacement important.

Ils comprennent des électrodes de différentes tailles, formes et espacements. Il est alors possible de relever plus d'informations en comparaison avec les configurations précédentes. Il est montré qu'un capteur avec multi-électrodes est un système équivalent à un multi capteur. Par exemple, un tel jeu d'électrodes permet de relever des informations comme les temps de diffusion des gaz dans le matériau en comparant les mesures faites par les électrodes proches (S et C) et éloignées (L et C).

III.4.2. Élément chauffant :

L'élément chauffant est d'une grande importance pour ce type de capteurs. Il va permettre de porter la couche sensible à des hautes températures (400°C, 500°C) ce qui permettra, suivant la nature de la couche, la réaction entre le gaz et la surface. Par exemple, le CO réagit de façon optimale avec le SnO₂ pour des températures entre 200 et 400°C. Pour un gaz différent ou un matériau différent, la température optimale de détection sera différente.

III.4.2.1. Matériau utilisé :

Les principales caractéristiques de la conception de la résistance chauffante sont tout d'abord la possibilité de monter à des températures suffisamment hautes pour l'adsorption des molécules mais aussi leur désorption pour rendre le capteur réversible. Plus la plage de températures sera élevée plus le nombre d'espèces adsorbées et désorbées sera important. La température maximale de chauffage dépend beaucoup du matériau utilisé.

Il existe le polysilicium, facile à intégrer, avec une valeur de résistance ajustable par dopage, mais ses propriétés dérivent à long terme. Sa valeur de résistance se modifie petit à petit et la température fournie par l'élément chauffant diffère avec le temps. Pour le faire fonctionner dans des conditions de températures identiques, il faut alors compenser ces défauts par un étalonnage régulier ou encore faire une régulation en Puissance, ce qui accélère dans les deux cas le vieillissement de la résistance chauffante.

Par ailleurs, les capteurs en polysilicium ont une température limite de fonctionnement de 450°C. L'utilisation de métaux comme le platine (ou Mo, Ti, Cr, ...etc.) permet d'atteindre des températures beaucoup plus élevées (600°C ou plus) et offre une meilleure stabilité des performances (moins de dérive dans le temps).

III.4.2.2. Géométrie utilisée :

L'homogénéité de la température est très importante. En effet il est préférable que la couche sensible soit chauffée uniformément. Les points chauds sont à éviter afin d'uniformiser les réactions de surface. En effet, des écarts de température importants donnent la possibilité d'avoir beaucoup d'espèces différentes tout le long de la surface et par conséquent d'augmenter la possibilité de réactions différentes. Un travail sur la forme de la résistance chauffante permet de minimiser ces problèmes.

III.5. Mode de fonctionnement :

Comme nous l'avons vu sur la *figure.III.7*, un capteur de gaz à base d'oxyde métallique est composé d'une partie mesure et d'une partie commande.

La partie « Mesure » concerne les électrodes en contact avec la couche sensible. Elles permettent la mesure des caractéristiques électriques du matériau.

La deuxième partie, la « Commande », concerne la plateforme chauffante. Elle permet de fixer la température de la couche sensible, ce qui régit les réactions chimiques de surface (donc la sensibilité aux gaz). Il existe deux possibilités pour la commande du capteur :

- ✓ Température constante (mode isotherme).
- ✓ Température modulée (mode dynamique).

- Signal carré
- Signal sinusoïdal
- Signal triangle

III.5.1. Utilisation en mode isotherme :

L'utilisation des capteurs de gaz à oxyde métallique en mode isotherme est par sa simplicité le mode le plus répandu. Il s'agit d'appliquer sur la résistance chauffante une tension (ou puissance) constante. Compte tenu du fait que la température de l'élément chauffant dépend linéairement de la puissance qu'on lui applique, il faut appliquer une puissance constante, rigoureusement, il faut donc une commande de puissance. Mais pour la facilité de mise en œuvre dans un circuit, la commande se fait généralement en tension. Dans ce cas, grâce à un étalonnage, cette valeur de tension est associée à une puissance et donc à une température équivalente. Si la valeur de la résistance chauffante évolue ou dérive avec le temps, la puissance appliquée et donc la température de la couche sensible (la sensibilité au gaz) sera affectée.

Il existe aussi une commande en Modulation de Largeur d'Impulsions. Ce mode consiste à synthétiser l'équivalent d'un signal continu par des impulsions de largeur adaptée (cas d'alimentation à découpage). Ce genre de commande est très adapté pour les systèmes portables car il permet d'économiser de l'énergie d'alimentation. Par contre, si vieillissement il y a, alors il sera accéléré par ce mode « dynamique » rapide.

Pour la mesure de la résistance de la couche sensible du capteur, un conditionnement électronique doit être mis en place pour exploiter la mesure (Figure.III.11). Les circuits adaptés sont les ponts diviseurs ou les montages avec amplificateur transimpédance.

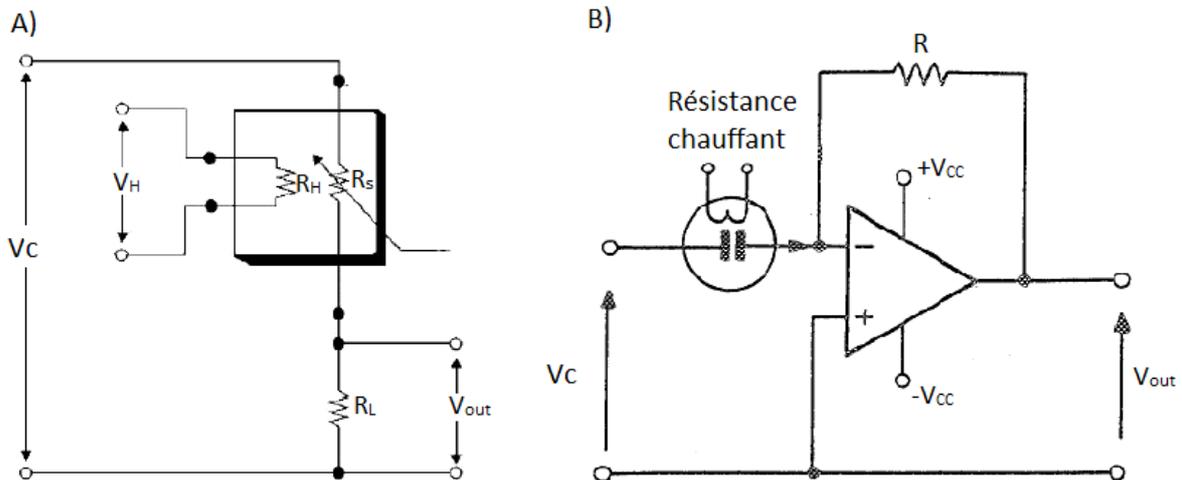


Figure.III.11. Principes de mesure pour un capteur de gaz à base d'oxyde métallique. A) pont diviseur B) amplificateur transimpédance.

III.5.2. Utilisation à température variable (mode dynamique) :

Ce mode est encore au stade de la recherche. Le but de ce mode est de commander la résistance chauffante avec un signal variable. La température du capteur change constamment et la couche sensible est mise dans une configuration qui utilise des phénomènes différents du mode statique. Il est montré qu'une utilisation dynamique de la température permet d'obtenir de meilleures performances pour le capteur en diminuant les effets de l'humidité et en améliorant la sélectivité.

Il existe plusieurs types de signaux applicables sur la résistance chauffante (rectangulaire, sinusoïdal, triangulaire, dent de scie, impulsions,...) classables en deux catégories :

- ✓ Signal lentement variable (plusieurs minutes) ; l'excitation est un signal lent, ce qui laisse le temps au capteur de se stabiliser. Ce sont des phénomènes lents qui sont mis en évidence comme les mécanismes de diffusion (plusieurs secondes).

✓ Signal variable rapide (de l'ordre de quelques secondes) ; l'excitation est un signal périodique rapide, un échelon ou une impulsion.

Des études ont été menées sur la comparaison de plusieurs formes de signaux mais il ne ressort pas de conclusion claire sur l'intérêt d'une forme plutôt qu'une autre.

Pour arriver à exploiter les informations issues des mesures en mode dynamique, il est nécessaire de faire de nombreuses acquisitions, ce genre de protocole fait appel à des méthodes de traitement du signal pour pouvoir interpréter la grande quantité de données mesurées.

III.6. Voies de recherche :

D'après les caractéristiques du capteur de gaz à base d'oxyde métallique, on constate qu'il présente :

- ✓ Une très bonne sensibilité.
- ✓ Une mauvaise sélectivité. La couche sensible peut réagir à beaucoup de gaz différents.
- ✓ Une mauvaise stabilité.
- ✓ Une bonne reproductibilité (fidélité) à court terme.
- ✓ Des temps de réponse et de recouvrement petits.

Les études existantes portent sur l'amélioration des performances du système de détection global en agissant sur le capteur lui-même par la modification des techniques physiques d'élaboration (morphologie, dopage, filtre, température) ou en agissant mathématiquement (traitement du signal, reconnaissance de forme).

III.6.1 Techniques physiques :

Les techniques physiques concernent les interventions d'un point de vue physique sur le capteur pour améliorer ses performances. Elles concernent les modifications des propriétés de la couche sensible. Nous présentons ici quelques techniques.

III.6.1.1. Morphologie :

Comme nous l'avons noté précédemment, la morphologie est un paramètre

très influent sur les propriétés de la couche sensible d'un capteur de gaz à base d'oxyde métallique. Les tendances les plus importantes à respecter sont :

- ✓ Diminuer l'épaisseur (pour diminuer les effets de diffusion dans le matériau).
- ✓ Augmenter la porosité (pour augmenter le nombre de sites d'adsorptions du matériau).

III.6.1.2. Température :

La température permet de contrôler les réactions chimiques à la surface du matériau. De ce fait, la température choisie favorise les réactions pour un certain gaz. Une couche sensible présente donc une température optimale différente pour chaque gaz.

Par exemple, le SnO_2 présente le maximum de réponse à l'éthanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) à 570K. Pour une température de 670K, cette réponse relative est divisée par 2, alors que le matériau réagit deux fois plus à l'hydrogène (H_2).

La température est un paramètre d'influence facile à contrôler pour optimiser la sensibilité à un gaz. Elle permet aussi d'améliorer la sélectivité entre certains gaz mais d'autres méthodes sont nécessaires pour mieux contrôler cette caractéristique.

III.6.1.3. Dopage :

Le dopage est une solution très utilisée. Cela consiste à ajouter un métal catalytique ou un autre oxyde en faible quantité avec une répartition homogène sur la surface. Cela permet de modifier le comportement de l'oxyde métallique très significativement (amélioration de la sensibilité vis-à-vis d'un gaz mais aussi suppression de la sensibilité vis-à-vis d'autres gaz).

Mais les effets les plus significatifs de l'ajout d'un dopant sont une amélioration de la sensibilité pour certains gaz, du temps de réponse et une modification de la température de sensibilité.

Il existe un nombre très important d'additifs testés (Co, Ni, Ag, Pt,...etc.) mais il reste difficile de choisir un élément dopant pour un gaz précis. L'ajout d'un dopant modifie considérablement les propriétés de l'oxyde métallique et plusieurs dopages différents peuvent améliorer la détection d'un gaz dans un mélange.

Ainsi, il est possible pour une application visée d'utiliser un dopant qui augmente la sensibilité au gaz cible avec une bonne sélectivité par rapport aux gaz parasites. Ce choix se fait en général de façon empirique.

Le dopage peut permettre de jouer sur d'autres caractéristiques que la sensibilité et la sélectivité. Par exemple, l'ajout de dopants dans le SnO₂ tel que le Rhénium (Re) et le Vanadium (V) améliore nettement la stabilité du capteur sous l'hydrogène.

CHAPITRE IV

CONCEPTION ET REALISATION

IV.1. Introduction :

Comme on l'a cité dans l'introduction générale, l'objectif de ce travail est de réaliser un circuit électronique qui permet d'acquérir une tension issue du capteur de gaz (HS 135) et de la numériser pour qu'elle soit affichée et transmise vers un micro-ordinateur pour le traitement.

Pour cela, on a utilisé essentiellement les composants suivant :

- Un capteur de gaz, sensible au CO₂, le **HS 135**.
- Un **PIC 16F876A**, qui est le cœur de notre système, il permet l'acquisition, l'envoi du résultat vers un afficheur LCD et la liaison avec un PC (port série).
- Un afficheur LCD pour l'affichage du résultat (2 x 16 caractères).
- Un **MAX 232**, qui permet d'adapter les signaux du PIC (0V – 5 V) à ceux du port série du PC (RS 232, +12V, -12V).
- Un interrupteur de marche/ arrêt du système.
- Une LED indiquant le fonctionnement du système.

IV.2. Le PIC 16F876 :

Dans cette partie on s'intéressera surtout au convertisseur analogique/numérique et au module **USART** qui permet la transmission série de données.

Le PIC 16F876 est produit par le constructeur MICROCHIP, conçu selon l'architecture HARVARD (les mots de la mémoire de données contiennent le code de l'instruction et la donnée), il fait partie de la famille Mid-Range (les mots de la mémoire programme sont codés sur 14 bits) et possède essentiellement les éléments suivants :

- ✓ Une mémoire programme de type EEPROM flash de 8K mots de 14 bits.
- ✓ Une RAM données de 368 octets.
- ✓ Une mémoire EEPROM de 256 octets.
- ✓ Trois ports d'entrée sortie, A (6 bits, programmable en entrée/sortie numérique ou en entrée analogique sauf RA₄), B (8 bits), C (8 bits).
- ✓ Convertisseur Analogiques numériques 10 bits à 5 canaux.

- ✓ USART, Port série universel, configurable en mode asynchrone (RS232) ou en mode synchrone.
- ✓ SSP, Port série synchrone supportant I2C.
- ✓ Un chien de garde.
- ✓ 13 sources d'interruption.
- ✓ Générateur d'horloge, à quartz (jusqu' à 20 MHz) ou à Oscillateur RC.
- ✓ Fonctionnement en mode sleep pour réduction de la consommation.
- ✓ Tension de fonctionnement de 2 à 5V.
- ✓ Jeux de 35 instructions.

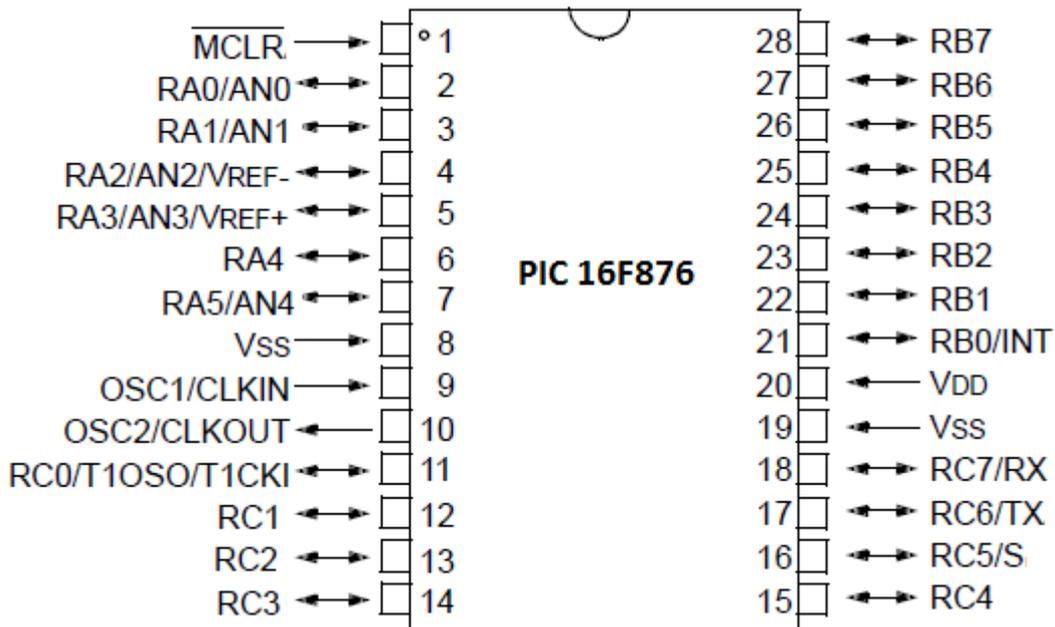


Figure. IV.1. Brochage du PIC 16F876

IV.2.1. Le module de la conversion Analogique / Numérique :

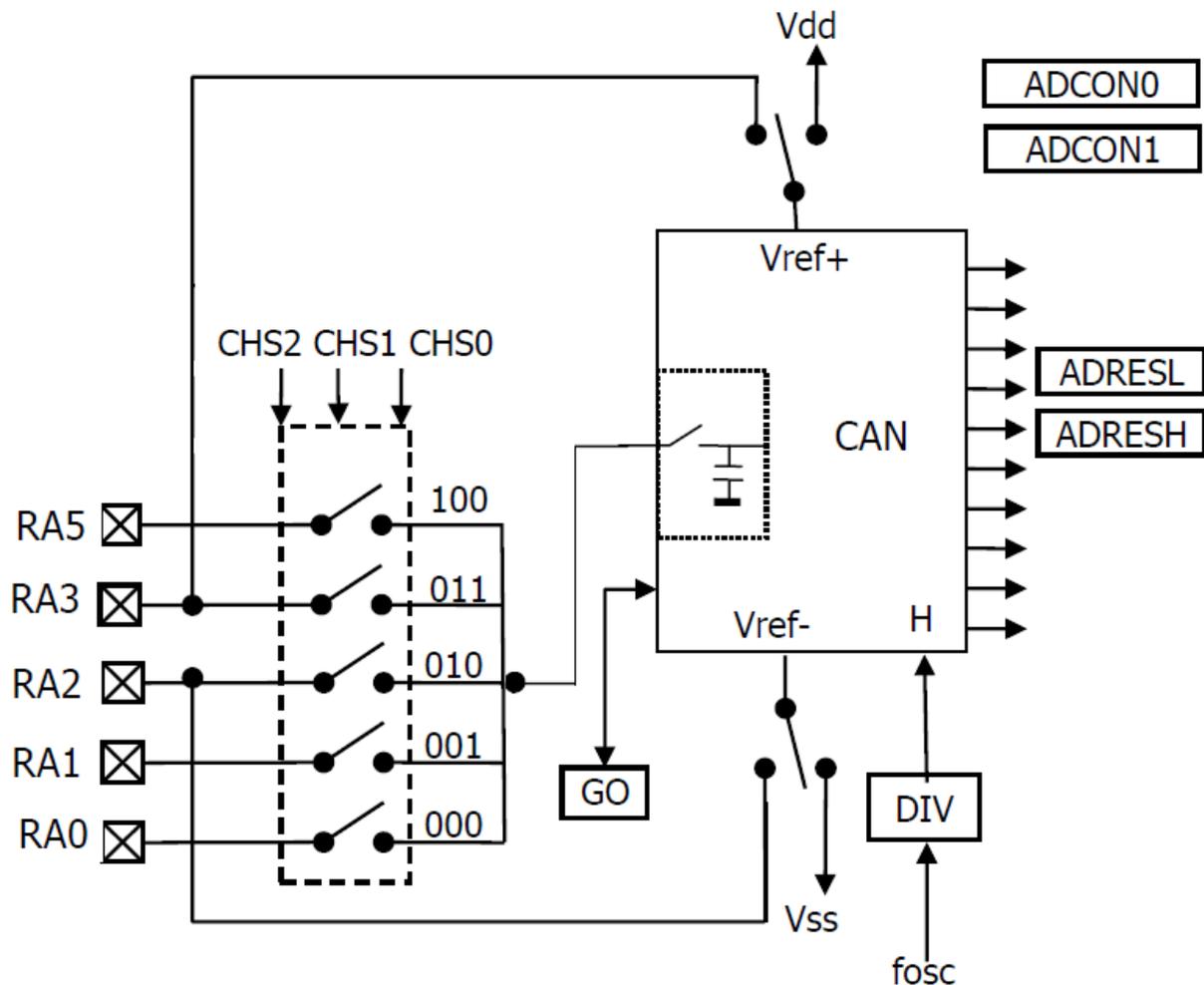


Figure. IV.2. Module de conversion A/N

Ce module est constitué d'un convertisseur Analogique Numérique 10 bits dont l'entrée analogique peut être connectée sur l'une des 5 entrées analogiques externes. Les entrées analogiques doivent être configurées en entrée à l'aide du registre TRISA. L'échantillonneur bloqueur est intégré, il est constitué d'un interrupteur d'échantillonnage et d'une capacité de blocage.

Les tensions de références permettant de fixer la dynamique du convertisseur peuvent être choisies parmi : V_{DD} , V_{SS} , V_{r+} (RA_3) ou V_{r-} (RA_2).

Le control du module se fait par les deux registres ADCON0 et ADCON1.

➤ **ADCON0** : (situé dans la banque 0)

ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DNE	—	ADON
-------	-------	------	------	------	--------	---	------

ADCS1, ADCS0 : Choix de l'horloge de conversion donc du temps de conversion (pré-diviseur qu'on note par **div**).

00 : $F_{osc}/2$.

01 : $F_{osc}/8$.

10 : $F_{osc}/32$.

11 : Oscillateur RC dédié au CAN.

CHS2, CHS1, CHS0 : choix de l'entrée analogique.

000 : canal 0 (RA0).

001 : canal 1 (RA1).

010 : canal 2 (RA2).

011 : canal 3 (RA3).

100 : canal 4 (RA5).

GO/DONE : Une conversion démarre quand on place ce bit à 1. A la fin de la conversion, il est remis automatiquement à zéro.

ADON : Ce bit permet de mettre le module en service.

➤ **ADCON1** : (situé dans la banque1)

ADFM	—	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
------	---	---	---	-------	-------	-------	-------

ADFM : justification à droite ou à gauche du résultat dans les registre ADRESH et ADRESL.

ADRESH ADRESL

ADFM= 1 : justifié à droite 000000XX XXXXXXXX.

ADFM=0 : justifié à gauche XXXXXXXX XX000000.

PCFG3, PCFG 2, PCFG 1, PCFG0 : configuration des E/S et des tensions de références. Les 5 broches de PORTA peuvent être configurés soit en E/S digitales, soit en entrées analogiques. RA2 et RA3 peuvent aussi être configurées en entrées de références.

Dans notre cas on a besoin d'une seule entrée analogique, on utilise la broche RA₀, nos signaux de référence sont V_{DD} et V_{SS}, ce qui nous donne selon le datasheet la valeur (1110).

IV.2.1.1. Déroulement d'une Conversion :

Le PIC dispose d'un échantillonneur bloqueur intégré constitué d'un interrupteur S, d'une capacité de maintien C=120 pF et d'un convertisseur Analogique numérique 10 bits. Pendant la conversion, la tension (Ve) à l'entrée du convertisseur A/N doit être maintenue constante. Au départ il faut commencer par faire l'acquisition du signal en fermant l'interrupteur S, ceci se fait à l'aide du registre ADCON0, soit au moment de la validation du module par le bit ADON soit après un changement de canal si ADON est déjà positionné. Après la fin de l'acquisition, on peut démarrer une conversion en positionnant le bit GO_DONE, l'interrupteur S s'ouvre pour assurer le blocage de la tension. La conversion commence, elle est réalisée en 12 Tad, à la fin, le bit GO_DONE repasse à 0 et le résultat est chargé dans les registres ADRESL et ADRESH. Le module met 2 Tad supplémentaires pour fermer l'interrupteur S ce qui démarre une nouvelle phase d'acquisition pendant laquelle la tension (Ve) rejoint la tension analogique d'entrée (Va). Après la fin de l'acquisition, on peut démarrer une nouvelle conversion et ainsi de suite.

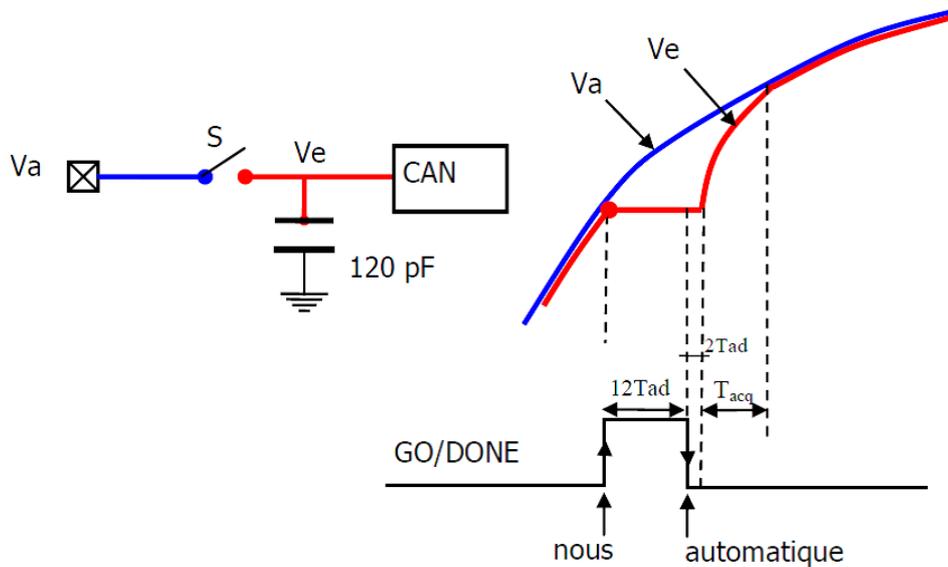


Figure. IV.3. Processus de conversion.

IV.2.1.2. Temps de conversion :

Le temps de conversion est égal à $12 T_{ad}$, T_{ad} étant le temps de conversion d'un bit, il dépend de la fréquence du quartz et du pré-diviseur (div) choisi :

$$T_{ad} = \text{div} \times 1/\text{fosc} \quad (\text{IV.1})$$

Le choix de div doit être ajusté pour que T_{ad} soit supérieur ou égale à $1,6 \mu\text{s}$.

Remarque : L'opération d'acquisition nécessite aussi un temps dit « temps d'acquisition » qui dépend du temps de charge du condensateur de maintien C et de la température ; dans la plus part des cas, une durée de $20 \mu\text{s}$ est largement suffisant.

IV.2.1.3. Etapes de programmation :

1. Configurer les E/S en Analogique/Numérique/Référence (ADCON1).
2. Configurer les entrées analogiques en entrées (TRISA).
3. Définir l'horloge de conversion, choisir le canal à convertir et valider le module (ADCON0).
4. Attendre le temps d'acquisition ($\approx 20 \mu\text{s}$).
5. Lancer la conversion, $GO-DON = 1$ (ADCON0).

6. Attendre la fin de conversion, GO-DON = 0.
7. Lire le résultat (ADRES).
8. Arrêter le convertisseur (ADCON0).

IV.2.2. Le module USART :

L'USART (**U**niversal **S**ynchronous **A**synchronous **R**eceiver **T**ransmitter) est un module de transmission série dont dispose le PIC 16F876. Il peut être configuré comme système de communication asynchrone ou comme système synchrone. La communication se fait sur les deux broches RC6/TX et RC7/RX qui doivent être configurés toutes les deux en **entrée** par TRISC.

Pour notre cas, on s'intéresse uniquement au mode asynchrone et en position d'émission.

IV.2.2.1. Utilisation en mode asynchrone :

Si on place le bit SYNC du registre TXSTAT (banque1) à 0, l'USART fonctionne dans le mode asynchrone standard, 10 (ou 11) bits sont transmis ou reçus dans l'ordre ci-dessous :

- 1 bit de START (toujours 0).
 - 8 ou 9 bits de données (Bit de parité d'abord).
 - 1 bits de STOP (toujours 1).
- La transmission se fait sur la broche RC6/TX et la réception sur la broche RC7/RX.
- La configuration et le control du port se fait par les registres TXSTA et RCSTA (banque0).
- La vitesse de communication est fixée par le registre SPBRG et le bit TXSTA.BRGH.
- La parité n'est pas gérée de façon matérielle, elle peut être gérée par soft si son utilisation est nécessaire.
- L'accès au port en lecture ou écriture se fait par les registres RCREG et TXREG (en banque 0 tous les deux). La transmission et la réception se font par deux registres à décalage, un pour la transmission (TSR) et un pour la réception (RSR).

- Les drapeaux PIR1.RCIF et PIR1.TXIF sont très utiles pour gérer la lecture/écriture dans le port. RCIF est positionné quand le port a terminé une réception et TXIF est positionné quand le buffer de transmission TXREG est vide.

IV.2.2.1.1. utilisation du port en transmission :

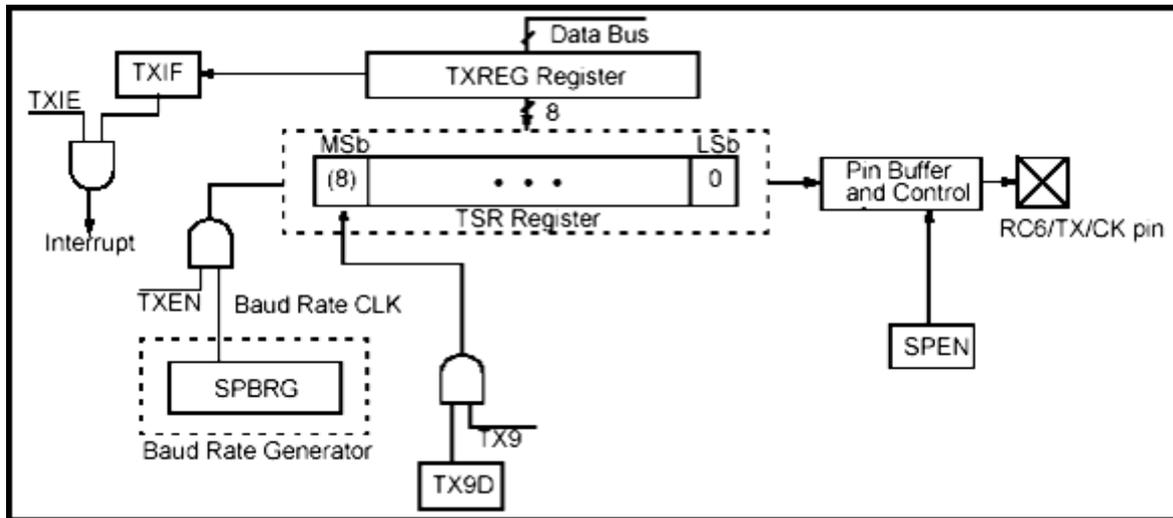


Figure. IV.4. Le module USART en transmission asynchrone.

Le contrôle de la transmission se fait par le registre TXSTA.

- **TXSTA :**

CSRC	TX9	TXEN	SYNC	—	BRGH	TRMT	TX9D
------	-----	------	------	---	------	------	------

CSRC : non utilisé en mode asynchrone.

TX9 et TX9D : Pour utiliser le mode 9 bits il faut positionner le bit TX9 à 1. Le 9ème bit doit être écrit dans TX9D avant d'écrire les 8 bits de données dans TXREG.

TXEN : permet de valider (1) ou interdire (0) la transmission.

SYNC : 0 → mode asynchrone, 1 → mode synchrone

BRGH : sélectionne le mode haut débit du générateur de baud rate par positionnement à 1.

TRMT : Indicateur de l'activité du registre à décalage de transmission TSR, 1 → TSR libre, 0 → TSR en activité.

IV.2.2.1.2. Déroulement de la transmission :

- ✓ Quand on écrit un octet D dans le registre TXREG, le drapeau PIR1.TXIF passe à 0, ensuite, deux situations sont possibles :
 - Le registre de transmission TSR n'est pas occupé, alors la donnée D est transférée immédiatement dans TSR qui commence sa transmission bit par bit. Le drapeau TXIF repasse à 1 pour nous dire que nous pouvons de nouveau écrire dans TXREG.
 - Le registre de transmission TSR est occupé à transmettre un octet qui lui était donné auparavant. La donnée D attend dans TXREG, et le drapeau TXIF reste à 0 jusqu'à ce que TSR termine de transmettre l'octet précédent. La donnée D est alors transférée dans TSR qui commence sa transmission bit par bit. Le drapeau TXIF repasse à 1 pour nous dire que nous pouvons de nouveau écrire dans TXREG.

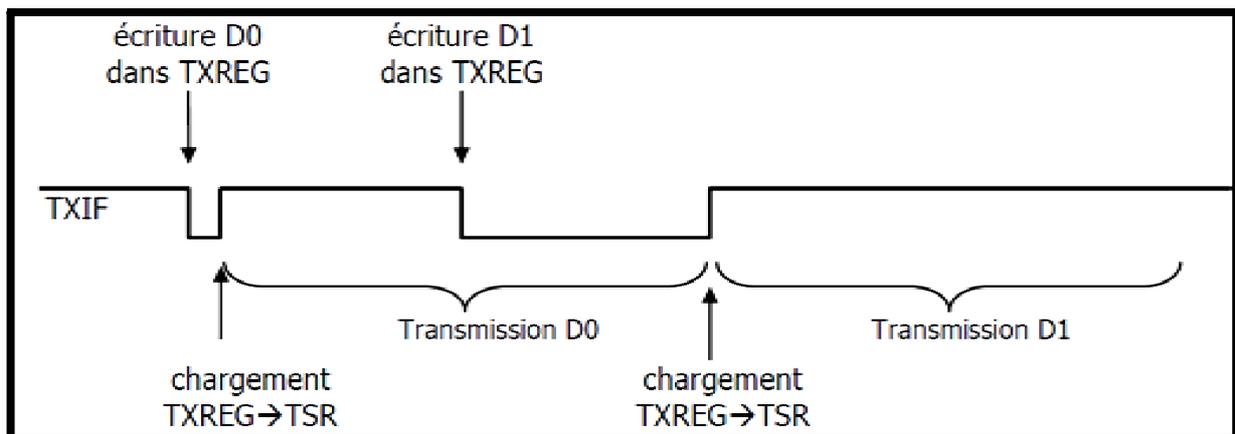


Figure. IV.5. Illustration de la transmission de deux octet successifs D0 et D1.

- ✓ A la mise sous tension, tous les drapeaux sont à zéro y compris TXIF. Dès qu'on valide la transmission en positionnant le bit TXEN, le drapeau TXIF passe automatiquement à 1, sauf si on écrit d'abord un octet dans TXREG et on valide ensuite le bit TXEN, dans ce cas, dès la validation de TXEN, le contenu de TXREG est transféré dans TSR qui commence sa transmission et le drapeau TXIF passe à 1.
- ✓ Comme on vient de le voir, le drapeau TXIF est géré automatiquement, on ne peut pas le modifier directement par programme.

IV.2.2.1.3. Vitesse de communication :

La vitesse de communication est déterminée par le générateur de rythme BRG (Baud Rate Generator) qui est dédié au port série. La vitesse de communication est définie à l'aide du registre de contrôle SPBRG et du bit BRGH (TXSTA.2) qui quadruple la vitesse quand il est positionné selon la loi suivante :

$$Vitesse = \frac{4^{BRGH} \cdot F_{osc}}{64 (SPBRG+1)} \text{ Baud} \quad (IV.2)$$

IV.2.2.1.4. Etapes de programmation:

(Sans interruption, mode 8 bits) :

1. S'assurer que l'interruption TXI n'est pas validée.
2. Configurer la broche TX/RC6 en entrée.
3. Configurer le registre TXSTA (mode 8 bits, valider transmission, asynchrone, BRGH).
4. Initialiser le registre SPBRG (banque1) pour définir la vitesse de transmission.
5. Valider le port avec le bit RCSTA.SPEN (1).
6. Vérifier que le drapeau PIR1.TXIF=1 c'est à dire TXREG est vide.
7. Placer la donnée à transmettre dans le registre TXREG.
8. Recommencer au point 6. tant qu'on a des données à transmettre.

IV.3. Schéma électrique du système et circuit imprimé :

Le schéma électrique de notre système, réalisé à l'aide du logiciel **ISIS** (PROTEUS) est représenté par la *figure. IV.6*. Le coté cuivre et coté composants du circuit imprimé élaborés grâce au logiciel **ARES** (PROTEUS) sont représentés par la *figure. IV.7*.

➤ **Liste des composants :**

Circuits intégrés : U1 : régulateur 5V, U2 : PIC 16F876A, U3 : MAX232.

Résistances : R1= R3=1KΩ, R2=470Ω.

Potentiomètres linéaires: P1=1K Ω , P2=10k

Condensateurs : C1=100 μ F, C2=470 μ F, C3=C4=100nF, C5=C6=15pF,
C7=C8=C10=C9=4.7 μ F, C11=47 μ F, C12=2.2nF.

Connecteurs et fiches : B1 : Bornier pour l'alimentation, B2 : Bornier pour le capteur, J1 : fiche DB9 femelle, J2 : connecteur de l'afficheur LCD (à la place de l'afficheur LCD).

Autres: X1 : quartz de 4MHz, SW1 : Switch, D1 : diode (1N4007), LED1 : LED rouge.

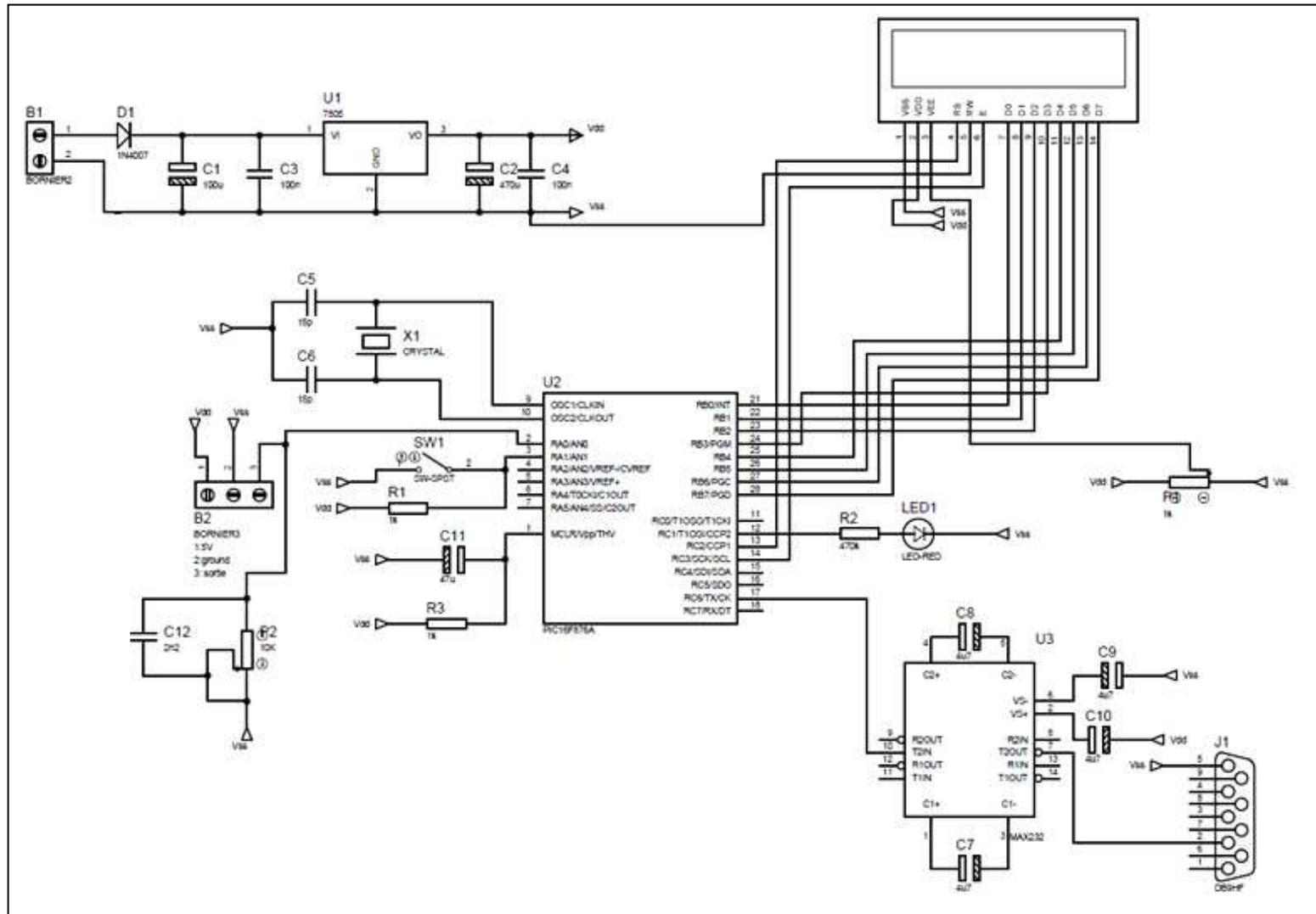
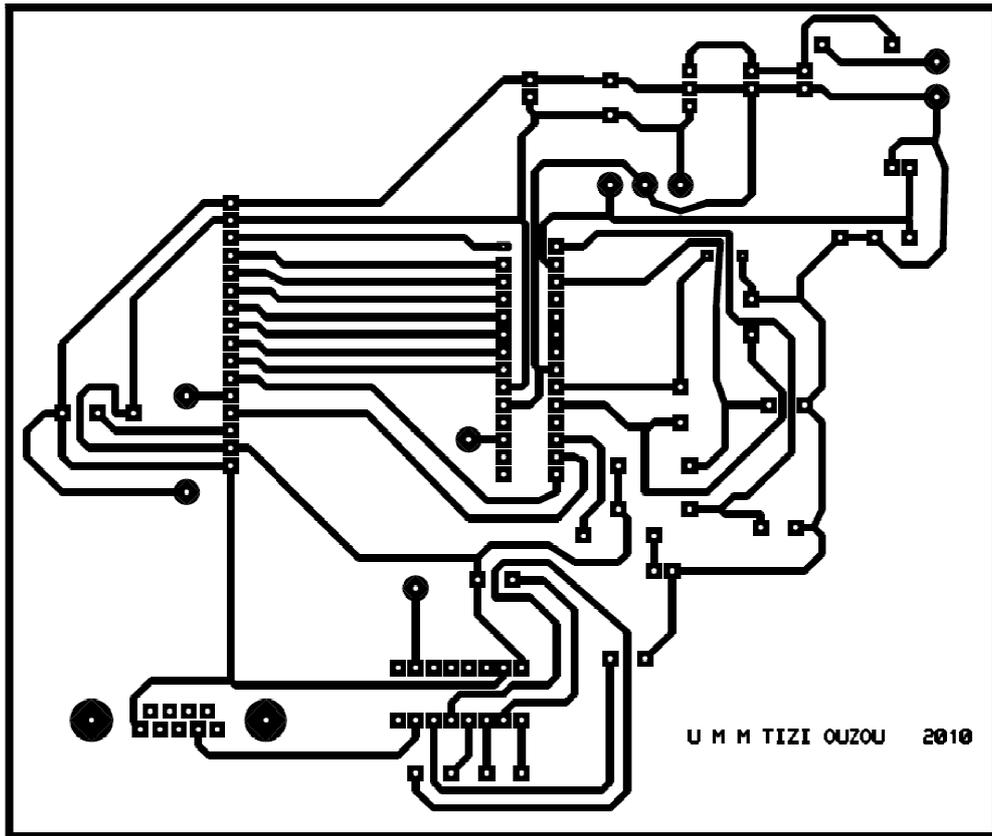


Figure. IV.6. Circuit électrique.

a)



b)

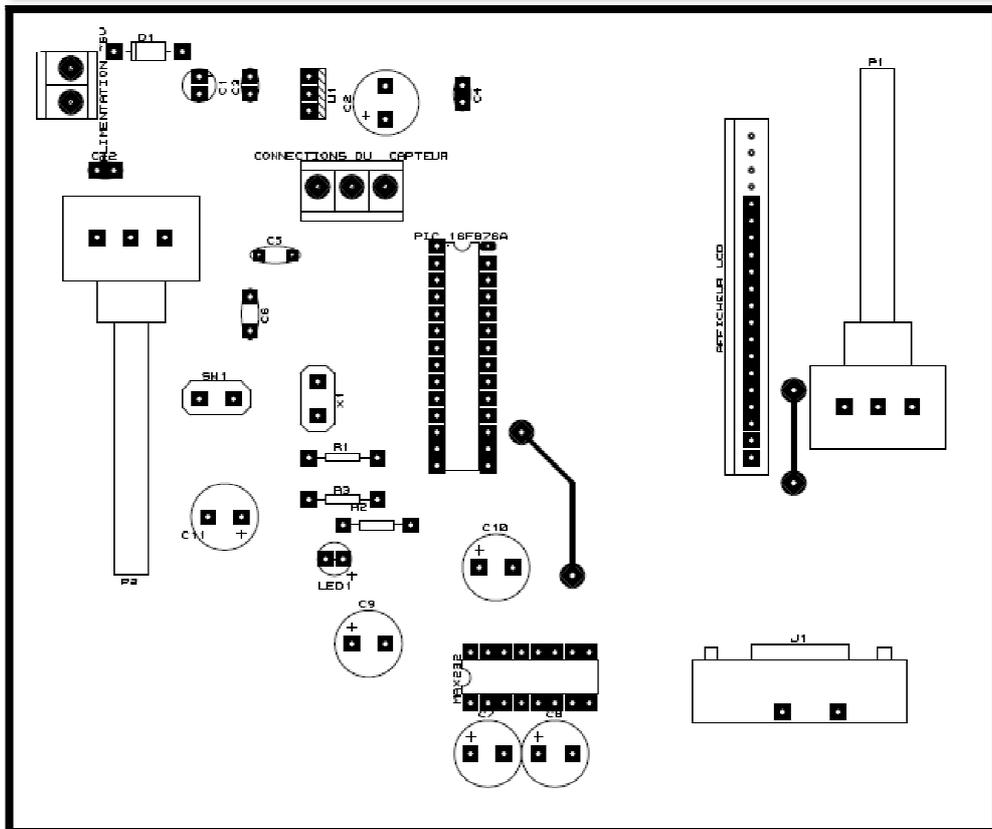


Figure. IV.7. Circuit imprimé a) coté cuivre, b) Coté composants

IV.4.Organigrammes du programme:

IV.4.1.Organigramme général :

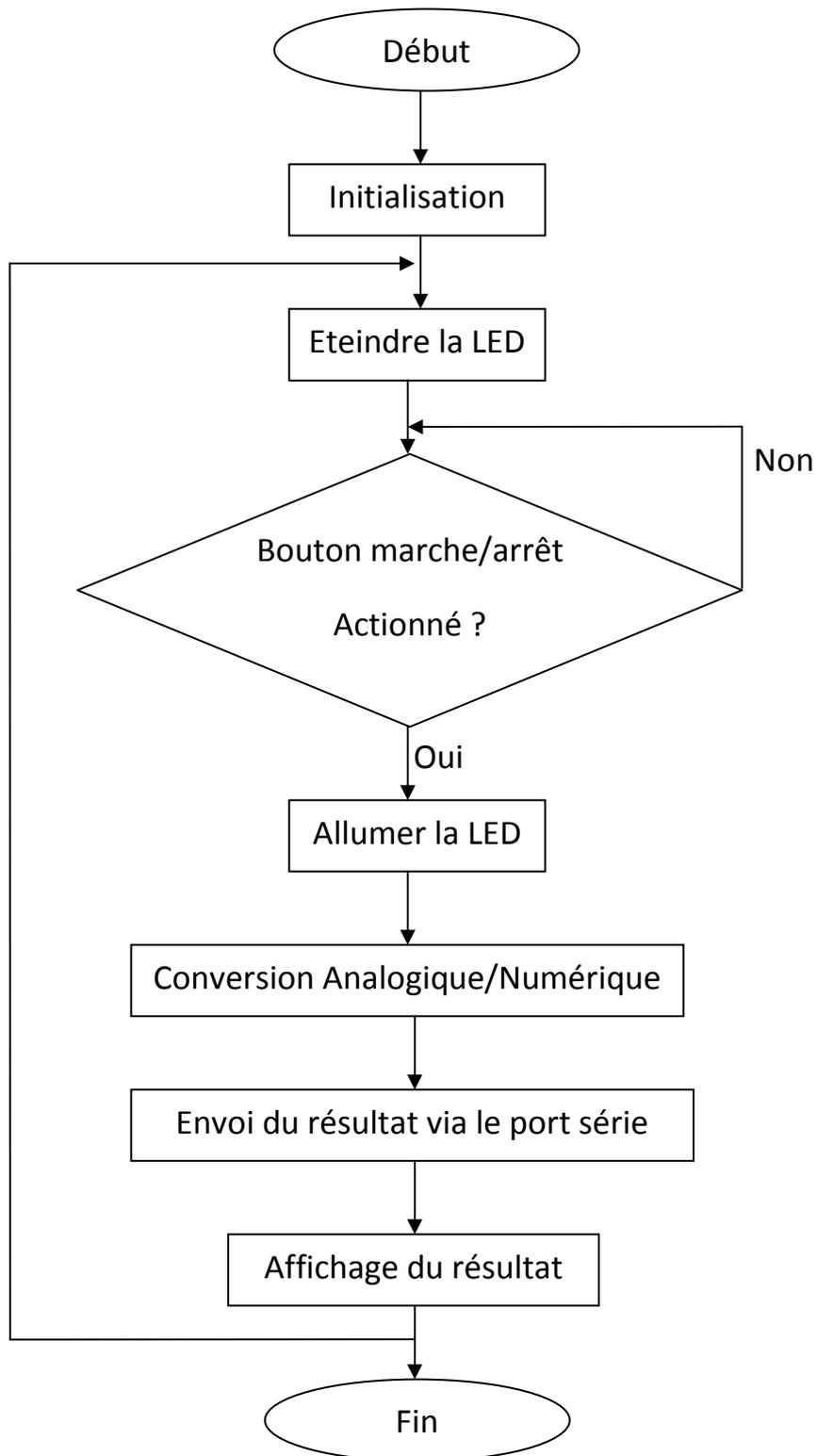


Figure. IV.8. Organigramme général.

IV.4.2. Organigramme de la conversion Analogique/Numérique :

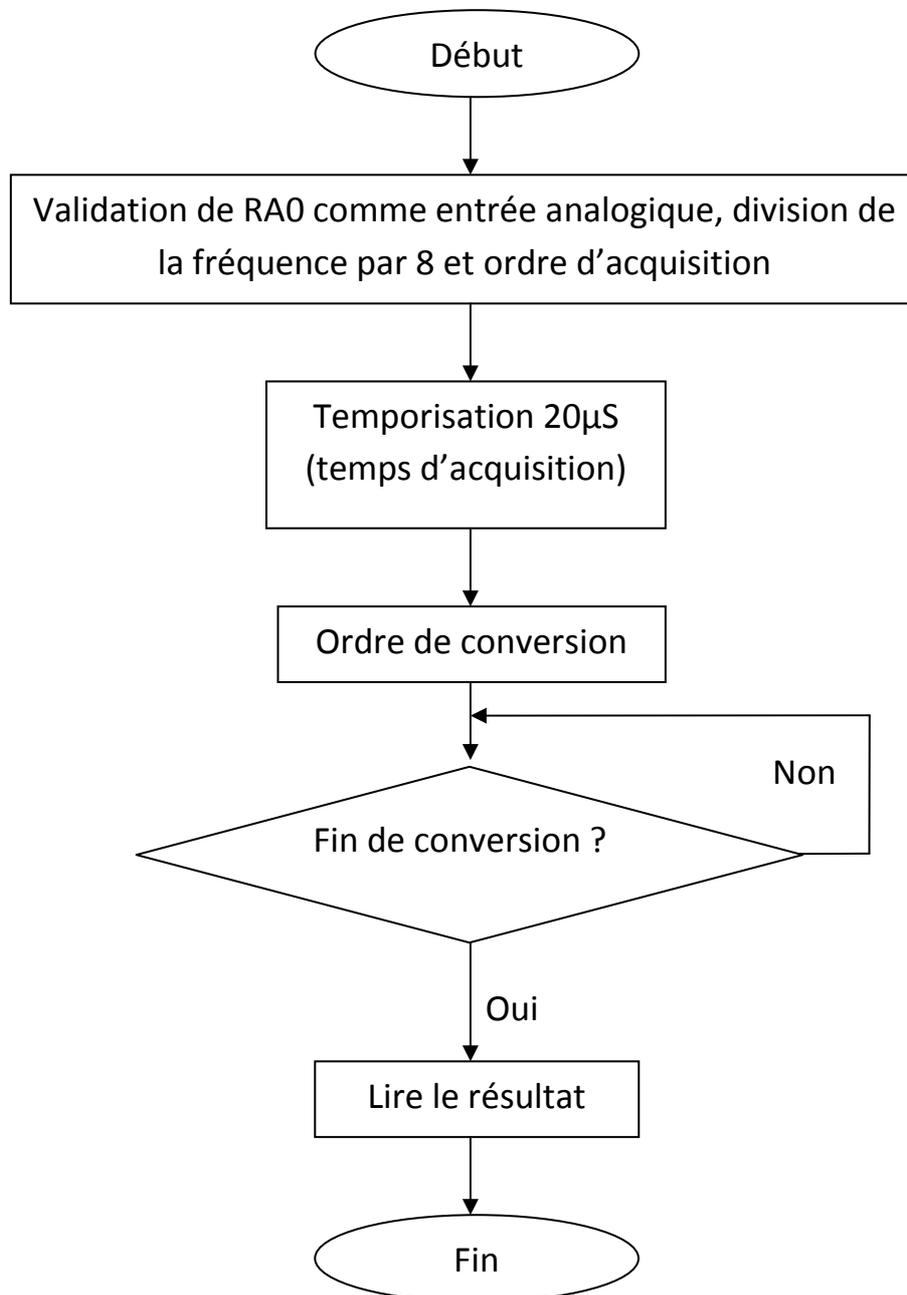


Figure. IV.9. Organigramme de la conversion A/N.

IV.4.2. Organigramme de la transmission série asynchrone :

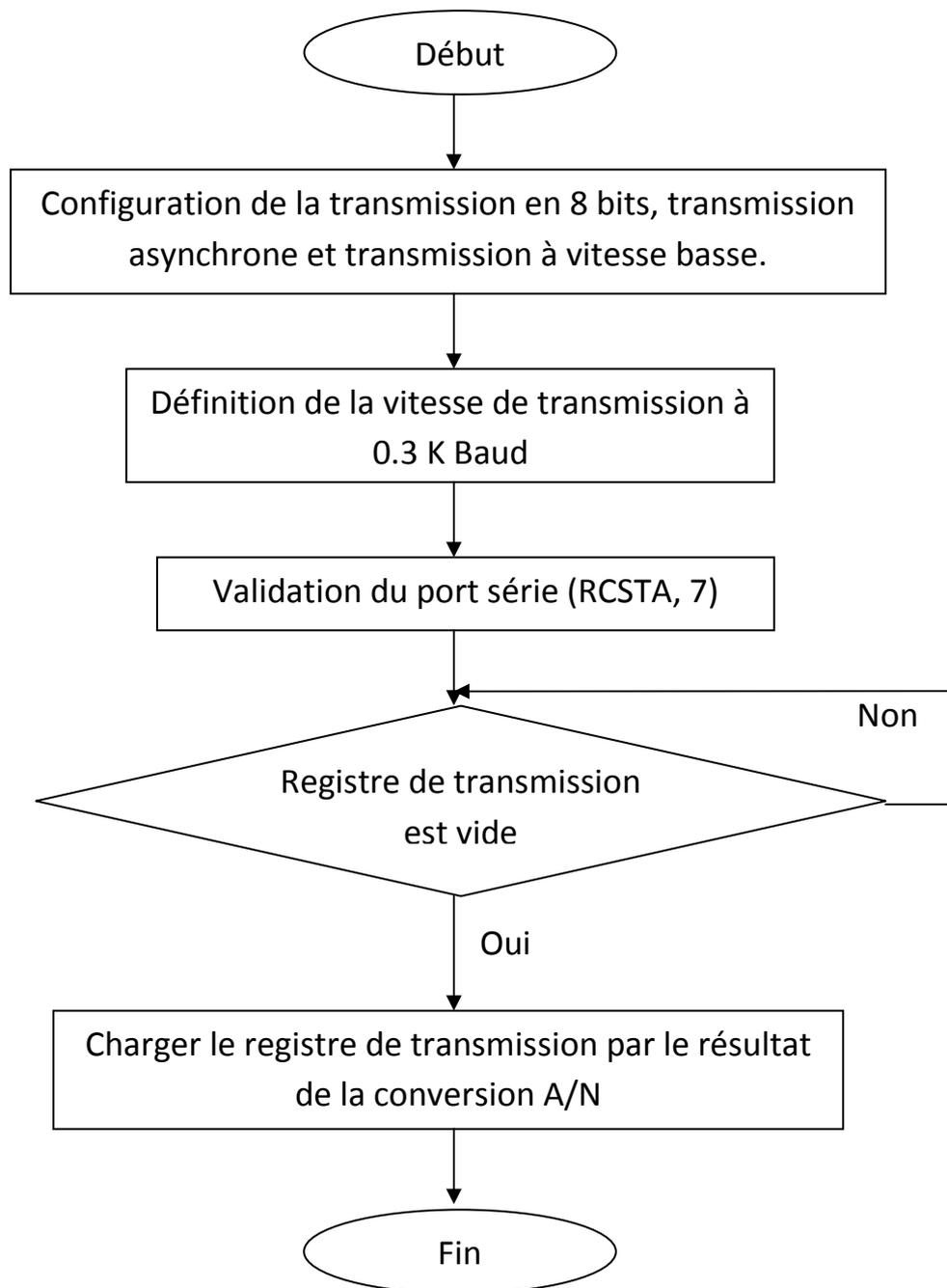


Figure. IV.10. Organigramme de la transmission série asynchrone.

IV.5. Réalisation et programmation :

Après avoir simulé notre système avec le logiciel **ISIS**, on a procédé à la réalisation de la carte électronique.

Le langage de programmation auquel sont interprétés les différents organigrammes établis est l'**assembleur**. La programmation du PIC est effectuée à l'aide d'une interface de programmation universelle piloté par l'utilitaire PICSTAR intégré dans le logiciel MPLAB de MICROCHIP avec lequel on a compilé notre programme.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Ce travail s'est concrétisé par la réalisation d'un système de conversion analogique/numérique, d'affichage et de transmission série asynchrone. Grâce à l'utilisation du microcontrôleur PIC 16F876, ce système est réalisé à moindre frais et avec peu d'encombrement. L'acquisition sur PC présente un avantage en terme d'enregistrement de données à long terme.

Malgré les avantages que présente ce système, le capteur (HS 135) utilisé souffre de la non sélectivité qui reste l'handicap majeur des capteurs de gaz à base d'oxyde métallique, pour remédier à ce problème, il serait intéressant de mettre en place une matrice de capteurs qui permettrait aussi d'enrichir le système en terme de gaz détectés ainsi que la réalisation d'une interface graphique afin d'améliorer ce travail et le rendre plus facile à utiliser.

Ce travail m'a permis de d'enrichir mes connaissances théoriques et pratiques acquises tout au long de mon cursus d'études. En dépit des difficultés que j'ai rencontrées durant la réalisation de ce projet, j'ai acquis une expérience non négligeable en terme de conception de circuits électroniques et de programmation des microcontrôleurs (PIC).

Enfin, j'espère que ce mémoire servira de base d'étude pour des systèmes plus performants d'une part et servir de moyen didactique pour les promotions à venir.

BIBLIOGRAPHIE

Références bibliographiques :

➤ **Livres et revus:**

- ✓ **G. Asch et collaborateurs.** *Les capteurs en instrumentation industrielle.* (DUNOD, Paris, 1999). 5^{ème} édition.
- ✓ **G. Asch, E. Chambérod, J. Gunther, P. Renard.** *Acquisition de données : Du capteur à l'ordinateur.* (DUNOD, Paris, 2003). 2^{ème} édition.
- ✓ **Electronique Pratique**, numéro 344, Décembre 2009.
- ✓ **Pascal Mayeux.** *APPRENDRE LA PROGRAMMATION DES PIC par l'expérimentation et la simulation.* (DUNOD, Paris, 2005). 3^{ème} édition.

➤ **Mémoires de fin d'études :**

- ✓ **Conception et réalisation d'une carte d'acquisition et de transmission des températures à base du pic 16F876 pour la raffinerie de HMD**, par **KEBAILI.M** et **NAIT ACHOUR M.O**, promotion 2005, dirigé par M^r M. Laghrouche.
- ✓ **Conception d'un capteur de gaz intelligent.** Par **Hakim BAHA**, magister, université de Batna (2007).
- ✓ **Analyse et Optimisation des performances d'un capteur de gaz à base de SnO₂ nanoparticulaire : Application à la détection de CO et CO₂.** Par **Cyril TROPIS**, Doctorat, Université de Toulouse III (2009).

➤ **Sites internet et liens :**

- ✓ **www.123people.fr** cours d'Olivier Français sur les capteurs.
- ✓ **www.abcelectronique.com** Cours Bigonoff sur les PIC.
- ✓ **www.discip.crdp.ac-caen.fr/crgelec/article.php?sid=48** cour sur les PIC 16F876 et 16F877
- ✓ **z.oumnad.123.fr** cours sur les microcontrôleurs.
- ✓ **www.microchip.com** Documentation du constructeur des PIC (16F876).
- ✓ **www.alldatasheet.net** les datasheet des différents composants électroniques utilisés.
- ✓ **www.pagesperso-orange.fr/michel.hubin/capteurs/chimi/chap_c3.htm** les différents types de capteurs de gaz.

ANNEXE

```

;-----capteur de gaz-----
;Titre: Systeme de mesure de gaz (co2)
;Date:19/05/2010
;Auteur: M.ZERIOUL.L
;PIC utilisé: PIC 16F876
;on realise un capteur de gaz, la tension delivré par ce dernier
;convertie par le CAN du PIC, puis afficher sur un
;afficheur LCD le resultat et l'envoyer vers le PC.
;-----Configuration-----
;Les broches rb0 rb7 configurées en sorties, elle pilotent d0 d7
;de l'afficheur
;les broches rc2 et rc3 configurées en sortie, rc2 pilote rs
;et rc3 pour e
;ra0 configuré en entrée analogique qui vien du capteur
;ra1 en entrée numerique comme bouton marche/arret
;rc1 en sortie pour allumer et eteindre une led indiquant
;le fonctionnement ou non du capteur selon le bouton
;-----directives d'assemblage pour MPLAB-----
LIST      p=16F876          ; Définition de processeur
#include <p16F876.inc>      ; fichier include

__CONFIG  _CP_OFF & _DEBUG_OFF & _WRT_ENABLE_OFF & _CPD_ON &
_LVP_OFF & _BODEN_OFF & _PWRTE_ON & _WDT_OFF & _HS_OSC

;-----définition de variables-----
bouton EQU 0x01          ;la variable "bouton" vaut 01
led EQU 0x01            ;la variable "led" vaut 01
;-----définition de registres temporaires-----
retard1 EQU 0x20        ; le registre retard1 pour la temporisation
retard2 EQU 0x21        ;le registre retard2 pour la temporisation
affichage EQU 0x22      ;le registreaffichage dans lequel on
                        ;sauvegarde la valeur à afficher
trans EQU 0x23          ;sauvegarde la valeur à transmettre au PC
compt EQU 0x24          ;registre pour comparaison
;-----programme principal-----
ORG 0
;-----programme d'initialisation-----
;remise à zero des registres de données des ports a b c
clrf PORTA
clrf PORTB
clrf PORTC
bcf STATUS,IRP ;s'assurer qu'on est en bank0 et bank1
bsf STATUS,RP0;ACCES A LA BANK 1
bcf STATUS,RP1;ACCES A LA BANK 1
movlw 0x0E
movwf ADCON1; seul ra0 considerée comme entrée analogique et Vdd=5V
                ;est la tension de reference Vr+ ainsi que la masse (Vss=0V)
la Vr-
                ; la Vr- le résultat de la conversion justifié à gauche.
movlw 0xFF
movwf TRISA          ; PORT A EN ENTREE
movlw 0x00
movwf TRISB          ;port B en sortie
movlw b'11000000'
movwf TRISC          ;port C en sortie sauf RC7 et RC6

;-----programme d'initialisation de la transmission-----

```

```

movlw b'00100100'
movwf TXSTA          ;le registre TXSTA est configuré en
                    ; mode 8 bits_valider transmission_asynchrone
                    ;BRGH en high speed

movlw 0xCF
movwf SPBRG          ;mettre 207 dans le registre SPBRG qui va nous
                    ;permettre une vitesse de transmission de 19.2 KBAUD
                    ;avec une erreur de 0.17%

bcf STATUS,IRP      ;s'assurer qu'on est en bank0 et bank1
bcf STATUS,RP0      ;Retour en bank0
bcf STATUS,RP1      ;Retour en bank0

bsf RCSTA,SPEN      ;mettre le bit 7 du registre RCSTA à 1 qui
                    ;permet de valider le port serie.

; remise à zero des ports
clrf PORTA
clrf PORTB
clrf PORTC
clrf INTCON          ;interdire toute les interruption

;-----conversion A/D-----
debut
    bcf PORTC,led          ;eteindre la led branchée sur RC1
    btfs PORTA,bouton      ;tester si le bouton de marche/arret est
                            ;actionné ie ?=1 si oui sauter l'instruction
                            ;suivante
    goto debut            ;aller à debut
bsf PORTC,led          ;allumer la led branchée sur RC1
movlw B'01000001'
movwf ADCON0          ;sélection du canal 0 ie ra0, la frequence
                    ;est divisé par 8 ainsi que le CAN est mis
                    ;en service.
call tempol           ;appeller temporisation qui revient à attendre
                    ;à ce que l'acquisition soit finie
bsf ADCON0,2          ;mettre le bit GO du registre ADCON0 à 1 afin de
                    ;donner l'ordre de conversion
etiquettel
    btfsc ADCON0,2        ;tester si GO=0, si oui sauter
                            ;l'instruction suivante
    goto etiquettel      ;aller à etiquettel
movf ADRESH,0         ;charger dans le registre de travail W les
                    ;8 bits du poids le plus fort du resultat
                    ;de la conversion
movwf trans           ;sauvegarder le resultat de la conversion
                    ;dans le registre trans
movwf affichage       ;sauvegarder le resultat de la conversion
                    ;dans le registre affichage
;mettre registre affichage sous forme X0h ie reduction
;de la résolution à 4 bits
bcf affichage,0       ;RAZ du 1er bit de registre affichage
bcf affichage,1       ;RAZ du 2eme bit de registre affichage
bcf affichage,2       ;RAZ du 3eme bit de registre affichage
bcf affichage,3       ;RAZ du 4eme bit de registre affichage

```

```

bcf ADCON0,0          ;mettre le CAN hors service

;à ce niveau on a trans=X1X2 et affichage=X10
;-----programme de transmission-----

conv
    btfss PIR1,4      ;tester si le bit 4 ie TXIF est mis à 1
                    ;c à d si TXREG est vide_ si oui sauter
                    ;l'instruction suivante

    goto conv
movf trans,0          ;charger dans le registre de travail W
                    ;le resultat de la converssion sauvegardé dans
                    ;le registre trans qui est sur 8 bits
movwf TXREG           ;mettre la donnée dans le registre TXREG qui
                    ;permet de l'envoyer
clrf trans

; -----programme de comparaison-----

;tester si le résultat égale à 00h.

movf affichage,0     ;charger le contenu du registre "affichage"
                    ;dans le registre de travail W

sublw 00h            ;on fait compt-w et on met le resultat
                    ;dans le registre de travail w
btfss STATUS,Z      ;on teste le bit z "resultat nul ou pas",
goto un              ;si z=0 on saute l'instruction suivante.
goto affichage0     ;aller à l'etiquette "affichage0" pour executer
                    ;un s-programme d'affichage approprié.

;tester si le résultat égale à 10h.
un
movf affichage,0     ;charger le contenu du registre "affichage"
                    ;dans le registre de travail W
sublw 10h           ;on fait compt-w et on met le resultat
                    ;dans le registre de travail w
btfss STATUS,Z      ;on teste le bit z "resultat nul ou pas",
                    ;si z=0 on saute l'instruction suivante.
goto deux
goto affichage1     ;aller à l'etiquette "affichage1" pour executer
                    ;un s-programme d'affichage approprié.

;tester si le résultat égale à 20h.
deux
movf affichage,0     ;charger le contenu du registre "affichage"
                    ;dans le registre de travail W
sublw 20h           ;on fait compt-w et on met le resultat
                    ;dans le registre de travail w
btfss STATUS,Z      ;on teste le bit z "resultat nul ou pas",
                    ;si z=0 on saute l'instruction suivante.
goto trois
goto affichage2     ;aller à l'etiquette "affichage2" pour executer
                    ;un s-programme d'affichage approprié.

;tester si le résultat égale à 30h.

```

```

trois

movf affichage,0      ;charger le contenu du registre "affichage"
                      ;dans le registre de travail W
sublw 30h             ;on fait compt-w et on met le resultat
                      ;dans le registre de travail w
btfss STATUS,Z       ;on teste le bit z "resultat nul ou pas",
goto quatre           ;si z=0 on saute l'instruction suivante.
goto affichage3       ;aller à l'etiquette "affichage3" pour executer
                      ;un s-programme d'affichage approprié.

;tester si le résultat égale à 40h.
quatre

movf affichage,0      ;charger le contenu du registre "affichage"
                      ;dans le registre de travail W
sublw 40h             ;on fait compt-w et on met le resultat
                      ;dans le registre de travail w
btfss STATUS,Z       ;on teste le bit z "resultat nul ou pas",
                      ;si z=0 on saute l'instruction suivante.

goto affichage5       ;aller à l'etiquette "affichage4" pour executer
                      ;un s-programme d'affichage approprié.

goto affichage4       ;aller à l'etiquette "affichage4" pour executer
                      ;un s-programme d'affichage approprié.

;si le resultat ne correspond à aucune des valeurs citées ci-dessus,
;le resultat pour nous est le meme alors on vas afficher le meme resultat
;( superieur à 20 %)

////////////////////////les differents sous-programme////////////////////////
;-----top_h-----
top_h
    call demiperiode      ; on appelle la temporisation
    bsf PORTC,3           ;le bit 2 du portc est mis à 1
    call demiperiode      ; on appelle la temporisation
    bcf PORTC,3           ; le bit 2 du portc est mis à 0
    return

;-----temporisation T#0.75ms-----
demiperiode
    movlw 0xF0             ; on met FF dans le registre W
    movwf retard1         ; on met W dans le registre retard1
    movwf retard2         ; on met W dans le registre retard2

attentel

    decfsz retard1,1      ; on décrémente retard1 le résultat dans
goto attentel           ;retard1 et on saute la prochaine
                        ;instruction si le registre
                        ;retard1 = 0 sinon retour à l 'étiquette
                        ; attentel

    movlw 0x90             ; on recharge retard1 avec 90
    movwf retard1

    decfsz retard2,1      ; on décrémente retard2 et on saute
goto attentel           ;la prochaine instruction si le registre

```

```

;retard2 = 0 sinon retour à l 'étiquette
'attente1'
    return
;-----temporisation courte T1#20µs-----
tempol
    movlw 0x07          ; on met 07 dans le registre W
attente

    decfsz retard1,1   ; on décrémente retard1_le résultat dans
retard1 et on saute
    goto attente      ;la prochaine instruction si le registre
retard1 = 0 sinon
                    ; retour à l'étiquette 'attente'

    return

;*****les sous-programmes d'affichage*****
;---sous programme d'affichage en 2eme ligne à partir du 2eme digit
;du message "< 7.92 %"
affichage0

;-----Configuration et initialisation de l'afficheur LCD-----
-----
;Mode de fonctionnement 8 bits de données

    bcf PORTC,2        ; le bit 2 du port c ie rs est mis à 0
                        ;c'est à dire mode commande

    movlw b'00111100'
    movwf PORTB        ;acces 8 bits pour l'afficheur LCD.
                        ;les 2 lignes sont utilisées

    call top_h         ; impulsion d'horloge

    call top_h         ; impulsion d'horloge

    call top_h         ; impulsion d'horloge

    movlw b'00001110'
    movwf PORTB        ;affichage visible et le curseur aussi
    call top_h         ; impulsion d'horloge

    call top_h         ; impulsion d'horloge

    call top_h         ; impulsion d'horloge

    movlw b'00000110'
    movwf PORTB        ;curseur se deplace vers la gauche après
                        ;écriture d'un caractere et affichage ne
                        ;bouge pas

    call top_h         ; impulsion d'horloge
    call top_h         ; impulsion d'horloge
    call top_h         ; impulsion d'horloge

    movlw b'00000001'
    movwf PORTB        ;effacer l'ecran

```

```

call top_h          ; impulsion d'horloge

;Affichage du message "TAUX DE CO2" dans la 1ere ligne
;de l'afficheur à partir du digit 3 pour centrer l'affichage et
;positionner à la fin le curseur en 2eme ligne au digit 2.

movlw b'10000010'   ;on met la DD RAM de l'afficheur à 02
movwf PORTB         ;le curseur clignote à la premiere
                   ;rangée digit 3
call top_h          ; impulsion d'horloge

bsf PORTC,2        ;la broche RC2 (ie rs de l'afficheur)
                   ;est mise à 1 pour le fonctionnement
                   ;normal en DATA

movlw 'T'           ;on met le caractere 'T' dans le registre W
movwf PORTB         ;on transfere le contenu du registre W
                   ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h          ; impulsion d'horloge

movlw 'A'           ;on met le caractere 'A' dans le registre W
movwf PORTB         ;on transfere le contenu du registre W
                   ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h          ; impulsion d'horloge

movlw 'U'           ;on met le caractere 'U' dans le registre W
movwf PORTB         ;on transfere le contenu du registre W
                   ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h          ; impulsion d'horloge

movlw 'X'           ;on met le caractere 'X' dans le registre W
movwf PORTB         ;on transfere le contenu du registre W
                   ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h          ; impulsion d'horloge

movlw ' '           ;on met le caractere ' ' dans le registre W
movwf PORTB         ;on transfere le contenu du registre W
                   ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h          ; impulsion d'horloge

movlw 'D'           ;on met le caractere 'D' dans le registre W
movwf PORTB         ;on transfere le contenu du registre W
                   ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h          ; impulsion d'horloge

movlw 'E'           ;on met le caractere 'E' dans le registre W
movwf PORTB         ;on transfere le contenu du registre W
                   ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h          ; impulsion d'horloge

movlw ' '           ;on met le caractere ' ' dans le registre W
movwf PORTB         ;on transfere le contenu du registre W
                   ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h          ; impulsion d'horloge

```

```

movlw 'C'           ;on met le caractere 'C' dans le registre W
movwf PORTB        ;on transfere le contenu du registre W
                   ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h         ;impulsion d'horloge

movlw 'O'           ;on met le caractere 'O' dans le registre W
movwf PORTB        ;on transfere le contenu du registre W
                   ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h         ;impulsion d'horloge

movlw '2'           ;on met le caractere '2' dans le registre W
movwf PORTB        ;on transfere le contenu du registre W
                   ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h         ;impulsion d'horloge
;saut à la 2nd rangée, digit 2
bcf PORTC,2        ;on met à 0 la broche rs de l'afficheur pour
                   ;envoyer une commande

movlw b'11000001'  ;on met la dd ram à l'adresse 41, le curseur
movwf PORTB        ;se trouve donc en 2eme ligne au 2eme digit
call top_h         ;impulsion d'horloge
bsf PORTC,2        ;on met à 1 la broche rs de l'afficheur pour
                   ;le fonctinnement normal en data.

```

;Ecriture du résultat obtenu

```

movlw '<'           ;on met le caractere "<" dans le registre w
movwf PORTB        ; on transfere le contenu du registre w dans
                   ;sur le portb (vers l'afficheur).
call top_h         ;impulsion d'horloge
movlw ' '          ;on met le caractere " " dans le registre w
movwf PORTB        ; on transfere le contenu du registre w dans
                   ;sur le portb (vers l'afficheur).
call top_h         ;impulsion d'horloge
movlw '7'          ;on met le caractere "7" dans le registre w
movwf PORTB        ; on transfere le contenu du registre w dans
                   ;sur le portb (vers l'afficheur).
call top_h         ;impulsion d'horloge
movlw '.'          ;on met le caractere "." dans le registre w
movwf PORTB        ; on transfere le contenu du registre w dans
                   ;sur le portb (vers l'afficheur).
call top_h         ;impulsion d'horloge
movlw '9'          ;on met le caractere "9" dans le registre w
movwf PORTB        ; on transfere le contenu du registre w dans
                   ;sur le portb (vers l'afficheur).
call top_h         ;impulsion d'horloge
movlw '2'          ;on met le caractere "2" dans le registre w
movwf PORTB        ; on transfere le contenu du registre w dans
                   ;sur le portb (vers l'afficheur).
call top_h         ;impulsion d'horloge
movlw ' '          ;on met le caractere " " dans le registre w
movwf PORTB        ; on transfere le contenu du registre w dans
                   ;sur le portb (vers l'afficheur).
call top_h         ;impulsion d'horloge
movlw '%'          ;on met le caractere "%" dans le registre w
movwf PORTB        ; on transfere le contenu du registre w dans
                   ;sur le portb (vers l'afficheur).

```

```

        call top_h      ; impulsion d'horloge
        goto debut     ; se brancher à l'etiquette "debut".

;----sous programme d'affichage en 2eme ligne à partir du 2eme digit
;du message "8.12 - 11.04 %"
affichage1

;-----Configuration et initialisation de l'afficheur LCD-----
-----
;Mode de fonctionnement 8 bits de données

        bcf PORTC,2      ; le bit 2 du port c ie rs est mis à 0
                          ;c'est à dire mode commande

        movlw b'00111100'
        movwf PORTB      ;acces 8 bits pour l'afficheur LCD.
                          ;les 2 lignes sont utilisées

        call top_h      ; impulsion d'horloge

        call top_h      ; impulsion d'horloge

        call top_h      ; impulsion d'horloge

        movlw b'00001110'
        movwf PORTB      ;affichage visible et le curseur aussi
        call top_h      ; impulsion d'horloge

        call top_h      ; impulsion d'horloge

        call top_h      ; impulsion d'horloge

        movlw b'00000110'
        movwf PORTB      ;curseur se deplace vers la gauche après
                          ;écriture d'un caractere et affichage ne
                          ;bouge pas
        call top_h      ; impulsion d'horloge
        call top_h      ; impulsion d'horloge
        call top_h      ; impulsion d'horloge

        movlw b'00000001'
        movwf PORTB      ;effacer l'ecran
        call top_h      ; impulsion d'horloge

;Affichage du message "TAUX DE CO2" dans la 1ere ligne
;de l'afficheur à partir du digit 3 pour centrer l'affichage et
;positionner à la fin le curseur en 2eme ligne au digit 2.

        movlw b'10000010' ;on met la DD RAM de l'afficheur à 02
        movwf PORTB      ;le curseur clignote à la premiere
                          ;rangée digit 3

```

```

call top_h           ; impulsion d'horloge

bsf PORTC,2         ;la broche RC2 (ie rs de l'afficheur)
                    ;est mise à 1 pour le fonctionnement
                    ;normal en DATA

movlw 'T'           ;on met le caractere 'T' dans le registre W
movwf PORTB         ;on transfere le contenu du registre W
                    ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h          ; impulsion d'horloge

movlw 'A'           ;on met le caractere 'A' dans le registre W
movwf PORTB         ;on transfere le contenu du registre W
                    ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h          ; impulsion d'horloge

movlw 'U'           ;on met le caractere 'U' dans le registre W
movwf PORTB         ;on transfere le contenu du registre W
                    ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h          ; impulsion d'horloge

movlw 'X'           ;on met le caractere 'X' dans le registre W
movwf PORTB         ;on transfere le contenu du registre W
                    ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h          ; impulsion d'horloge

movlw ' '           ;on met le caractere ' ' dans le registre W
movwf PORTB         ;on transfere le contenu du registre W
                    ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h          ; impulsion d'horloge

movlw 'D'           ;on met le caractere 'D' dans le registre W
movwf PORTB         ;on transfere le contenu du registre W
                    ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h          ; impulsion d'horloge

movlw 'E'           ;on met le caractere 'E' dans le registre W
movwf PORTB         ;on transfere le contenu du registre W
                    ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h          ; impulsion d'horloge

movlw ' '           ;on met le caractere ' ' dans le registre W
movwf PORTB         ;on transfere le contenu du registre W
                    ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h          ; impulsion d'horloge

movlw 'C'           ;on met le caractere 'C' dans le registre W
movwf PORTB         ;on transfere le contenu du registre W
                    ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h          ; impulsion d'horloge

movlw 'O'           ;on met le caractere 'O' dans le registre W
movwf PORTB         ;on transfere le contenu du registre W
                    ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h          ; impulsion d'horloge

movlw '2'           ;on met le caractere '2' dans le registre W
movwf PORTB         ;on transfere le contenu du registre W

```

```

;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h ;impulsion d'horloge
;saut à la 2nd rangée, digit 2
bcf PORTC,2 ;on met à 0 la broche rs de l'afficheur pour
;envoyer une commande

movlw b'11000001'
movwf PORTB ;on met la dd ram à l'adresse 41, le curseur
;se trouve donc en 2eme ligne au 2eme digit

call top_h ;impulsion d'horloge
bsf PORTC,2 ;on met à 1 la broche rs de l'afficheur pour
;le fonctinnement normal en data.

;Ecriture du résultat obtenu
movlw '8' ;on met le caractere "8" dans le registre w
movwf PORTB ;on transfert le contenu du registre w dans
;sur le portb (vers l'afficheur).

call top_h ;impulsion d'horloge
movlw '.' ;on met le caractere "." dans le registre w
movwf PORTB ;on transfert le contenu du registre w dans
;sur le portb (vers l'afficheur).

call top_h ;impulsion d'horloge
movlw '0' ;on met le caractere "0" dans le registre w
movwf PORTB ;on transfert le contenu du registre w dans
;sur le portb (vers l'afficheur).

call top_h ;impulsion d'horloge
movlw '4' ;on met le caractere "4" dans le registre w
movwf PORTB ;on transfert le contenu du registre w dans
;sur le portb (vers l'afficheur).

call top_h ;impulsion d'horloge
movlw ' ' ;on met le caractere " " dans le registre w
movwf PORTB ;on transfert le contenu du registre w dans
;sur le portb (vers l'afficheur).

call top_h ;impulsion d'horloge
movlw '-' ;on met le caractere "-" dans le registre w
movwf PORTB ;on transfert le contenu du registre w dans
;sur le portb (vers l'afficheur).

call top_h ;impulsion d'horloge
movlw ' ' ;on met le caractere " " dans le registre w
movwf PORTB ;on transfert le contenu du registre w dans
;sur le portb (vers l'afficheur).

call top_h ;impulsion d'horloge
movlw '1' ;on met le caractere "1" dans le registre w
movwf PORTB ;on transfert le contenu du registre w dans
;sur le portb (vers l'afficheur).

call top_h ;impulsion d'horloge
movlw '1' ;on met le caractere "1" dans le registre w
movwf PORTB ;on transfert le contenu du registre w dans
;sur le portb (vers l'afficheur).

call top_h ;impulsion d'horloge

movlw '.' ;on met le caractere "." dans le registre w
movwf PORTB ;on transfert le contenu du registre w dans
;sur le portb (vers l'afficheur).

call top_h ;impulsion d'horloge
movlw '0' ;on met le caractere "0" dans le registre w
movwf PORTB ;on transfert le contenu du registre w dans
;sur le portb (vers l'afficheur).

call top_h ;impulsion d'horloge
movlw '4' ;on met le caractere "4" dans le registre w

```

```

        movwf PORTB      ; on transfere le contenu du registre w dans
                        ; sur le portb (vers l'afficheur).
        call top_h      ; impulsion d'horloge
        movlw ' '       ; on met le caractere " " dans le registre w
        movwf PORTB      ; on transfere le contenu du registre w dans
                        ; sur le portb (vers l'afficheur).
        call top_h      ; impulsion d'horloge
        movlw '%'       ; on met le caractere "%" dans le registre w
        movwf PORTB      ; on transfere le contenu du registre w dans
                        ; sur le portb (vers l'afficheur).
        call top_h      ; impulsion d'horloge
        goto debut     ; se brancher à l'etiquette "debut".

;----sous programme d'affichage en 2eme ligne à partir du 2eme digit
;du message "11.24 - 14.16 %"
affichage2

;-----Configuration et initialisation de l'afficheur LCD-----
;-----
;Mode de fonctionnement 8 bits de données

        bcf PORTC,2      ; le bit 2 du port c ie rs est mis à 0
                        ; c'est à dire mode commande
        movlw b'00111100'
        movwf PORTB      ; acces 8 bits pour l'afficheur LCD.
                        ; les 2 lignes sont utilisées
        call top_h      ; impulsion d'horloge

        call top_h      ; impulsion d'horloge

        call top_h      ; impulsion d'horloge

        movlw b'00001110'
        movwf PORTB      ; affichage visible et le curseur aussi
        call top_h      ; impulsion d'horloge

        call top_h      ; impulsion d'horloge

        call top_h      ; impulsion d'horloge

        movlw b'00000110'
        movwf PORTB      ; curseur se deplace vers la gauche après
                        ; ecriture d'un caractere et affichage ne
                        ; bouge pas
        call top_h      ; impulsion d'horloge
        call top_h      ; impulsion d'horloge
        call top_h      ; impulsion d'horloge

        movlw b'00000001'
        movwf PORTB      ; effacer l'ecran
        call top_h      ; impulsion d'horloge

```

```

;Affichage du message "TAUX DE CO2" dans la 1ere ligne
;de l'afficheur à partir du digit 3 pour centrer l'affichage et
;positionner à la fin le curseur en 2eme ligne au digit 2.

```

```

movlw b'10000010'      ;on met la DD RAM de l'afficheur à 02
movwf PORTB            ;le curseur clignote à la premiere
                       ;rangée digit 3
call top_h             ; impulsion d'horloge

bsf PORTC,2           ;la broche RC2 (ie rs de l'afficheur)
                       ;est mise à 1 pour le fonctionnement
                       ;normal en DATA

movlw 'T'              ;on met le caractere 'T' dans le registre W
movwf PORTB            ;on transfert le contenu du registre W
                       ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h             ; impulsion d'horloge

movlw 'A'              ;on met le caractere 'A' dans le registre W
movwf PORTB            ;on transfert le contenu du registre W
                       ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h             ; impulsion d'horloge

movlw 'U'              ;on met le caractere 'U' dans le registre W
movwf PORTB            ;on transfert le contenu du registre W
                       ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h             ; impulsion d'horloge

movlw 'X'              ;on met le caractere 'X' dans le registre W
movwf PORTB            ;on transfert le contenu du registre W
                       ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h             ; impulsion d'horloge

movlw ' '              ;on met le caractere ' ' dans le registre W
movwf PORTB            ;on transfert le contenu du registre W
                       ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h             ; impulsion d'horloge

movlw 'D'              ;on met le caractere 'D' dans le registre W
movwf PORTB            ;on transfert le contenu du registre W
                       ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h             ; impulsion d'horloge

movlw 'E'              ;on met le caractere 'E' dans le registre W
movwf PORTB            ;on transfert le contenu du registre W
                       ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h             ; impulsion d'horloge

movlw ' '              ;on met le caractere ' ' dans le registre W
movwf PORTB            ;on transfert le contenu du registre W
                       ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h             ; impulsion d'horloge

movlw 'C'              ;on met le caractere 'C' dans le registre W
movwf PORTB            ;on transfert le contenu du registre W

```

```

;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h ; impulsion d'horloge

movlw '0' ;on met le caractere '0' dans le registre W
movwf PORTB ;on transfere le contenu du registre W
;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h ; impulsion d'horloge

movlw '2' ;on met le caractere '2' dans le registre W
movwf PORTB ;on transfere le contenu du registre W
;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h ; impulsion d'horloge
;saut à la 2nd rangée, digit 2
bcf PORTC,2 ;on met à 0 la broche rs de l'afficheur pour
;envoyer une commande

movlw b'11000001'
movwf PORTB ;on met la dd ram à l'adresse 41, le curseur
;se trouve donc en 2eme ligne au 2eme digit
call top_h ; impulsion d'horloge
bsf PORTC,2 ;on met à 1 la broche rs de l'afficheur pour
;le fonctinnement normal en data.

;Ecriture du résultat obtenu
movlw '1' ;on met le caractere "1" dans le registre w
movwf PORTB ; on transfere le contenu du registre w dans
;sur le portb (vers l'afficheur).
call top_h ; impulsion d'horloge
movlw '1' ;on met le caractere "1" dans le registre w
movwf PORTB ; on transfere le contenu du registre w dans
;sur le portb (vers l'afficheur).
call top_h ; impulsion d'horloge

movlw '.' ;on met le caractere "." dans le registre w
movwf PORTB ; on transfere le contenu du registre w dans
;sur le portb (vers l'afficheur).
call top_h ; impulsion d'horloge
movlw '2' ;on met le caractere "2" dans le registre w
movwf PORTB ; on transfere le contenu du registre w dans
;sur le portb (vers l'afficheur).
call top_h ; impulsion d'horloge
movlw '4' ;on met le caractere "4" dans le registre w
movwf PORTB ; on transfere le contenu du registre w dans
;sur le portb (vers l'afficheur).
call top_h ; impulsion d'horloge
movlw ' ' ;on met le caractere " " dans le registre w
movwf PORTB ; on transfere le contenu du registre w dans
;sur le portb (vers l'afficheur).
call top_h ; impulsion d'horloge
movlw '-' ;on met le caractere "-" dans le registre w
movwf PORTB ; on transfere le contenu du registre w dans
;sur le portb (vers l'afficheur).
call top_h ; impulsion d'horloge
movlw ' ' ;on met le caractere " " dans le registre w
movwf PORTB ; on transfere le contenu du registre w dans
;sur le portb (vers l'afficheur).
call top_h ; impulsion d'horloge
movlw '1' ;on met le caractere "1" dans le registre w
movwf PORTB ; on transfere le contenu du registre w dans
;sur le portb (vers l'afficheur).

```

```

    call top_h      ; impulsion d'horloge
    movlw '4'      ; on met le caractere "4" dans le registre w
    movwf PORTB   ; on transfere le contenu du registre w dans
                  ; sur le portb (vers l'afficheur).

    call top_h      ; impulsion d'horloge
    movlw '.'      ; on met le caractere "." dans le registre w
    movwf PORTB   ; on transfere le contenu du registre w dans
                  ; sur le portb (vers l'afficheur).

    call top_h      ; impulsion d'horloge
    movlw '1'      ; on met le caractere "1" dans le registre w
    movwf PORTB   ; on transfere le contenu du registre w dans
                  ; sur le portb (vers l'afficheur).

    call top_h      ; impulsion d'horloge
    movlw '6'      ; on met le caractere "6" dans le registre w
    movwf PORTB   ; on transfere le contenu du registre w dans
                  ; sur le portb (vers l'afficheur).

    call top_h      ; impulsion d'horloge
    movlw ' '      ; on met le caractere " " dans le registre w
    movwf PORTB   ; on transfere le contenu du registre w dans
                  ; sur le portb (vers l'afficheur).

    call top_h      ; impulsion d'horloge
    movlw '%'      ; on met le caractere "%" dans le registre w
    movwf PORTB   ; on transfere le contenu du registre w dans
                  ; sur le portb (vers l'afficheur).

    call top_h      ; impulsion d'horloge
    goto debut    ; se brancher à l'etiquette "debut".

;----sous programme d'affichage en 2eme ligne à partir du 2eme digit
;du message "14.36 - 17.28 %"
affichage3

;-----Configuration et initialisation de l'afficheur LCD-----
;-----
;Mode de fonctionnement 8 bits de données

    bcf PORTC,2    ; le bit 2 du port c ie rs est mis à 0
                  ;c'est à dire mode commande

    movlw b'00111100'
    movwf PORTB   ; acces 8 bits pour l'afficheur LCD.
                  ;les 2 lignes sont utilisées

    call top_h    ; impulsion d'horloge

    call top_h    ; impulsion d'horloge

    call top_h    ; impulsion d'horloge

    movlw b'00001110'
    movwf PORTB   ;affichage visible et le curseur aussi
    call top_h    ; impulsion d'horloge

    call top_h    ; impulsion d'horloge

    call top_h    ; impulsion d'horloge

```

```

movlw b'00000110'
movwf PORTB           ; curseur se deplace vers la gauche après
                       ; ecriture d'un caractere et affichage ne
                       ; bouge pas
call top_h           ; impulsion d'horloge
call top_h           ; impulsion d'horloge
call top_h           ; impulsion d'horloge

movlw b'00000001'
movwf PORTB           ; effacer l'ecran
call top_h           ; impulsion d'horloge

; Affichage du message "TAUX DE CO2" dans la 1ere ligne
; de l'afficheur à partir du digit 3 pour centrer l'affichage et
; positionner à la fin le curseur en 2eme ligne au digit 2.

movlw b'10000010'    ; on met la DD RAM de l'afficheur à 02
movwf PORTB          ; le curseur clignote à la premiere
                       ; rangée digit 3
call top_h           ; impulsion d'horloge

bsf PORTC,2          ; la broche RC2 (ie rs de l'afficheur)
                       ; est mise à 1 pour le fonctionnement
                       ; normal en DATA

movlw 'T'            ; on met le caractere 'T' dans le registre W
movwf PORTB          ; on transfere le contenu du registre W
                       ; sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h           ; impulsion d'horloge

movlw 'A'            ; on met le caractere 'A' dans le registre W
movwf PORTB          ; on transfere le contenu du registre W
                       ; sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h           ; impulsion d'horloge

movlw 'U'            ; on met le caractere 'U' dans le registre W
movwf PORTB          ; on transfere le contenu du registre W
                       ; sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h           ; impulsion d'horloge

movlw 'X'            ; on met le caractere 'X' dans le registre W
movwf PORTB          ; on transfere le contenu du registre W
                       ; sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h           ; impulsion d'horloge

movlw ' '            ; on met le caractere ' ' dans le registre W
movwf PORTB          ; on transfere le contenu du registre W
                       ; sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h           ; impulsion d'horloge

movlw 'D'            ; on met le caractere 'D' dans le registre W
movwf PORTB          ; on transfere le contenu du registre W
                       ; sur le portb (vers l'afficheur)

```

```

call top_h           ; impulsion d'horloge

movlw 'E'           ;on met le caractere 'E' dans le registre W
movwf PORTB        ;on transfere le contenu du registre W
                   ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h         ; impulsion d'horloge

movlw ' '          ;on met le caractere ' ' dans le registre W
movwf PORTB        ;on transfere le contenu du registre W
                   ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h         ; impulsion d'horloge

movlw 'C'          ;on met le caractere 'C' dans le registre W
movwf PORTB        ;on transfere le contenu du registre W
                   ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h         ; impulsion d'horloge

movlw 'O'          ;on met le caractere 'O' dans le registre W
movwf PORTB        ;on transfere le contenu du registre W
                   ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h         ; impulsion d'horloge

movlw '2'          ;on met le caractere '2' dans le registre W
movwf PORTB        ;on transfere le contenu du registre W
                   ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h         ; impulsion d'horloge
;saut à la 2nd rangée, digit 2
bcf PORTC,2       ;on met à 0 la broche rs de l'afficheur pour
                   ;envoyer une commande

movlw b'11000001' ;on met la dd ram à l'adresse 41, le curseur
movwf PORTB       ;se trouve donc en 2eme ligne au 2eme digit
call top_h        ; impulsion d'horloge
bsf PORTC,2       ;on met à 1 la broche rs de l'afficheur pour
                   ;le fonctionnement normal en data.
;Ecriture du résultat obtenu
    movlw '1'     ;on met le caractere "1" dans le registre w
    movwf PORTB  ; on transfere le contenu du registre w dans
                 ;sur le portb (vers l'afficheur).
    call top_h   ; impulsion d'horloge
    movlw '4'     ;on met le caractere "4" dans le registre w
    movwf PORTB  ; on transfere le contenu du registre w dans
                 ;sur le portb (vers l'afficheur).
    call top_h   ; impulsion d'horloge
    movlw '.'     ;on met le caractere "." dans le registre w
    movwf PORTB  ; on transfere le contenu du registre w dans
                 ;sur le portb (vers l'afficheur).
    call top_h   ; impulsion d'horloge
    movlw '3'     ;on met le caractere "3" dans le registre w
    movwf PORTB  ; on transfere le contenu du registre w dans
                 ;sur le portb (vers l'afficheur).
    call top_h   ; impulsion d'horloge
    movlw '6'     ;on met le caractere "6" dans le registre w
    movwf PORTB  ; on transfere le contenu du registre w dans
                 ;sur le portb (vers l'afficheur).
    call top_h   ; impulsion d'horloge
    movlw ' '     ;on met le caractere " " dans le registre w
    movwf PORTB  ; on transfere le contenu du registre w dans

```

```

;sur le portb (vers l'afficheur).
call top_h ; impulsion d'horloge
movlw '-' ; on met le caractere "-" dans le registre w
movwf PORTB ; on transfere le contenu du registre w dans
;sur le portb (vers l'afficheur).

call top_h ; impulsion d'horloge
movlw ' ' ; on met le caractere " " dans le registre w
movwf PORTB ; on transfere le contenu du registre w dans
;sur le portb (vers l'afficheur).

call top_h ; impulsion d'horloge
movlw '1' ; on met le caractere "1" dans le registre w
movwf PORTB ; on transfere le contenu du registre w dans
;sur le portb (vers l'afficheur).

call top_h ; impulsion d'horloge
movlw '7' ; on met le caractere "7" dans le registre w
movwf PORTB ; on transfere le contenu du registre w dans
;sur le portb (vers l'afficheur).

call top_h ; impulsion d'horloge
movlw '.' ; on met le caractere "." dans le registre w
movwf PORTB ; on transfere le contenu du registre w dans
;sur le portb (vers l'afficheur).

call top_h ; impulsion d'horloge
movlw '2' ; on met le caractere "2" dans le registre w
movwf PORTB ; on transfere le contenu du registre w dans
;sur le portb (vers l'afficheur).

call top_h ; impulsion d'horloge
movlw '8' ; on met le caractere "8" dans le registre w
movwf PORTB ; on transfere le contenu du registre w dans
;sur le portb (vers l'afficheur).

call top_h ; impulsion d'horloge
movlw ' ' ; on met le caractere " " dans le registre w
movwf PORTB ; on transfere le contenu du registre w dans
;sur le portb (vers l'afficheur).

call top_h ; impulsion d'horloge
movlw '%' ; on met le caractere "%" dans le registre w
movwf PORTB ; on transfere le contenu du registre w dans
;sur le portb (vers l'afficheur).

call top_h ; impulsion d'horloge
goto debut ; se brancher à l'etiquette "debut".

;----sous programme d'affichage en 2eme ligne à partir du 2eme digit
;du message "17.48 - 20 %"
affichage4

;-----Configuration et initialisation de l'afficheur LCD-----
-----
;Mode de fonctionnement 8 bits de données

bcf PORTC,2 ; le bit 2 du port c ie rs est mis à 0
; c'est à dire mode commande

movlw b'00111100'
movwf PORTB ; acces 8 bits pour l'afficheur LCD.
; les 2 lignes sont utilisées

call top_h ; impulsion d'horloge

call top_h ; impulsion d'horloge

```

```

call top_h          ; impulsion d'horloge

movlw b'00001110'
movwf PORTB        ;affichage visible et le curseur aussi
call top_h         ; impulsion d'horloge

call top_h         ; impulsion d'horloge

call top_h         ; impulsion d'horloge

movlw b'00000110'
movwf PORTB        ;curseur se deplace vers la gauche après
                  ;écriture d'un caractere et affichage ne
                  ;bouge pas
call top_h         ; impulsion d'horloge
call top_h         ; impulsion d'horloge
call top_h         ; impulsion d'horloge

movlw b'00000001'
movwf PORTB        ;effacer l'ecran
call top_h         ; impulsion d'horloge

;Affichage du message "TAUX DE CO2" dans la 1ere ligne
;de l'afficheur à partir du digit 3 pour centrer l'affichage et
;positionner à la fin le curseur en 2eme ligne au digit 2.

movlw b'10000010'  ;on met la DD RAM de l'afficheur à 02
movwf PORTB        ;le curseur clignote à la premiere
                  ;rangée digit 3
call top_h         ; impulsion d'horloge

bsf PORTC,2        ;la broche RC2 (ie rs de l'afficheur)
                  ;est mise à 1 pour le fonctionnement
                  ;normal en DATA

movlw 'T'          ;on met le caractere 'T' dans le registre W
movwf PORTB        ;on transfere le contenu du registre W
                  ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h         ; impulsion d'horloge

movlw 'A'          ;on met le caractere 'A' dans le registre W
movwf PORTB        ;on transfere le contenu du registre W
                  ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h         ; impulsion d'horloge

movlw 'U'          ;on met le caractere 'U' dans le registre W
movwf PORTB        ;on transfere le contenu du registre W
                  ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h         ; impulsion d'horloge

```

```

movlw 'X'           ;on met le caractere 'X' dans le registre W
movwf PORTB        ;on transfere le contenu du registre W
                   ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h         ;impulsion d'horloge

movlw ' '          ;on met le caractere ' ' dans le registre W
movwf PORTB        ;on transfere le contenu du registre W
                   ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h         ;impulsion d'horloge

movlw 'D'          ;on met le caractere 'D' dans le registre W
movwf PORTB        ;on transfere le contenu du registre W
                   ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h         ;impulsion d'horloge

movlw 'E'          ;on met le caractere 'E' dans le registre W
movwf PORTB        ;on transfere le contenu du registre W
                   ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h         ;impulsion d'horloge

movlw ' '          ;on met le caractere ' ' dans le registre W
movwf PORTB        ;on transfere le contenu du registre W
                   ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h         ;impulsion d'horloge

movlw 'C'          ;on met le caractere 'C' dans le registre W
movwf PORTB        ;on transfere le contenu du registre W
                   ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h         ;impulsion d'horloge

movlw 'O'          ;on met le caractere 'O' dans le registre W
movwf PORTB        ;on transfere le contenu du registre W
                   ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h         ;impulsion d'horloge

movlw '2'          ;on met le caractere '2' dans le registre W
movwf PORTB        ;on transfere le contenu du registre W
                   ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h         ;impulsion d'horloge
;saute à la 2nd rangée, digit 2
bcf PORTC,2       ;on met à 0 la broche rs de l'afficheur pour
                   ;envoyer une commande

movlw b'11000001' ;on met la dd ram à l'adresse 41, le curseur
movwf PORTB        ;se trouve donc en 2eme ligne au 2eme digit
call top_h         ;impulsion d'horloge
bsf PORTC,2       ;on met à 1 la broche rs de l'afficheur pour
                   ;le fonctionnement normal en data.

;Ecriture du résultat obtenu
    movlw '1'      ;on met le caractere "1" dans le registre w
    movwf PORTB    ; on transfere le contenu du registre w dans
                   ;sur le portb (vers l'afficheur).
    call top_h     ;impulsion d'horloge
    movlw '7'      ;on met le caractere "7" dans le registre w
    movwf PORTB    ; on transfere le contenu du registre w dans
                   ;sur le portb (vers l'afficheur).
    call top_h     ;impulsion d'horloge
    movlw '.'      ;on met le caractere "." dans le registre w

```

```

movwf PORTB      ; on transfere le contenu du registre w dans
                  ; sur le portb (vers l'afficheur).
call top_h       ; impulsion d'horloge
movlw '4'        ; on met le caractere "4" dans le registre w
movwf PORTB      ; on transfere le contenu du registre w dans
                  ; sur le portb (vers l'afficheur).
call top_h       ; impulsion d'horloge
movlw '8'        ; on met le caractere "8" dans le registre w
movwf PORTB      ; on transfere le contenu du registre w dans
                  ; sur le portb (vers l'afficheur).
call top_h       ; impulsion d'horloge
movlw ' '        ; on met le caractere " " dans le registre w
movwf PORTB      ; on transfere le contenu du registre w dans
                  ; sur le portb (vers l'afficheur).
call top_h       ; impulsion d'horloge
movlw '-'        ; on met le caractere "-" dans le registre w
movwf PORTB      ; on transfere le contenu du registre w dans
                  ; sur le portb (vers l'afficheur).
call top_h       ; impulsion d'horloge
movlw ' '        ; on met le caractere " " dans le registre w
movwf PORTB      ; on transfere le contenu du registre w dans
                  ; sur le portb (vers l'afficheur).
call top_h       ; impulsion d'horloge
movlw '2'        ; on met le caractere "2" dans le registre w
movwf PORTB      ; on transfere le contenu du registre w dans
                  ; sur le portb (vers l'afficheur).
call top_h       ; impulsion d'horloge
movlw '0'        ; on met le caractere "0" dans le registre w
movwf PORTB      ; on transfere le contenu du registre w dans
                  ; sur le portb (vers l'afficheur).
call top_h       ; impulsion d'horloge
movlw '%'        ; on met le caractere "%" dans le registre w
movwf PORTB      ; on transfere le contenu du registre w dans
                  ; sur le portb (vers l'afficheur).
call top_h       ; impulsion d'horloge
goto debut      ; se brancher à l'etiquette "debut".

```

```

;----sous programme d'affichage en 2eme ligne à partir du 2eme digit
;du message "> 20 %"

```

```
affichage5
```

```

;-----Configuration et initialisation de l'afficheur LCD-----
-----

```

```
;Mode de fonctionnement 8 bits de données
```

```
bcf PORTC,2      ; le bit 2 du port c ie rs est mis à 0
                  ;c'est à dire mode commande
```

```
movlw b'00111100'
movwf PORTB      ; acces 8 bits pour l'afficheur LCD.
                  ; les 2 lignes sont utilisées
```

```
call top_h       ; impulsion d'horloge
```

```
call top_h       ; impulsion d'horloge
```

```
call top_h       ; impulsion d'horloge
```

```

movlw b'00001110'
movwf PORTB          ;affichage visible et le curseur aussi
call top_h           ;impulsion d'horloge

call top_h           ;impulsion d'horloge

call top_h           ;impulsion d'horloge

movlw b'00000110'
movwf PORTB          ;curseur se deplace vers la gauche après
                    ;écriture d'un caractere et affichage ne
                    ;bouge pas
call top_h           ;impulsion d'horloge
call top_h           ;impulsion d'horloge
call top_h           ;impulsion d'horloge

movlw b'00000001'
movwf PORTB          ;effacer l'ecran
call top_h           ;impulsion d'horloge

;Affichage du message "TAUX DE CO2" dans la 1ere ligne
;de l'afficheur à partir du digit 3 pour centrer l'affichage et
;positionner à la fin le curseur en 2eme ligne au digit 2.

movlw b'10000010'    ;on met la DD RAM de l'afficheur à 02
movwf PORTB          ;le curseur clignote à la premiere
                    ;rangée digit 3
call top_h           ;impulsion d'horloge

bsf PORTC,2          ;la broche RC2 (ie rs de l'afficheur)
                    ;est mise à 1 pour le fonctionnement
                    ;normal en DATA

movlw 'T'            ;on met le caractere 'T' dans le registre W
movwf PORTB          ;on transfere le contenu du registre W
                    ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h           ;impulsion d'horloge

movlw 'A'            ;on met le caractere 'A' dans le registre W
movwf PORTB          ;on transfere le contenu du registre W
                    ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h           ;impulsion d'horloge

movlw 'U'            ;on met le caractere 'U' dans le registre W
movwf PORTB          ;on transfere le contenu du registre W
                    ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h           ;impulsion d'horloge

movlw 'X'            ;on met le caractere 'X' dans le registre W
movwf PORTB          ;on transfere le contenu du registre W
                    ;sur le portb (vers l'afficheur)

```

```

call top_h           ; impulsion d'horloge

movlw ' '           ;on met le caractere ' ' dans le registre W
movwf PORTB         ;on transfere le contenu du registre W
                    ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h           ; impulsion d'horloge

movlw 'D'           ;on met le caractere 'D' dans le registre W
movwf PORTB         ;on transfere le contenu du registre W
                    ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h           ; impulsion d'horloge

movlw 'E'           ;on met le caractere 'E' dans le registre W
movwf PORTB         ;on transfere le contenu du registre W
                    ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h           ; impulsion d'horloge

movlw ' '           ;on met le caractere ' ' dans le registre W
movwf PORTB         ;on transfere le contenu du registre W
                    ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h           ; impulsion d'horloge

movlw 'C'           ;on met le caractere 'C' dans le registre W
movwf PORTB         ;on transfere le contenu du registre W
                    ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h           ; impulsion d'horloge

movlw 'O'           ;on met le caractere 'O' dans le registre W
movwf PORTB         ;on transfere le contenu du registre W
                    ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h           ; impulsion d'horloge

movlw '2'           ;on met le caractere '2' dans le registre W
movwf PORTB         ;on transfere le contenu du registre W
                    ;sur le portb (vers l'afficheur)
call top_h           ; impulsion d'horloge
;saute à la 2nd rangée, digit 2
bcf PORTC,2         ;on met à 0 la broche rs de l'afficheur pour
                    ;envoyer une commande

movlw b'11000001'
movwf PORTB         ;on met la dd ram à l'adresse 41, le curseur
                    ;se trouve donc en 2eme ligne au 2eme digit
call top_h           ; impulsion d'horloge
bsf PORTC,2         ;on met à 1 la broche rs de l'afficheur pour
                    ;le fonctionnement normal en data.

;Ecriture du résultat obtenu
    movlw '>'       ;on met le caractere ">" dans le registre w
    movwf PORTB     ; on transfere le contenu du registre w dans
                    ;sur le portb (vers l'afficheur).
    call top_h      ; impulsion d'horloge
    movlw '2'       ;on met le caractere "2" dans le registre w
    movwf PORTB     ; on transfere le contenu du registre w dans
                    ;sur le portb (vers l'afficheur).
    call top_h      ; impulsion d'horloge
    movlw '0'       ;on met le caractere "0" dans le registre w
    movwf PORTB     ; on transfere le contenu du registre w dans
                    ;sur le portb (vers l'afficheur).

```

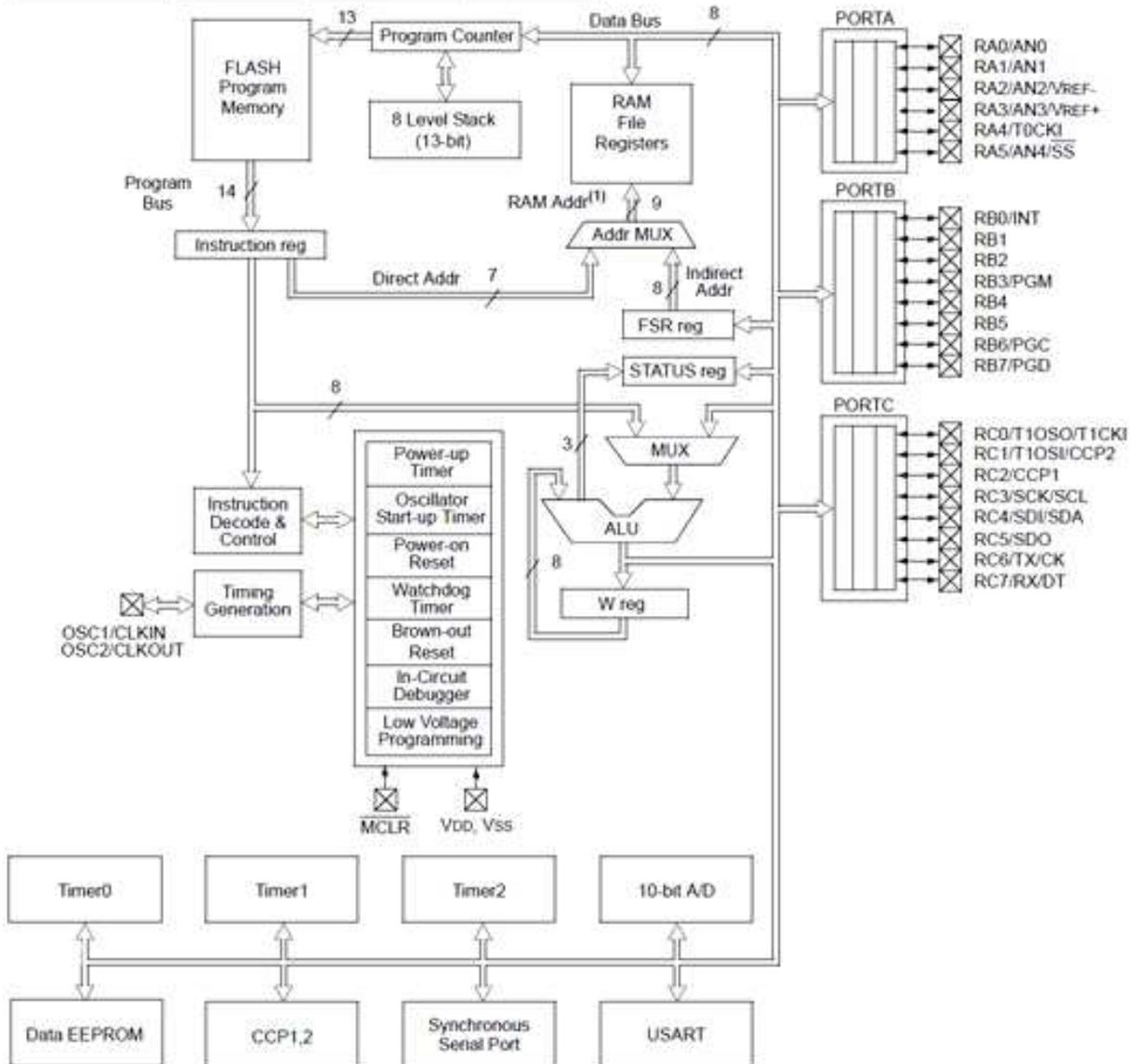
```
call top_h      ; impulsion d'horloge
movlw ' '      ; on met le caractere " " dans le registre w
movwf PORTB    ; on transfere le contenu du registre w dans
               ; sur le portb (vers l'afficheur).
call top_h      ; impulsion d'horloge

movlw '%'      ; on met le caractere "%" dans le registre w
movwf PORTB    ; on transfere le contenu du registre w dans
               ; sur le portb (vers l'afficheur).
call top_h      ; impulsion d'horloge
goto debut     ; se brancher à l'etiquette "debut".

end
1
```

ORGANISATIONS INTERNES

Device	Program FLASH	Data Memory	Data EEPROM
PIC16F876	8K	368 Bytes	256 Bytes



PIC16F873 AND PIC16F876 PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	DIP Pin#	SOIC Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKIN	9	9	I	ST/CMOS ⁽³⁾	Oscillator crystal input/external clock source input.
OSC2/CLKOUT	10	10	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In RC mode, the OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/VPP	1	1	I/P	ST	Master Clear (Reset) input or programming voltage input. This pin is an active low RESET to the device.
RA0/AN0	2	2	I/O	TTL	<p>PORTA is a bi-directional I/O port.</p> <p>RA0 can also be analog input0.</p> <p>RA1 can also be analog input1.</p> <p>RA2 can also be analog input2 or negative analog reference voltage.</p> <p>RA3 can also be analog input3 or positive analog reference voltage.</p> <p>RA4 can also be the clock input to the Timer0 module. Output is open drain type.</p> <p>RA5 can also be analog input4 or the slave select for the synchronous serial port.</p>
RA1/AN1	3	3	I/O	TTL	
RA2/AN2/VREF-	4	4	I/O	TTL	
RA3/AN3/VREF+	5	5	I/O	TTL	
RA4/T0CKI	6	6	I/O	ST	
RA5/SS/AN4	7	7	I/O	TTL	
RB0/INT	21	21	I/O	TTL/ST ⁽¹⁾	<p>PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs.</p> <p>RB0 can also be the external interrupt pin.</p> <p>RB3 can also be the low voltage programming input.</p> <p>Interrupt-on-change pin.</p> <p>Interrupt-on-change pin.</p> <p>Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming clock.</p> <p>Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming data.</p>
RB1	22	22	I/O	TTL	
RB2	23	23	I/O	TTL	
RB3/PGM	24	24	I/O	TTL	
RB4	25	25	I/O	TTL	
RB5	26	26	I/O	TTL	
RB6/PGC	27	27	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	
RB7/PGD	28	28	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	
RC0/T1OSO/T1CKI	11	11	I/O	ST	<p>PORTC is a bi-directional I/O port.</p> <p>RC0 can also be the Timer1 oscillator output or Timer1 clock input.</p> <p>RC1 can also be the Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output.</p> <p>RC2 can also be the Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output.</p> <p>RC3 can also be the synchronous serial clock input/output for both SPI and I²C modes.</p> <p>RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I²C mode).</p> <p>RC5 can also be the SPI Data Out (SPI mode).</p> <p>RC6 can also be the USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock.</p> <p>RC7 can also be the USART Asynchronous Receive or Synchronous Data.</p>
RC1/T1OSI/CCP2	12	12	I/O	ST	
RC2/CCP1	13	13	I/O	ST	
RC3/SCK/SCL	14	14	I/O	ST	
RC4/SDI/SDA	15	15	I/O	ST	
RC5/SDO	16	16	I/O	ST	
RC6/TX/CK	17	17	I/O	ST	
RC7/RX/DT	18	18	I/O	ST	
Vss	8, 19	8, 19	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	20	20	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
 — = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

- Note 1:** This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.
Note 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
Note 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

Détecteur de pollution d'air HS135 réf : REHS135

Electronique-Diffusion

<http://www.elecdif.com>



1. Characteristics:

- 1.1 Long period stability.
- 1.2 Widely detecting scope.

2. Application

Family and industry use

Suitable for detecting of Smoke、SO₂、CO₂、isobutane、alcohol...etc.

3. Property

A. Standard work condition

symbol	parameter name	Technical condition	remarks
Vc	circuit voltage	5V	AC OR DC
VH	Heating voltage	5V	AC OR DC
PL	load resistance	can adjust	Ps
RH	heater resistance	33 Ω ±5%	room Temp
PH	heating consumption	less than 800mw	

B. Environment condition

symbol	parameter name	technical condition	remarks
Tao	Operating Temp	-20℃-50℃	
Tas	storage Temp	-20℃-70℃	
RH	Operating humidity range	less than 95%Rh	
O ₂	oxygen concentration	21%(standard condition) Oxygen concentration affect sensitivity	minimum value is over 2%

C. Sensitivity characteristic

Symbol	parameter name	technical parameter	remark 1	ramark 2
Rs	sensing body resistance	1K Ω -10K Ω (1000ppm isobutane)	suitable for 3000ppm LPG and propane	detecting concentration scope: 1%~10% smoke 0.3~20% CO ₂ 300ppm-5000ppm isobutane
α (3000/1000) isobutane	concentration slope rate	≤0.6		
standard detecting condition	Temp: 20℃ ±2℃ Vc:5V±0.1 Humidity: 65%±5%RH Vh: 5V±0.1			
preheat time	over 24 hours			

D. Machinery characteristic

project	condition	property
vibration	ferquency 100Hz	should be conformed to given sensitivity characteristic
	vertical vibrating amplitude	
	time 1 hour	
punch	acceleration 100G	
	punch times 5	

4. Sensitivity characteristic curve of HS-135 air pollution sensor as follow:

Fig 1 is relation curve of VRL and gas concentration.

At:Temp: 20°C 、 Humidity: 65%RH、 O2=concentration 21% RL=5kΩ

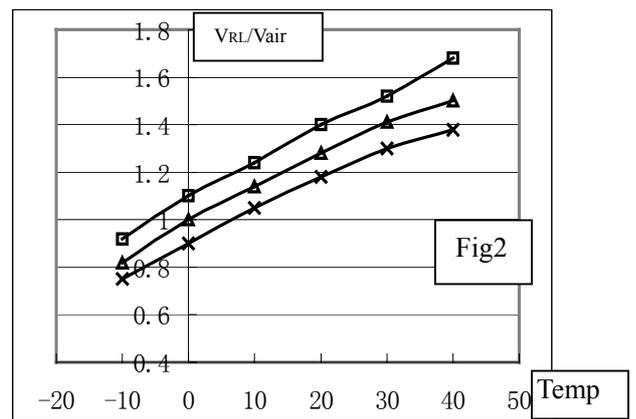
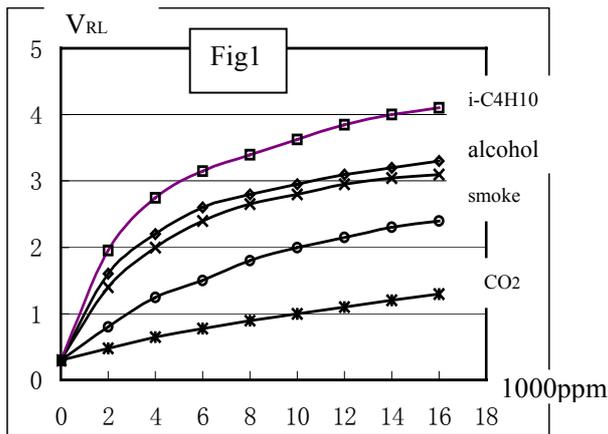
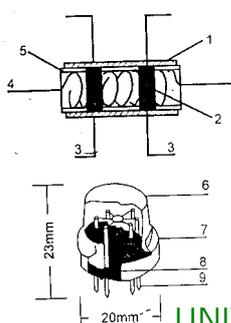


Fig 2 is relation between surface resistance of HS-135 with environment related humidity.

5. HS-135 structure and circuit symbols(Fig 3).

series	parts	materials
1	sensing layer	SnO2
2	measurement electrode	Au
3	measurement electrode ignited wire	Pt
4	heater	N1-Cr alloy
5	tubular ceramic basic body	Al 2O3 ceramic
6	anti-explosion network	100 dual layer stainless steel (SUS316)
7	clamp ring	Ni plating
8	basic seat	bakelite
9	tube foot	CP wire



UNIVERSITE MOULOU MAMMERI DE TIZI-OUZOU 2010

Fig3 Fig4

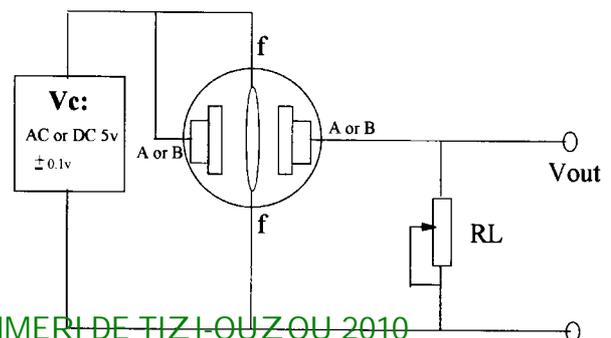
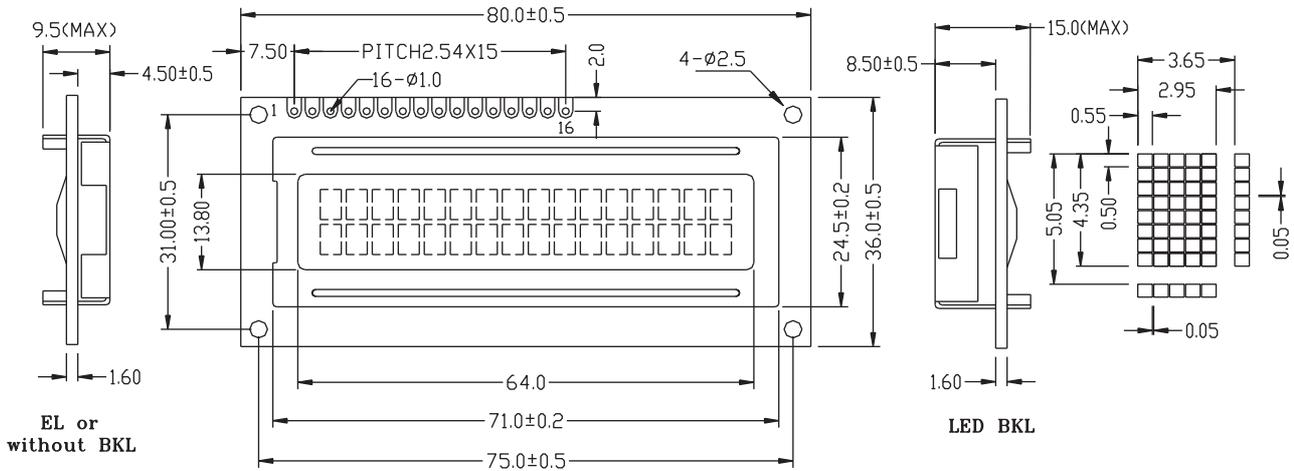


Fig:2



Outline Dimension



Feature

1. 5X8 dots with cursor
2. Built-in controller (KS0066U or Equivalent)
3. +5V power supply(Also available for +3.0V)
4. 1/16 duty cycle
5. BKL to be driven by pin1, pin2, or pin15, pin16 or A, K
6. N.V.optional

Interface pin connections

PIN NO	Symbol	Function
1	VSS	GND
2	VDD	+5V
3	V0	Contrast adjustment
4	RS	H/L Register select signal
5	R/W	H/L Read/Write signal
6	E	H/L Enable signal
7	DB0	H/L Data bus line
8	DB1	H/L Data bus line
9	DB2	H/L Data bus line
10	DB3	H/L Data bus line
11	DB4	H/L Data bus line
12	DB5	H/L Data bus line
13	DB6	H/L Data bus line
14	DB7	H/L Data bus line
15	A	+4.2V for BKL
16	K	Power supply for BKL(0V)

Mechanical Data

Item	Standard	Unit
Module dimension	80.0x36.0	mm
Viewing area	64.0x13.8	mm
Dot size	0.55x0.50	mm
Character size	2.95x4.35	mm

Absolute Maximum Rating

Item	Symbol	Standard			Unit
		Min	Typ	Max	
Power supply	VDD-VSS	-0.3	-----	5.5	V
Input voltage	VI	-0.3	-----	VDD	

Electronical characteristics

Item	Symbol	Condition	Standard			Unit
			Min	Typ	Max	
Input voltage	VDD	+5V	4.7	5.0	5.5	V
		+3.3V	2.7	3.0	5.3	V
Supply current	IDD	VDD=5V	-----	1.5	4	mA
Recommended LCD driving voltage for normal temp version module	VDD-V0	-20°C	4.8	5.0	4.9	V
		0 °C	4.6	4.7	5.2	
		25°C	4.4	4.5	4.7	
		50°C	4.2	4.3	4.5	
		70°C	4.0	4.2	4.3	
LED forward voltage	VF	25°C	-----	4.2	4.6	V
LED forward current	IF	25°C	-----	120	-----	mA
EL power supply current	IEL	VEL=110V AC 400Hz	-----	-----	-----	mA

Display character address code:

Display position

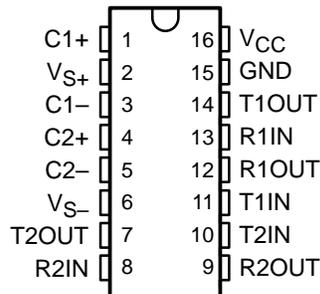
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DDRAM address	00	01	02	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0FH
DDRAM address	40	41	42	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	4FH

MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS0471 – FEBRUARY 1989 – REVISED OCTOBER 2002

- Meet or Exceed TIA/EIA-232-F and ITU Recommendation V.28
- Operate With Single 5-V Power Supply
- Operate Up to 120 kbit/s
- Two Drivers and Two Receivers
- ± 30 -V Input Levels
- Low Supply Current . . . 8 mA Typical
- Designed to be Interchangeable With Maxim MAX232
- ESD Protection Exceeds JESD 22 – 2000-V Human-Body Model (A114-A)
- Applications
 - TIA/EIA-232-F
 - Battery-Powered Systems
 - Terminals
 - Modems
 - Computers

MAX232 . . . D, DW, N, OR NS PACKAGE
MAX232I . . . D, DW, OR N PACKAGE
(TOP VIEW)



description/ordering information

The MAX232 is a dual driver/receiver that includes a capacitive voltage generator to supply EIA-232 voltage levels from a single 5-V supply. Each receiver converts EIA-232 inputs to 5-V TTL/CMOS levels. These receivers have a typical threshold of 1.3 V and a typical hysteresis of 0.5 V, and can accept ± 30 -V inputs. Each driver converts TTL/CMOS input levels into EIA-232 levels. The driver, receiver, and voltage-generator functions are available as cells in the Texas Instruments LinASIC™ library.

ORDERING INFORMATION

TA	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 70°C	PDIP (N)	Tube	MAX232N	MAX232N
	SOIC (D)	Tube	MAX232D	MAX232
		Tape and reel	MAX232DR	
	SOIC (DW)	Tube	MAX232DW	MAX232
		Tape and reel	MAX232DWR	
SOP (NS)	Tape and reel	MAX232NSR	MAX232	
-40°C to 85°C	PDIP (N)	Tube	MAX232IN	MAX232IN
	SOIC (D)	Tube	MAX232ID	MAX232I
		Tape and reel	MAX232IDR	
	SOIC (DW)	Tube	MAX232IDW	MAX232I
		Tape and reel	MAX232IDWR	

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

LinASIC is a trademark of Texas Instruments.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2002, Texas Instruments Incorporated

UNIVERSITE MOULOUDJ MAMMEL DE TIZI-OUZOU 2010
INSTRUMENTS

MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS0471 – FEBRUARY 1989 – REVISED OCTOBER 2002

Function Tables

EACH DRIVER

INPUT TIN	OUTPUT TOUT
L	H
H	L

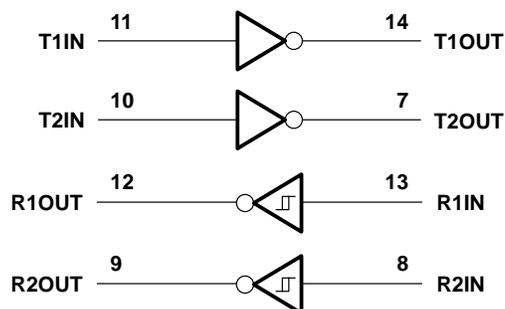
H = high level, L = low level

EACH RECEIVER

INPUT RIN	OUTPUT ROUT
L	H
H	L

H = high level, L = low level

logic diagram (positive logic)



MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS0471 – FEBRUARY 1989 – REVISED OCTOBER 2002

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Input supply voltage range, V_{CC} (see Note 1)	–0.3 V to 6 V
Positive output supply voltage range, V_{S+}	$V_{CC} - 0.3$ V to 15 V
Negative output supply voltage range, V_{S-}	–0.3 V to –15 V
Input voltage range, V_I : Driver	–0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Receiver	±30 V
Output voltage range, V_O : T1OUT, T2OUT	$V_{S-} - 0.3$ V to $V_{S+} + 0.3$ V
R1OUT, R2OUT	–0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Short-circuit duration: T1OUT, T2OUT	Unlimited
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Note 2): D package	73°C/W
DW package	57°C/W
N package	67°C/W
NS package	64°C/W
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C
Storage temperature range, T_{stg}	–65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under “absolute maximum ratings” may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under “recommended operating conditions” is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTE 1: All voltage values are with respect to network ground terminal.

2. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

recommended operating conditions

		MIN	NOM	MAX	UNIT
V_{CC}	Supply voltage	4.5	5	5.5	V
V_{IH}	High-level input voltage (T1IN, T2IN)	2			V
V_{IL}	Low-level input voltage (T1IN, T2IN)			0.8	V
R1IN, R2IN	Receiver input voltage			±30	V
T_A	Operating free-air temperature	MAX232	0	70	°C
		MAX232I	–40	85	

electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature (unless otherwise noted) (see Note 3 and Figure 4)

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN	TYP‡	MAX	UNIT
I_{CC}	Supply current	$V_{CC} = 5.5$ V, $T_A = 25^\circ\text{C}$	All outputs open,		8	10	mA

‡ All typical values are at $V_{CC} = 5$ V and $T_A = 25^\circ\text{C}$.

NOTE 3: Test conditions are C1–C4 = 1 μF at $V_{CC} = 5$ V \pm 0.5 V.

MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS0471 – FEBRUARY 1989 – REVISED OCTOBER 2002

DRIVER SECTION

electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature range (see Note 3)

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN	TYP†	MAX	UNIT
V _{OH}	High-level output voltage	T1OUT, T2OUT	R _L = 3 kΩ to GND	5	7		V
V _{OL}	Low-level output voltage‡	T1OUT, T2OUT	R _L = 3 kΩ to GND		-7	-5	V
r _o	Output resistance	T1OUT, T2OUT	V _{S+} = V _{S-} = 0, V _O = ±2 V	300			Ω
I _{OS} §	Short-circuit output current	T1OUT, T2OUT	V _{CC} = 5.5 V, V _O = 0		±10		mA
I _{IS}	Short-circuit input current	T1IN, T2IN	V _I = 0			200	μA

† All typical values are at V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C.

‡ The algebraic convention, in which the least positive (most negative) value is designated minimum, is used in this data sheet for logic voltage levels only.

§ Not more than one output should be shorted at a time.

NOTE 3: Test conditions are C1–C4 = 1 μF at V_{CC} = 5 V ± 0.5 V.

switching characteristics, V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C (see Note 3)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
SR	Driver slew rate	R _L = 3 kΩ to 7 kΩ, See Figure 2			30	V/μs
SR(t)	Driver transition region slew rate	See Figure 3		3		V/μs
	Data rate	One TOUT switching		120		kbit/s

NOTE 3: Test conditions are C1–C4 = 1 μF at V_{CC} = 5 V ± 0.5 V.

RECEIVER SECTION

electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature range (see Note 3)

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN	TYP†	MAX	UNIT
V _{OH}	High-level output voltage	R1OUT, R2OUT	I _{OH} = -1 mA	3.5			V
V _{OL}	Low-level output voltage‡	R1OUT, R2OUT	I _{OL} = 3.2 mA			0.4	V
V _{IT+}	Receiver positive-going input threshold voltage	R1IN, R2IN	V _{CC} = 5 V, T _A = 25°C		1.7	2.4	V
V _{IT-}	Receiver negative-going input threshold voltage	R1IN, R2IN	V _{CC} = 5 V, T _A = 25°C	0.8	1.2		V
V _{hys}	Input hysteresis voltage	R1IN, R2IN	V _{CC} = 5 V	0.2	0.5	1	V
r _i	Receiver input resistance	R1IN, R2IN	V _{CC} = 5, T _A = 25°C	3	5	7	kΩ

† All typical values are at V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C.

‡ The algebraic convention, in which the least positive (most negative) value is designated minimum, is used in this data sheet for logic voltage levels only.

NOTE 3: Test conditions are C1–C4 = 1 μF at V_{CC} = 5 V ± 0.5 V.

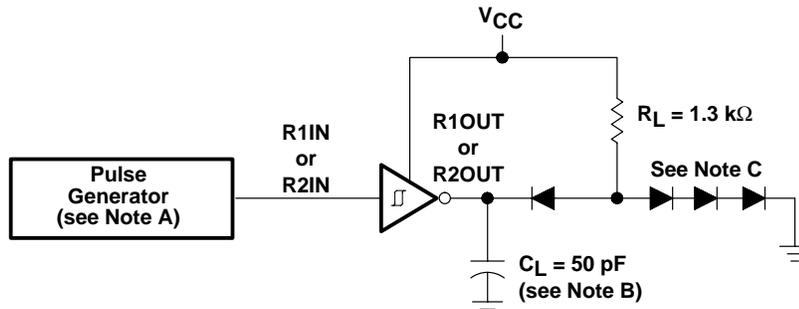
switching characteristics, V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C (see Note 3 and Figure 1)

PARAMETER		TYP	UNIT
t _{PLH(R)}	Receiver propagation delay time, low- to high-level output	500	ns
t _{PHL(R)}	Receiver propagation delay time, high- to low-level output	500	ns

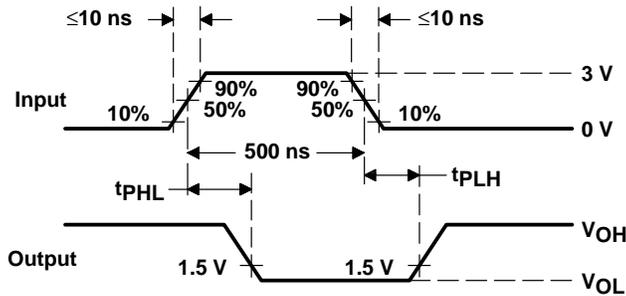
NOTE 3: Test conditions are C1–C4 = 1 μF at V_{CC} = 5 V ± 0.5 V.



PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



TEST CIRCUIT



WAVEFORMS

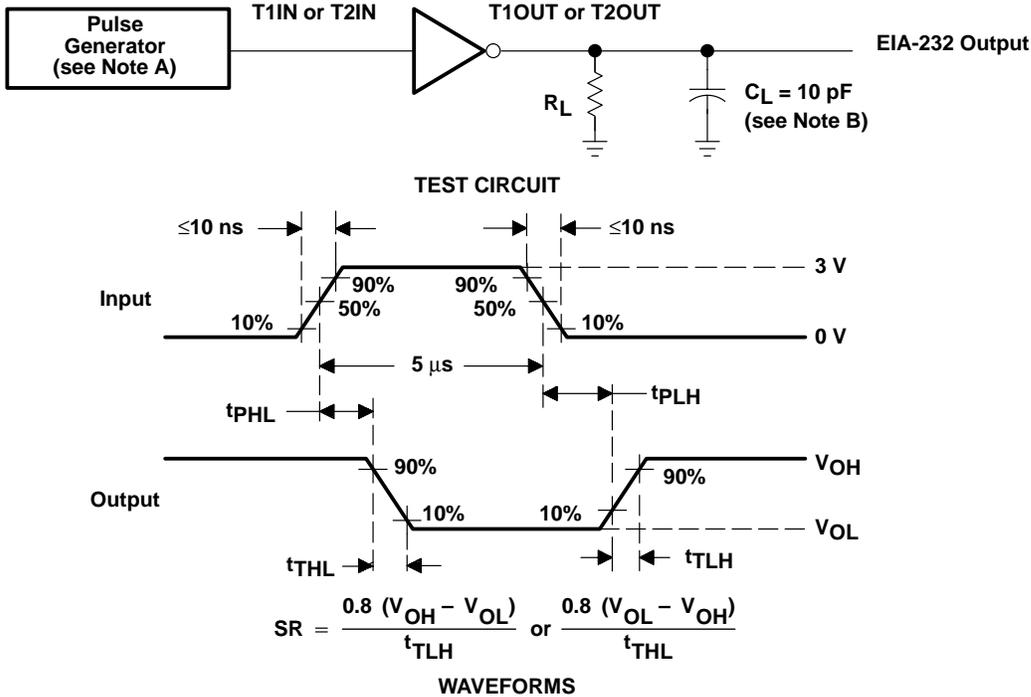
- NOTES: A. The pulse generator has the following characteristics: $Z_O = 50 \Omega$, duty cycle $\leq 50\%$.
 B. C_L includes probe and jig capacitance.
 C. All diodes are 1N3064 or equivalent.

Figure 1. Receiver Test Circuit and Waveforms for t_{PHL} and t_{PLH} Measurements

MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

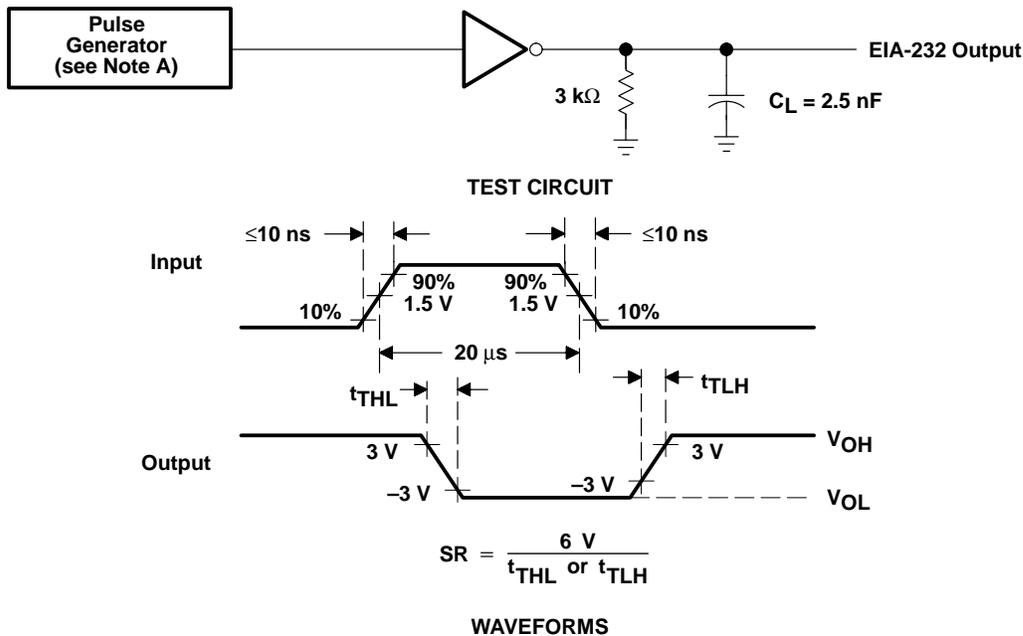
SLLS0471 – FEBRUARY 1989 – REVISED OCTOBER 2002

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



NOTES: A. The pulse generator has the following characteristics: $Z_O = 50 \Omega$, duty cycle $\leq 50\%$.
B. C_L includes probe and jig capacitance.

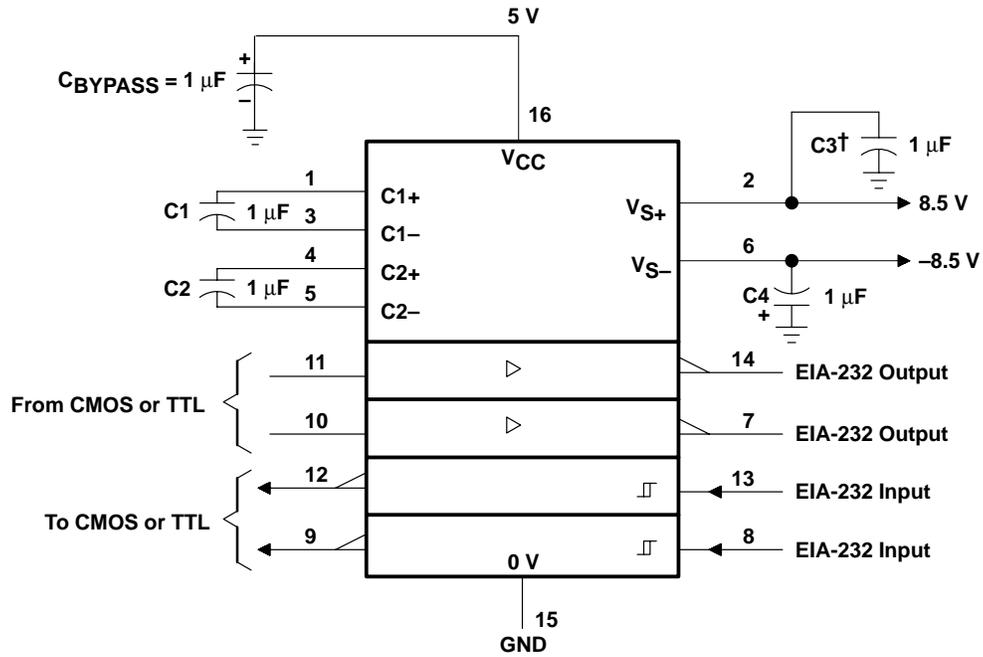
Figure 2. Driver Test Circuit and Waveforms for t_{PHL} and t_{PLH} Measurements (5- μs Input)



NOTE A: The pulse generator has the following characteristics: $Z_O = 50 \Omega$, duty cycle $\leq 50\%$.

Figure 3. Test Circuit and Waveforms for t_{THL} and t_{TLH} Measurements (20- μs Input)

APPLICATION INFORMATION



† C3 can be connected to V_{CC} or GND.

Figure 4. Typical Operating Circuit

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Mailing Address:

Texas Instruments
Post Office Box 655303
Dallas, Texas 75265

Copyright © 2002, Texas Instruments Incorporated

This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.