

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd - Tlemcen -

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

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

En : Electronique

Spécialité : Instrumentation électronique

Par :

- *BOUDOUAIA Mohamed Mounir*

Sujet

Etude et réalisation d'un inclinomètre à base d'un microcontrôleur (PIC)

Soutenu, le / / , devant le jury composé de :

<i>Mme BOUAZZA née GUENAhlam</i>	<i>Professeur</i>	<i>Univ. Tlemcen</i>	<i>Présidente</i>
<i>Mr NEMMICHE Ahmed</i>	<i>M.C.B</i>	<i>Univ. Tlemcen</i>	<i>Examineur</i>
<i>Mr BOUAZZA Benyounes</i>	<i>Professeur</i>	<i>Univ. Tlemcen</i>	<i>Encadreur</i>

Année Universitaire : 2016 - 2017

الحمد لله رب العالمين و الصلاة و السلام على نبينا محمد

و على آله و صحبه أجمعين، أما بعد:

فنعلم الله عز و جل على أن وفقنا لإنجاز هذا المشروع و يسره لنا

فله الحمد و المنة على كل شيء، و نسأله سبحانه أن يبارك لنا

فيه و أن يجعله خالصا لوجهه الكريم إنه ولي ذلك و القادر عليه

و آخر دعوانا أن الحمد لله رب العالمين، و صلى الله على نبينا

محمد و على آله و صحبه و سلم.

Remerciements

En préambule à ce mémoire nous remercions ALLAH qui nous a aidé et nous a donné la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

Ces remerciements vont tout d'abord au corps professoral et administratif de la Faculté des Sciences pour la richesse et la qualité de leur enseignement et qui déploient de grands efforts et une grande technique pédagogique pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.

Je souhaite adresser encore mes remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire. Je tien à remercier très sincèrement Monsieur BOUAZZA benyounes qui, en tant qu'encadrant de mon mémoire, s'est toujours montré à mon écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire. Ainsi je lui dois beaucoup pour sa contribution, son aide et ses conseils en consacrant presque tout son temps pour que ce projet de fin d'étude réussisse à son optimum.

Nous exprimons toute notre gratitude à Madame BOUAZZA Neé Guen Ahlam et Monsieur Nemiche qui m'ont donné aussi de leur temps et accepté de répondre à toutes mes questions avec gentillesse et sérénité.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions. Nous tenons encore à exprimer nos sincères remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études. Enfin, nous remercions toute personne qui a participé de près ou de loin pour l'accomplissement de ce modeste travail.

M.M Boudouaia

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin ils sont toujours à mes cotes dans chaque des projets qui me tiennent à cœur, m'a mère qui m'a soutenu durant toute ma vie, et je suis extrêmement reconnaissant à mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis .Je me souviens en particulier de son fameux " si en veux en trouve les moyennes si en veux pas en trouve les excuse "

A toute ma famille BOUDOUAIA ET SID AZZARA sans exception surtout mes sœurs
Rihabe et Dounia .

A tous mes amis Mohamed – amine – Sofiane- Fatah – Djamel- Raouf-mohamed-
zaki -amine -abedhak

A tous mes amis de spécialité Amin- sofiane- zino- Rochdi – Abderrahman- Yazid-
Zaki- Amine - Mohamed – Faicel et toute la promotion d'instrumentation 2017.

TABLE DES
MATIÈRES

Table des Matières

Introduction Générale	1
Chapitre I Généralités Sur Les Capteur	
I.1 Introduction.....	2
I.2 Principes généraux des capteurs.....	2
I.3 Définitions et caractéristiques générales	2
I.3.1 Capteurs actifs.....	4
I.3.2 Capteurs passifs.....	4
I.3.3 Corps d'épreuve Capteurs composites.....	6
I.4 Grandeurs d'influence.....	6
I.5 Caractéristiques métrologiques.....	8
I.5.1 Sensibilité.....	9
I.5.2 Fidélité - justesse - précision.....	9
I.5.3 Rapidité - Temps de réponse.....	11
I.6 Erreurs de mesure dans les capteurs.....	12
I.6.1 Erreurs de mesure	12
I.6.2 Erreurs systématiques.....	12
I.6.3 Erreurs accidentelles.....	13
I.6.4 Erreurs dues au mode ou aux conditions d'emploi.....	13
I.6.5 Réduction des erreurs accidentelles.....	14
I.7 Etalonnage des capteurs.....	14
I.7.1 Etalonnage simple.....	15
I.7.2 Etalonnage multiple.....	15
I.8 Capteurs de position et déplacement.....	15
I.8.1 Potentiomètre résistif	16
I.8.2 Potentiomètres pour circuit imprimé.....	18
I.8.3 Potentiomètres ajustables.....	19
I.8.4 Potentiomètres multi tours.....	20
I.8.5 Utilisation en potentiomètre.....	20
I.8.6 Matériau.....	20
I.8.7 Potentiomètres doubles (2x3broches)	21
I.8.8 Résistance.....	21
I.8.9 Tolérance sur la valeur de la résistance.....	21
I.8.10 Coefficient de température de la résistance.....	22
I.8.11 Linéarité propre.....	22
I.8.12 Curseur.....	22
I.9 Conclusion	22
Chapitre II Inclinomètre	
II.1 Introduction	23
II.2 Généralité à propos de l'inclinomètre.....	23
II.3 Historique.....	24
II.4 Description de l'inclinomètre et de ces composants.....	24

II.5 Type d'inclinomètre	21
II.5.1 Inclinomètre à pendule simple.....	25
II.5.2 Inclinomètre avec technologie MEMS.....	25
II.5.3 Inclinomètre à liquide.....	25
II.5.4 Inclinomètre digitale.....	25
II.5.5 Inclinomètre silicium.....	26
II.6 Les domaines d'application d'un inclinomètre	26
II.7 Conditionneurs du signal.....	26
II.8 Fonctionnement détaillé du montage.....	27
II.8.1 Principe de mesure adoptée	28
II.9 Etude théorique de l'inclinomètre	28
II.9.1 Détermination de l'angle α	28
II.10 Conclusion	29

Chapitre III Partie Software

III.1 Introduction	30
III.2 Programmation en langage C.....	30
III.3 Organigramme.....	31
III.6 Programmation du microcontrôleur.....	31
III.4.1 Synoptique du programme	32
III.4.2. Principe d'une chaîne d'acquisition	32
III.5 Présentation du microcontrôleur PIC 16F877	33
III.5.1 Définition d'un pic.....	33
III.5.2 Différentes familles des PICS.....	33
III.5.3 Identifier un pic.....	33
III.5.4. Conversion analogique digitale avec le PIC 16F877A	34
III.6 Microcontrôleur	35
III.6.1 Structure minimale d'un PIC.....	36
III.6.2 Les ports E/S de PIC	37
III.6.3. Architecture interne du PIC 16F877A.....	38
III.7 Câblage de PIC.....	39
III.8 Conclusion.....	40

Chapitre IV Réalisation Hardware et Test

IV.1 Introduction	41
IV.2 Inclinomètre	41
IV.2.1 Alimentation	42
IV.2.2 Choix du régulateur	42
IV.2.3 Choix de la capacité de lissage.....	42
IV.2.4 Choix de la capacité de filtrage.....	42
IV.3 Photo de prototype	42
IV.3.1 Routage sous ARES.....	43
IV.3.2 Typon	44
IV.3.3 Circuit imprimé.....	44
IV.6 Implantation des composants.....	45
IV.4.1 Circuit préliminaires de l'inclinomètre.....	45

IV.5 Réalisation mécanique	46
IV.6 Test et étalonnage	46
IV.6.1 Test en situation réelle.....	47
IV.6.2 Etalonnage de l'inclinomètre.....	47
IV.7 Conclusion.....	48

Conclusion générale.....	49
Références bibliographiques.....	50
Annexe	
Nomenclature	

L

ISTE DES
FIGURES

Liste des Figures

Chapitre I Généralités Sur Les Capteur

Figure I.1 Evolution d'un mesurande m et des réponses correspondantes d'un capteur	3
Figure I.2 Structure d'un capteur composite	6
Figure I.3 Grandeurs d'influence	7
Figure I.4 Fidélité, justesse, exactitude. Les pointillés indiquent la valeur vraie(μ).....	10
Figure I.5 Définitions de divers intervalles de temps caractéristiques du régime transitoire	11
Figure I.6 Différentes type des potentiomètres résistif.....	16
Figure I.7 Potentiomètre de mesure de déplacement rectiligne et angulaire	17
Figure I.8 Potentiomètres pour circuit imprimé	18
Figure I.9 Potentiomètre.....	19
Figure I.10 Potentiomètres ajustables.....	19
Figure I.11 Potentiomètres multi tours.....	20
Figure I.12 Potentiomètres doubles(2x3broches)	21

Chapitre II Inclinomètre

Figure II.1 Principe de la mesure par le fil à plomb	23
Figure II.2 Inclinomètre numérique.....	24
Figure II.3 Calcule de pente	27

Chapitre III Partie Software

Figure III.1 Fonction principale et initialisation.....	30
Figure III.2 Organigramme du programme	31
Figure III.3 Synoptique du programme	32
Figure III.4 Structure d'une chaîne d'acquisition.....	33
Figure III.5 Schéma du montage d'un pic 16f877a sur porteuse	35
Figure III.6 Configuration des broches du PIC16F877A.....	36
Figure III.7 Schéma de convertisseur A / N.....	38
Figure III.8 Architecteur interne du PIC 16F877A	39
Figure III.9 Schéma de câblage du PIC avec résonateur et circuiterie de reset.....	39

Chapitre IV Réalisation Hardware et Test

Figure IV.1 Schéma électrique de l'inclinomètre 41

Figure IV.2 Photo de prototype sur la plaque d'essai 43

Figure IV.3 Synoptique du programme 43

Figure IV.4 Circuit imprimé sur AREAS 44

Figure IV.5 Circuit imprimé 44

Figure IV.6 Circuit d'implantation de l'inclinomètre..... 45

Figure IV.7 Capteur d'inclinaison..... 45

Figure IV.8 Fixation de bouton de volume avec le potentiomètre..... 46

Figure IV.9 Fixation de la masse dans le boîtier..... 46

Figure IV.10 Teste en situation réelle..... 47

Figure IV.11 Photos du premier test en situation réelle..... 47

LISTE DES
TABLEAUX

Liste des Tableaux

Chapitre I Généralités Sur Les Capteur

Tableau I.1 Capteurs actifs principes physiques de base	11
Tableau I.2 Capteurs passifs : principes physiques et matériaux	14

Chapitre II Inclinomètre

Tableau II.1 U en fonction de la pente et de degré.....	21
--	-----------

Chapitre III Partie Software

Tableau III.1 Quelques caractéristiques du PIC 16F877A.....	11
--	-----------

I NTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction Générale

Les techniques numériques ont permis de réaliser ces dernières années, des progrès très importants. Pourtant le monde qui nous entoure n'est composé que de grandeurs analogiques (courant, force, pression, température, tension, vitesse, vibration,...). Il semblait donc tout naturel au début, de réaliser des dispositifs analogiques afin de mesurer, enregistrer, piloter ces grandeurs physiques qui nous entourent. Mais très rapidement, les avantages des techniques numériques se sont fait sentir.

Dans le cadre d'une étude sur les capteurs d'angle et de la pente, nous avons besoin de connaître les conditions météorologiques précises en temps réel. Nous avons proposé une chaîne d'acquisition qui nous permettra de connaître la valeur d'angle, ainsi que la pente, à travers un simple potentiomètre, dont l'objectif est la réalisation d'un capteur d'inclinaison.

Le système utilise un microcontrôleur récupérant les données en provenance des capteurs, puis les envoient via les ports série sur un afficheur LCD 16*2. Nous avons structuré le présent mémoire en trois chapitres comme suit :

1. Dans le premier chapitre, nous présenterons les différentes techniques pour réaliser un capteur potentiométrique linéaire
2. Le deuxième chapitre qui s'intitule «conception de l'inclinomètre » sera consacré à la présentation des différents éléments que contient l'inclinomètre.
3. Le troisième chapitre On trouvera des explications sur la programmation du PIC et l'interface d'affichage.
4. Le quatrième chapitre s'intitule «la réalisation hardware et tests»: dans ce chapitre je présente tous les circuits électriques constituant l'inclinomètre, le capteur potentiométrique. Nous terminerons par les tests et l'étalonnage des capteurs.

Et On termine par une conclusion générale.

C

HAPITRE I
PRINCIPE
FONDAMENTAUX
DU CAPTEUR

I.1 Introduction

Dans le quotidien, il est nécessaire de faire des mesures. En tout temps on interagit avec l'environnement autour, on fait des mesures des grandeurs physiques. Pour cette raison, il est important que les moyens de mesure soient disponibles pour les spécialistes comme pour les personnes non spécialisées. Une mesure est disponible si le système de mesure est accessible et facile à utiliser. Dans une expérience scientifique un système de mesure doit présenter les caractéristiques suivantes : non Invasive sensibilité, fiable, lecture facile, archivage et portable, le capteur est un composant incontournable de tout système moderne de mesure il constitue l'interface obligée entre monde réel et électronique du système de traitement. Dans son principe, le capteur met en œuvre un phénomène par lequel la grandeur qui est l'objet de la mesure (le mesurande) détermine.

I.2 Principes généraux des capteurs

Les capteurs sont les premiers éléments rencontrés dans une chaîne de mesure. Ils transforment les grandeurs physiques ou chimiques d'un processus ou d'une installation en signaux électriques au départ presque toujours analogiques. Cette transformation doit être le reflet aussi parfait que possible de ces grandeurs. Cet objectif n'est atteint que si l'on maîtrise en permanence la réponse des capteurs qui peut être affectée par des défauts produits par les parasites qui se superposent aux signaux, par les conditions d'utilisation, par le processus lui-même et par le milieu qui l'entoure. Nous abordons dans ce chapitre quelques-uns des principes qui permettent de mettre correctement en œuvre les capteurs. Les bases de ces principes reposent sur l'étalonnage, l'évaluation des incertitudes, le calcul des temps de réponse et le conditionnement. Notre propos vise surtout à donner au lecteur un guide assez général. [6]

I.3 Définitions et caractéristiques générales

La grandeur physique objet de la mesure : déplacement, température, pression, etc. est désignée comme le mesurande et représentée par m ; l'ensemble des opérations expérimentales qui concourent à la connaissance de la valeur numérique du mesurande constitue son mesurage. Lorsque le mesurage utilise des moyens électroniques de traitement du signal, il est nécessaire de produire à partir du mesurande une grandeur électrique qui en soit une représentation aussi exacte que possible, ceci signifie que la grandeur électrique et ses variations apportent toute l'information nécessaire à la

connaissance du mesurande. Le capteur est le dispositif qui soumis à l'action d'un mesurande non électrique présente une caractéristique de nature électrique (charge, tension, courant ou impédance) désignée par S et qui est fonction du mesurande [6]

$$S=F(m) \quad [I.1]$$

S : est la grandeur de sortie ou réponse du capteur, m est la grandeur d'entrée ou excitation. La mesure de S doit permettre de connaître la valeur de m (figure 1. 1). La relation $S= F(m)$ résulte dans sa forme théorique des lois physiques qui régissent.

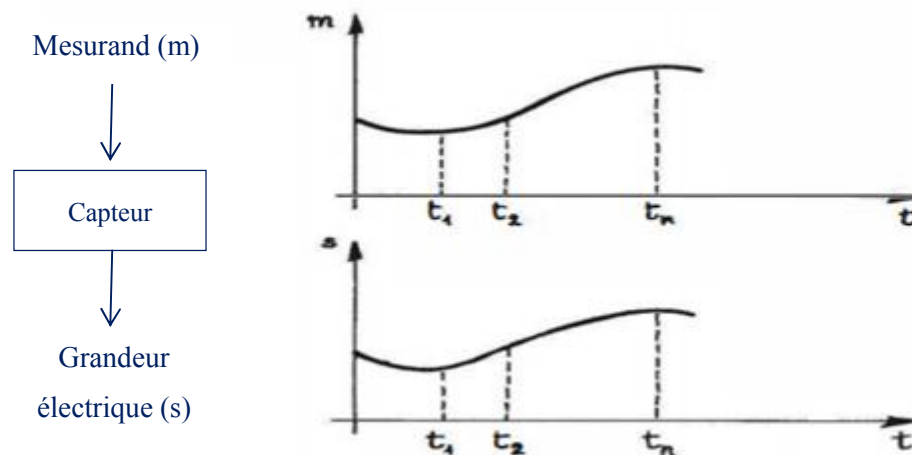


Figure I.1 Evolution d'un mesurande m et des réponses correspondantes d'un capteur [6]

Pour des raisons de facilité d'exploitation on s'efforce de réaliser le capteur, ou du moins de l'utiliser, en sorte qu'il établisse une relation linéaire entre les variations Δs de la grandeur de sortie et celles Δm de la grandeur d'entrée :

$$\Delta s=S.\Delta m \quad [I.2]$$

S est la sensibilité du capteur.

Un des problèmes importants dans la conception et l'utilisation d'un capteur est la constance de sa sensibilité S qui doit dépendre aussi peu que possible :

- de la valeur de m (linéarité) et de sa fréquence de variation (bande passante) , du temps .
- de l'action d'autres grandeurs physiques de son environnement qui ne sont pas l'objet de la mesure et que l'on désigne comme grandeurs d'influence.

En tant qu'élément de circuit électrique, le capteur se présente, vu de sa sortie :

- soit comme un générateur, S étant une charge, une tension ou un courant et il s'agit alors d'un capteur actif;
- soit comme une impédance, S étant alors une résistance, une inductance ou une capacité le capteur est alors dit passif.

Cette distinction entre capteurs actifs et passifs basée sur leur schéma électrique équivalent traduit en réalité une différence fondamentale dans la nature même des phénomènes physiques mis en jeu.

I.3.1 Capteurs actifs

Fonctionnant en générateur, un capteur actif est généralement fondé dans son principe sur un effet physique qui assure la conversion en énergie électrique de la forme d'énergie propre au mesurande : énergie thermique, mécanique ou de rayonnement. Les plus importants parmi ces effets sont regroupés tableau 1.1

Grandeur physique à mesurer	Effet utilisé	Grandeur de sortie
Température	Thermoélectricité	Tension
Température	Pyroélectricité	Charge
Flux de rayonnement optique	Photoémission	Courant
Flux de rayonnement optique	Effet photovoltaïque	Tension
Flux de rayonnement optique	Effet photo-électrique	Tension
Force ou pression	Piézo-Électricité	Charge
Accélération ou Vitesse	Induction électromagnétique	Tension
Position (aimant) ou Courant	Effet Hall	Tension

Tableau I.1 Capteurs actifs principes physiques de base

I.3.2 Capteurs passifs

Il s'agit d'impédances dont l'un des paramètres déterminants est sensible au mesurande. Dans l'expression littérale d'une impédance sont présents des termes liés :

- d'une part à sa géométrie et à ses dimensions ;
- d'autre part aux propriétés électriques des matériaux : résistivité ρ , perméabilité magnétique μ , constante diélectrique ϵ .

La variation d'impédance peut donc être due à l'action du mesurande :

- soit sur les caractéristiques géométriques ou dimensionnelles ;
- soit sur les propriétés électriques des matériaux ;
- soit plus rarement sur les deux simultanément.

Les paramètres géométriques ou dimensionnels de l'impédance peuvent varier si le capteur comporte soit un élément mobile, soit un élément déformable. Dans le premier cas, à chaque position de l'élément mobile correspond une valeur de l'impédance et la mesure de celle-ci permet de connaître la position ; c'est le principe d'un grand nombre de capteurs de position ou de déplacement : potentiomètre, inductance à noyau mobile, condensateur à armature mobile.

Le tableau 1.2 donne un aperçu des divers mesurands susceptibles de modifier les propriétés électriques de matériaux employés pour la réalisation de capteurs passifs.

Grandeur physique à mesurer	Caractéristique sensible	Matériaux utilisés
Température	Température	Métaux : platine, nickel, cuivre ...
Très basse température	Constante diélectrique	Verre
Flux de rayonnement optique	Résistivité	Semi-conducteur
Déformation	Résistivité	Alliage de Nickel, silicium dope
Déformation	Perméabilité magnétique	Alliage ferromagnétique
Position (aimant)	Résistivité	Matériaux magnéto résistants
Humidité	Résistivité	Chlorure de lithium

Tableau I.2 Capteurs passifs : principes physiques et matériaux

On y remarque, en particulier la place importante des capteurs résistifs.

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 types de conditionneurs le plus généralement utilisés sont :

- le montage potentiométrique : association en série d'une source, du capteur et d'une impédance qui peut être ou non de même type.
- l'amplificateur opérationnel dont l'impédance du capteur est l'un des éléments déterminants de son gain.

Le choix d'un conditionneur est une étape importante dans la réalisation d'un ensemble de mesure. C'est en effet l'association capteur-conditionneur qui détermine le signal électrique de la constitution du conditionneur dépendent un certain nombre de performances de l'ensemble de mesure : sensibilité, linéarité, insensibilité à certaines grandeurs d'influence. L'étude approfondie des conditionneurs est l'objet du chapitre

I.3.3 Corps d'épreuve et Capteurs composites

Pour des raisons de coût 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, le mesurande secondaire qu'un capteur adéquat traduit alors en grandeur électrique.

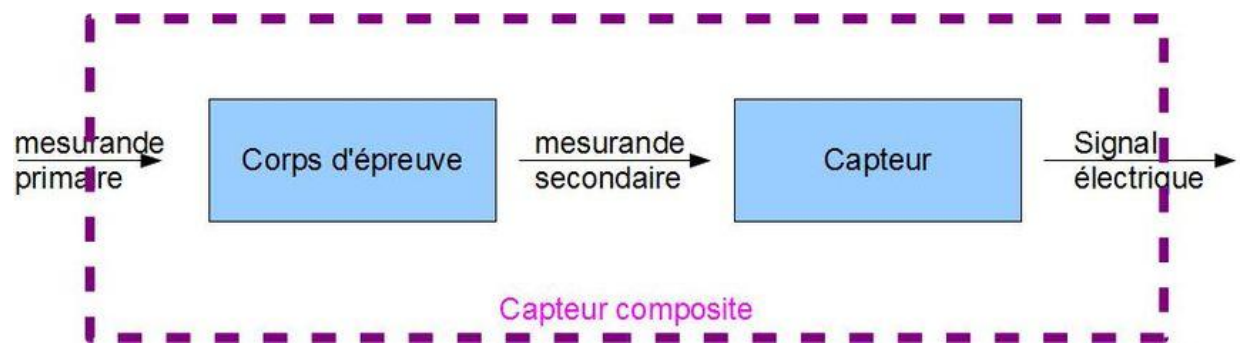


Figure I.2 Structure d'un capteur composite

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

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

1.4 Grandeurs d'influence

Le capteur, et ses conditions d'emploi, peut se trouver soumis non seulement au mesurande mais à d'autres grandeurs physiques dont les variations sont susceptibles d'entraîner un changement de la grandeur électrique de sortie qu'il n'est pas possible de distinguer de l'action du mesurande. Ces grandeurs physiques « parasites » auxquelles la réponse du capteur peut être sensible sont les grandeurs d'influence. Ainsi, par exemple :

- La température, qui modifie les caractéristiques électriques, mécaniques et dimensionnelles des composants du capteur .
- La pression, l'accélération et les vibrations susceptibles de créer dans certains éléments constitutifs du capteur des déformations et des contraintes qui altèrent la réponse.
- L'humidité à laquelle certaines propriétés électriques comme la constante diélectrique ou la résistivité peuvent être sensibles et qui risque de dégrader l'isolation électrique entre composants du capteur ou entre le capteur et son environnement
- Les champs magnétiques variables ou statiques ; les premiers créent des f.é.m. d'induction qui se superposent au signal utile, les seconds peuvent modifier une propriété électrique, comme la résistivité lorsque le capteur utilise un matériau magnéto résistant.
- La tension d'alimentation - amplitude et fréquence - lorsque, comme pour le transformateur différentiel, la grandeur électrique de sortie en dépend de par le principe même du capteur.

Si l'on désigne par g_1 , g_2 ... les grandeurs d'influence, la relation entre grandeur électrique de sortie s et mesurande m , qui dans le cas idéal serait :

$$S = F(m)$$

$$\text{Devein: } S = F(m, g_1, g_2 \dots)$$

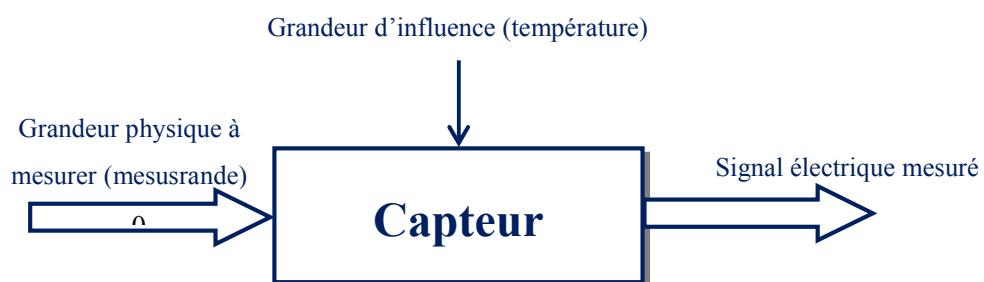


Figure I.3 Grandeurs d'influence

Afin de pouvoir déduire de la mesure de S la valeur de m , il est donc nécessaire :

- Soit de réduire l'importance des grandeurs d'influence au niveau du capteur en le protégeant par un isolement adéquat : supports antivibratoires, blindages magnétiques ;
- Soit de stabiliser les grandeurs d'influence à des valeurs parfaitement connues et d'étalonner le capteur dans ces conditions de fonctionnement
- Soit enfin d'utiliser des montages qui permettent de compenser l'influence des grandeurs parasites : pont de Wheatstone avec un capteur identique placé dans une branche adjacente au capteur de mesure.

I.5 Caractéristiques métrologiques

Le capteur, premier élément de la chaîne de mesure est la source déterminante du signal électrique que le reste de la chaîne doit traiter et exploiter. L'adaptation du capteur et de la chaîne de mesure implique que celle-ci n'ajoute pas au signal initial des incertitudes ou limitations supérieures à celles apportées par le capteur. C'est donc de la qualité du capteur que dépendent en premier lieu :

- d'une part, la plus ou moins bonne concordance entre valeur mesurée et valeur vraie du mesurande ;
- et d'autre part, les limites de l'incertitude sur la valeur mesurée.

Un capteur est caractérisé selon plusieurs critères dont les plus courants sont :

- La grandeur physique observée ;
- Son étendue de mesure (gamme de mesure) ;
- Sa sensibilité ;
- Sa résolution ;
- Sa précision ;
- Sa reproductibilité ;
- Sa linéarité ;
- Son temps de réponse ;
- Sa bande passante ;
- Son hystérésis ;
- Sa gamme de température d'utilisation.

Pour utiliser un capteur dans les meilleures conditions, il est souvent utile de pratiquer un étalonnage et de connaître les incertitudes de mesure relatives à celui-ci

I.5.1 Sensibilité

Définition générale : C'est une spécification déterminante dans le choix d'un capteur ; de façon générale la sensibilité S est définie, autour d'une valeur mi constante du mesurande, par le rapport de la variation Δs de la grandeur de sortie à la variation Δm du mesurande qui lui a donné naissance :

La valeur de la sensibilité, dans des conditions d'emploi spécifiées est généralement fournie par le constructeur , elle permet à l'utilisateur :

- d'estimer l'ordre de grandeur de la réponse du capteur, connaissant l'ordre de grandeur des variations du mesurande;
- de choisir le capteur de façon que la chaîne de mesure dans son ensemble satisfasse aux conditions de mesure imposées

L'unité en laquelle est exprimée S résulte du principe qui est à la base du capteur et des ordres de grandeur mis en jeu

$$S(E) = S_1 * E = \left(\frac{\Delta s}{\Delta m} \right) \quad [I.4]$$

$$\text{Soit : } S_1 = \frac{1}{E} \left(\frac{\Delta s}{\Delta m} \right) \quad [I.5]$$

Le constructeur indique dans ce cas S_1 qui est la sensibilité par volt de tension d'alimentation. En outre, lorsque le capteur comporte des circuits dont l'impédance a une composante réactive, la fréquence de la tension d'alimentation intervient elle aussi dans la fixation de la sensibilité

I.5.2 Fidélité - justesse - précision

La fidélité est la qualité d'un appareillage de mesure dont les erreurs accidentelles sont faibles, elle se traduit par des résultats de mesurage groupés autour de leur valeur moyenne. L'écart type dont l'importance reflète la dispersion des résultats est souvent considéré comme l'erreur de fidélité.

Lajustesse est la qualité d'un appareillage de mesure dont les erreurs systématiques sont réduites : la valeur la plus probable du mesurande qu'un tel appareillage permet de déterminer est alors très proche de la valeur vraie.

La précision qualifie l'aptitude de l'appareillage de mesure à donner des résultats qui, individuellement, sont proches de la valeur vraie du mesurande : un appareillage précis est donc à la fois fidèle et juste (figure I.4).

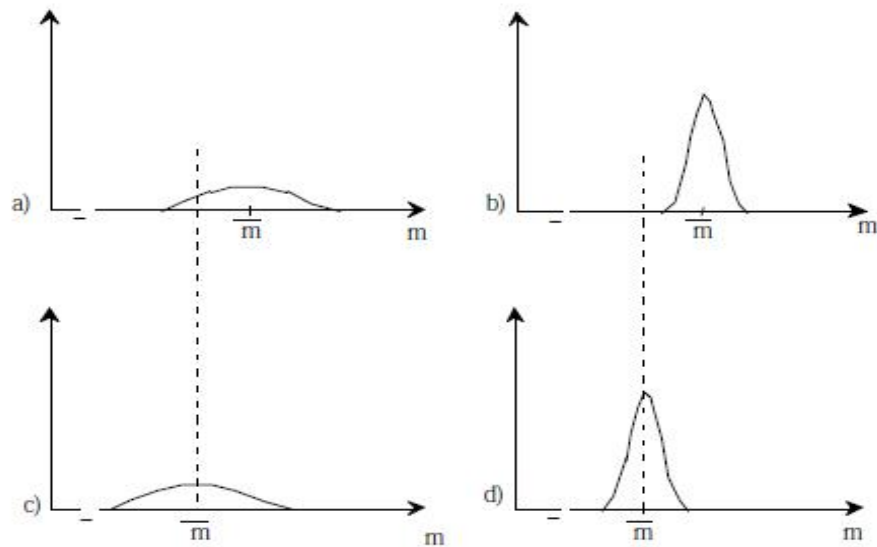


Figure I.4 Fidélité, justesse, exactitude. Les pointillés indiquent la valeur vraie (μ).

Les pointillés indiquent la valeur vraie (μ) en :

- le capteur ni juste ni fidèle,
- le capteur est fidèle mais non juste,
- le capteur est juste mais non fidèle,
- le capteur est juste et fidèle.

La mesure d'une grandeur physique avec une précision donnée exige :

- le choix d'une méthode de mesure .
- la sélection du capteur approprié .
- la conception et la réalisation de la chaîne de mesure associée.

Lors de l'étude de chaque type de capteur seront décrites les méthodes de mesure les plus adaptées à son emploi.

I.5.3 Rapidité - Temps de réponse

La rapidité est la spécification d'un capteur qui permet d'apprécier de quelle façon la grandeur de sortie suit dans le temps les variations du mesurande. La rapidité est donc liée au temps nécessaire pour que la contribution du régime transitoire à la grandeur de sortie devienne négligeable dans des conditions de précision définies

Le temps de réponse c'est l'intervalle de temps qui s'écoule après une variation brusque (échelon) du mesurande jusqu'à ce que la variation de la sortie du capteur ne diffère plus de sa valeur. Un capteur est d'autant plus rapide que son temps de réponse est plus court. Le temps de réponse, caractéristique de la vitesse d'évolution du régime transitoire peut être exprimé en fonction des paramètres qui déterminent ce régime.

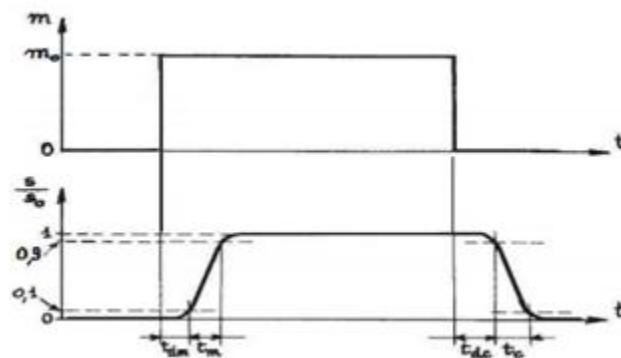


Figure I.5 Définitions de divers intervalles de temps caractéristiques du régime transitoire[6]

- Le temps de retard à la montée ou délai à la montée, t_{dm} est le temps nécessaire pour que la grandeur de sortie s croisse, à partir de sa valeur initiale, de 10 % de sa variation totale
- Le temps de montée, t_m , est l'intervalle de temps correspondant à la croissance de s de 10 % à 90 % de sa variation totale.
- Dans le cas d'un échelon du mesurande entraînant la décroissance de la grandeur de sortie :
- Le temps de retard à la chute ou délai à la chute, t_{dn} est le temps qu'il faut pour que la grandeur de sortie s décroisse à partir de sa valeur initiale de 10 % de sa variation totale
- Le temps de chute, t_c est l'intervalle de temps correspondant à la décroissance de s de 10 % à 90 % de sa variation totale.

I.6 Erreurs de mesure dans les capteurs

Les erreurs de mesure ont des causes systématiques que l'opérateur peut corriger ou non. Ces erreurs ont des causes clairement identifiées et prévisibles. Parmi ces erreurs, il faut considérer aussi l'erreur de linéarité. Ces erreurs correspondent à la distance entre la moyenne des mesures et le mesurande.

On peut citer quelque type d'erreur du capteur comme suite :

I.6.1 Erreurs de mesure

Les seuls mesurande dont la valeur est parfaitement connue sont les grandeurs étalons puisque leur valeur est fixée par convention. La valeur de tout autre mesurande ne peut être connue qu'après traitement par une chaîne de mesure. C'est la valeur vraie du mesurande qui détermine l'excitation du capteur, mais l'expérimentateur n'a accès qu'à la réponse globale de la chaîne de mesure : cette réponse, exprimée en unités du mesurande, est la valeur mesurée. L'écart entre valeur mesurée et valeur vraie est l'erreur de mesure : celle-ci est due en particulier aux imperfections de la chaîne de mesure qui dégradent l'information du signal au cours de son traitement. L'erreur de mesure ne peut être qu'estimée : la valeur vraie du mesurande ne peut donc être connue. Cependant, une conception rigoureuse de la chaîne de mesure permet de réduire l'erreur de mesure et donc l'incertitude sur la valeur vraie.

I.6.2 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 :

- étalonnage 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...

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

Erreurs sur la valeur d'une grandeur de référence .Par exemple, décalage du zéro d'un appareil de mesure à déviation, valeur erronée de la température de référence d'un thermocouple (mélange eau-glace impures par exemple) , valeur inexacte de la tension d'alimentation d'un pont. Ce type d'erreur peut être réduit par la vérification soignée des appareillages associés.

I.6.3 Erreurs accidentelles

L'apparition de ces erreurs comme leur amplitude et leur signe sont considérés comme aléatoires. Certaines des causes peuvent être connues mais les valeurs des erreurs qu'elles entraînent au moment de l'expérience sont inconnues. Diverses causes possibles d'erreurs accidentelles sont indiquées ci-après.

I.6.4 Erreurs dues au mode ou aux conditions d'emploi

- **Erreur de rapidité:** la vitesse de réponse d'un capteur et de l'équipement associé est généralement finie et toute mesure effectuée avant que ne soit atteint le régime permanent est entachée d'erreur. C'est ainsi qu'une même sonde de température à une vitesse de réponse très différente selon qu'elle se trouve placée dans un fluide au repos ou en mouvement.
- **Erreur d'hystérésis:** lorsque l'un des éléments de la chaîne de mesure comporte un composant présentant de l'hystérésis (hystérésis mécanique d'un ressort, hystérésis magnétique d'un matériau ferromagnétique) sa réponse dépend, dans une certaine mesure, de ses conditions d'utilisation antérieures. L'erreur d'hystérésis est spécifiée comme étant la moitié de l'écart maximal des valeurs de la grandeur de sortie correspondant à une valeur du mesurande, selon que cette dernière est obtenue par valeurs croissantes ou décroissantes.
- **Erreur de mobilité:** en dessous d'une certaine valeur, les variations du mesurande n'entraînent pas de variation décelable du signal électrique fourni par le capteur. C'est le cas, par exemple, pour un potentiomètre bobiné pour lequel un déplacement du curseur inférieur à la distance entre deux spires peut n'entraîner aucune variation de la tension du curseur. L'erreur de mobilité est spécifiée comme la variation maximale du mesurande qui n'entraîne pas de variation détectable de la grandeur de sortie du capteur.

- **Erreur de lecture** d'un appareil à déviation : celle-ci résulte d'une part de la plus ou moins grande habileté de l'opérateur mais aussi, d'autre part, de la qualité de l'appareil: finesse de l'aiguille par exemple. La combinaison de l'erreur relative de mobilité (ε_m) et de l'erreur relative de lecture (ε_l) détermine l'erreur relative de résolution (ε_r) qui correspond à la variation minimale du mesurande mesurable avec un appareillage donné :

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_m^2 + \varepsilon_l^2} \quad [I.3]$$

- **Erreurs dues à des grandeurs d'influence**

Lorsque les conséquences des variations de grandeurs d'influence n'ont pas été prises en compte lors de l'étalonnage, on peut considérer leur contribution comme étant de caractère aléatoire. Un appareillage ayant été étalonné à 20 ° C, toute variation de température de part ou d'autre de 20 °C pourra entraîner des variations de performances et donc du signal mesuré.

I.6.5 Réduction des erreurs accidentelles

L'importance de ces erreurs peut dans certains cas être réduite par des dispositifs ou des méthodes expérimentales appropriées :

- protection de la chaîne de mesure vis-à-vis des causes d'erreur : maintien en atmosphère à température stabilisée et à hygrométrie contrôlée, supports antivibratoires, régulation des tensions d'alimentation, amplificateurs à faible dérive, convertisseurs analogique-numérique de résolution suffisante, blindages et mises à la masse convenables, utilisation d'amplificateurs d'instrumentation à taux de réjection du mode commun élevé, filtrage des signaux parasites.
- utilisation de modes opératoires judicieux : méthodes de mesure différentielle (montage push-pull par exemple), élimination de l'influence des inductions parasites du secteur par convertisseur à double rampe, extraction d'un signal du bruit par détection synchrone.

I.7 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.7.1 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.7.2 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.

I.8 Capteurs de position et déplacement [6]

- Ces capteurs sont d'un emploi très général, d'une part, parce que le contrôle des positions et déplacements est un élément important pour le fonctionnement correct de beaucoup de machines, machines-outils par exemple; d'autre part, parce qu'un certain nombre de grandeurs physiques sont mesurables par les déplacements qu'elles imposent à des corps d'épreuve : c'est le cas des forces, des pressions, des accélérations, de la température, etc.
- Il y a deux méthodes fondamentales utilisées pour le repérage des positions et la mesure des déplacements. Dans la première méthode, la plus fréquemment utilisée,

le capteur fournit un signal qui est fonction de la position de l'une de ses parties liée à l'objet mobile et les variations de ce signal traduisent le déplacement ; le groupe le plus important de ce type est constitué à partir d'impédances électriques dont l'une des caractéristiques géométriques ou dimensionnelles est variable avec la position de l'élément mobile : potentiomètre, inductance à noyau mobile, condensateur à armature mobile, transformateur à couplage variable.

- Dans la seconde méthode, d'emploi moins fréquent, le capteur délivre une impulsion à chaque déplacement élémentaire : la position et les déplacements sont déterminés par comptage des impulsions émises, ou décomptage selon le sens du déplacement. Il s'agit dans ce cas de capteurs incrémentaux. Les capteurs dits de proximité sont caractérisés par l'absence de liaison mécanique avec l'objet dont ils mesurent la distance ou le déplacement : ils ont donc une grande finesse. Le couplage entre l'objet en déplacement et le capteur est établi par l'intermédiaire d'un champ magnétique, électromagnétique ou électrostatique.

I.8.1 Potentiomètre résistif [4]



Figure I.6 Différentes type des potentiomètres résistif

Il s'agit d'un capteur dont la simplicité du principe conduit à des réalisations de coût modéré , le signal de mesure qu'il permet d'obtenir peut être d'un niveau relativement important et il n'exige pas de circuit de traitement spécifique. Cependant, il est le siège de frottements internes qui affectent sa finesse, sont une source de bruit et la cause d'une usure qui entraîne la dégradation de ses performances (linéarité, précision) et fixe une limite au nombre de manœuvres qu'il peut subir.

En outre, son fonctionnement peut être affecté par l'atmosphère ambiante (humidité, poussières).

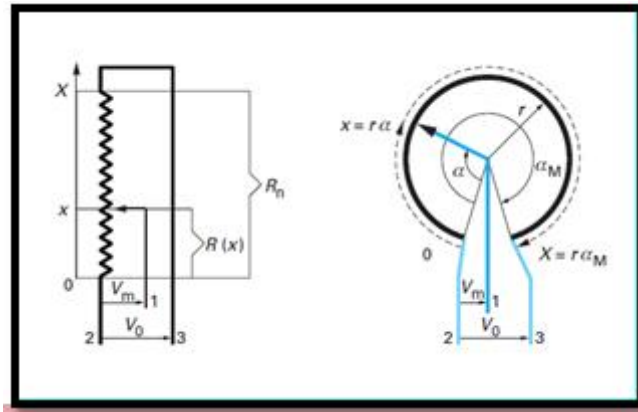


Figure I.7 Potentiomètre de mesure de déplacement rectiligne et angulaire [4]

Ce type de capteurs, appelé potentiomètre résistif, est basé sur le principe du diviseur de tension. Le déplacement, linéaire x ou angulaire α , d'un curseur mobile sur une piste résistive fixe R_n fournit un signal de sortie du pont diviseur V_m directement proportionnel à la position du curseur. le potentiomètre de déplacement rectiligne

Donc La résistance s'exprime $R = \rho \frac{d}{S}$ (ohm) avec

Section S (m^2) ;

Distance d (m) ;

Résistivité ρ ($\Omega \cdot m$).

$$V = \frac{R_d}{R_D - d + R_d} E = \frac{R_d}{R_D} E = \frac{\rho \frac{d}{S}}{\rho \frac{D}{S}} E = \frac{d}{D} E \quad [II.3]$$

Selon la forme géométrique de la résistance fixe et donc du mouvement du curseur, on distingue (figure I.7) :

- le potentiomètre de mesure de déplacement rectiligne :

$$R(x) = \frac{x}{X} R_n \quad \text{et} \quad \frac{V_m - R(x)}{V_0 - R_n} = \frac{x}{X} \quad [I.6]$$

- le potentiomètre de mesure de déplacement angulaire :

$$R(\alpha) = \frac{\alpha}{\alpha_M} R_n \quad \text{et} \quad \frac{V_m - R(\alpha)}{V_0 - R_n} = \frac{\alpha}{\alpha_M} \quad [I.7]$$

Il existe plusieurs formes et tailles de potentiomètres, mais ils peuvent être classés en deux grandes catégories : potentiomètres ajustables et potentiomètres de tableau. Chacune de ces catégories peut être subdivisée à son tour en plusieurs familles, selon la forme du potentiomètre, la courbe de variation, le nombre de tours pouvant être effectués, le matériau utilisé pour réaliser la piste résistive. Un potentiomètre simple possède le plus souvent trois broches, mais il en existe avec plus de broches.

I.8.2 Potentiomètres pour circuit imprimé

On choisit généralement ces potentiomètres quand on sait d'avance qu'ils seront souvent manœuvrés, ce qui est dans notre cas ou par exemple des potentiomètres de volume ou de tonalité (graves / aigus) sur un ampli hifi (potentiomètres rotatifs), L'axe du curseur d'un potentiomètre rotatif, en plastique ou en métal, a un diamètre standard de 6mm, mais il existe des axes de diamètre plus petit (4 mm et encore moins pour certains modèles). A la limite de l'axe, côté potentiomètre, un filetage permet de fixer le potentiomètre en l'insérant dans un simple trou (de 10 ou 12 mm par exemple) et en l'immobilisant avec un écrou le plus souvent associé à une rondelle.



Figure I.8 Potentiomètres pour circuit imprimé

La majorité des potentiomètres possède un axe sur lesquels on peut fixer un bouton en aluminium ou en plastique pour faciliter la prise en main, mais il en existe aussi dont le curseur ne peut être actionné que par 'un tournevis.

Certains potentiomètres disposent de pattes de connexion prévues pour être directement soudées sur un circuit imprimé (les pattes sont alors pointues et assez fines), alors que d'autres disposent de pattes de connexion prévues pour accueillir un fil électrique (les pattes sont arrondies et creusées, et ressemblent un peu à des cosses à souder). La photo qui suit montre un exemple de potentiomètre utilisé dans les petits postes de radio, talki-walki, ou autre appareil portable encore doté d'un réglage de volume rotatif :



Figure I.9 Potentiomètre

Histoire de me contredire : pour ce potentiomètre, les pattes sont arrondies et creusées, ressemblent un peu à des cosses à souder, et sont quasiment toujours directement soudées sur le circuit imprimé.

I.8.3 Potentiomètres ajustables

Il s'agit simplement d'une version miniature des potentiomètres de tableau. Les potentiomètres ajustables sont conçus pour être soudés directement sur un circuit imprimé, et sont généralement destinés à être réglés une fois pour toute, ou tout du moins très occasionnellement. Leur forme les destine à être placés directement sur un circuit imprimé, en un lieu souvent peu accessible de l'utilisateur final.



Figure I.10 Potentiomètres ajustables

La photo ci-dessus fait apparaître qu'il existe des potentiomètres prévus pour être montés verticalement (3ème potentiomètre à partir de la gauche), et des potentiomètres prévus pour être montés horizontalement (les autres). L'usage d'un tout petit tournevis est requis pour modifier la position du curseur. N'utiliser surtout pas un tournevis trop gros, vous seriez obligé de forcer pour faire tourner la partie mobile, ce qui conduirait de façon quasi-certaine à la détérioration du composant.

I.8.4 Potentiomètres multi tours

Les potentiomètres multi tours (3, 5 ou 10 tours) permettent un réglage très précis. Il existe des potentiomètres multi tours de tableau et des potentiomètres multi tours ajustables. Les premiers sont principalement utilisés pour (par exemple) régler

précisément la tension de sortie d'une alimentation secteur de laboratoire, ou la fréquence d'un générateur BF ou HF. Les seconds sont souvent utilisés pour ajuster un paramètre qui ne devrait normalement plus avoir besoin d'être retouché pendant la durée de vie de l'appareil (annulation d'une tension d'offset ou réjection en mode commun d'un étage d'entrée différentiel par exemple), ou qui ne devrait être réajusté que très occasionnellement (après une panne ou après un entretien, par exemple). Comme un potentiomètre multi tours coute bien plus cher qu'un potentiomètre standard, les fabricants les réservent quand ils sont vraiment indispensables et que leur équipement doit "tenir" des caractéristiques serrées.

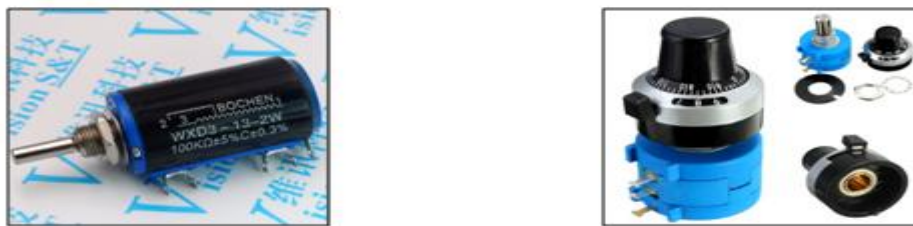


Figure I.11 Potentiomètres multi tours

I.8.5 Utilisation de potentiomètre

Principe repose ici sur le prélèvement d'une partie d'un signal, prélèvement plus ou moins important (rien ou totalité) selon la position du curseur. On dit que le potentiomètre est utilisé en diviseur de tension résistif. On applique la totalité du signal entre les deux pattes extrêmes, et on récupère une fraction plus ou moins importante entre le curseur et une des deux extrémités. Utilisation courante : réglage de volume, mélange entre un signal traité et un signal non traité, balance Gauche/Droite. Dans ce mode, les trois pattes du potentiomètre sont utilisées.

I.8.6 Matériau

Différents matériaux peuvent être utilisés pour constituer la piste principale d'un potentiomètre. Du matériau utilisé dépendra la qualité générale et la fiabilité du composant.

I.8.7 Potentiomètres doubles (2x3broches)

Il s'agit simplement de deux potentiomètres simples électriquement indépendants mais couplés mécaniquement et partageant le même axe de commande.



Figure I.12 Potentiomètres doubles(2x3broches)

I.8.8 Résistance

Elle peut être constituée soit par un fil bobiné soit par une piste conductrice. Le fil doit présenter les qualités suivantes : coefficient de température de la résistivité et f.é.m. thermoélectrique avec le cuivre faibles, stabilité cristallographique et résistance à la corrosion. Les alliages habituellement utilisés sont du type : Ni-Cr, Ni-Cu, Ni-Cr-Fe, Ag-Pd. Le fil, bobiné sur un mandrin isolant (verre, céramique ou plastique), est lui-même isolé par un émail ou par oxydation superficielle, il est dénudé sur la partie en contact avec le curseur.

Les pistes conductrices sont fabriquées à partir d'un plastique chargé par une poudre conductrice de carbone ou de métal dont les grains ont des dimensions de l'ordre de μm . À l'échelle des grains, la structure de la piste est donc électriquement discontinue, ce qui fixe une limite à la résolution. Les valeurs de la résistance R_n sont le plus souvent comprises entre 1 k Ω et 100 k Ω mais peuvent atteindre quelques M Ω .

I.8.9 Tolérance sur la valeur de la résistance

Pour les potentiomètres standards la tolérance sur la valeur de R_n est selon les cas de $\pm 20\%$ ou $\pm 10\%$; elle peut être ramenée à $\pm 5\%$. En fait, une grande précision sur la valeur de la résistance n'est en général pas nécessaire dans les montages de mesure où le signal résulte du rapport de résistances $R(x)/R_n$.

I.8.10 Coefficient de température de la résistance

Il est en général plus élevé pour les résistances à piste (de l'ordre de $-3 \cdot 10^{-4} / ^\circ\text{C}$) il est d'importance secondaire si la température du potentiomètre est homogène et si le signal n'est fonction que du rapport $R(x)/R_n$.

I.8.11 Linéarité propre

De faibles inhomogénéités dans la structure ou la composition des matériaux, de légères irrégularités dans les dimensions peuvent entraîner un défaut de linéarité de la

résistance qui se traduit par une variation, au cours du déplacement, de l'accroissement unitaire $\Delta R(x)/\Delta x$. L'ordre de grandeur de l'écart entre la courbe réelle $R(x)$ et la meilleure droite est selon les types de 0,01 % à 1 % de R_n .

I.8.12 Curseur

Le curseur doit assurer un bon contact électrique ce qui implique : l'absence de f.é.m. de contact, une résistance de contact faible et stable, d'une part dans le temps (usure), d'autre part en présence de vibrations ou de vitesse élevée de déplacement du curseur. La résistance de contact dépend de la pression du curseur, de la nature et de l'état des surfaces en contact, elle est nettement plus élevée pour les potentiomètres à piste conductrice, elle peut atteindre quelques de la résistance de la piste. En outre les variations aléatoires de cette résistance au cours du déplacement sont une source de bruit, c'est l'un des inconvénients des potentiomètres à piste conductrice mais il n'est apparent que si le courant dérivé par le curseur est relativement important

I.9 Conclusion

La qualité d'une mesure est donc de façon primordiale déterminée, d'une part, par le choix judicieux du capteur et de son conditionneur et, d'autre part, par l'exploitation pertinente de leurs qualités métrologiques. Pour un même mesurande, il existe généralement divers types de capteurs basés sur des phénomènes différents et dotés de caractéristiques métrologiques spécifiques. En fonction des conditions imposées par le problème particulier à résoudre (volume disponible, étendue de mesure, bande passante, temps de réponse...), il faut savoir choisir le capteur et le conditionneur les plus appropriés. Le capteur et son conditionneur ayant été choisis, il faut que l'utilisateur sache en disposer afin de minimiser les perturbations apportées au processus ou subies de son chef (grandeurs d'influence).

Le capteur idéal est celui pour lequel :

- on dispose d'une relation linéaire connue entre la grandeur à mesurer et le signal de sortie du capteur
- les conditions d'emploi sont telles qu'aucune grandeur d'influence ne perturbe son fonctionnement
- aucun bruit parasite ne se superpose au signal utile

C

HAPITRE II
INCLINOMÈTRE

II.1 Introduction

Dans l'histoire du positionnement les instruments de mesures d'angles occupent une place privilégiée. La détermination des longitudes et latitudes astronomiques a été essentiellement basée sur la mesure d'angles horizontaux et verticaux, associée à des mesures de temps. Pendant longtemps la précision de ces mesures angulaires a été largement supérieure à celle des instruments de mesures de distances. Il a fallu attendre l'apparition des appareils électroniques de distances dans les années 1980 pour voir s'inverser cette tendance. On ne peut parler d'inclinaison sans définir une surface ou une direction de référence. Tout naturellement, nous utilisons la verticale locale définie, par exemple, par la direction d'un pendule, ou la perpendiculaire à la surface

II.2 Généralité à propos de l'inclinomètre

L'usage a consacré l'emploi du mot inclinomètre pour désigner le capteur qui mesure l'inclinaison par rapport à la verticale (c'est-à-dire Terminologie celle qui serait donnée par le fil à plomb). Le mot clinomètre est utilisé lorsque le capteur fournit l'inclinaison d'un support par rapport à l'horizontale (le principe de la mesure est alors analogue, à celui du niveau, comme schématisé sur la figure II 1 b, qui donnerait la direction orthogonale à celle indiquée par le fil à plomb).

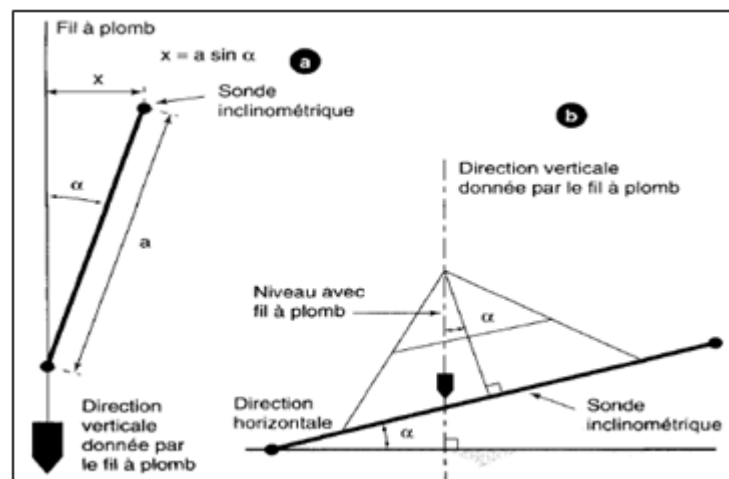


Figure II.1 Principe de la mesure par le fil à plomb

Un inclinomètre est un capteur servant à mesurer des angles par rapport à la ligne d'horizon (ou horizontale). Là où le niveau à bulle (ou niveau) permet de détecter précisément où se situe l'horizontale, l'inclinomètre détermine en plus l'angle d'inclinaison par rapport à cette ligne horizontale.

Les mesures inclinométrique sont utilisées dans le domaine de la géotechnique ceci afin de pouvoir déterminer la position d'un forage ou d'un tubage mise en place dans le terrain, ou de connaître le comportement (inclinaison et déplacement) dans le temps d'élément d'ouvrage, et aussi de pouvoir suivre l'évolution en fonction du temps des mouvements d'une pente instable et servir d'alarme si besoin.

II.3 Historique

Le fil à plomb ou la surface libre d'un liquide sont connus depuis longtemps pour définir une verticale ou une référence horizontale. Les Egyptiens utilisaient déjà les principes de l'hydrostatique pour déterminer l'horizontale lors de la construction des pyramides. Mais la nécessité de mesurer en continu des variations de la verticale n'est apparue que bien plus tard, depuis le début du XX^e siècle, les développements instrumentaux se succéderont, tout comme les méthodes de calculs et les modèles théoriques. Aujourd'hui, les limitations ne résident plus dans la technique (que ce soit pour la sensibilité des instruments, l'enregistrement des données ou les techniques d'analyse), mais bien dans le couplage au sol et la fiabilité de l'interprétation des résultats. Ce n'est en effet pas parce qu'un instrument fonctionne à la sensibilité de marée que tout signal de cet ordre de grandeur sera significatif

II .4 Description de l'inclinomètre et de ces composants

Cet appareil de mesure indique la valeur de l'angle et la pente, exprimé en pourcentage par rapport à l'horizontale.

Il fonctionne dans une plage allant de -45% à +45% il est donc adapté aux profils usuels des tracés routiers.



Figure II.2 Inclinomètre numérique

II.5 Types d'inclinomètres

Les inclinomètres conviennent parfaitement pour mesurer les inclinaisons par rapport au centre de la terre et les transférer sous forme de retour de position à un système de commande supérieur. La base des anciens inclinomètres (également appelés capteurs d'inclinaison, détecteurs d'inclinaison ou indicateurs de pente) était un simple pendule dont l'orientation se modifiait en fonction du mouvement d'inclinaison. Cette modification d'orientation était ensuite analysée de manière optique, capacitive, inductive ou électronique.

II.5.1 Inclinomètre à pendule simple

Inclinomètre à Pendule simple Dans ce cas, l'inclinomètre est un capteur passif. L'aiguille est solidaire du pendule et indique l'inclinaison en couissant sur un cadran. Ces objets sont simples et ne nécessitent pas d'apport extérieur d'énergie ; leur précision est faible.

II.5.2 Inclinomètre avec technologie MEMS

Les capteurs d'inclinaison SIKO fonctionnent tous selon le principe moderne de la technologie MEMS. (Micro-Electronic-Mechanical System, soit un système microélectromécanique). Dans le cas de ce principe de mesure, une série d'électrodes est logée dans une puce ASIC hermétique. La tension entre les électrodes est mesurée de façon capacitive. La mesure peut être effectuée aussi bien sur 1 axe (0 à 360°) que sur 2 axes ($\pm 80^\circ$), la précision maximale du système étant de 0.1° et la résolution de 0.01° .

Les données de mesure sont aussitôt délivrées de manière analogique (0 à 10 V ou 4 à 20 mA) ou numérique (RS232) ou bien via une interface CANopen. En cas d'utilisation d'une interface CANopen, il est possible de raccorder jusqu'à 127 utilisateurs au bus.

II.5.3 Inclinomètre à liquide

Modèle entrée de guerre. Cet appareil est un niveau rendu apériodique par une forme appropriée du verre et la densité du liquide employé. La lecture s'effectue sur une échelle graduée de $+20^\circ$ à -20° et devant laquelle se déplace la colonne liquide.

II.5.4 Inclinomètre digital

L'objectif de cet inclinomètre est de déterminer l'inclinaison (sité) avec une précision de l'ordre de 0.1deg . Ceci afin de permettre le positionnement d'un ensemble d'aériens EME, satellite ou hyperfréquence avec une bonne précision et reproductibilité.

II.5.5 Inclinomètre silicium

Le capteur est formé d'un élément sensible et d'une électronique de conditionnement du signal. L'élément sensible est un système micro usiné sur silicium, généralement constitué d'un peigne capacitif se déformant en fonction de l'action de la gravité. Ce sont des appareils peu chers, mais d'une précision moyenne, qui ont également de la difficulté à donner une mesure précise aux alentours de 90 degrés.

II.6 Domaines d'applications d'un inclinomètre

Les domaines d'applications d'un inclinomètre sont très variés. On les trouve dans le secteur des :

- Energies renouvelables pour mesurer l'inclinaison des panneaux solaire.
- Le génie médical appareils d'IRM (imagerie par résonance magnétique).
- Des capteurs d'inclinaison est l'automatisation mobile. Surveiller la position de la nacelle sur un camion de pompiers ou bien vérifier le nivellement de machines de construction ou de véhicules municipaux sur des terrains accidentés
- Alpinisme
- Astronomie (position des satellites)
- Bâtiment et travaux publics
- Construction de routes (inclinaison dans les courbes...)
- Géologie boussole(réf. Nécessaire).
- Industrie (Mise à l'horizontale de bâtis de machines)
- Militaire (Mesure de l'inclinaison de la tourelle d'un char avant le tir)
- Navigation (Inclinomètre extérieur sur un Navire Mesure de l'inclinaison transversale (la gîte) d'un bateau
- Sylviculture (Mesure des pentes et des hauteurs d'arbres)

II.7 Conditionneurs du signal

Le capteur et son conditionneur éventuel (potentiomètre) sont la source du signal électrique dont la chaîne de mesure doit assurer le traitement de la façon la plus appropriée au but poursuivi. On se propose dans ce chapitre d'étudier un certain nombre de dispositifs de traitement, dits conditionneurs du signal, dont la fonction est en rapport direct avec la nature du signal telle que celle-ci résulte d'une part des caractéristiques

propres du capteur et le cas échéant de son conditionneur et d'autre part des conditions pratiques de la mesure.

Les problèmes examinés concernent :

- la linéarisation du signal.

II.8 Fonctionnement détaillé du montage

En considérant un triangle rectangle (figure II.3) dont le côté <<A>> est assimilé à la verticale tandis que côté <> correspond à une direction horizontale, la pente est définie par la relation :

$$\text{pente}(\%) = \frac{a}{b} \times 100 \quad [\text{II. 1}]$$

Si <<A>> est l'angle aigu opposé au côté <<a>> du triangle rectangle précédemment défini, on peut aussi écrire l'égalité :

$$\text{tg} = \frac{a}{b} \quad [\text{II. 2}]$$

$$\text{D'où pente}(\%) = 100 \text{ tg} \alpha \Rightarrow \alpha = \text{arc tg} \frac{p}{100}$$

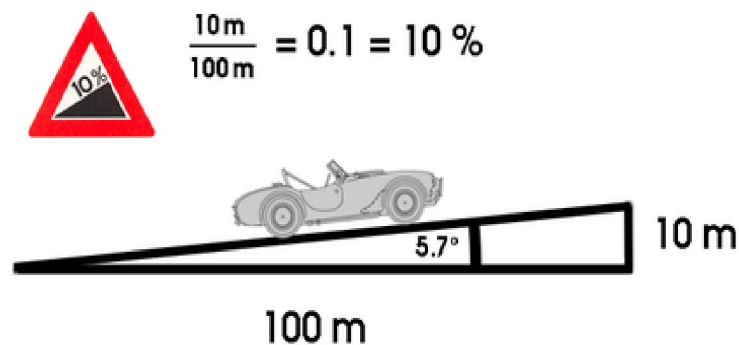
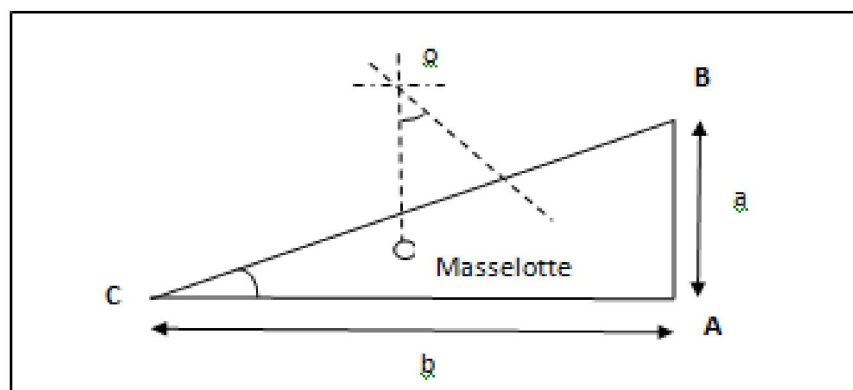


Figure II.3 Calcul de pente

II.8.1 Principe de mesure adoptée

Le principe retenu est la mesure de l'angle que forme une tige articulée autour d'un point fixe O, (l'extrémité de laquelle est fixée une masselotte) avec la perpendiculaire au plan oblique dont on veut connaître la pente étant donné la gravité, la tige prend une orientation verticale .

En vertu de l'égalité des angle dont les cotes sont perpendiculaire ,la tige forme alors , avec cette perpendiculaire ,l'angle a défini ci-dessus la mise en évidence de l'angle a est réalisée par la mesure de la variation de la résistance d'un potentiomètre dont l'axe de commande constitue l'axe de rotation autour du point fixe O, en effet en utilisant un potentiomètre à variation linéaire ,la résistance varie proportionnellement avec l'angle de relation de curseur

II.9 Etude théorique de l'inclinomètre

Pour l'étude théorique en a besoin de calcule les paramètres suivant :

II.9.1 Détermination de l'angle α

Est fixée une tige à l'extrémité de la quelles se trouve une masselotte de 150 à 200 g avant la fixation de la tige sur l'axe du potentiomètre ce dernier a été placé en position médiane, ainsi lorsque la tige prend sa position verticale de repos imposée par la pesanteur on relève au niveau de la sortie médiane un potentiel nul par rapport au potentiel de référence évoqué ci-dessus.

Le potentiomètre retenu indépendamment de sa grande faculté de résolution se caractérise par un très faible couple résistant de rotation cette qualité provient en partie de la démultiplication mécanique interne propre aux multi tours de ce fait il est sensible à la moindre variation de déclivité par rapport au plan horizontale lorsque cette déclivité varie dans un sens ou dans l'autre on relève au niveau de la sortie médiane du potentiomètre un potentielle U peut être positive ou négative suivant le sens de la déclivité on peut d'ailleurs calculer cette valeur U en fonction de la valeur de l'angle α .

$$U = \frac{\alpha}{360 \times 10} \times 5(\text{Volts}) = \frac{\alpha}{400} (\text{Volts}) = 2,5 V \text{ [II. 3]}$$

Etant donné que l'inclinomètre a une capacité maximale de mesure correspondante a un angle α de 90 degrés U peut évoluer entre deux limites égales à :

$$U = \pm \frac{90}{3600} \times 5 \text{ soit } \pm 125 \text{ V [II. 4]}$$

Le tableau II.1 indiquent quelques valeurs de U en fonction de la pente :

Tableau II.1 U en fonction de la pente et de degré

U(V)	α (deg)	Pente (%)
2.5	0°	0
3	24°	0.44
3.5	48°	1.11
4	72°	3.07
4.5	90°	Error
5	90°	Error

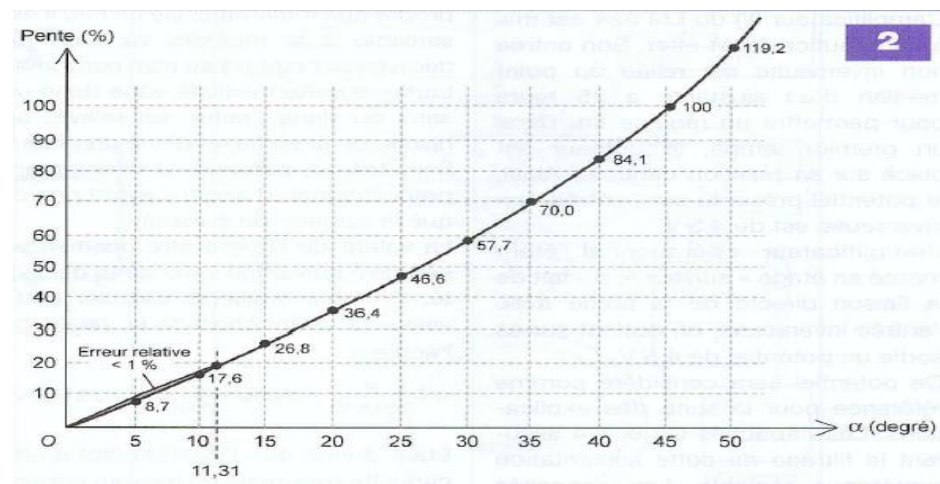


Figure II.4 Pente en fonction de l'angle

II.10 Conclusion

Dans ce deuxième chapitre, nous faisons un état de l'art sur l'inclinomètre ainsi une étude descriptive générale des inclinomètres. Cette étude comprend : la conception de cette appareil de mesure, leurs types, les problèmes produits, les domaines

C

HAPITRE III
PARTIE
SOFTWARE

III.1 Introduction

Nous expliquons dans ce chapitre les différents programmes qui sont élaborés afin d'assurer le bon fonctionnement de l'ensemble. Les programmes ont à l'origine deux natures : l'un est mis au point sous mikroProg Suite For PIC (Mikroelektronika) permettent le transfert du code objet (fichier .HEX) dans la mémoire Flash du programmeur pour faire fonctionner le PIC .

III.2 la programmation en langage C

Heureusement, avec la montée en puissance des microcontrôleurs, on voit apparaître actuellement des compilateurs en langage C (voire même C++) qui permettent de gagner un temps considérable pour le développement et le débogage des programmes

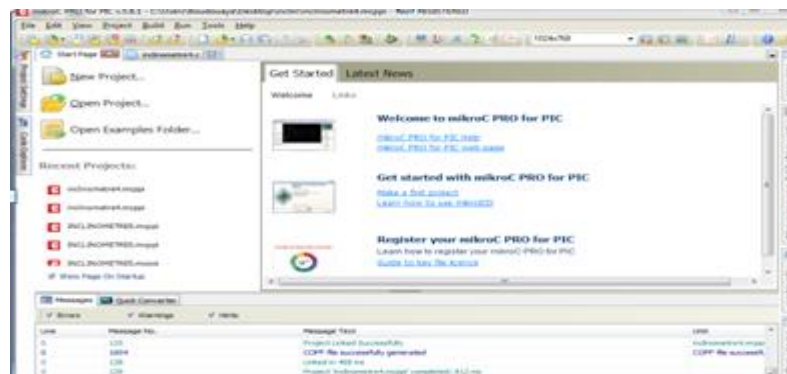


Figure III.1 Fonction principale et initialisation

Le circuit électronique doit envoyer via le port série au PIC des informations en provenance de potentiomètre (information numérique sur 4 bits de la direction du potentiomètre), une valeur analogique comprise entre 0 et 5V dont la valeur est proportionnelle à la valeur de l'angle). Pour son bon fonctionnement, le microcontrôleur a donc besoin d'un certain nombre d'initialisations suivantes :

- Initialiser les ports d'entrées/sorties, pour cela on configure les registres TRISX, X étant le port.
- Initialiser le convertisseur analogique/numérique pour récupérer la valeur analogique en provenance du capteur d'inclinaison

III .3 Organigramme

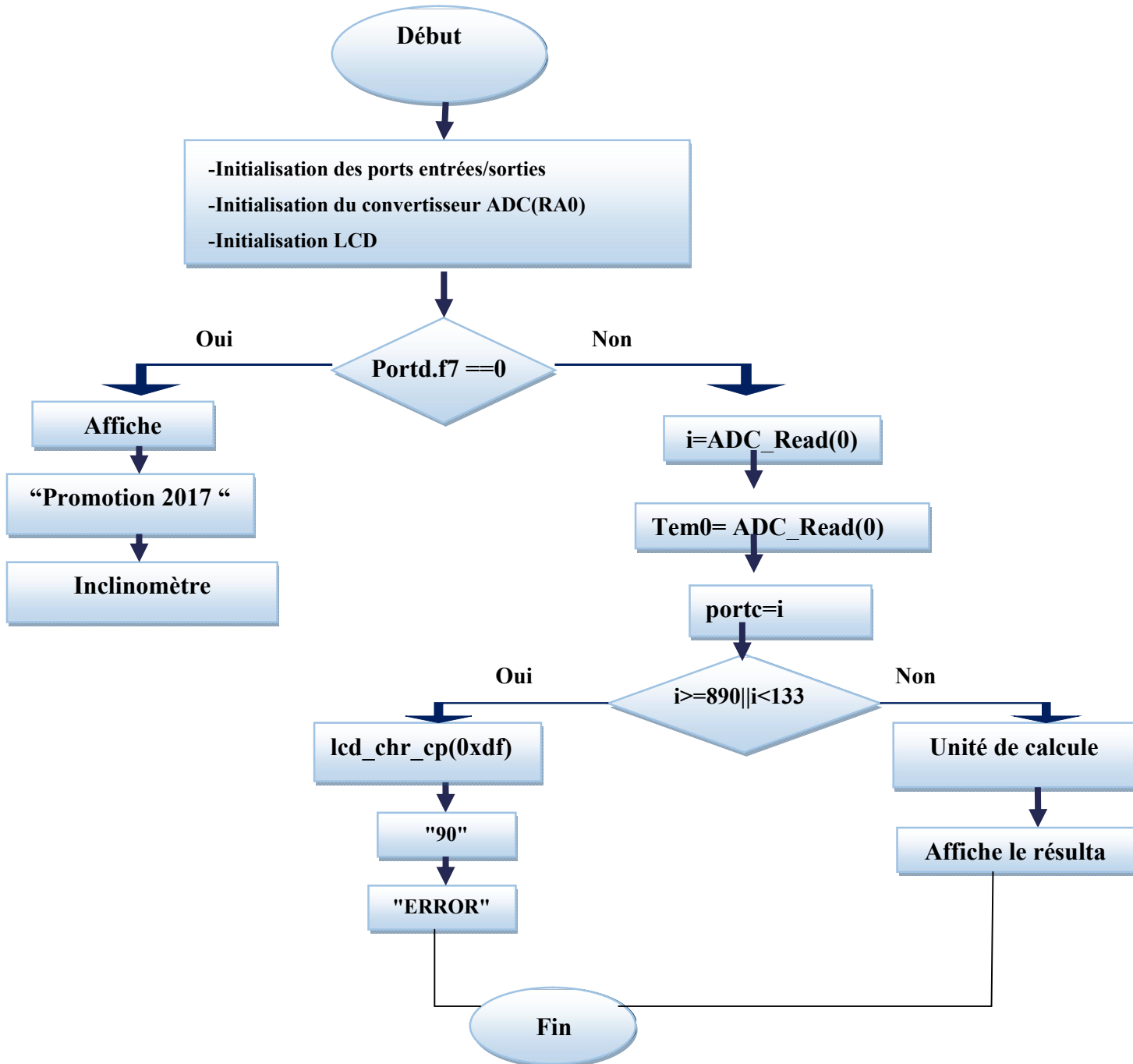


Figure III.2 Organigramme du programme

III.4 Programmation du microcontrôleur

III.4.1 Synoptique du programme

Cette étape est destinée à écrire le programme qui est embarqué sur le PIC afin d'assurer le bon fonctionnement de la carte électronique. Le programme est écrit en langage C, comme spécifié dans le chapitre.

Le programme se présente sous la forme d'une fonction principale (*figure III. 1*) où toutes les initialisations sont effectuées, puis d'une fonction qui est exécutée à chaque seconde. Notre fonction permet de récupérer puis de traiter les informations en provenance de capteur :

- La valeur de la tension aux bords de potentiomètre est issue de la conversion analogique/numérique du microcontrôleur.

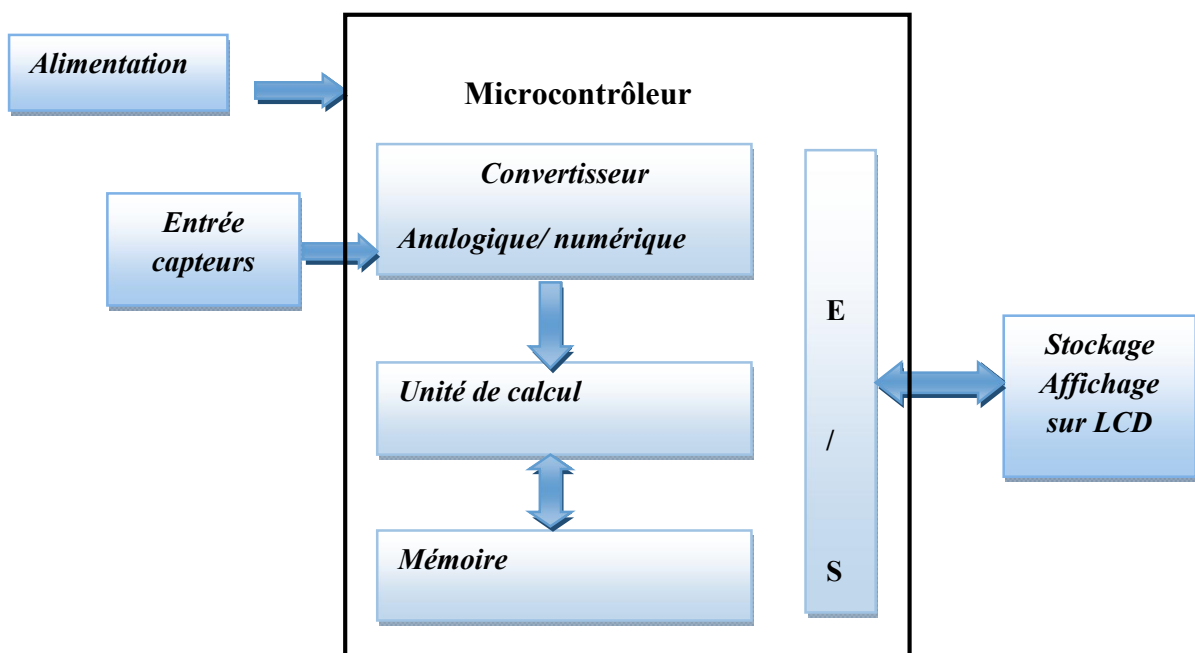


Figure III.3 Synoptique du programme

III.4.2 Principe d'une chaîne d'acquisition

Une chaîne d'acquisition se présente typiquement comme indiqué sur la figure III.4 :



Figure III.4 Structure d'une chaîne d'acquisition

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés aux cartes d'acquisition de données analogiques, qui sont un dispositif placé entre le capteur et le PIC qui permet la visualisation et le stockage au cours du temps sur un afficheur LCD16*2

III.5 Présentation du microcontrôleur PIC 16F877A

III.5.1 Définition d'un pic

Un PIC (Programmable Interface Controller) est un microcontrôleur de MicrochipTechnology Inc.

Un PIC est un composant dit RISC (Reduced Instructions Set Computer), ou encore composant à jeu d'instruction réduit. Ces microcontrôleurs sont conçus sur une architecture dite HAVARD, elle est basée sur deux bus, un pour les données (bus de données) et l'autre pour les instructions (bus de programme)

III.5.2 Différentes familles des PICS

La famille des PICS est subdivisée en trois grandes familles :

- Base line: C'est la famille où l'unité centrale travaille sur 12-bits, exemple : 12CXXX
- Mid-Range: C'est la famille où l'unité centrale travaille sur 14-bits, exemple : 16F877.
- High Performance: C'est la famille où l'unité centrale travaille sur 16-bits, exemple : 18FXXX, 18CXXX ...

III.5.3 Identifier un pic

La référence d'un microcontrôleur PIC est de la forme NN LLL XXX où

NN désigne la famille à laquelle appartient le circuit.

LLL est un ensemble d'une, deux ou trois lettres qui indique le type de mémoire de programme contenue dans le circuit et si la plage de tension d'alimentation est normale ou étendue.

XXX est un ensemble de deux ou trois chiffres constituant la référence du circuit

Exemple du 16F877-20 :

16 : indique la famille Mid-Range.

F : indique le type de mémoire programme utilisée : F pour Flash.

877 : identité.

20: indique la fréquence d'horloge.

III.5.4 Conversion analogique digitale avec le PIC 16F877A

Le convertisseur A/D convertit le signal analogique présent sur une de ses 8 entrées en son équivalent numérique, codé sur 10 bits. Les pattes AN2 et AN3 peuvent être utilisées comme références de tension ou comme entrées analogiques standard, les références de tension étant dans ce dernier cas prises sur les tensions d'alimentations du PIC : VDD et VSS. (VDD pour le + et VSS pour le -). On peut donc numériser jusqu'à 8 signaux analogiques. Pas tous en même temps, bien sûr, étant donné qu'il n'y a qu'un seul module de conversion pour 8 signaux d'entrée multiplexés. Mais si vos signaux n'évoluent pas trop vite (fréquence basse), dans notre cas en à numériser le signal sur la patte AN0, puis celui sur AN1...

Les paramètres important dont il faudra tenir compte sont :

- La résolution du convertisseur. Ici 10 bits, donc meilleur qu'un convertisseur 8 bits, mais moins précis qu'un 12 bits...
- Le temps de conversion.
- La rapidité d'évolution des signaux présents sur les entrées (leur fréquence pour des signaux périodiques).
- Le nombre de signaux à numériser.

En effet, pour un signal périodique, la fréquence d'échantillonnage doit être au moins deux fois supérieure à la fréquence du signal.

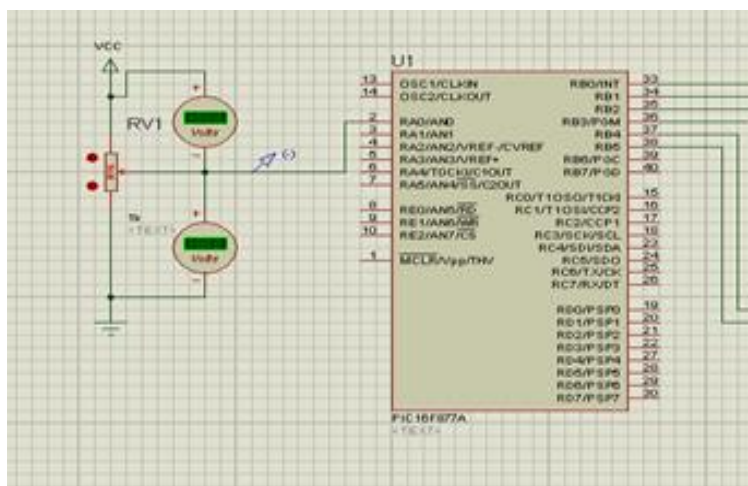


Figure III.5 Schéma du montage d'un pic 16f877a sur porteuse

III.6 Microcontrôleur

Le circuit principal que nous utilisons dans le projet est le PIC 16F877A, ce circuit de Microchip est un microcontrôleur de 40 broches, de haute performance, à mémoire FLASH. Les principales caractéristiques et constituante sont présentées dans le *tableau III.1* suivant.

Tableau III.1 caractéristiques du PIC 16F877A

Caractéristique	PIC 16F877A
Fréquence Horloge	20 MHz
Mémoire programme FLASH	8 KO
Programme (instruction)	35
Mémoire données type RAM	368 Octets
Mémoire EEPROM	256 Octets
Interruption	14
Ports parallèles	A, B, C, D, E
Timers	3
Capture/Compare/PWM	2
Communications séries	MSSP / USART
Communications parallèles	PSP
CAN 10-bit	10-bits à 8 entrées multiplexées
RESETS	MCLR
Détection de VDD faible programmable	Oui
Instructions	75
Quartz	8 MHz

III.6.1 Structure minimale d'un PIC

- La structure minimale d'un PIC est constituée des éléments ci-dessous :
- Une horloge système : permet de cadencer tous les échanges internes et externes au microcontrôleur.
- Un registre d'instruction : contient tous les codes binaires correspondants aux instructions à réaliser par le microcontrôleur.
- Des ports d'entrées /sorties : permettent de dialoguer avec l'extérieur.
- La mémoire programme FLASH : la mémoire programme est constitué de 32K mots, C'est dans cette zone que nous allons écrire notre programme.
- La mémoire EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory) : est constituée de 256 octets que nous pouvons lire et écrire depuis notre programme. Ces octets sont conservés après une coupure de courant et sont très utiles pour garder des paramètres semi permanents. Leur utilisation implique une procédure spéciale, car ce n'est pas de la RAM, mais bien une ROM de type spécial. Il est donc plus rapide de la lire que d'y écrire.
- La mémoire RAM : c'est celle que nous allons sans cesse utiliser. Toutes les données qui y sont stockées sont perdues lors d'une coupure du courant. La mémoire RAM est subdivisée de plus en deux parties.
- CAN : convertisseur analogique numérique à 10 entrées multiplexées.
- TIMERS : Microchip appelés TIMER des compteurs.
- USART : communication séries asynchrones (RS232).

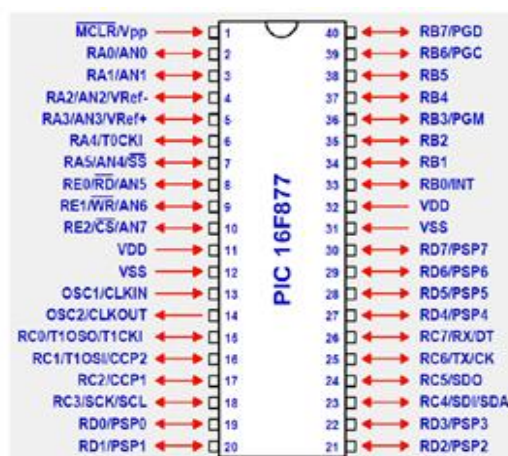


Figure III.6 Configuration des broches du PIC16F877A

III.6.2 Les ports E/S de PIC

Le PIC16F877A à cinq ports d'Entrée/Sortie, du PORT A au PORT E. Ces entrées sorties permettent de commander d'autres périphériques (capteur, clavier...) et d'envoyer des ordres de commande vers d'autres composants.

Les broches des ports d'entrée sorties sont indépendamment configurables en entrée ou en sortie grâce au registre interne **TRIS** de chaque port respectivement. L'état de sortie ou d'entrée est accessible à l'aide du registre interne: **PORTx** avec **x= (A, B, C, D, E)**

- Le port A est utilisé comme convertisseurs A/N et la VREF+ et VREF- pour recevoir les informations de différents capteurs (sauf RA4 est branché avec le module Timer0).
- Le port B est également des interrupteurs pour recevoir les informations des capteurs (anémomètre_ girouette).
- Le port C est utilisé comme interface de communication série à l'ordinateur par **USART** Adressable horloge synchrone et données synchrone.
- Le port D est configurable individuellement en entrée ou sortie dans chaque broche du port.
- Le port E a trois broches (RE0/RD/AN5, RE1/WR/AN6 et RE2/CS/AN7) qui sont configurables individuellement comme entrées ou sorties. Les broches sont multiplexées avec les entrées analogiques, et sont utilisées pour visualiser l'état de sorties via 3 leds.

Le nombre d'entrées/sorties disponibles est composé de 34 lignes réparties en cinq ports :

- Un port A de 7 bits (RA0 à RA6).
- Un port B de 8 bits (RB0 à RB7).
- Un port C de 8 bits (RC0 à RC7).
- Un port D de 8 bits (RD0 à RD7).
- Un port E de 3 bits (RE0 à RE2).

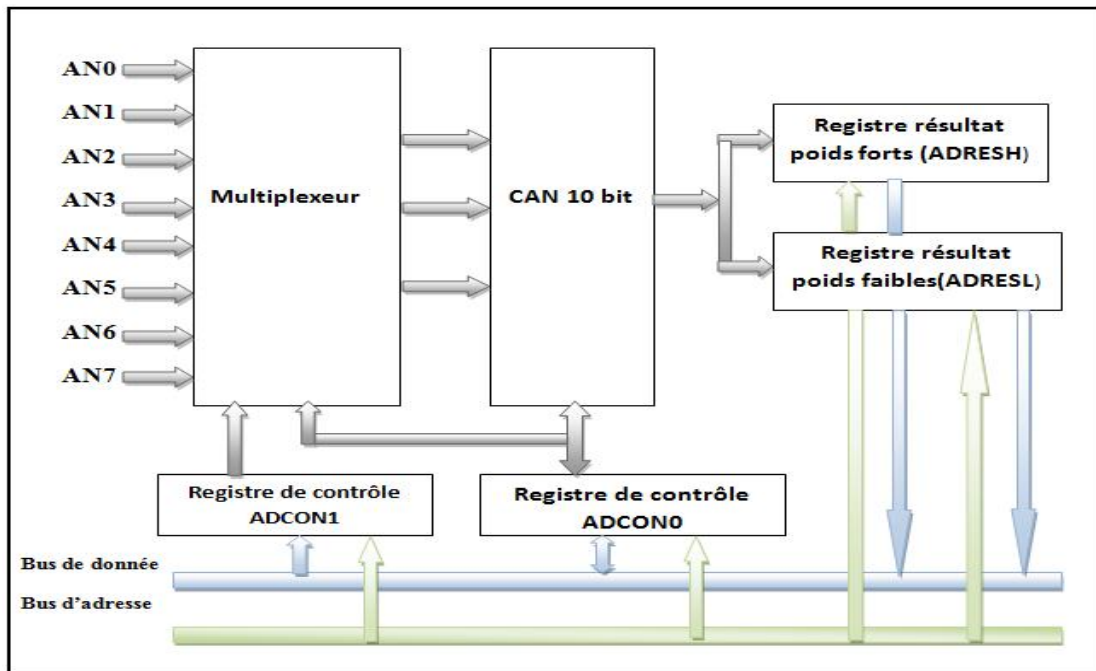


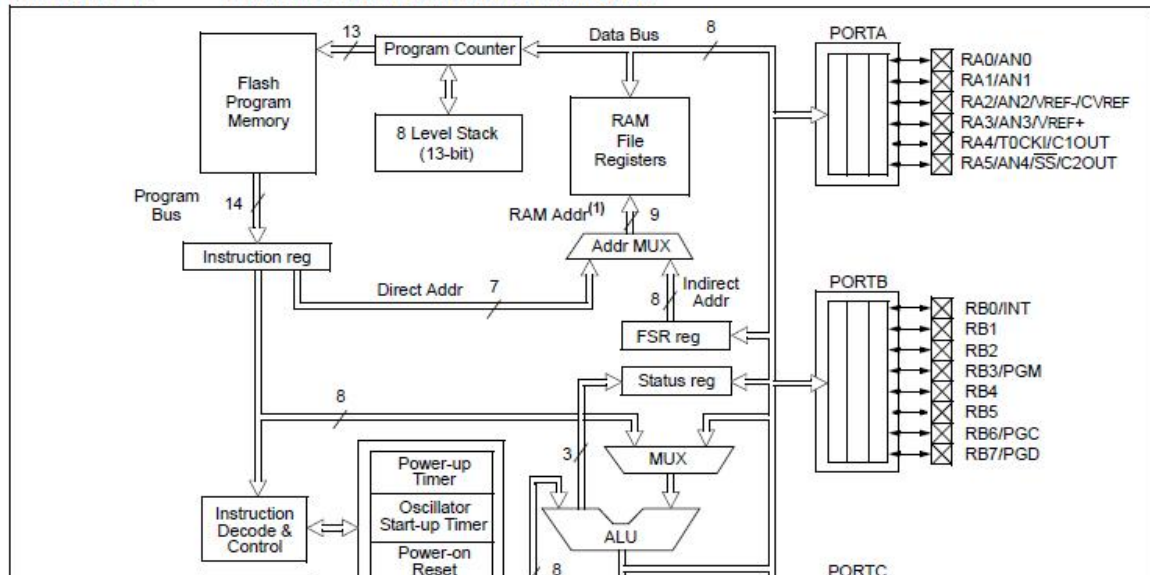
Figure III.7 Schéma de convertisseur A / N

III.6.3. Architecture interne du PIC 16F877A [5]

Architecture du pic 16f487XA et présentée sur la figure III.8 suivante :

PIC16F87XA

FIGURE 1-1: PIC16F873A/876A BLOCK DIAGRAM



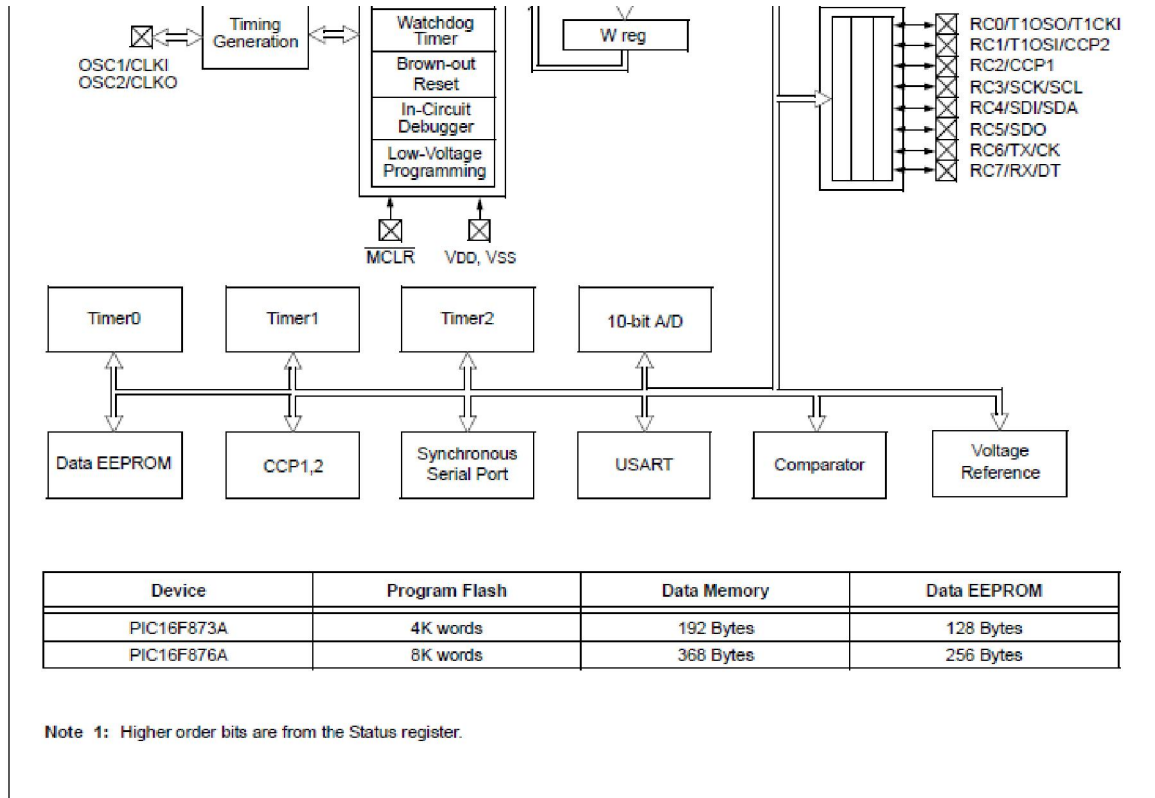


Figure III.8 Architecteur interne du PIC 16F877A

III.7 Câblage de PIC

La carte d'acquisition que nous avons réalisé comporte bien tous les éléments cités plus haut, afin de réaliser des acquisitions numériques et analogiques. La carte est construite autour d'un PIC 16F877A cadencé à 8 MHz grâce à un résonateur. La figure III.9 représente le schéma de câblage du microcontrôleur avec son oscillateur et la circuiterie de reset.

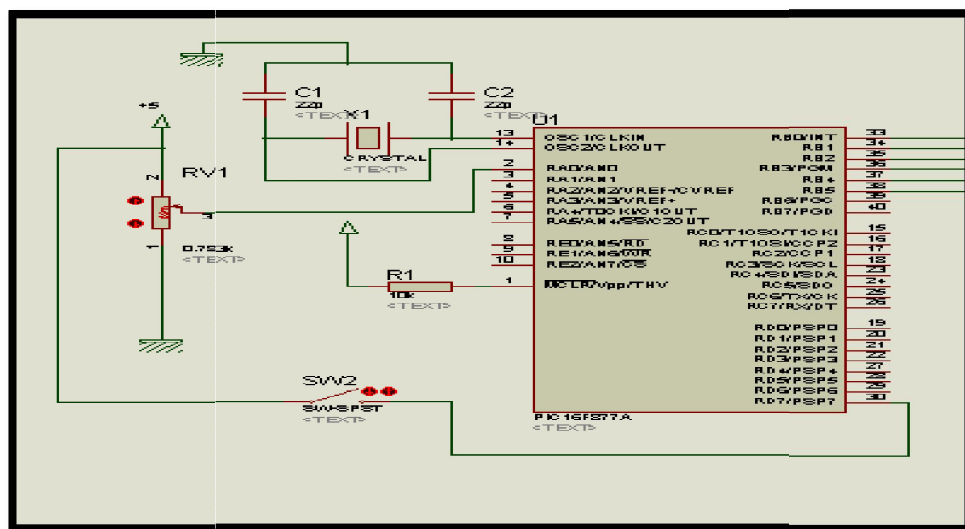


Figure III.9 Schéma de câblage du PIC avec résonateur et circuiterie de reset

L'oscillateur est un quartz de 8MHz pour cadencer le PIC à une vitesse convenable pour un fonctionnement en temps réel sans élever inutilement la consommation du circuit. Sa fréquence d'oscillation est adaptable en fonction des fonctionnalités logicielles qui seront implantées. Ce package intègre directement deux capacités connectés à la masse par une troisième patte qui permet d'économiser de la place sur le circuit et évite d'avoir à accorder manuellement la fréquence d'oscillation.

Un bouton poussoir B1 est mis en place pour pouvoir faire une remise à zéro du programme principalement utile lors des séances de débogage. La résistance R2 limite le courant sur la broche MCLR, la capacité C3 évite les rebonds dus à l'action mécanique sur le bouton poussoir. La broche MCLR est ainsi maintenue à un niveau haut par l'intermédiaire de la résistance R1 qui évite un court-circuit lorsque le poussoir est enclenché pour avoir un niveau bas. Les valeurs des composants sont celles préconisés dans le datasheet du 16F877A.

IV.8 Conclusion

Dans cette partie de notre travail, nous avons donné des explications sur la programmation du PIC, et présenté l'organigramme qui ont pour but de faciliter la compréhension et le déroulement du programme, et ne représentent que les actions principales effectuées par le microcontrôleur.

L'objectif de cette partie est la réalisation d'un programme qui permettra le calcul des angles et convertir cette angle en tangente

Ces valeurs sur une liaison série afin de permettre leur exploitation par une interface graphique. Un affichage "local" sera en outre réalise sur un écran LCD.

Une fois le programme exécuté, le pic 16F877A envoie les données en provenance des capteurs sur l'afficheur 16*2 toutes les secondes.

C

HAPITRE IV
RÉALISATION
PRATIQUE DU
CIRCUIT

IV.1 Introduction

La réalisation d'une carte expérimentale destinée à l'implantation pratique des principes développés en théorie. Notre carte expérimentale a été réalisée à l'université d'Abou Baker Belkaid de Tlemcen, dans le laboratoire d'électronique. Dans ce chapitre, nous présentons les composants principaux du banc d'essai et les réalisations que nous avons faites pour le montage de cette carte et le changement ajouté après avoir compris le but de la réalisation obtenu dans ce cas en na essaie avec des simple moyenne no gouteux et de bien gardé le principe de fonctionnement . Le projet vise à réaliser un inclinomètre semblable a celui utilise dans la plupart des appareils et qui

Permettra de connaitre le degré d'inclinaison d'un objet solidaire de la carte électronique a developper.et non seulement calculé la tangente On peut définir l'inclinaison d'un objet selon un seul axe.

IV.2 Inclinomètre

La réalisation de la partie électrique(Schéma électrique) de l'inclinomètre est représentée sur la photo suivant :

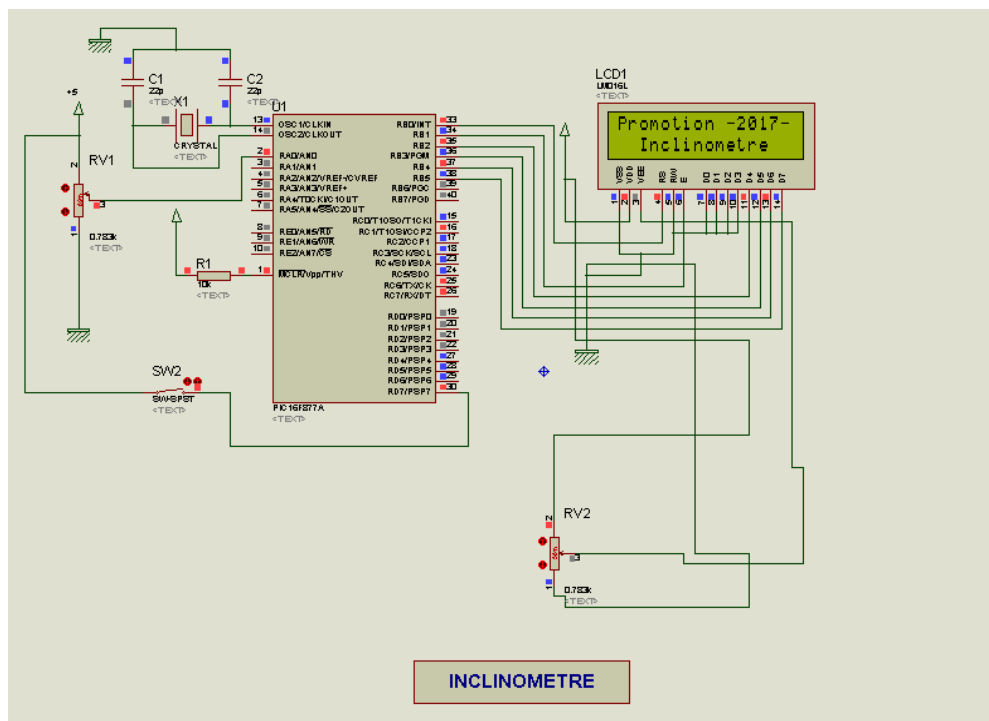


Figure IV.1 Schéma électrique de l'inclinomètre

IV.2.1 Alimentation

Comme tout dispositif électronique, le montage doit être alimenté, le microcontrôleur fonctionne en 5V, tension qu'il faudra obtenir à partir du secteur 220V. ou en peut rajouté une batterie Dou on a besoin de régulateur 5v

IV.2.2 Choix du régulateur

Il s'agit d'un régulateur de tension fixe 5V, nous avons opté pour le modèle LM78M05CT car il permet de délivrer jusqu'à 1 ampère, ce qui est très largement suffisant.

IV.2.3 Choix de la capacité de lissage

La réserve d'énergie permettant d'avoir une tension à peu près constante à l'entrée du régulateur, sa valeur doit être assez élevée, d'où l'utilisation d'un condensateur électrolytique de valeur 470 μ F.

IV.2.4 Choix de la capacité de filtrage

Une capacité de filtrage en sortie du régulateur est utile pour, à la fois servir de réserve d'énergie immédiate pour l'ensemble du système, lorsqu'un composant en a besoin, et à la fois éliminer les parasites qui n'ont pas été régulés par le régulateur. Pour cette raison il faut utiliser un condensateur dont la valeur n'est ni trop faible, ni trop forte. Nous avons pris un condensateur de 10 μ F qui nous parait bien répondre aux deux caractéristiques.

IV.3 Photo de prototype

La plaque de connexions "sans soudure", aussi appelée boîte ou boîtier de circuit, est sans nul doute le meilleur outil expérimental à l'usage de l'électronicien Cette plaque permet de câbler très rapidement et très facilement des circuits, sous réserve que ceux-ci ne soient pas trop complexes

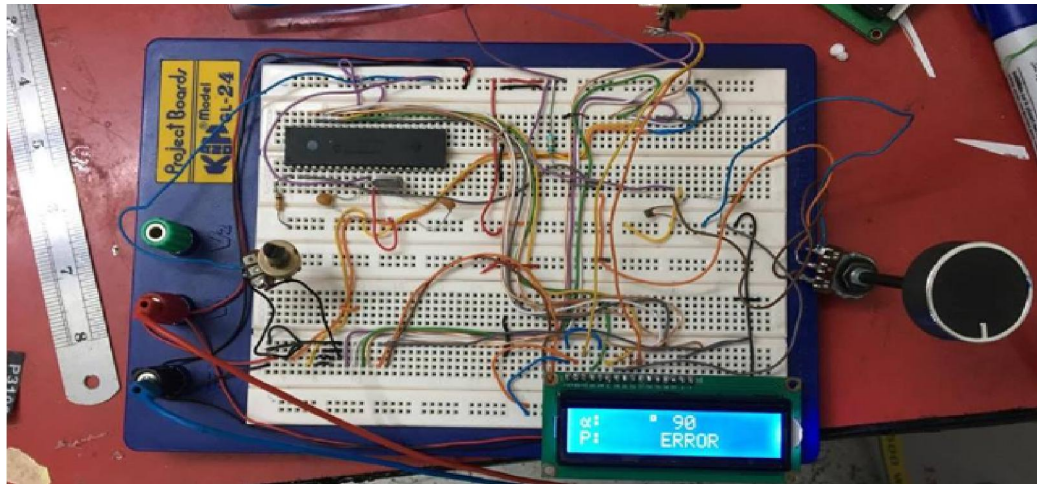


Figure IV.2 Photo de prototype sur la plaque d'essai

IV.3.1 Routage sous ARES

ARES est un logiciel permettant le routage de cartes électronique en mode automatique ou manuel. Cette fonctionnalité permet de réaliser très rapidement des circuits de faible complexité en plaçant les composants et traçant les pistes directement dans ARES. Une fois les connections établies il est possible d'effectuer un routage automatique des pistes.

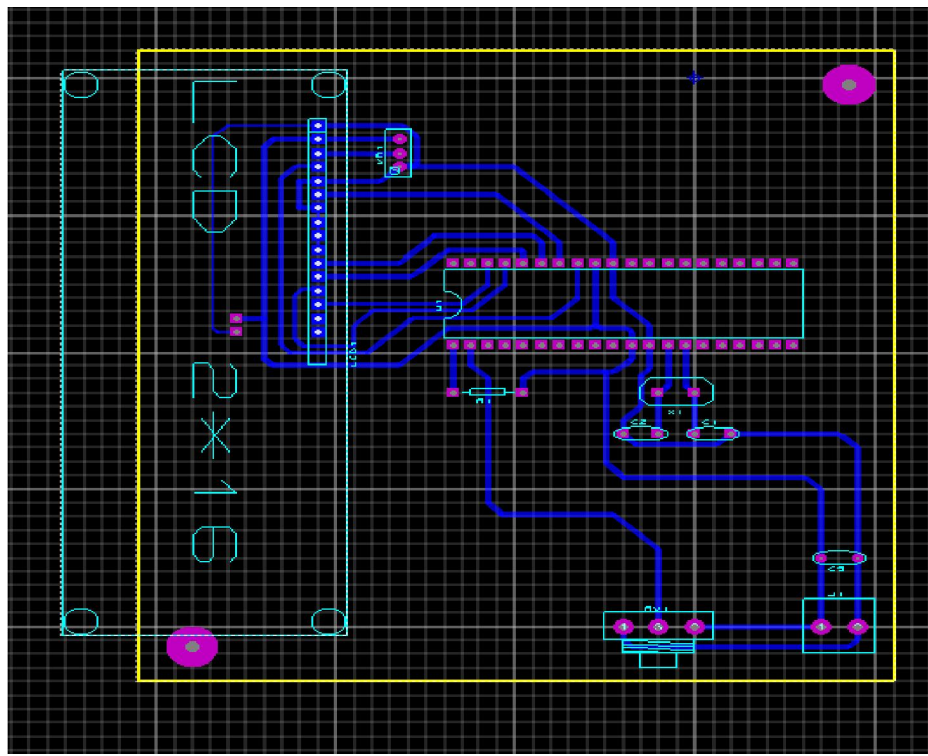


Figure IV.3 Circuit imprime sur AREAS

IV.3.2 Typon

La méthode la plus utilisée aujourd'hui pour réaliser un circuit imprimé consiste à utiliser un typon représentant le tracé des pistes que l'on voudra faire apparaître sur le circuit :

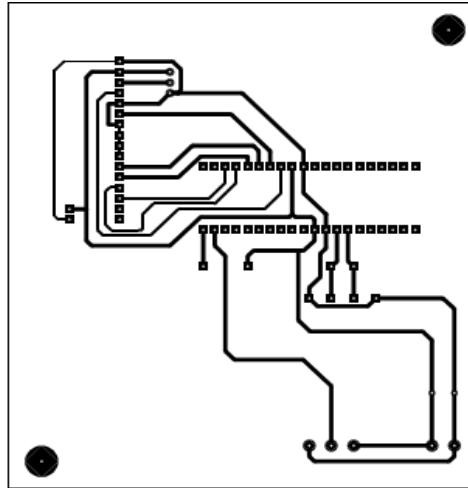


Figure IV.4 : Typon de l'inclinomètre

IV.3.3 Circuit imprimé

Le circuit imprimé ne comporte aucune difficulté particulière, on a pu auparavant se procurer les différents composants nécessaires à cette réalisation avant de passer à son tracé, et pour le connecteur femelle une fois gravé les pistes sont à rincer abondamment à l'eau tiède et les pastilles à percer à l'aide d'un foret de 0,8 mm de diamètre, certains trous sont à agrandir de 1mm ou 1,3 mm afin de les adapter aux diamètres de connexions de composants les plus volumineux.

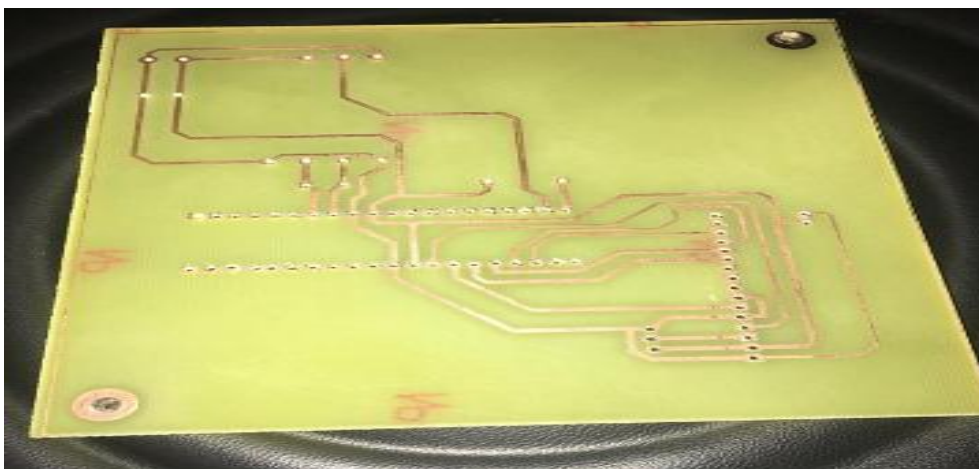


Figure IV.5 Circuit imprimé

IV.4 Implantation des composants

Voici quelques points à considérer lors de l'implantation des composants :

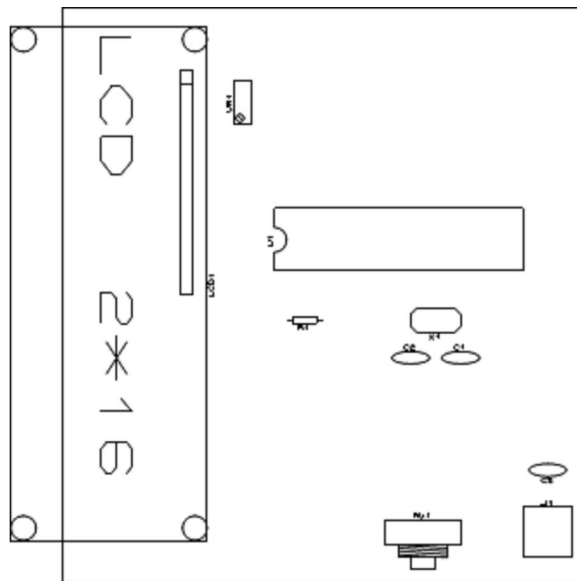


Figure IV.6 Circuit d'implantation de l'inclinomètre

IV.4.1 Circuit préliminaires de l'inclinomètre

La réalisation de la partie électrique de l'inclinomètre est représentée sur les photos suivantes :

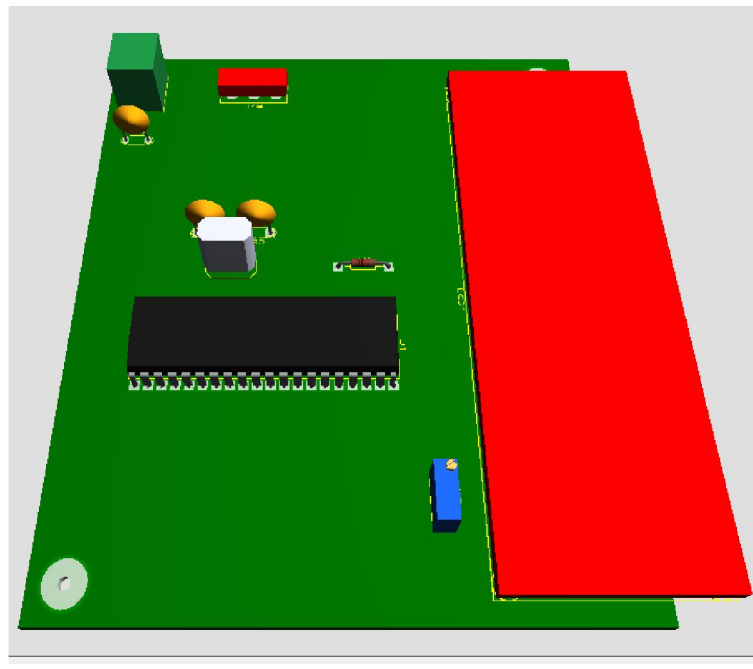


Figure IV.7 Capteur d'inclinaison

IV.5 Réalisation mécanique

La première étape dans la réalisation mécanique de l'inclinomètre fut la réalisation d'un un axe placé dans le potentiomètre. Pour cela, on a utilisé un bouton de volume qui est bien fixé sur le curseur de potentiomètre

L'étape suivante était de fixer une masse de 200g centre sur l'axe afin de pouvoir déplacé notre potentiomètre de telle sort qu'il fait un mouvement circulaire

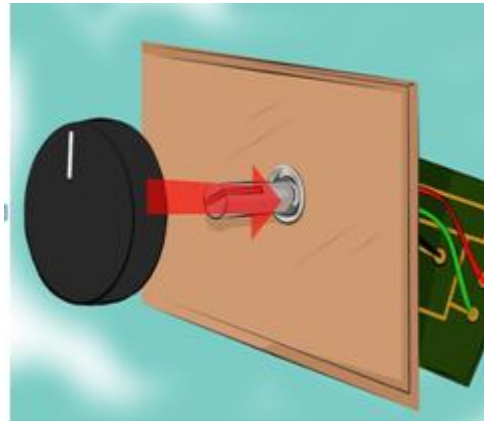


Figure IV.8 Fixation de bouton de volume avec le potentiomètre



Figure IV.9 Fixation de la masse dans le boîtier

IV.6 Test et étalonnage

Une fois le capteur est réalisé, il a fallu procéder d'abord à un test, puis à un étalonnage. Ce test en situation réelle était nécessaire afin de vérifier si l'inclinomètre fonctionnent correctement. L'étalonnage a permis de faire correspondre les valeurs envoyées par les capteurs à des valeurs exploitables.

IV.6.1 Test en situation réelle

Pour le premier test, le montage fut rudimentaire : fixation à l'aide de ruban adhésif et protection des capteurs contre les perturbations. La *figure IV.10* représente les photos de ce premier test en situation réelle qui s'est avéré concluant.

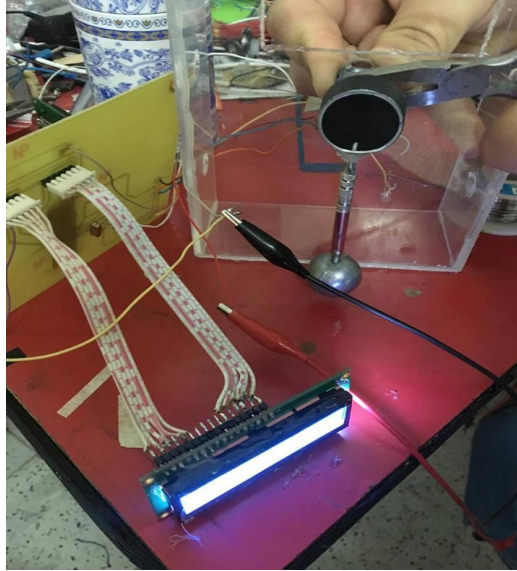


Figure IV.10 Teste en situation réelle

IV.6.2 Etalonnage de l'inclinomètre

L'étalonnage l'inclinomètre était l'étape la plus simple car il a suffi de repérer le point milieu du potentiomètre qui est le 0 degré ce qui correspond à une pente de 0 degré . (Figure IV. 11)



Figure IV.11 Photos du premier test en situation réelle

IV.7 Conclusion

Cette partie de notre travail consiste à la réalisation électrique et mécanique des capteurs et de la carte d'acquisition, Nous avons par la suite procédé à un test et l'étalonnage pour assurer le bon fonctionnement de la station.

Nous allons présenter dans le chapitre suivant des explications sur la programmation du PIC et l'interface que nous avons développées pour l'utilisation de la carte d'acquisition

C ONCLUSION

GENERALE

Conclusion Générale

Pour répondre au cahier des charges dans le cadre de notre projet de fin d'étude qui consiste à la réalisation d'un inclinomètre qui indique l'angle et la pente de déclinaison. Cette dernière doit être composée d'un potentiomètre, d'un pic, d'un afficheur LCD puis les intégrer dans circuit électronique ,le pic16F877A récupère les données et les envoie chaque seconde, via les port analogique, à un afficheur LCD

Pour réaliser ce projet on a divisé le travail en deux parties :

Nous avons relaté dans la première partie les différentes techniques permettant de réaliser un inclinomètre. On a ensuite opté pour des capteurs potentiométrique, ce qui est nécessité au microcontrôleur car il peut gérer que des informations analogiques.

L'étape suivante de notre projet était la conception et la réalisation des différentes parties électronique que nous avons ensuite testées, puis étalonnées.

La deuxième partie était la réalisation du programme du microcontrôleur

Ce projet a été pour moi une expérience enrichissante, elle ma permis de mettre en pratique mes connaissances acquises lors de notre cursus et nous familiariser avec certains logiciels et outils tels que : Proteus pour la réalisation de schémas électriques, pour la programmation en C du microcontrôleur .

RÉFÉRENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques

Livres :

- [1] [Jean-Pierre Ventillard],Electronique_Pratique-326_-_2008-Avril ,France
- [2] [P Malvino],Principes d'électroniques,Dunod 2002
- [3] [J.M Poitevin], Electronique 1 Composants discret et méthode de calcul Dunod 1995.
- [4] [Stéphane DURAND]Revue des techniques de l'ingénieur (ELECTRONIQUE)
- [5] documentation SONATRACH
- [6] [Georges_Asch_et_al.]_Les_capteurs_en_instrumentat(BookZZ.org)

Sites Internet :

- [Web01] -Capteurs, Disponible à : <http://www.pixelab.org/theoprat/elektronik/C8bis.htm>,
Consulté le 04/03/2017
- [Web02] - Inclinomètre, Disponible à : Wikipédia free encyclopedia /INCLINOMETRE
Consulté le 08/04/2017
- [Web03] Coure du microcontrôleur 16F877ADisponible à :
<https://fr.scribd.com/doc/36434413/Programmation-en-C-du-Microcontrolleur-PIC16F877>
Consulté le 08/04/2017
- [Web04] Convertisseur A /N du PIC 16F877A,Disponible à :
<://oumnad.123.fr/Microcontrolleurs/PIC16F877.pdf>
Consulté le 08/04/2017
- [Web05] Disponible à : 728px-Wire-a-Potentiometer-Step-6-Version-2.jpg
Consulté le 08/04/2017

Liste des Symboles

Liste des Symboles

C1 : 22 pF multicouche

C2 : 22 pF multicouche

Quartz : 8 MHz

Pot-hg 1 : 1 k Ω

Pot-hg 2 : 100 Ω

R1 : 1 k Ω

U1 : PIC 16F877A

Résumé :

Le but de ce projet est de réaliser un inclinomètre, un inclinomètre et un capteur d'inclinaison qui mesure la pente et l'angle. Cette chaîne est constituée d'une carte d'acquisition qui récupère les données en provenance des capteurs et les envoient chaque seconde, via un PIC16F877A, à un afficheur LCD placé juste à côté et dont le rôle est l'affichage et le stockage de l'information

Mots clés : inclinomètre, capteur d'inclinaison, mesure la pente et l'angle, capteur potentiométrique, l'affichage et le stockage de l'information

ملخص:

الغرض من هذا المشروع هو تحقيق الميل، والميل وجهاز استشعار الميل الذي يقيس الميل وزاوية. وتتكون هذه السلسلة من بطاقة اكتساب الذي يسترجع البيانات من أجهزة الاستشعار وترسل كل ثانية، عبر PIC16F877A، شاشة LCD يقع الصحيح وظيفتها هو عرض وتخزين معلومات

الكلمات المفتاحية :

الميل، وأجهزة الاستشعار الميل، وقياس الميل وزاوية، وأجهزة الاستشعار الجهدية، عرض وتخزين المعلومات

Abstract:

The aim of this project is to realize an inclinometer, an inclinometer and a tilt sensor that measures the slope and angle. This chain consists of an acquisition card that retrieves the data from the sensors and sends them every second, via a PIC16F877A, to an LCD display placed next to it and whose role is the display and storage of the 'information

Key words:

Inclinometer, tilt sensor, slope and angle measurement, potentiometric sensor, display and storage of information