

Table de matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Automatisation de la gestion d'un résistivimètre électrique

Introduction	1
<b>1<sup>ère</sup> Partie : <i>Procédure d'acquisition de données</i></b>	<b>2</b>
<b>I.1 – Chaîne d'acquisition des données</b>	<b>2</b>
1. Généralités	2
2. Les capteurs	3
Introduction	3
2.1 Généralités	4
2.2. Caractéristiques métrologiques des capteurs	4
2.3. Etalonnage des capteurs	6
2.4 Bande passante et temps de réponse	6
3. Amplificateur d'instrumentation	8
3.1 Amplification	8
3.2 Amplificateur de tension	9
3.3 Convertisseur courant/tension	9
4. L'échantillonneur	9
4.1 Rôle	9
4.2 Principe	9
5. Le convertisseur analogique numérique (CAN)	10
5.1 –définition	10
5.2 - Nécessité de numérisation	10
5.3 La zone de stockage	11
5.4 Le convertisseur numérique analogique (CNA)	11
6. Les filtres d'entrée et de sortie	11
7. Performance globale	12
7.1 Fréquence de fonctionnement	12
7.2 Résolution de la chaîne	12
8. PC d'acquisition	12
8.1 Interfaces : types et différences	12

8.2 Les cartes d'acquisitions enfichables	12
8.3 Les systèmes d'acquisition avec communication	12
8.4 Enregistrement des données	13
8.5 Les interfaces de communication	13
<b>I.2 – Etude théorique des matériels : le résistivimètre électrique</b>	<b>13</b>
2.1 Méthode électrique	14
1.1- Principe	14
1.2 Dispositifs et acquisition	15
2.2 Configuration du PIC 16F877	16
2.1 Notion sur le PIC	16
2.2 Architecture du PIC 16F877	17
2.3 Brochage du PIC 16f877	17
2.4. Structure interne du PIC	19
<b>2<sup>ème</sup> Partie: Commande automatique pilotée par ordinateur</b>	<b>22</b>
<b>II.1 Généralités sur l'interface matérielle</b>	<b>22</b>
1.1 Injection de courant	23
1.2 Mesure de la tension entre M et N	24
1.3 Commande de mise en marche	24
<b>II.2. Les ports de communication</b>	<b>25</b>
2.1 Les signaux ports séries	26
2.2 Brochage du port série	27
2.3 Protocole de transmission	28
2.4 Transmission sérielle des données	29
2.4.1 Format des trames de données	29
2.4.2 Lecture et enregistrement des données	29
<b>II.3. Simulation et réalisation de l'interface</b>	<b>30</b>
3.1 L'interface d'acquisition : le PIC 16f877	30
3.1.1 Programmation du PIC	30
3.1.2 Introduction sur MPLAB	30
3.1.3 Les étapes de programmation d'un microcontrôleur PIC	30
3.2 Réalisation du programmeur Pic	31
3.3 Programmation sur IcProg	32
	33

<b>II.4. Langage de programmation :Visual Basic</b>	
4.1 Introduction en Visual Basic	33
4.2 Visual Basic comme interface logicielle	33
<b>3<sup>ème</sup> Partie : <i>Le logiciel d'acquisition des données électriques</i></b>	<b>35</b>
<b>III.1. Conception de l'interface logicielle pilote du resistivimètre</b>	<b>35</b>
3.1.1. Configuration des périphériques	35
3.1.2 Traitement de données	36
2.1 La mesure de la tension	36
2.2 Les modes de calcul de résistivité	38
<b>III.2. Réalisation du logiciel</b>	<b>40</b>
3.2.1 Authentification du personnel	40
3.2.2. Menu Sondage	42
3.2.3 Menu Panneau à 32 électrodes	46
<b>4<sup>ème</sup> Partie : Résultats et discussions</b>	<b>51</b>
IV.1.Résultats obtenus	51
IV.2.Interprétation et discussions	51
Conclusion	52

Liste des tableaux

**Tableau I:** *Plan mémoire des données et registres internes du Pic* 20

**Tableau II :** *gamme de courant utilisée* 23

**Tableau III :** Codes ASCII et binaire des commandes 25

**Tableau IV:** brochage des connecteurs DB9. 26

## Liste des figures

<i>Figure 1.1 : Structure d'une chaîne d'acquisition numérique</i>	2
<i>Figure 1.2 : Structure d'une chaîne de restitution</i>	2
<i>Figure 1.3 : Schéma de principe d'une chaîne d'acquisition numérique de données</i>	3
<i>Figure 1.4: Exemple de distorsion par un filtrage passe-bas du premier ordre</i>	7
<i>Figure 1.5: Sensibilité dynamique d'un capteur du premier ordre</i>	7
<i>Figure 1.6: Réponse à un échelon d'un capteur du premier ordre</i>	8
<i>Figure 1.7 : Amplificateur opérationnel</i>	8
<i>Figure 1.8 : Montage d'une amplification de tension</i>	9
<i>Figure 1.9: Montage pour un convertisseur courant/tension</i>	9
<i>Figure 1.10 : Schéma de principe d'un échantillonneur bloqueur</i>	10
<i>Figure 1.11 : Schéma synoptique d'un CAN</i>	10
<i>Figure 1.12: Disposition des électrodes</i>	14
<i>Figure 1.13 : Schéma fonctionnel d'un PIC</i>	17
<i>Figure 1.14 : Brochage du pic 16f877</i>	18
<i>Figure 1.15: Structure interne d'un PIC</i>	19
<i>Figure 1.16 : Organisation de la mémoire d'instruction</i>	20
<i>Figure 1.17 : organisation de la RAM du 16F877</i>	21
<i>Figure 2.1 : schéma synoptique du résistivimètre</i>	22
<i>Figure 2.2 : Synoptique de l'acquisition pour la mesure d'une résistance</i>	23
<i>Figure 2.3 : Chaîne d'acquisition de la mesure de la tension <math>U_{MN}</math></i>	24
<i>Figure 2.4 : Ports RS232C 9 broches</i>	25
<i>Figure 2.5 : Communication série entre un terminal et un périphérique</i>	26
<i>Figure 2.6: Niveau des signaux de données</i>	27
<i>Figure 2.7 : Transfert de données entre un DTE et un DCE</i>	27
<i>Figure 2.8 : Une trame de donnée : 010001</i>	29
<i>Figure 2.9: Une trame de donnée pour une transmission série asynchrone</i>	29
<i>Figure 2.10 : Schéma d'un programmeur JDM</i>	31
<i>Figure 2.11: Montage test du pic</i>	32
<i>Figure 2.12: Interface principale du logiciel ICPROG</i>	33
<i>Figure 3.1: Organigramme pour la configuration avec les périphériques</i>	36
<i>Figure 3.2: Organigramme de décodage des données numériques</i>	37
<i>Figure 3.3 Fenêtre pour la mesure de la Polarisation spontanée</i>	38
<i>Figure 3.4: Organigramme pour le calcul de la résistivité apparente</i>	39
<i>Figure 3.5: Page d'accueil du logiciel</i>	40
<i>Figure 3.6 : Page d'authentification du personnel</i>	40
<i>Figure 3.7: Page d'authentification</i>	41
<i>Figure 3.8: Fenêtre principale du logiciel</i>	41
<i>Figure 3.9 : Fenêtre gestion des utilisateurs</i>	42
<i>Figure 3.10 : Fenêtre pour la gestion du sondage</i>	43
<i>Figure 3.11: Page pour la gestion du port série</i>	43
<i>Figure 3.12 : Page pour le fonctionnement du Pic</i>	44
<i>Figure 3.13: Page pour la saisie des paramètres</i>	44
<i>Figure 3.14: Fenêtre pour la mesure du PS</i>	45
<i>Figure 3.15: Fenêtre pour la mesure de la tension</i>	45
<i>Figure 3.16 : Page de récapitulation des résultats de sondage</i>	46
<i>Figure 3.17: Page de simulation du panneau à 32 électrodes</i>	47
<i>Figure 3.18: Organigramme pour le fonctionnement du panneau à 32 électrodes</i>	48
<i>Figure 3.19: Gestion du panneau à 32 électrodes</i>	49
<i>Figure 3.20: Organigramme de fonctionnement du logiciel</i>	50

## LISTE DES ABREVIATIONS

<b>A/D</b>	Analog digital converter ou convertisseur analogique numérique
<b>A/N</b>	Analogique numérique
<b>ASCII</b>	Système de codage : American Standard Code for Information Interchange
<b>Bauds</b>	Nombre de bits par seconde envoyés ou reçus
<b>BaudRate</b>	Vitesse de transfert des données
<b>Bits de données</b>	C'est le nombre de bits transmis afin de coder un caractère
<b>Bit de start</b>	Un bit au 0 logique qui définit le début de la trame de données à transmettre
<b>Bits de stop</b>	Un ou 2 bits au niveau logique 1 qui marquent la fin d'une trame de données
<b>CAN</b>	Convertisseur Analogique – Numérique
<b>CISC</b>	Complex Instruction Set Computer
<b>CMOS</b>	Famille de circuits logiques (Complementary Metal Oxid Silicon)
<b>CNA</b>	Convertisseur numérique analogique
<b>C.P.U</b>	Computer Personal Unit
<b>DAO</b>	Data Access Object
<b>dB</b>	decibel
<b>DB9</b>	Fiche pour port série comportant 9 broches
<b>DCE</b>	Equipement de communication de données (Data communication equipment)
<b>DLL</b>	Dynamics link libraries
<b>DTE</b>	Equipement terminal de données (Data Terminal Equipment)
<b>E/B</b>	Echantillonneur bloqueur
<b>EEPROM</b>	Electrical Erasable Programmable Read Only Memory
<b>EOC</b>	Fin de caractère (pour l'UART) (End Of Character)
<b>EOC</b>	Fin de conversion (pour le CAN) (End Of Conversion)
<b>fe</b>	fréquence d'échantillonnage
<b>fem</b>	Force électro-motrice
<b>fc</b>	fréquence de coupure
<b>Fosc</b>	fréquence de l'oscillateur
<b>GND</b>	Masse (Ground)
<b>IC-Prog</b>	In-Circuit Programming Guide
<b>I.C.S.P</b>	In Circuit Serial Programming
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers
<b>I.O.G.A</b>	Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo
<b>LED</b>	Diode électroluminescente (Light Emitting Diode)
<b>LP</b>	Low power cristal
<b>LSB</b>	Bit de poids le plus faible (Lowest Significant Bit)
<b>MOS</b>	Metal Oxid Semiconductor
<b>MSB</b>	Bit de poids le plus fort (Most Significant Bit)
<b>MUX</b>	Multiplexeur
<b>NP</b>	Elimine ou non le bit de parité (No Parity)

<b>P.C</b>	Personal Computer
<b>P.I.C</b>	Programmable Interface Controller
<b>PTM</b>	Mémoire temporisateur programmable
<b>RAM</b>	Random Access Memory
<b>RB0 à RB7</b>	Bit de données (Data Bit)
<b>RISC</b>	Reduced Instruction Set Computer
<b>ROM</b>	Read Only Memory
<b>RCp</b>	Signal d'horloge du récepteur (Receiver Clock Pulse)
<b>RDE</b>	Permission de lecture de données (Read Data Enable)
<b>RS232</b>	Type de port série
<b>RTS</b>	Request To Send ou demande d'envoi. Le passage à 0 logique demande à L'équipement opposé de se tenir prêt à recevoir
<b>Rx</b>	Données reçues (Received Data)
<b>SI</b>	Entrée série (Serial Input)
<b>SIM</b>	Système d'Injection et de Mesures
<b>SO</b>	Sortie série (Serial Output)
<b>SWE</b>	Permission des bits d'état (Status Word Enable)
<b>TBMT</b>	Tampon de l'émetteur vide (Transmitter Buffer Empty)
<b>TCp</b>	Signal d'horloge de l'émetteur (Transmitter Clock Pulse)
<b>TSB</b>	Nombre de bit de stop (Number of Stop Bit)
<b>TTL</b>	Famille de circuits logiques (Transistor Transistor Logic)
<b>Tx</b>	Données transmises (Transmitted Data)
<b>USART</b>	Récepteur émetteur asynchrone universel (Universal Synchronous Asynchronous Receive Transmit)
<b>USB :</b>	Universal Serial Bus
<b>VB</b>	Visual Basic
<b>WDT</b>	Watch Dog Timer

## Introduction

Le Syscal R2 est l'un des matériels de géophysique très utilisés à l'IOGA. A part les étudiants à l'IOGA, beaucoup d'organismes extérieurs ont loué cet appareil. Vu la situation du problème et la défaillance du matériel au laboratoire de Géophysique d'Antananarivo, le Responsable du laboratoire de l'Instrumentation en Géophysique a créé une équipe capable de concevoir, et de réaliser ce matériel utilisé en prospection électrique.

L'objectif de ce travail est d'élaborer ou de développer un logiciel d'acquisition des données en prospection électrique permettant de commander l'interface matérielle par l'intermédiaire d'une liaison série, de recevoir des données et d'en convertir sous forme de grandeurs physiques (résistivités) pour faciliter l'interprétation, d'essayer de simuler le fonctionnement d'un panneau à 32 électrodes.

Les fonctions de base de ce résistivimètre sont reprises, puis renouvelées en utilisant les technologies de la « communication série » et les « protocoles » y afférents.

Nous avons mis à profit sa performance pour amener les données issues d'un capteur géophysique vers l'ordinateur.

Le logiciel est écrit sous le logiciel courant Visual Basic orienté à l'objet. Le VB est un logiciel commercial de calcul interactif, capable de faire une interface graphique, de représenter les différentes fonctions et des boutons de commandes utilisés par les prospecteurs.

Dans ce travail, nous essayons alors de répartir la chaîne de tâches pour la réalisation du Syscal R2 en deux parties : l'une concerne la réalisation d'une interface matérielle qui a été assurée par mes collègues Ralay Razafiarisera et Joely Andriambelason, l'autre partie m'a été confiée et qui a pour objet la conception et la réalisation d'un logiciel en utilisant l'ordinateur pour l'acquisition de données électriques, on effectue des simulations et des tests en laboratoire pour la concrétisation de ce logiciel.

Ce travail comporte quatre parties : dans la première partie sont décrits les rappels théoriques sur les matériels. L'ordinateur dispose déjà de son interface standard RS232. Nous parlerons de la prospection électrique dans la deuxième partie; car l'objectif du travail est d'avoir un logiciel capable de représenter les signaux électriques et de donner les paramètres des formations étudiées. Et dans la troisième partie, nous allons montrer la réalisation du logiciel d'acquisition des données électriques. Enfin on fait une interprétation et une discussion à propos du résultat obtenu.

# 1<sup>ère</sup> Partie : Procédure d'acquisition de données

## 1.1 – Chaîne d'acquisition des données

### 1. Généralités

Pour mesurer des grandeurs physiques, et les transformer en signaux analogiques (normalement des tensions), nous avons besoin de transducteurs adéquats. Les signaux produits par ces transducteurs seront premièrement conditionnés, c'est-à-dire, amplifiés et filtrés selon le type de paramètre mesuré. Si plusieurs signaux sont acquis en même temps ou avec un appareil ayant une seule entrée, ils seront acheminés par l'entremise d'un multiplexeur.

Puisque la plupart des systèmes numériques ne reconnaissent pas un signal analogique, les tensions acquises devront être converties en valeurs numériques avant d'être traitées par l'ordinateur. Le convertisseur analogique - numérique (analogue/digital converter : A/D ou ADC) s'occupe de cette dernière tâche.

#### 1.1 Structure d'une chaîne d'acquisition numérique

Une chaîne d'acquisition numérique peut se représenter selon la figure suivante :

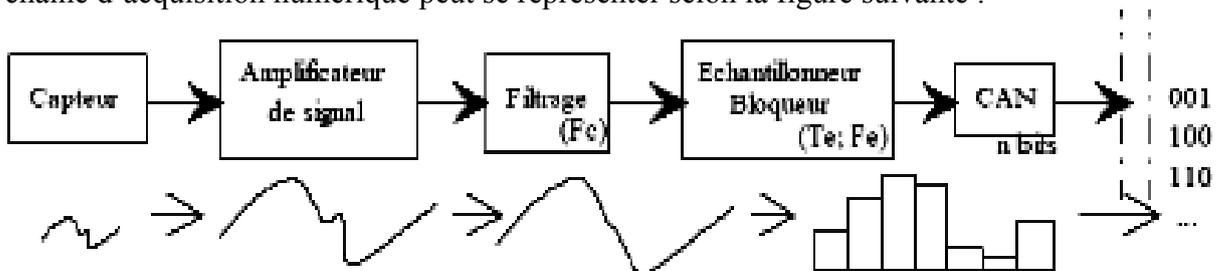


Figure 1.1 : Structure d'une chaîne d'acquisition numérique

Elle est souvent associée à une chaîne de restitution :

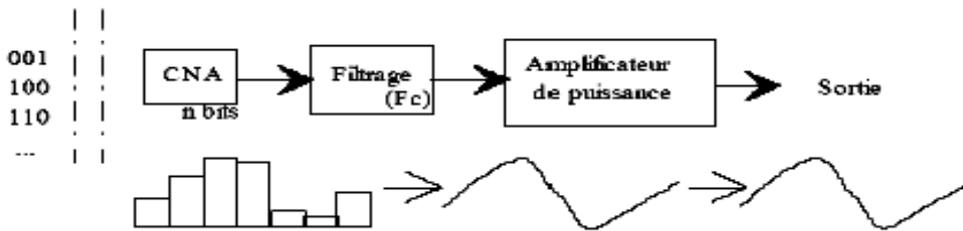
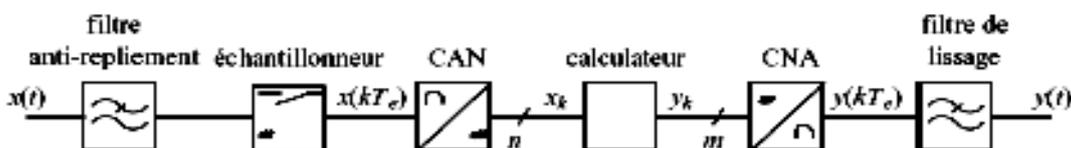


Figure 1.2 : Structure d'une chaîne de restitution

Lorsqu'on fait l'acquisition d'un phénomène physique, les données saisies passent par différents stades de traitement pour être reconnues par un système numérique (ex : un ordinateur).

On peut aussi l'illustrer par la deuxième représentation ci-dessous :



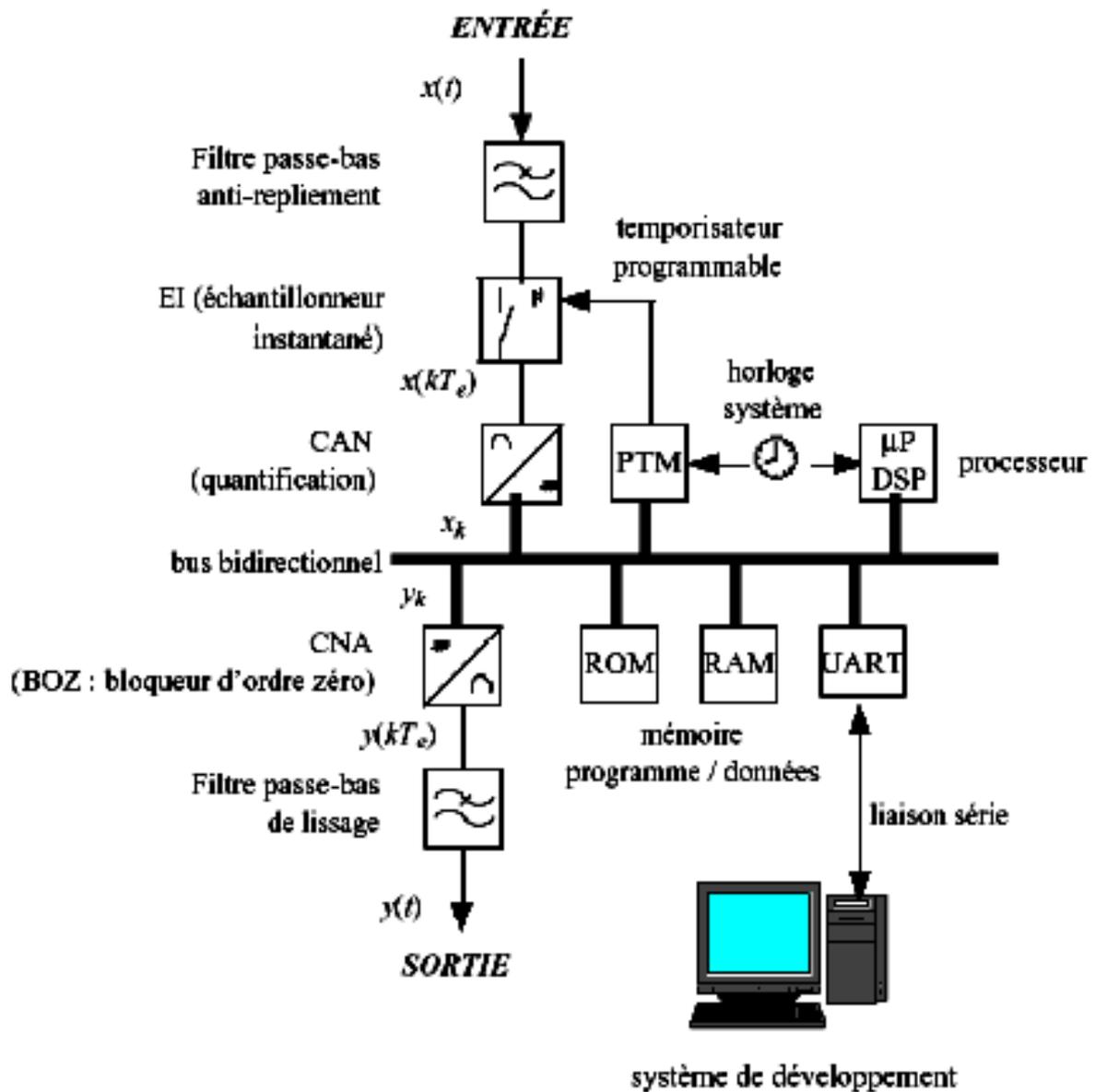


Figure 1.3 : Schéma de principe d'une chaîne d'acquisition numérique de données

## 2. Les capteurs

### Introduction

Les capteurs sont les premiers éléments rencontrés dans une chaîne de mesures. 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 ; certains calculs et de

nombreux problèmes d'instrumentation ou de traitement du signal ne sont que cités, le lecteur trouvera dans la suite de cet ouvrage les développements nécessaires.

## 2.1. Généralités

### 2.1.1 Définitions fondamentales

La quantité que l'on cherche à mesurer sera appelée le mesurande, soit  $m$ . Le but assigné au capteur est de convertir  $m$  en une grandeur électrique que l'on appellera  $s$ .

La mesure  $s$  peut être une impédance, une charge électrique, un courant ou une différence de potentiel. La relation qui lie  $s$  à  $m$ , soit  $s = F(m)$ , dépend :

- de la loi physique régissant le capteur
- de la construction pratique du capteur
- de l'environnement du capteur

### 2.1.2. Définitions secondaires

Il est important pour la suite de rappeler quelques définitions fréquemment utilisées quel que soit le type de capteur considéré :

#### - Capteurs actifs et passifs, Conditionneurs

Les capteurs dont le signal électrique délivré est une variation d'impédance sont dits passifs car ils nécessitent une source d'énergie électrique pour que l'on puisse lire  $s$ .

Le circuit dans lequel ils sont incorporés s'appelle le conditionneur. Le conditionneur doit permettre de préparer le signal à un traitement et à une transmission. Il doit amplifier et convertir pour cela le signal électrique de sortie de capteur.

Les autres capteurs sont dits actifs.

- Chaîne de mesure : généralement, le signal  $s$  n'est pas directement utilisable. On appelle chaîne de mesure l'ensemble des circuits ou appareils qui amplifient, adaptent, convertissent, linéarisent, digitalisent le signal avant sa lecture sur le support de sortie.

- Corps d'épreuve : En mécanique, notamment, la conversion de  $m$  en  $s$  n'est pas directe. Tout corps intermédiaire entre le capteur et le mesurande, est appelé corps d'épreuve.

- Étalonnage : On distingue l'étalonnage du capteur proprement dit et l'étalonnage global appliqué à l'ensemble corps d'épreuve - capteur - conditionneur - chaîne de mesure.

- Grandeurs d'influence : La fonction  $F(m)$  dépend souvent d'autres grandeurs physiques propres à l'environnement (par exemple la température ou l'humidité). Ces grandeurs sont appelées grandeurs d'influence.

- Durée de vie et temps de réponse : Parmi ces grandeurs d'influence on peut, de façon un peu abusive, aborder le cas particulier du temps qui intervient dans les mesures de deux façons :

- par des dérives à long terme qui modifient  $F(m)$ . On parle alors de durée de vie du capteur.

- par l'aptitude du capteur à répondre aux variations du mesurande avec le temps. On parle de temps de réponse.

- bande passante :

Lorsque le capteur mesure un mesurande dont la dépendance temporelle est sinusoïdale, on montre que la sensibilité du capteur dépend de la fréquence du mesurande. La gamme de fréquence dans laquelle le capteur présente une sensibilité constante est appelée "bande passante". Le temps de réponse et la bande passante sont évidemment liés.

## 2.2. Caractéristiques métrologiques des capteurs

### 2.2.1. 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 :

- 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 le 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.

### 2.2.2. 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 (fluctuation de la force électromotrice dans un pont...).

- 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...

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 e m, stabilisation de la température, isolation mécanique, blindage électromagnétique...), soit en mettant en œuvre des procédures adaptées (filtrage, détection synchrone, traitement du signal...). Il est, en tout cas, toujours indispensable de les évaluer.

### 2.2.3. Traitement des erreurs aléatoires ou incertitudes

Puisque, par définition, l'incertitude de type aléatoire n'est pas prévisible, son évaluation est du ressort des statistiques ; on l'appelle incertitude. Face à ce flou, le sens exact de la notion de statistique est intéressant à préciser.

Dans le cas de la mesure, deux problèmes statistiques doivent être traités :

- l'évaluation de l'incertitude proprement dite

- la façon de prendre une décision face à cette incertitude.

#### 2.2.3.1. Evaluation de l'incertitude aléatoire. Ecart-type. Variance

Supposons que l'on fasse n mesures  $s_1, \dots, s_i, \dots, s_n$  d'un même mesurande m.

On appelle valeur moyenne de s la quantité  $\bar{S}$  telle que :

$$\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n} \quad (1.1)$$

Pour traiter statistiquement la mesure aléatoire de m, il faut introduire la variance v et l'écart type  $\sigma$

$$v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}{n - 1}} \quad (1.2) \quad \text{et}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}{n - 1}} \quad (1.3)$$

#### 2.2.3.2. Prise de décision face à l'incertitude aléatoire

Parfois, au cours d'une série de mesures sur un même mesurande, peut se produire un résultat qui s'écarte notablement de la valeur moyenne obtenue à l'aide des mesures précédentes. Le problème posé par un tel événement est de savoir si cette mesure a été

produite par une augmentation, très rare mais très importante, de l'incertitude aléatoire ou par un phénomène non prévu qui est venu modifier de façon causale le mesurande lui-même. Il faut alors prendre une décision : doit-on ou non considérer que le mesurande a été modifié?

On utilise ici encore des résultats de statistiques pour cette prise de décision.

### 2.2.3.3 Fidélité - Justesse – 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, on dit qu'il est juste s'il est dépourvu d'erreur systématique et on dit qu'il est exact s'il est à la fois juste et fidèle.

## 2.3. 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.

### 2.3.1. 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.

### 2.3.2. 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.

### 2.3.3. Raccordement

Les pays industriels sont dotés de chaînes d'étalonnage, c'est-à-dire d'une organisation hiérarchisée de laboratoires établissant par opérations successives le raccordement des mesures à des étalons primaires. La traçabilité, c'est à dire les étalonnages successifs lorsque l'on passe du laboratoire primaire à l'utilisateur industriel, est assurée par des étalons ou des instruments de transfert.

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

## 2.4 Bande passante et temps de réponse

### 2.4.1. La réponse harmonique

La réponse d'un capteur à un mesurande variant sinusoïdalement dans le temps revêt une importance particulière car elle permet d'en déduire la réponse à tout mesurande variable dans le temps, c'est-à-dire la sensibilité du capteur soumis à sa réponse transitoire. Si on appelle  $S(\omega)$ , la réponse à une impulsion temporelle, un mesurande sinusoïdal de pulsation  $\omega$  est donné par sa transformée de Fourier :

$$h(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} S(\omega) e^{-j\omega t} d\omega \quad (1.4)$$

Rappelons que la méconnaissance de cette réponse est grave puisque, même si on n'effectue que des mesures stationnaires, elle conduit à des erreurs systématiques. Pour l'utilisation des capteurs, la notion de bande passante est intéressante à présenter par l'intermédiaire des phénomènes de distorsion observés sur la mesure.

Supposons que le mesurande ait une évolution temporelle périodique que l'on peut représenter par :  $m(t) = m_0 + \sum S_{mi} \cos(\omega_i t + \theta_i)$

Le signal électrique délivré  $s(t)$  peut s'écrire, en introduisant les notions de sensibilité statique  $S_0$  et  $S(\omega_i)$  dynamique :

$$s(t) = S_0 m_0 + \sum_i S(\omega_i) m_i \cos(\omega_i t + \psi_i) \quad (1.5)$$

Si les valeurs  $S(\omega_i)$  sont différentes, ou si  $\psi_i$  est quelconque par rapport à  $\theta_i$ , on obtient un signal  $s(t)$  dont le contenu fréquentiel est modifié par rapport à celui du mesurande: on dit que le signal subit une distorsion ou que le système est dynamiquement non linéaire.

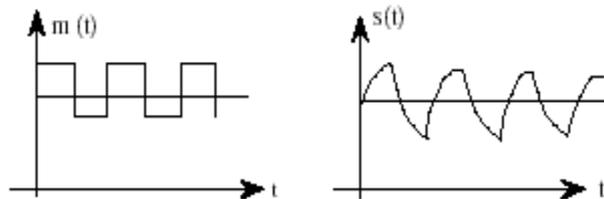


Figure 1.4: Exemple de distorsion par un filtrage passe-bas du premier ordre.

On appelle bande passante l'intervalle de fréquence dans lequel la valeur de  $S(\omega_i)$  est constante et où  $\psi_i$  diffère de  $\theta_i$  par une constante additive que l'on peut écrire  $\omega_i(t)$  avec  $t$  indépendant de  $\omega_i$ . Dans la bande passante le système est dynamiquement linéaire.

La réponse en amplitude est souvent donnée sous forme de  $\delta = 20 \log_{10}(s(\omega)/s_0)$ , l'atténuation en décibels (dB) par  $\delta_0$ . La figure ci-dessous rappelle l'allure générale de la réponse de tels capteurs du premier ordre dont la coupure aux fréquences supérieures à  $f_c$  est de 20dB par décade.

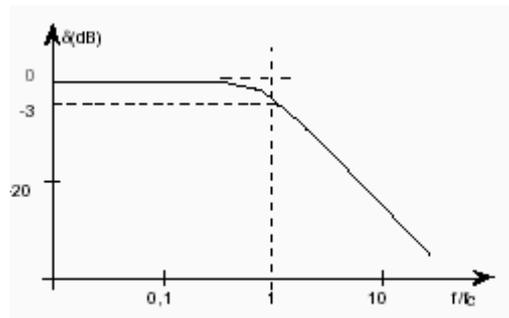


Figure 1.5: Sensibilité dynamique d'un capteur du premier ordre

Le temps de réponse des capteurs, quel que soit leur ordre est toujours influencé par la chaîne de mesure.

#### 2.4.2. Temps de réponse

Le temps de réponse des capteurs se déduit également des équations différentielles précédentes. Pour un capteur du premier ordre, le temps de réponse des capteurs en supposant que  $m=0$  pour  $t < 0$   $m=m_0$  pour  $t > 0$ , est donné par l'équation :

$$s = 3s_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \text{ avec } s_0 = 3\frac{m_0}{B} \text{ et } \tau = \frac{3A}{B} \quad (1.6)$$

Où  $1/B$  est parfois appelé sensibilité statique.

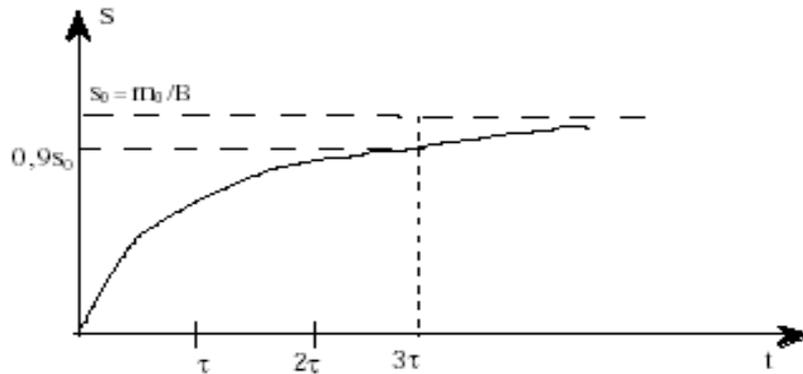


Figure 1.6: réponse à un échelon d'un capteur du premier ordre

Il faut attendre  $t = 3\tau$  pour atteindre 90 % de la sensibilité  $s_0$  du régime permanent.

### 3. Amplificateur d'instrumentation

Cette étape permet d'adapter le niveau du signal issu du capteur à la chaîne globale d'acquisition. Le conditionneur doit permettre de préparer le signal à un traitement et à une transmission. Il doit amplifier et convertir pour cela le signal électrique de sortie de capteur.

#### 3.1 Amplification

Le signal fourni par un capteur est pratiquement toujours très faible et ne peut donc être transmis tel quel. On va donc dans une première étape l'amplifier pour l'adapter en amplitude aux dispositifs suivants de la chaîne. En exploitant les propriétés de l'amplificateur opérationnel on pourra aussi compenser des erreurs de zéro en procédant à un décalage du signal, voire parfois décaler fortement le signal pour le rendre compatible avec le système de conversion analogique numérique associé. Précisons que le taux d'amplification requis sera le résultat d'un compromis lié au choix du convertisseur analogique numérique, c'est à dire en fait de la résolution souhaitée. Celle-ci doit être mûrement réfléchie et résulte de plusieurs critères, dont en particulier le choix du système informatique et du langage dans lequel on va développer les programmes de traitement éventuel, ainsi que du procédé d'affichage retenu autant que de la qualité du capteur. On devra aussi tenir compte de l'étendue de mesure effective.

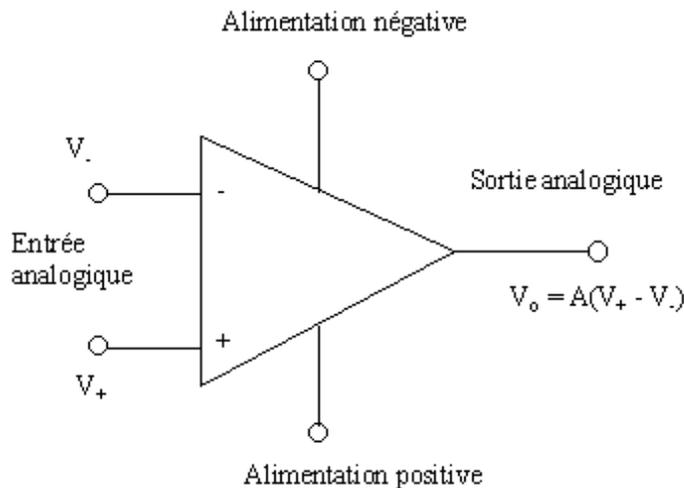


Figure 1.7 : Amplificateur opérationnel

#### 3.2 Amplificateur de tension

L'objectif est d'obtenir une tension proportionnelle à la tension aux bornes du capteur ou de son circuit conditionneur.

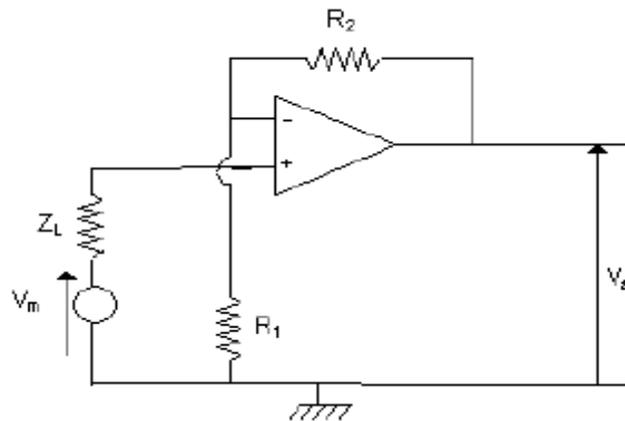


Figure 1.8 : Montage d'une amplification de tension

### 3.3 Convertisseur courant/tension

On utilise dans la plupart des cas un convertisseur courant/tension qui présente une grande impédance d'entrée :

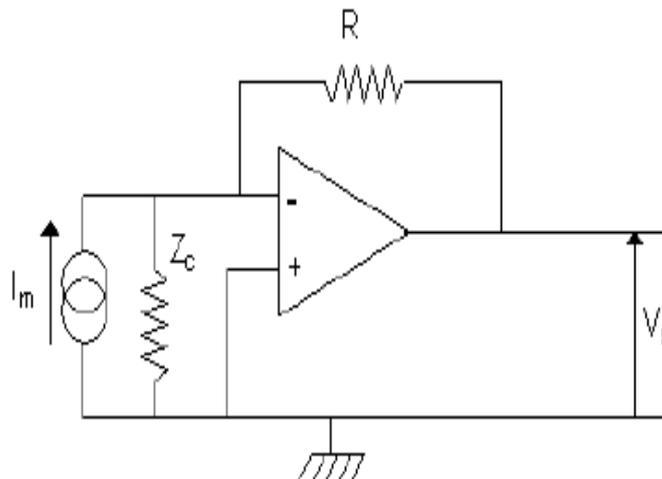


Figure 1.9: Montage pour un convertisseur courant/tension

## **4. L'échantillonneur**

### 4.1 Rôle

Son rôle est de prélever à chaque période d'échantillonnage ( $T_e$ ) la valeur du signal. On l'associe de manière quasi-systématique à un bloqueur. Le bloqueur va figer l'échantillon pendant le temps nécessaire à la conversion. Ainsi durant la phase de numérisation, la valeur de la tension de l'échantillon reste constante assurant une conversion aussi juste que possible. On parle d'échantillonneur bloqueur.

Le rôle d'un échantillonneur bloqueur (E/B) est donc de maintenir constante l'amplitude de l'échantillon prélevé tous les  $T_e$  durant le temps nécessaire à sa conversion.  $T_e$  représente la période d'échantillonnage.

### 4.2 Principe

Réaliser un échantillonneur bloqueur consiste à associer un interrupteur à une capacité.

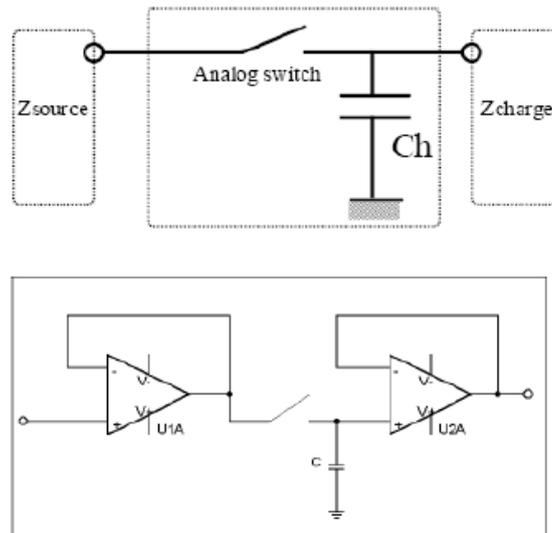


Figure 1.10 : Schéma de principe d'un échantillonneur bloqueur

## 5. Le convertisseur analogique numérique (CAN)

### 5.1 – Définition

Il transforme la tension de l'échantillon (analogique) en un code binaire (numérique). Les caractéristiques importantes pour les CAN recherchés sont la vitesse de conversion, le nombre de bits converti, la dynamique de tension, l'alimentation, la disponibilité, l'impédance d'entrée,...

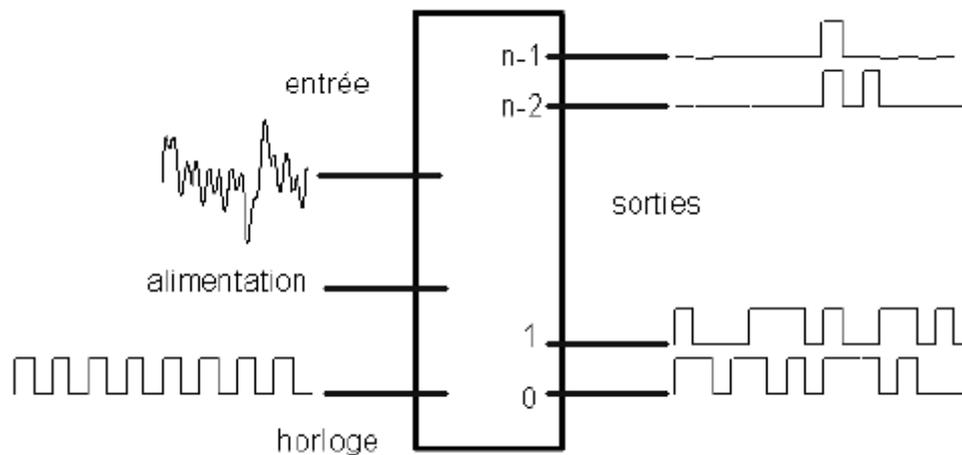


Figure 1.11 : Schéma synoptique d'un CAN

### 5.2 - Nécessité de numérisation

Lorsqu'on dispose d'un signal, celui-ci peut intervenir dans plusieurs types de processus :

- régulation, contrôle
- mesure, calcul et utilisation du résultat
- traitement de l'information
- stockage

Le stockage peut se faire avec des données numériques ou analogiques.

On peut ne pas numériser dans le cas de la régulation si la boucle d'asservissement est purement analogique.

Dans les deux autres cas, la numérisation devient obligatoire. Il existe bien des exemples de calculateurs analogiques, mais ils sont plutôt historiques. Cela est évident lorsqu'on utilise des microprocesseurs (classiques, DSP...) mais il suffit qu'il y ait besoin d'un stockage temporaire d'informations pour que les RAM soient adaptées. Les signaux

numériques présentent l'avantage de pouvoir subir des traitements impossibles en analogique : la chronologie n'est plus obligatoire (on conçoit des filtres non causaux par exemple).

Les données numériques présentent l'avantage de la robustesse en terme de signal électrique (au cours du transport ou du stockage) puisqu'il suffit de déterminer si on a affaire à un 1 ou un 0. La contrepartie est que certains digits jouent un rôle d'autant plus important qu'ils sont de poids fort (une erreur sur le MSB peut conduire à des erreurs >100%). On peut envisager des procédures et des codes de contrôle (notamment dans les procédures de transfert).

La numérisation permet d'appliquer aux données de nombreux algorithmes, en particulier ceux de compression en vue de diminuer les temps de transfert et les volumes de stockage. Deux caractéristiques classent ces algorithmes : le temps réel et la perte d'informations. Il y a bien évidemment toujours un compromis entre la réduction du volume des informations (compression) et leur sûreté (redondance).

### 5.3 La zone de stockage

Elle peut être un support de traitement (DSP, ordinateur), un élément de sauvegarde (RAM, Disque dur) ou encore une transmission vers un récepteur situé plus loin.

### 5.4 Le convertisseur numérique analogique (CNA)

Il effectue l'opération inverse du CAN, il assure le passage du numérique vers l'analogique en restituant une tension proportionnelle au code numérique.

Les principales caractéristiques des CNA recherchés sont sa vitesse de conversion, son niveau d'alimentation,

- - Principe de fonctionnement
- - Spécifications techniques

La plupart des C.N.A. est commercialisé sous forme de circuits intégrés caractérisés par leur :

- ✓ résolution: elle est exprimée en % de la pleine échelle ou en nombre de bits
- ✓ précision: on distingue deux types d'erreurs:
- ✓ erreur pleine échelle: écart maximal entre la valeur de sortie et la valeur idéale
- ✓ erreur de linéarité: écart maximal entre le pas de progression réel et le pas de progression idéal
- ✓ temps d'établissement: temps que met la sortie pour passer de 0 à la valeur " pleine échelle " (entre 50ns et 10 $\mu$ s), les convertisseurs à sortie " courant " étant généralement plus rapides que les convertisseurs à sortie " tension "
- ✓ tension de décalage: tension de sortie présente lorsque les entrées binaires sont à zéro

## 6. Les filtres d'entrée et de sortie

Le filtre d'entrée est communément appelé filtre anti-repliement. Son rôle est de limiter le contenu spectral du signal aux fréquences qui nous intéressent. Ainsi il élimine les parasites. C'est un filtre passe bas que l'on caractérise par sa fréquence de coupure et son ordre. Tandis que le filtre de sortie a pour rôle de « lisser » le signal de sortie pour ne restituer que le signal utile. Il a les mêmes caractéristiques que le filtre d'entrée.

## **7. Performances globale**

### **7.1. Fréquence de fonctionnement**

On peut définir la vitesse limite d'acquisition. Elle va dépendre du temps pris pour effectuer les opérations de :

Echantillonnage? :  $T_{ech}$

Conversion :?  $T_{conv}$

Stockage? :  $T_{stock}$

Ainsi la somme de ces trois temps définit le temps minimum d'acquisition et donc la fréquence maximum de fonctionnement de la chaîne :

$$T_{acq} = T_{ech} + T_{conv} + T_{stock} \text{ soit } F_{max} = \frac{1}{T_{ech} + T_{conv} + T_{stock}} \quad (1.7)$$

### **7.2. Résolution de la chaîne**

La numérisation d'un signal génère un code binaire sur N bits. On obtient donc une précision de numérisation de  $\frac{1}{2^N} \%$ .

Il faut donc que tous les éléments de la chaîne de conversion aient au moins cette précision.

On leur demande en général une résolution absolue de  $0.5 * \frac{1}{2^N} \%$

## **8. PC d'acquisition**

Pour canaliser les données d'un procédé vers un ordinateur, nous avons besoin d'un système d'acquisition complet. Un système d'acquisition de données est une interface entre le monde réel et l'ordinateur. Il prélève les signaux produits par des capteurs, et les convertit sous une forme compréhensible pour l'ordinateur.

Dans bien des cas, on utilise celui d'un micro-ordinateur. Cela nous permet de traiter les données acquises à l'aide de logiciels adéquats.

### **8.1 Interfaces : types et différences**

Pratiquement, il existe trois sortes d'interface de saisie de données:

- les cartes d'acquisition enfichables;
- les systèmes d'acquisition avec communication;
- les enregistreurs de données (data logger).

### **8.2 Les cartes d'acquisitions enfichables**

C'est l'interface matérielle décrite dans le paragraphe précédent.

### **8.3 Les systèmes d'acquisition avec communication**

Un système complet possède un microprocesseur permettant une certaine autonomie, une capacité d'analyse et le stockage de données. En citant ses caractéristiques, l'expansion est facile :

- Ils sont indépendants du type de micro-ordinateur utilisé (ils peuvent communiquer avec presque n'importe lequel; même par modem).
- Ils ne requièrent qu'une sortie série standard (RS-232-C, RS-422 ou IEEE-488) ou parallèle.
- Ils acceptent directement presque tous les types de transducteurs et de signaux analogiques.

- Nous avons quelquefois besoin d'avoir à programmer pour communiquer.

#### 8.4 Enregistrement des données

Il y a trois types d'enregistreurs basés sur la façon d'enregistrer les données :

- les données sont stockées en mémoire pour une analyse ou un transfert éventuel.
- les données sont enregistrées automatiquement sur papier pour une analyse et une visualisation immédiate.
- un système complet combinant les deux types d'enregistrement.

Mais les systèmes emmagasinant les données en mémoires sont normalement plus compacts.

#### 8.5 Les interfaces de communication

Les interfaces de communication sont des adaptateurs (sous forme de cartes ou intégré sur la carte maîtresse de l'ordinateur) permettant l'entrée et la sortie de données. Ces interfaces permettent de communiquer avec d'autres périphériques, par exemple, d'autres micro-ordinateurs, imprimantes, des systèmes d'acquisition de données, etc.

La transmission en *série* implique le transport d'un bit à la fois dans une simple ligne de communication. La communication *parallèle*, d'autre part, requiert autant de lignes qu'il y a de bits dans le mot traité.

La communication en série est profitable pour la transmission à longue distance (ex.: par ligne téléphonique). La communication parallèle, par contre, est désignée pour les courtes distances (ex.: imprimantes ou instruments d'essais).

Beaucoup d'interfaces de communication utilisent le format RS-232. Cependant, d'autres standards ont été conçus pour différentes applications :

- RS-422 : pour les longues distances et surtout rencontré dans les systèmes Macintosh);
- IEEE-488 : pour la communication entre les équipements scientifiques de laboratoires (les systèmes HP l'utilisent beaucoup);
- RS-485 : pour plus de 2 items (moins fréquent).

### ***1.2 Etude théorique du matériel : le résistivimètre électrique***

En géophysique, on essaie de déterminer l'architecture du sous-sol caché en mesurant certaines propriétés physiques à partir de la surface. Il existe de nombreuses méthodes géophysiques, chacune fournit des indications sur la nature du sous-sol par le biais de l'étude de la variation d'un paramètre physique. Le but des méthodes géophysique est donc essentiellement la mesure des paramètres dans les propriétés physiques de matériaux constituant le sous-sol et la tentative de déduire la nature et la distribution de ces matériaux responsables de ces observations.

Une des méthodes que nous abordons dans ce travail est la méthode électrique qui mesure les paramètres de résistivités dans le sous sol.

En définitive les paramètres physiques de la roche dépendront des pourcentages des divers constituants, à savoir densité, vitesse, résistivité, susceptibilité, etc.... Ainsi sous le

terme **résistivité** ou prospection électrique en courant continu ou très basse fréquence, nous pouvons utiliser:

- ✎ Les cartes de potentiel
- ✎ La mise à la masse
- ✎ Le traîné électrique
- ✎ Le sondage électrique
- ✎ Les panneaux électriques au sol (ou pseudo-sections)

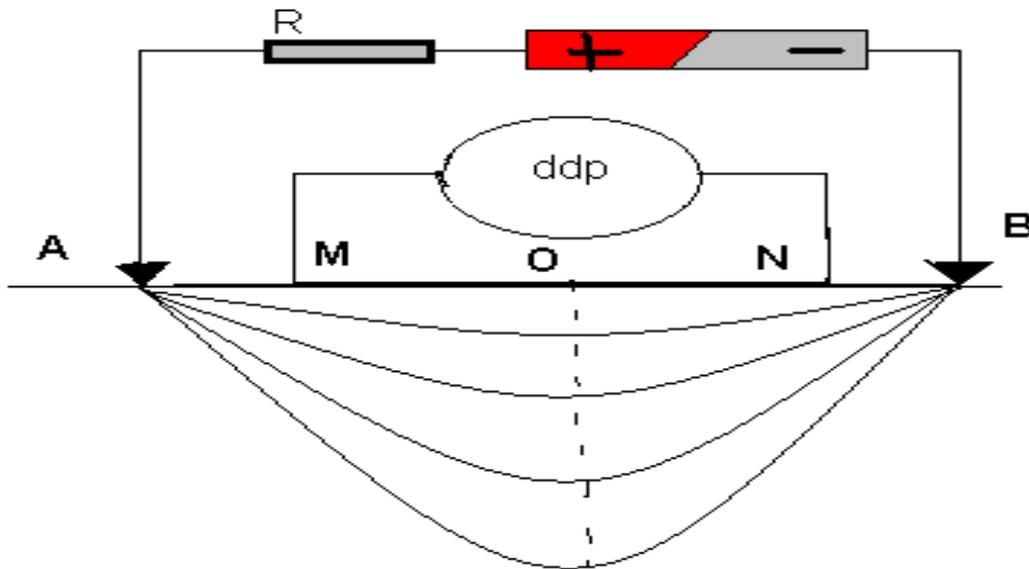
## 2.1. Méthode électrique

Les variations des propriétés physiques doivent être suffisamment importantes pour que leurs effets puissent être captés par les instruments disponibles sur le marché.

En géophysique, la prospection électrique, a pour méthode d'injecter des courants dans le sous sol, et exploite les contrastes de résistivité électrique des roches en mesurant la différence de potentiel du sous sol. On utilise dans la plupart du temps, le résistivimètre électrique.

### 2.1.1- Principe :

La résistivité électrique caractérise le sol par sa capacité à bloquer le courant électrique. La mesure de la résistivité d'une structure s'effectue en injectant un courant électrique dans le sous sol au moyen de deux électrodes d'injection (souvent nommées A et B). Ce courant crée une distribution d'équipotentielle permettant de mesurer une différence de potentiel (V) entre deux autres électrodes M et N. Les électrodes M et N jouent le rôle de capteurs. La différence de potentiel mesurée dépend de l'intensité du courant injecté, de la disposition des électrodes et de la résistivité électrique du matériau constituant l'objet étudié.



*Figure 1.12: Disposition des électrodes*  
(Confère Cours de géophysique. Résistivités électriques p 51. Professeur D. Chapellier . 2000/01)

Les résultats obtenus en maintenant constante la distance entre A, B, M, et N, l'ensemble se déplaçant le long d'un profil, servent à établir les profils et cartes de résistivité.

Si le sous-sol est homogène et isotrope, on parle d'une résistivité vraie des matériaux, ceci n'est pas valable pour des milieux hétérogènes, et on mesurera la résistivité apparente, qui est fonction de la nature du sous-sol et de la dimension du dispositif utilisé.

$$\rho_{app} = k \frac{\Delta V}{I} \quad (1.8)$$

$\rho_{app}$  = résistivité apparente [ $\Omega.m$ ]

$k$  = facteur géométrique [m]

$I$  = intensité du courant [mA]

$\Delta V$  = différence de potentielle [mV]

$k$  est le facteur géométrique qui dépend de l'espacement des électrodes sur le terrain et s'exprime par la relation :

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}} \quad (1.9)$$

En effet, à une longueur déterminée des distances AMNB correspond une profondeur d'investigation à peu près constante, donc à l'étude d'une tranche de terrain d'épaisseur et de largeur déterminées. Les dimensions du dispositif seront donc choisies en fonction du problème à traiter. Mon collègue (Ralay 2007) a choisi le gamme de courant allant jusqu'à 500 mA, les potentiels mesurés varient de quelques Volts à quelques mV selon la position des électrodes sur le terrain et également selon la conductivité électrique des roches.

### **2.1.2 Dispositifs et acquisition :**

Dans la plupart des quadripôles utilisés, les quatre prises sont disposées sur un même alignement (Figure 3.1 : disposition des électrodes). Les deux électrodes de mesure M et N sont le plus souvent, à l'intérieur de l'intervalle AB et en général symétriques par rapport au milieu O de cet intervalle. Parfois il peut être intéressant d'utiliser un dispositif dissymétrique, M et N étant beaucoup plus près de l'un des pôles d'envoi, l'influence du second pôle est alors très faible. Mais nous nous limiterons seulement aux deux dispositifs les plus connus dont :

Le Wenner ou toutes les électrodes sont équidistantes,  $AM = MN = NB = AB/3$

Le Schlumberger ou la distance MN est petite par rapport à AB et en général  $MN < AB/5$

Avant chaque injection du courant, il est important de mesurer la Polarisation Spontanée (PS) du terrain due à l'activité électrochimique ou mécanique; sa valeur est de quelques millivolts : Elle sera prise en compte lors de la mesure de la différence de potentiel ( $\Delta V$ ).

En surface, les mesures peuvent être effectuées en gardant le centre du dispositif fixe et en écartant les électrodes d'injection (sondage électrique) ou en déplaçant un dispositif à écartement constant (traîné électrique). Avec la première méthode nous obtenons la variation de la résistivité en 1D (une dimension) sous le dispositif et avec la seconde méthode nous pouvons étudier les variations latérales de ce paramètre.

En combinant ces deux techniques, il est possible de réaliser des panneaux électriques, sensibles aux variations tant verticales qu'horizontales de la sub-surface. Ces

mesures sont habituellement représentées sous la forme de panneaux électriques (ou pseudo-sections en résistivités apparentes). Les mesures sont particulièrement sensibles aux variations de la résistivité sous le dispositif. Les points de mesure sont reportés à l'aplomb du centre du dispositif et à une ordonnée proportionnelle à la distance séparant les électrodes (AM/2 ou AB/2 par exemple) définissant des niveaux d'acquisition. Les valeurs sont ensuite interpolées pour tracer les lignes d'isorésistivité.

Les électrodes sont de simples broches en acier inoxydable d'environ 30 cm de long et 1 cm de diamètre. Des tensions de plusieurs centaines de Volts et des courants pouvant atteindre 500 mA sont utilisés selon le choix de l'utilisateur.

## **2.2 Configuration du PIC 16F877**

### **2.2.1 Notion sur le PIC**

Un **microcontrôleur** est un circuit intégré rassemblant dans un même boîtier un microprocesseur, plusieurs types de mémoires et des périphériques de communication (Entrées - Sorties).

Un microprocesseur a besoin de certains éléments pour fonctionner :

- de la mémoire morte dite ROM (principalement pour stocker le programme) ;
- de la mémoire vive dite RAM (principalement pour stocker les variables) ;
- des périphériques (principalement pour interagir avec le monde extérieur).
- une horloge pour le cadencer (principalement à quartz)

Ces différents blocs sont reliés par 3 bus :

- le bus d'adresse qui permet au microprocesseur de sélectionner la case mémoire ou le périphérique auquel il veut accéder pour lire ou écrire une information (instruction ou donnée) ;
- le bus de données qui permet le transfert des informations entre les différents blocs ; ces informations seront soit des instructions soit, des données en provenance ou à destination de la mémoire ou des périphériques ;
- le bus de contrôle qui indique si l'opération en cours est une lecture ou une écriture, si un périphérique demande une interruption etc

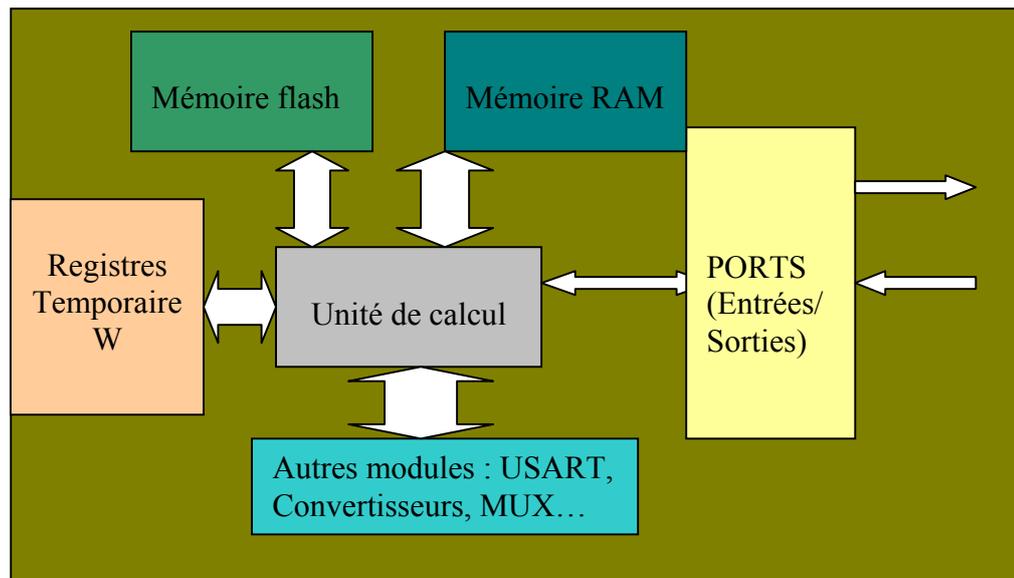


Figure 1.13 : Schéma fonctionnel d'un PIC

Une des familles des microcontrôleurs est la famille des Pics, et nous nous limiterons également au PIC 16F877 qui est la base de l'interface matérielle du résistivimètre réalisé par mon collègue Razafiarisera Ralay Tiana.

### 2.2.2 Architecture du PIC 16F877

L'architecture du PIC16F877 est de type RISC (Reduced Instruction Set Computing), c'est-à-dire que ce microcontrôleur possède un nombre réduit d'instructions. Chaque instruction s'exécute en une période d'horloge.

Le Pic 16F877 est composé de plusieurs éléments dont:

- ❖ Mémoires :
  - " 8k \* 14 mots de mémoire programme FLASH
  - " 368 \* 8 octets de mémoire RAM
  - " 256 \* 8 octets de mémoire EEPROM
- ❖ 3 timers
- ❖ Un module de communication série asynchrone
- ❖ Un module de communication parallèle
- ❖ Une USART
- ❖ 1 convertisseur A/N de 10 bits
- ❖ Gestion des interruptions : jusqu'à 14 sources d'interruptions

### 2.2.3 Brochage du PIC 16f877

C'est un circuit intégré qui comporte 40 broches. Chacune de ses broches a ses propres fonctions. Le schéma ci-dessus décrit le brochage du 16f877 selon le datasheet de Microchip.

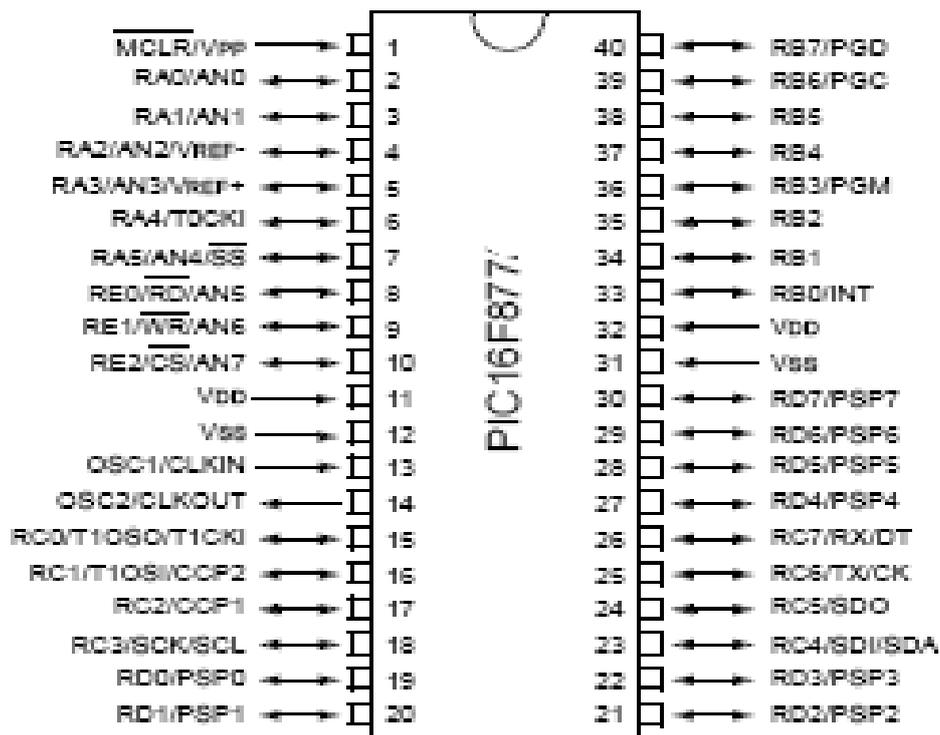


Figure 1.14 : Brochage du pic 16f877

Vue de l'extérieur, on peut classer ces broches selon leur fonction :

- Les lignes de commandes : Ce sont ces broches qui assurent le fonctionnement du pic. On trouve les broches d'alimentation dont le MCLR pour le remis à zéro du microcontrôleur, VDD à +5V pour l'alimentation positive, VSS 2V pour la masse ; ensuite les broches à quartz qui permettent de faire fonctionner l'oscillateur interne du PIC.
- Les ports : Toutes les autres lignes sont des ports. Le PIC 16F877 possèdent 5 PORTS (A, B, C, D et E) et tous les ports d'entrées sorties Input/ Output sont bidirectionnels.

La plupart des lignes de ports ont une double fonction.

- Le port A (5 bits) E/S pure et/ou convertisseur analogique et/ou TIMER 0.

La broche RA4 du PORT A (Entrée du TIMER 0 T0CKI) est du type DRAIN OUVERT.

- Le PORT B (8 bits) I/O pure et/ou programmation in situ ICSP/ICD (**Broche RB3/PGM, RB6/PGC et RB7/PGD**) et l'entrée d'interruption externe **RB0/INT**.

**Remarque** : Si le PIC est utilisé en mode ICSP/ICD il faut laisser libre les broches **RB3/PGM, RB6/PGC** ainsi que **RB7/PGD**) et les configurer en entrée.

- Le PORT C (8 bits) I/O pure et/ou **TIMER 1** et/ou **SPI / I2C** et/ou **USART**.

- Le PORT D (8 bits) I/O pure et/ou port parallèle 8 bits associé au PORT E.

- Le PORT E (3 bits) I/O pure et/ou pilotage du PORT E **RE0/RD, RE1/WR** et **RE2/CS**.

Toutes les lignes de ports peuvent fournir un courant de **25mA** par ligne de **PORT**. Une limite de **40mA** par **PORT** doit être respectée pour des questions de dissipation.

### 2.2.4. Structure interne du PIC

Le PIC 16f877 possède des mémoires pour les stockages de données et de programmes, des ports d'entrées/sorties (Figure). Cette structure sert à véhiculer les informations. Il dispose également d'un convertisseur analogique numérique pour la conversion des tensions ; des *timers* servant à générer des événements périodiques et créer une interruption. Enfin un USART permet le transfert des données converties vers le périphérique. Ce dernier est utilisé aussi pour recevoir des données de l'extérieur.

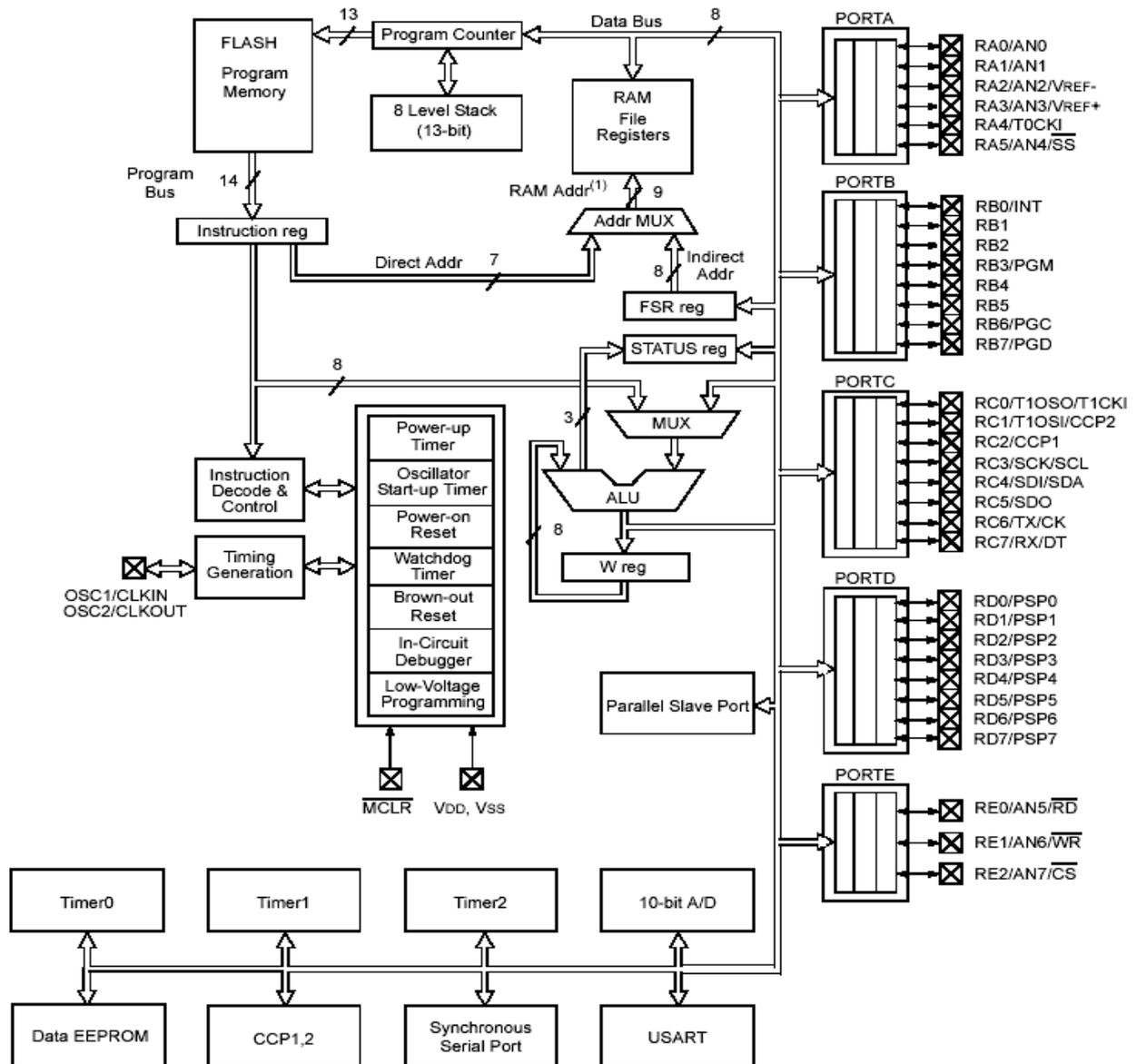


Figure 1.15: Structure interne d'un PIC (Philippe HOPPENOT, Juin 2004)

#### 2.2.4.1 Organisation mémoire.

Les PICs utilisent un bus pour les instructions et un bus pour les données, donc il faut considérer deux plans mémoire : l'un pour les instructions et l'autre pour les données ainsi que les registres internes. L'accès aux deux mémoires est possible pendant le même cycle machine.

a. Plan mémoire pour les instructions

Le plan mémoire est linéaire, les adresses vont de 0000h à 1FFFh (8k mots de 14 bits), par page de 2K mots. On peut remarquer, le vecteur de reset est figé en 0000h.

Les PICs n'ont qu'un seul vecteur d'interruption en 0004h. Lors d'une interruption, le sous programme associé devra déterminer quel périphérique a demandé une interruption.

La pile utilisée par les sous programmes n'est pas implantée en mémoire de donnée comme avec les microcontrôleurs classiques, mais dans la mémoire programme. Elles sont utilisées lors d'appels de sous programmes, on ne peut pas imbriquer plus de **8** sous programmes.

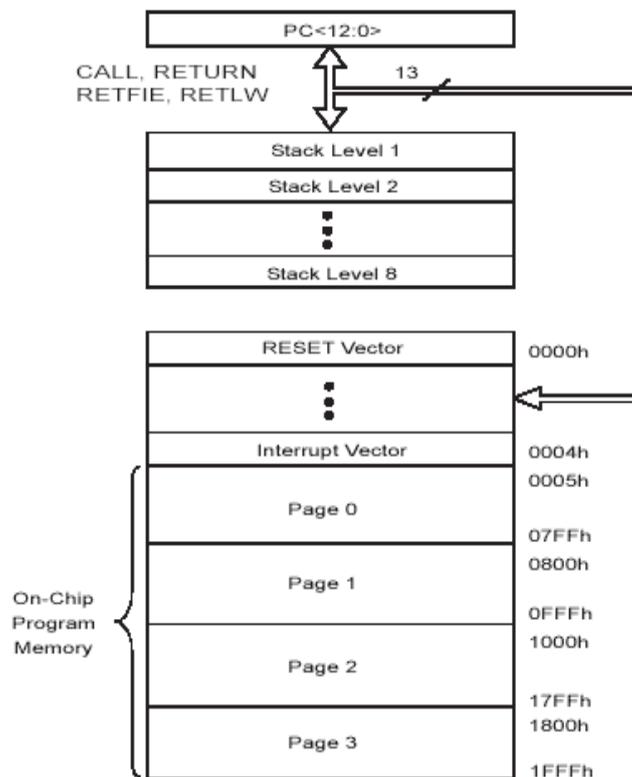


Figure 1.16 : Organisation de la mémoire d'instruction (Pic 16F84, Philippe HOPPENOT, Juin 2004)

b. Plan Mémoire pour les données et registres internes

Le plan mémoire des données et des registres internes est découpé en 4 zones ou banques de **128** octets, pour accéder à une zone il faut positionner les bits **RP0 (bit 5)** et **RP1 (bit 6)** du registre **STATUS**.

RP1 : RP0	Zone sélectionnée ou (banque)	Adresse
0 0	banque 0	de 00h à 7Fh
0 1	banque 1	de 80h à FFh
1 0	banque 2	de 100h à 17Fh
1 1	banque 3	de 180h à 1FFh

Tableau I: Plan mémoire des données et registres internes du Pic

Le Registre General Purpose représente la RAM. Les 16 octets communs de 70h à 7Fh, sont donc indépendants des Banques. Tous les registres du PIC mis dans ces banques sont sous forme 8 bits. Le contenu de ces registres peut être vu par la File Register Window (dans MPLAB) pendant la simulation.

L'adresse des données, codée sur 7 bits, va de 00h à 7Fh. Les 2 bits RP0 et RP1 sont 2 bits d'adresses supplémentaires et extérieurs. La figure montrant cette organisation mémoire est conférée dans la figure I.16.

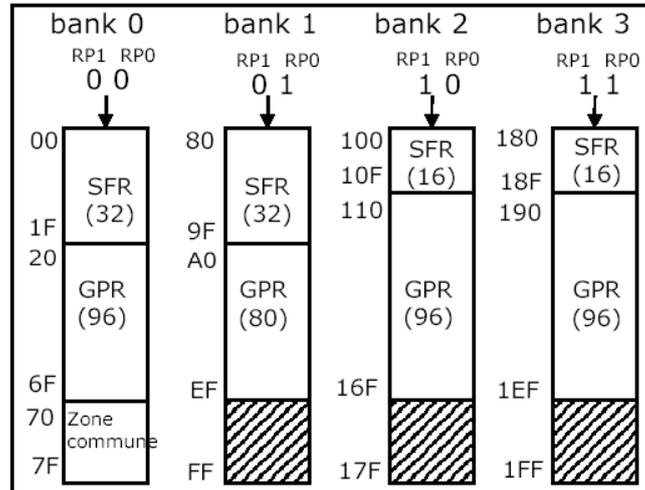


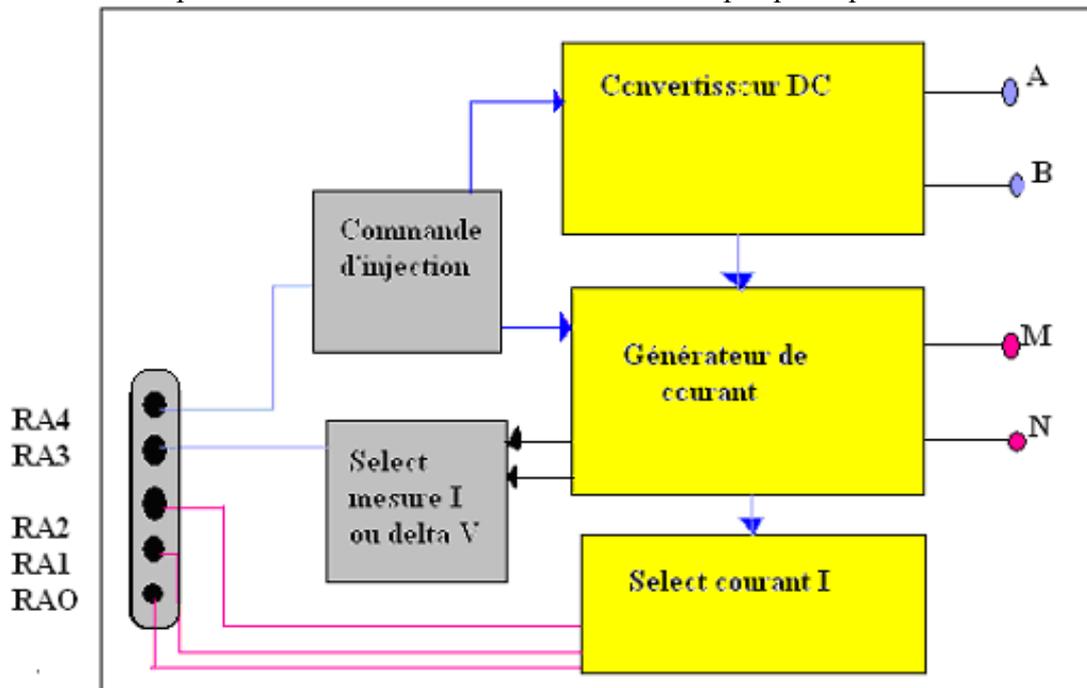
Figure I.17 : organisation de la RAM du 16F877 (Le Pic 16F876/16F877, A. OUMAD, 2003)

## 2<sup>ème</sup> Partie: Commande automatique piloté par ordinateur

### II.1 Généralités sur l'interface matérielle

On trouve dans la carte d'acquisition:

- Un générateur de courant
- Un sélecteur de courant
- Un convertisseur de tension 12V/300V
- Un adaptateur de niveau entre l'ordinateur et son périphérique



Données  
parallèles de  
l'USART

Figure 2.1 : schéma synoptique du résistivimètre

L'injecteur possède également les éléments suivants :

- générateur de courant
- sélectionneur de courant. Celui-ci fixe la valeur du courant injecté. Etant limité par le composant disponible, nous avons fixé la gamme de courant à 7 valeurs. Le multiplexeur analogique est à 8 voies (PIC 16F877). Aucune règle précise n'a été adoptée pour l'affectation des bits à ces valeurs
- Le convertisseur analogique numérique est à approximations successives et il possède une résolution de 10 bits. Il est composé de :
  - multiplexeur analogique 8 voies **PIC16F877**
  - échantillonneur bloqueur
  - Convertisseur Analogique Numérique de 10 bits

La figure ci-dessous nous montre la synoptique de l'acquisition pour la mesure d'une résistance. (Pour plus de détails, voir Ralay RAZAFIARISERA, 2007)

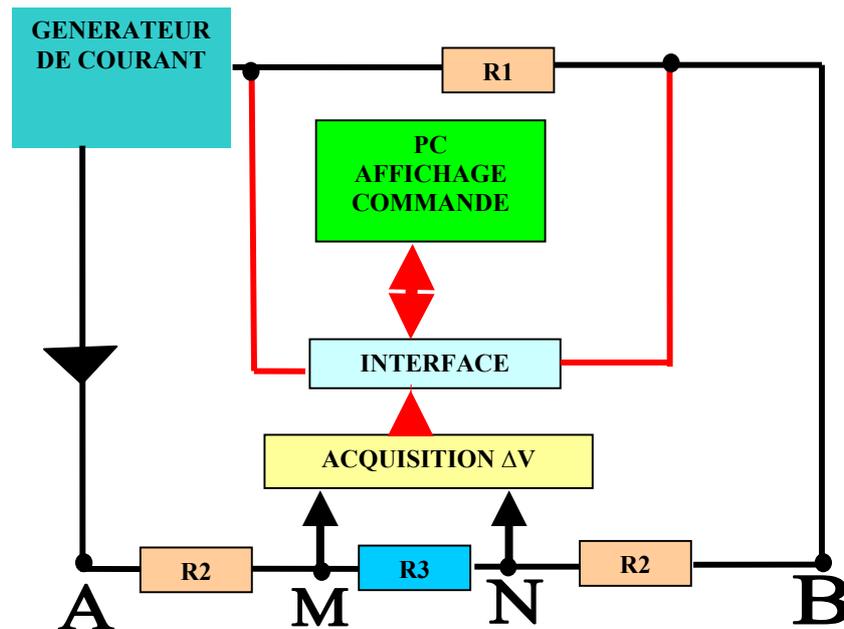


Figure 2.2 : Synoptique de l'acquisition pour la mesure d'une résistance

### II.1.1 Injection de courant

On a besoin d'un générateur de courant et d'un sélecteur de courant. La gamme de courant utilisé est illustrée par le tableau ci-après :

Courant (mA)	RA2	RA1	RA0
0.2	0	0	0
1	0	0	1
10	0	1	0
100	0	1	1
200	1	0	0
500	1	0	1
Automatique	1	1	0

Tableau II : gamme de courant utilisée

L'utilisateur peut sélectionner la gamme de courant correspondante à chaque mesure ou tout simplement de laisser le choix libre au PIC, d'où l'existence du choix automatique.

- La commande d'injection permet de faire fonctionner le convertisseur DC/DC et le générateur de courant. RA4 est utilisé pour cette commande :
  - RA4 = 0 Aucun courant n'est injecté
  - RA4 = 1 Il y a injection de courant
- Un autre sélecteur est utilisé pour sélectionner la mesure à faire :  $\Delta V$  ou I. Dans ce cas, la voie RA3 définit la sélection de la mesure :

- $RA3 = 0$  concernant la mesure de  $\Delta V$
- $RA3 = 1$  niveau haut pour la mesure de I

### II.1.2 Mesure de la tension entre M et N

On a vu auparavant que pour sélectionner le mode de fonctionnement de la mesure tension, il suffit de mettre  $RA3$  au niveau haut.  $RA3 = 1$ .

Il existe trois types de tension à mesurer dont :

- La polarisation spontanée
- La différence de potentiel aux bornes des électrodes M et N
- La tension de vérification de l'intensité injectée lue aux bornes de la résistance  $R3$ .

On se réfère toujours au principe de la mesure de la tension aux bornes de M et N :

#### - Mesure de la tension aux bornes de M et N

Le courant injecté dans le sous sol va créer une distribution équipotentielle. On mesure la différence de potentiel aux bornes des électrodes M et N. Une fois que la mesure est prise, le CAN la code en donnée compréhensible par l'U.S.A.R.T ou le convertisseur série parallèle. Après l'avoir traduit en série, l'équipement informatique décode les données binaires en tension.

On peut illustrer la mesure de la tension par la figure ci-dessous :

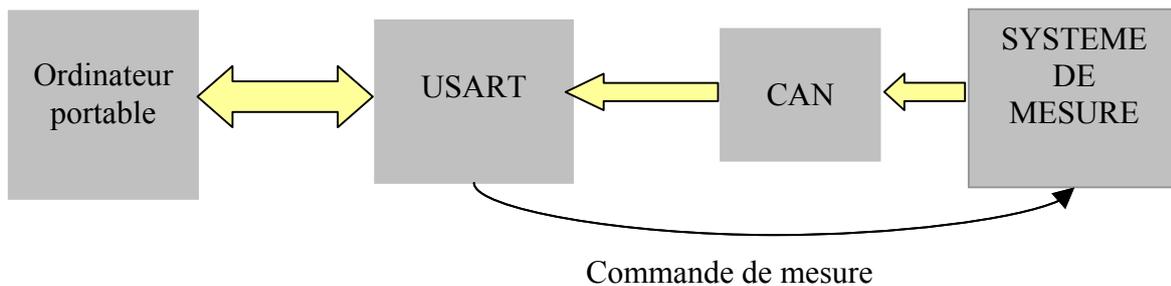


Figure 2.3 : Chaîne d'acquisition de la mesure de la tension  $U_{MN}$

#### - Mesure de la polarisation spontanée

Même principe que la mesure de  $U_{MN}$ , la seule différence c'est qu'on effectue la commande de mesure sans injection de courant. Les autres commandes sont toujours précédées par la commande de mesure de la polarisation spontanée.

#### - Mesure de la résistance $R3$

Les mesures de  $U_{MN}$  et  $U_{R3}$  sont effectuées simultanément. L'intensité de courant qui traverse le sous sol est obtenue par le rapport de la tension aux bornes de la résistance, qui est montée en série avec le sous sol et la résistance  $R3$ .

### II.1.3 Commande de mise en marche

Pour faire fonctionner le système, il est nécessaire d'envoyer un signal de commande de mise en marche au port série, ce signal correspond à un caractère ASCII, que l'on traduit sous forme binaire.

Chaque caractère ASCII correspond à un octet de commande. Ainsi les commandes envoyées au port série sont définies par leur octet correspondant, ou tout simplement leur forme décimale.

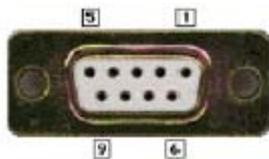
Signification	Code ASCII		Chaîne binaire correspondante
	Caractère	Décimale	
Mise sous tension	0	48	00110000
0.1mA	1	49	00110001
0.5mA	2	50	00110010
1mA	3	51	00110011
10mA	4	52	00110100
100mA	5	53	00110101
500mA	6	54	00110110
Selection automatique de courant	7	55	00110111
Mesure de PS	8	56	00111000
Mesure de $\Delta V$	9	57	00111001
Commande d'injection courant	10	58	00111010

**Tableau III** : Codes ASCII et binaire des commandes

## II.2 Les ports de communications

Le transfert de données d'un ordinateur se fait par connexion en mode parallèle ou les 5, 6, 7, ou 8 bits sont envoyés simultanément à l'aide de plusieurs canaux (fils), donc c'est une transmission rapide ; on peut utiliser aussi le mode série ou le trame de données de 5, 6, 7 ou 8 bits sont envoyés l'une à la suite de l'autre. La transmission est lente mais l'avantage c'est qu'on n'a besoin que de 3 fils pour une liaison série full duplex de la connexion avec un périphérique. Pour la suite, nous utilisons cette seconde proposition.

La « Communication Numérique Serielle » est utilisée pour le transfert de données au niveau du résistivimètre en passant par l'interface. L'ordinateur peut établir sa liaison à travers les « interfaces Entrée/Sortie » appelées le plus souvent « interfaces E/S ». Physiquement, les ports série sont généralement intégrés à la carte mère, c'est pourquoi les interfaces présentées sous forme de connecteurs DB9 sont situées à l'arrière du boîtier, et reliés à la carte mère par une nappe de fils, permettant de connecter avec le milieu extérieur.



DB9 femelle (utilisé pour un DCE)



DB9 male (utilisé pour un DTE)

Figure 2.4 : Ports RS232C 9 broches

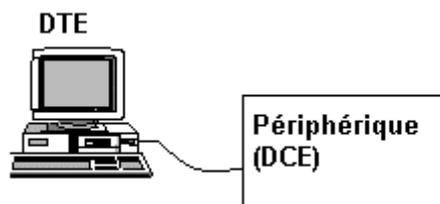
### II.2.1 Les signaux ports séries

On se limitera au brochage des connecteurs DB9.

Broche	Signal	Description	E/S
1	CD	Détection de porteuse	Entrée
2	RD	Réception de données	Entrée
3	TD	Emission de données	Sortie
4	DTR	Terminal de données prêt	Sortie
5	SG	Masse de signal	
6	DSR	Données prêtes	Entrée
7	RTS	Requête d'émission	Sortie
8	CTS	Prêt pour l'émission	Entrée
9	RI	Indicateur d'appel	Entrée

**Tableau IV:** *brochage des connecteurs DB9.*

La communication série est le protocole bas niveau pour relier 2 périphériques DTE et DCE : DTE signifie Data Terminal Equipment et correspond en général au PC, alors que DCE signifie Data Communication Equipment et correspond au périphérique.



*Figure 2.5 : Communication série entre un terminal et un périphérique*

Du point de vue électrique, les différents signaux présents sur le port série sont définis par la norme RS232C (Recommended Standard Number 232) ou nombre standard recommandé. Pour limiter la perturbation due aux bruits parasites, on utilise des tensions caractéristiques où le "1" est représenté par un signal significatif entre -12 et -3 Volts et dénommé MARK, et où le "0" est représenté par un signal compris entre +3 et +12 Volts et dénommé SPACE. Il y a un non retour à zéro (NRZ) pour lever toute ambiguïté sur le "1" ou le "0".

Certains périphériques comme des microprocesseurs utilisent une logique TTL, bien connue des électroniciens. Afin de passer d'une logique RS232, dite inversée, à une logique TTL, certains fabricants ont développé des circuits intégrés spécifiques. Par exemple, le fabricant Maxim produit un composant appelé MAX232 pour adapter ces niveaux.

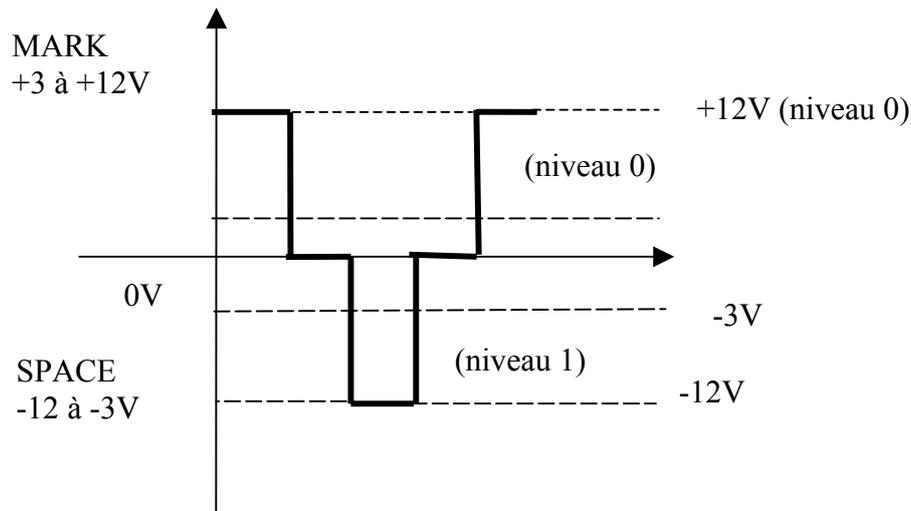


Figure 2.6: Niveau des signaux de données

En bref, la liaison RS232 utilise pour transmettre des données des signaux +/- 12v. Ainsi +12v signifie le niveau logique « 0 », tandis que le - 12 volt donne le niveau logique « 1 ». Pour simplifier les liaisons rs232, il existe un composant intégré très performant qui traduit ses niveaux en signaux 0-5V. Il s'agit du MAX232. Nous étudierons plus loin comment implémenter un max232 et créer une communication via un Pic.

Ainsi, pour les lignes de données RX (réception de données) et TX (transmission de données), l'état activé correspond à la tension comprise entre -3V et -12V : valeur binaire 1 ou 5V en TTL, l'état désactivé correspond à la tension comprise entre 3V et 12V : niveau bas (O logique) ou 0V en TTL.

Contrairement aux lignes de contrôles, le 1 logique correspond à la tension supérieure à 3V, tandis que le 0 logique à la tension inférieure à -3V

## II.2.2 Brochage du port série

On peut distinguer les signaux du port série en 2 catégories :

- Les lignes de données
- les lignes de contrôles

Les lignes de données sont composées des lignes :

- RXD (Received Data) : C'est une ligne du PC qui reçoit les données de l'extérieur
- TXD (Transmitted Data) : est une ligne d'envoi des données vers le monde extérieur

Pour une liaison fulduplex (le transfert des données peut se faire dans les deux sens : émission et réception) entre un DTE et un DCE, 3 lignes seulement suffisent :

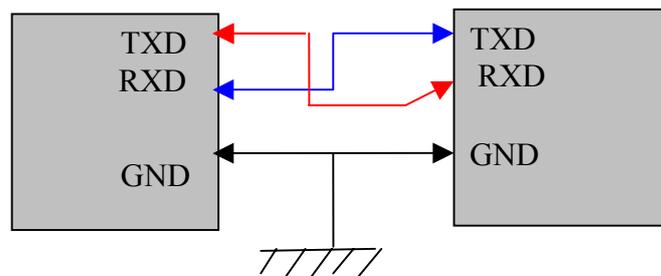


Figure 2.7 : Transfert de données entre un DTE et un DCE

Les autres signaux ont été ajoutés afin de permettre un contrôle du déroulement de la liaison par l'un ou l'autre des équipements d'où on les classe de lignes de contrôles. Ce sont :

- RTS : une ligne de demande d'émission ; elle passe au niveau haut lorsque le terminal veut envoyer des données.
- CTS : une ligne d'invitation à émettre ; elle passe au niveau haut lorsque l'ordinateur attend des données du terminal.
- DSR indique, lorsqu'elle est au niveau haut, que l'ordinateur est prêt.
- DTR indique, lorsqu'elle est au niveau haut, que le terminal est prêt.
- DCD n'est utilisée en principe que sur les modems. C'est la ligne de détection de porteuse qui passe au niveau haut en présence de cette dernière.
- RI est encore une ligne utilisée seulement par les modems ; c'est l'indication de sonnerie. Son emploi est peu fréquent sur une liaison série RS 232 classique.

### II.2.3 Protocole de transmission :

Afin que les éléments communicants puissent se comprendre, il est nécessaire d'établir un protocole de transmission. Ce protocole devra être le même pour les deux éléments afin que la transmission fonctionne correctement. Il faut connaître les différents paramètres aussi bien que du récepteur que de l'émetteur à savoir :

- **Longueur** des mots : 7 bits (ex : caractère ascii) ou 8 bits
- **La vitesse de transmission** : les différentes vitesses de transmission sont réglables à partir de 110 bauds (bits par seconde) de la façon suivante : 110 bds, 150 bds, 300 bds, 600 bds, 1200 bds, 2400 bds, 4800 bds, 9600 bds.
- **Parité** : le mot transmis peut être suivi ou non d'un bit de parité qui sert à détecter les erreurs éventuelles de transmission. Il existe deux types de parité.
  - ✓ **parité paire** : le bit ajouté à la donnée est positionné de telle façon que le nombre des états 1 soit pair sur l'ensemble donné + bit de parité
  - ✓ **parité impaire** : le bit ajouté à la donnée est positionné de telle façon que le nombre des états 1 soit impair sur l'ensemble donné + bit de parité
- **Bit de start** : Le **début de la transmission** d'un mot binaire (octet en général), est marqué par le passage du signal au niveau logique "0". Ce niveau doit être maintenu pendant un temps "T" dont la valeur est une caractéristique de la transmission. Valeur commune au transmetteur et au récepteur. On l'appelle **temps de bit**. Par ce moyen, l'émetteur indique au récepteur le début de la transmission d'un mot binaire.
- **Bit de stop** : après la transmission, la ligne est positionnée au repos pendant 1, 2 ou 1,5 périodes d'horloge selon le nombre de bits de stop. La ligne doit être au niveau logique "1" avant de commencer à émettre un mot binaire. Si le bit de parité (ou le dernier bit émis si pas de parité) sont à 0, il faudra bien que la ligne soit remontée systématiquement à "1". C'est l'un des rôles du bit de stop. Par ailleurs, le fonctionnement de la machine réceptrice exige un certain temps de fonctionnement pour mémoriser le mot de données arrivées, calculer sa parité, prévenir le logiciel de réception etc. C'est aussi une deuxième vocation du bit de stop.
- **Format des trames** : Le bit de start apparaît en premier dans la trame puis les données (poids faible en premier), la parité éventuelle et le (les) bit(s) de stops.

#### Exemple :

Soit à transmettre en parité paire, avec 2 bits de stop, le caractère B correspondant au sélection tension courant dont le codage ascii est 1000010<sub>(2)</sub> la trame sera la suivante :

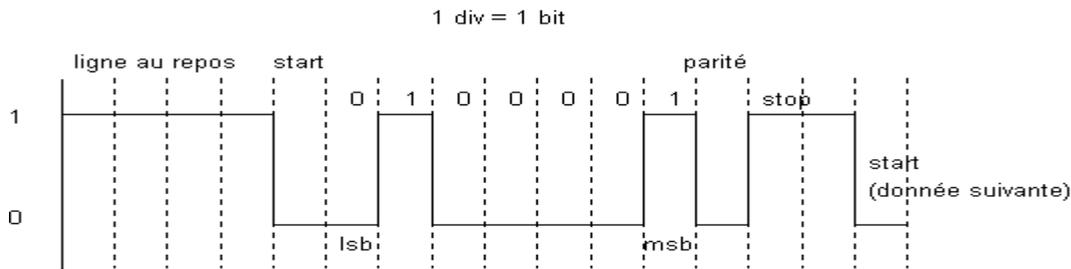


Figure 2.8 : Une trame de donnée : 010001

En prenant toutes les tailles maximales, on voit que la transmission d'un caractère peut prendre jusqu'à 12 bits, ou, en prenant les minimales, aussi peu que 7 bits.

#### II.2.4 Transmission sérielle des données

Ce mode permet de transmettre les données sur **un seul support de transmission** : une ligne bifilaire (signal + masse). Afin d'éviter l'acheminement entre un DTE, et un DCE, il faut suivre le protocole de transmission décrit auparavant. Un signal de synchronisation est généré par l'émetteur au début seulement d'une séquence de bits donnés plus ou moins longue (un octet par exemple).

##### II.2.4.1 Format des trames de données

Le bit de start apparaît en premier dans la trame puis les données (poids faible en premier), la parité éventuelle et le (les) bit(s) de stop.

- ❖ Au repos la ligne de transmission est au niveau logique 1. Lorsque l'un des systèmes veut commencer à communiquer, il prévient le système à l'autre bout de la liaison par une mise de la ligne au niveau 0, c'est le bit de Start.
- ❖ Viennent ensuite les bits de données au nombre de 8, ils sont soit au niveau 1 soit au niveau 0 en fonction des données.
- ❖ Un dernier bit peut être ajouté, il s'agit du bit de parité qui ne joue pas du tout le même rôle. En effet le bit de parité est mis au niveau 0 par l'envoyeur si la somme des bits transmis à l'état 1 est paire et à 1 si la somme est impaire, ainsi le système qui reçoit les données peut vérifier s'il y a eu une erreur de transmission due à des interférences en comparant le nombre de bits à 1 et le bit de parité, s'il y a erreur alors le receveur peut demander à l'émetteur de renvoyer les données.
- ❖ Enfin après ce bit de parité viennent un ou deux bits de Stop qui signalent au receveur que la trame est terminée.



Figure 2.9: Une trame de donnée pour une transmission série asynchrone

##### II.2.4.2 Lecture et enregistrement des données

En méthode électrique, on injecte le courant à l'intérieur du sous sol, et on mesure la tension aux bornes des électrodes M et N. Nous utilisons un port série pour recevoir et envoyer des données. Ces données doivent être d'enregistrées afin d'interpréter les résultats obtenus

Quand l'interface matérielle est connectée au niveau du port série, nous pouvons enregistrer les informations reçues au niveau du capteur ; c'est-à-dire les valeurs captées par les deux électrodes M et N. Les données sont transférées vers l'ordinateur à l'aide de câble RS232.

### **II.3 Simulation et réalisation de l'interface matérielle**

La simulation est un outil utilisé pour étudier les résultats d'une action sur un élément sans réaliser l'expérience sur l'élément réel. On parle de simulation numérique lorsque l'outil de simulation utilise un ordinateur.

Une interface matérielle est une zone, réelle qui sépare deux éléments. L'interface désigne ainsi ce que chaque élément a besoin de connaître de l'autre pour pouvoir fonctionner correctement. Le 16f877 est notre interface d'acquisition, communiqué avec le PC par l'intermédiaire d'une communication série.

#### **II.3.1 L'interface d'acquisition : le PIC 16f877**

##### **II.3.1.1 Programmation du PIC**

La réalisation d'un programme débute toujours par la mise en œuvre d'un organigramme; il s'agit d'une représentation graphique et normalisée de l'algorithme afin d'avoir un programme bien structuré.

Ensuite, pour programmer un PIC il est nécessaire de connaître sa structure interne : registres, mémoires, ports d'entrées sorties, et toutes leurs possibilités. Les PIC ont besoin d'être programmé pour fonctionner correctement. Pour cela, il faut se munir d'un programmeur de PIC soit version série, soit version parallèle connecté sur un PC.

Il faut aussi disposer d'un éditeur de texte pour rédiger les programmes, d'un logiciel d'assemblage pour le traduire en langage machine et si possible d'un simulateur pour mettre son programme au point.

Mplab est un outil fourni gratuitement par la société Microchip, ce logiciel nous permet de créer un programme pour un PIC, de l'assembler et de le simuler avant le transfert vers la mémoire flash du PIC. Pour cela, il est nécessaire de compiler ces programmes, et aussi on a besoin d'un programmeur pour implanter le programme dans la mémoire du Pic.

##### **II.3.1.2 Introduction sur MPLAB**

C'est un système de développement comportant en premier lieu un assembleur et parfois un ou des compilateurs adaptés au langage évolué que l'on souhaite utiliser pour programmer.

L'assembleur MPASM contenu dans MPLAB dispose de toutes les fonctions dont on a besoin, à savoir: éditeur de texte, assembleur, simulateur, éditeur de registres, etc.

##### **II.3.1.3 Les étapes de programmation d'un microcontrôleur PIC**

Les étapes nécessaires permettant de voir un programme s'exécuter sur un PIC sont :

- Ecrire un programme en langage assembleur dans un fichier texte et le sauvegarder avec l'extension .asm
- Compiler ce programme avec l'assembleur MPASM fourni par *Microchip*. Le résultat est un fichier exécutable avec l'extension .HEX contenant une suite d'instruction compréhensible par le pic.
- A l'aide du logiciel ICPROG, on appelle ce fichier à extension .HEX, qui va être écrit dans la mémoire du Pic par l'intermédiaire d'un programmeur.
- Une fois ces instructions implantées, il faut mettre le PIC dans son montage final, mettre sous tension et admirer le travail.

### II.3.2 Réalisation du programmeur Pic

La réalisation décrite ci-après présente un programmeur JDM. C'est un programmeur de PIC et d'EEPROM par port série RS232. Il est dit universel car il est capable de supporter plusieurs types de microcontrôleur tels que la famille 16fxx, 12fxx, 12C5xx, 24LCxx, etc.... Le schéma de montage ainsi que le typon sont téléchargés gratuitement sur le site Internet. Le laboratoire d'instrumentation et de maintenance en électronique de l'IOGA a réalisé ce montage, donné par la figure ci-dessous :

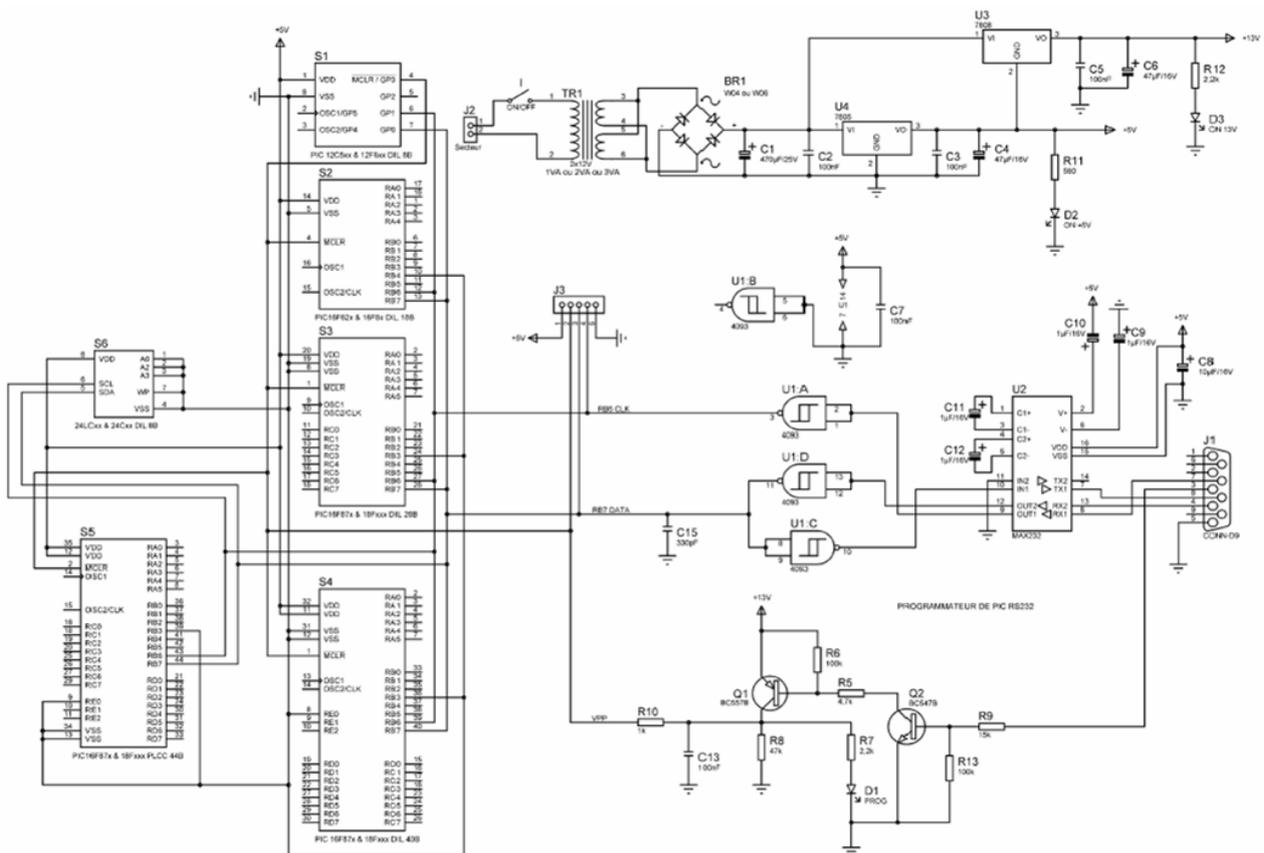
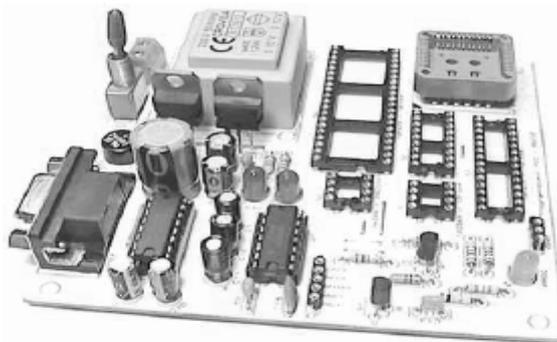


Figure 2.10 : Schéma d'un programmeur JDM



On trouve que la source d'alimentation est un secteur de 220V, alors que le microcontrôleur ne marche qu'à une tension de 5V ; d'où la nécessité du transformateur auquel on obtient en sortie

une tension de 24V sous une fréquence de 50 Hz ; et le régulateur 7805 règle la tension de sortie à 5V, pour le bon fonctionnement du Pic.

La sortie du programmeur est reliée au port série de l'ordinateur par un connecteur DB9 par l'intermédiaire d'un circuit d'adaptation, le MAX232 fourni par Maxim.

### II.3.3 Programmation sur IcProg

ICPROG est un outil permettant de transférer un fichier compilé (.HEX) du programme assembleur vers un pic ou une mémoire de type EEPROM. En général le programme qu'on charge à l'écran sélectionne automatiquement le type d'oscillateur qui sera utilisé lors de l'application.

Une fois l'ensemble de ces opérations réalisées, le fonctionnement du programmeur est immédiate. A noter que pendant toute la phase de programmation, le montage PIC doit être normalement alimenté à 5V. La vérification du bon fonctionnement du Pic est donnée par le montage test du Pic de la figure 4.7 : on injecte une tension inférieure ou égale à 5V dans les broches analogiques et on vérifie la sortie à l'aide d'un terminal.

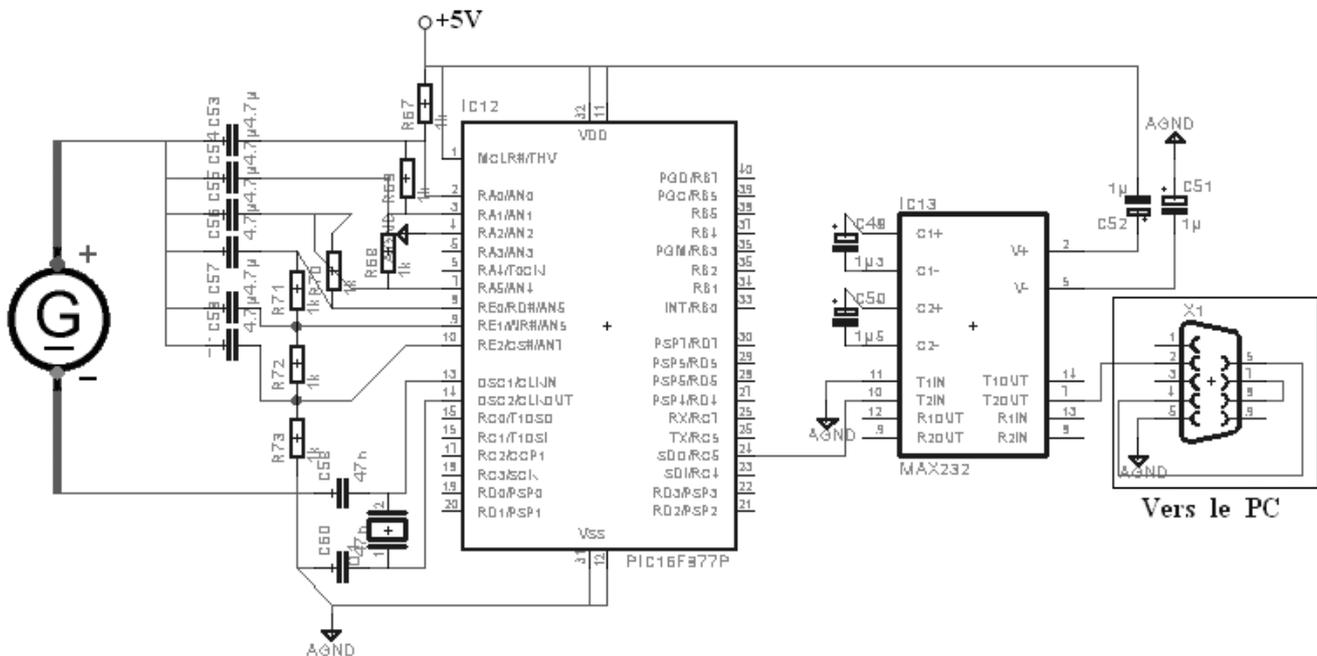


Figure 2.11: montage test du pic

Avant de lancer le transfert, il faut que les registres soient compatibles au programme à transférer. Pour cela, on peut modifier les registres de configuration : WDT, PWRT, BODEN, LVP, CPD, WRT, DEBUGGER dans le cadre configuration pour qu'ils soient adaptés au programme. De même, on peut choisir parmi les quatre oscillateurs selon leur gamme de fréquence à savoir :

- L'oscillateur LP (Low power cristal) pour un quartz entre 20kHz et 200kHz
- L'oscillateur XT (Crystal/Resonator) pour une gamme de fréquence du quartz entre 455 kHz et 4 MHz
- L'oscillateur HS (High speed crystal/Resonator) si on utilise un quartz à haute fréquence (entre 8 MHz et 20 MHz).
- L'oscillateur RC (Resistor/Capacitor); si la fréquence dépend du valeur de la résistance et du capacité du condensateur formant l'oscillateur.

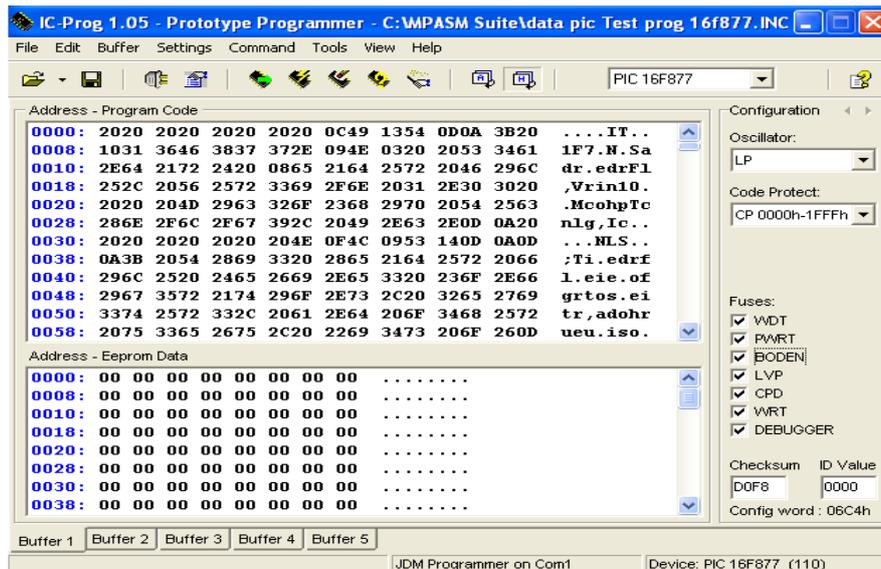


Figure 2.12: Interface principale du logiciel ICPROG

## II.4 Langage de programmation : Visual Basic

### II.4.1 Introduction en Visual Basic

Le Visual Basic est une évolution des Basics précédents de Microsoft (True Basic, GWBasic, OBasic) qui permet de créer des applications fenêtrées et de pratiquer donc la programmation événementielle. Bénéficiant de la simplicité du « Basic originel », il permet de créer des programmes relativement rapide. Le programmeur en Visual Basic manipule des éléments visuels à l'écran auxquels il ne reste plus qu'à associer du code. On peut développer avec Visual Basic toutes sortes d'applications, qui peuvent notamment être intégrées dans les principaux logiciels Microsoft (Access, Excel, Word etc.)

Visual Basic reste un des langages les plus simples qui permettent de se familiariser avec la programmation événementielle et objet.

Les DLL (Dynamics link libraries) jouent un rôle capital dans Windows, ce sont des "bibliothèques de liens dynamiques", autrement dit des Dynamic Link Libraries. Ces DLL contiennent du code compilé (donc illisible) exécutant telles ou telles fonctions dans Windows. Et avec n'importe quel programmeur au lieu de les reproduire, peut se contenter d'y faire appel.

### II.4.2 Visual Basic comme interface logicielle

L'ordinateur peut accéder à d'autres périphériques en utilisant la norme du port série, Visual Basic fait appel à sa bibliothèque DLL la procédure « ports bas », et il ne nous reste plus que de faire appel à ces fonctions chaque fois qu'on a besoin.

Dans Visual Basic, les procédures et fonctions de la DLL sont introduites par l'instruction *Declare*. Cela se passe dans un module externe qui s'appelle ici PORTS.BAS.

Avec cette procédure « Ports. Bas », on peut :

- ✓ configurer le port série
- ✓ utiliser les broches de contrôles
- ✓ envoyer et recevoir des données
- ✓ gérer le temps d'envoi et de réception des données

On trouve ci-dessous le programme de déclaration du module « Ports.bas » de DLL

```
Declare Function OPENCOM Lib "Port" (ByVal A$) As Integer  
Declare Sub CLOSECOM Lib "Port" ()  
Declare Sub SENDBYTE Lib "Port" (ByVal b%)  
Declare Function READBYTE Lib "Port" () As Integer  
Declare Sub DTR Lib "Port" (ByVal b%)  
Declare Sub RTS Lib "Port" (ByVal b%)  
Declare Sub TXD Lib "Port" (ByVal b%)  
Declare Function CTS Lib "Port" () As Integer  
Declare Function DSR Lib "Port" () As Integer  
Declare Function RI Lib "Port" () As Integer  
Declare Function DCD Lib "Port" () As Integer  
Declare Sub DELAY Lib "Port" (ByVal b%)  
Declare Sub TIMEINIT Lib "Port" ()  
Declare Sub TIMEINITUS Lib "Port" ()  
Declare Function TIMEREAD Lib "Port" () As Long  
Declare Function TIMEREADUS Lib "Port" () As Long  
Programme: Déclarations à PORT.DLL
```

### **III.1. Conception de l'interface logicielle pilote du résistivimètre**

Comme on avait dit auparavant, ce travail a pour but de créer un logiciel d'acquisition des données du résistivimètre, et que les utilisateurs peuvent immédiatement interpréter les résultats grâce à des données structurées ou les interpréter graphiquement.

#### **III.1.1. Configuration des périphériques**

##### **1.1 Configuration du port de communication**

Il a été dit auparavant qu'il faut charger dans la bibliothèque DLL la fonction de la gestion du port série : *Microsoft common control 6.0*, ou encore on peut déclarer dans une module à l'extérieur du programme chaque fonction, et on les fait appel en cas de besoin.

##### **Ouverture du Port série**

OPENCOM permet d'ouvrir l'interface et la demande aussi à Windows pour le programme. On déclare souvent cette fonction dans le programme de chargement.

Exemple :

```
Private Sub Form_Load()  
    i = OPENCOM("COM2,9600,N,8,1")  
    If i = 0 Then  
        i = OPENCOM("COM1,9600,N,8,1")  
        Option1.Value = True  
    End If
```

C'est-à-dire qu'on ouvre en premier lieu le port COM 2, et ce port est configuré avec vitesse de transmission de 9600 bauds, sans bit de parité, 8 bits de données et un bit de stop. Si le COM 2 est occupé, alors on ouvre le port COM1 même configuration que le port COM2. Lorsque la liaison est établie, on peut écrire ou lire des données. Notons que le port série et le périphérique doivent disposer d'un même protocole pour dialoguer. Les paramètres utilisés doivent obligatoirement avoir les mêmes valeurs de configuration :

- vitesses de transfert des bits,
- nombre de bits de données,
- type de parité
- nombre de bits d'arrêt
- le caractère de fin de ligne.

Le tampon est la mémoire allouée par le PC à un port série pour sauvegarder les données à transférer. SENDBYTE et READBYTE sont responsable de la communication sérielle. Si le port série n'est plus utilisé, on appelle la fonction CLOSECOM qui est souvent déclarée dans le programme de déchargement. Le contenu du tampon est effacé par l'instruction « delete ».

##### **Ecriture et lecture de données**

Une fois qu'on a déclaré toutes les fonctions DLL à utiliser dans un module extérieur, dans notre exemple, on attribue le nom du module à PORTS.BAS ; on peut envoyer ou lire les données après configuration du port. Pour cela, la fonction SENDBYTE déclaré dans le module nous permet d'envoyer directement des données de DTE vers DCE, tandis que la fonction READBYTE est responsable pour la réception sérielle.

Les opérations d'écriture/lecture sont caractérisées par les propriétés suivantes :

- le nombre d'octets dans le tampon de sortie/entrée,
- la taille du buffer en octet,
- le temps d'attente de l'écriture/lecture,
- l'indication de l'état d'avancement d'une opération,
- le nombre total de valeurs envoyées ou reçues.

Le tampon est la mémoire allouée par le PC à un port série pour sauvegarder les données à transférer.

##### **Enregistrement de l'information**

Quand le port série est connecté aux périphériques, nous pouvons enregistrer les informations suivantes sur le disque :

- les valeurs écrites sur le périphérique,
- les valeurs lues à partir du périphérique,
- le type des données écrites/lues sur le périphérique.

L'enregistrement de l'information sur le disque fournit une valeur permanente de la session port série. Les données reçues sont enregistrées immédiatement dans une base de données ACCESS par l'intermédiaire d'un logiciel de gestion de données Microsoft Jet DAO liant Visual Basic à Access. Cette configuration avec les périphériques est représentée par l'organigramme ci-dessous.

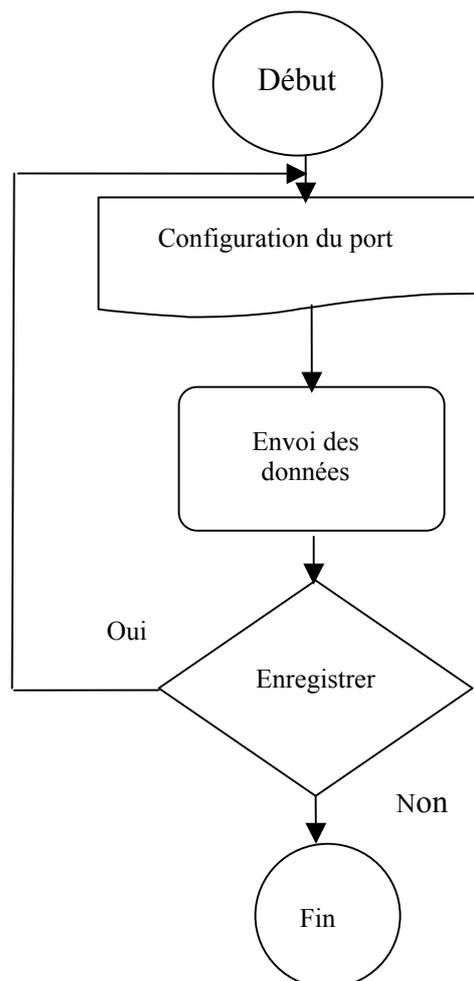


Figure 3.1: Organigramme pour la configuration avec les périphériques

### III.1.2 Traitement des données

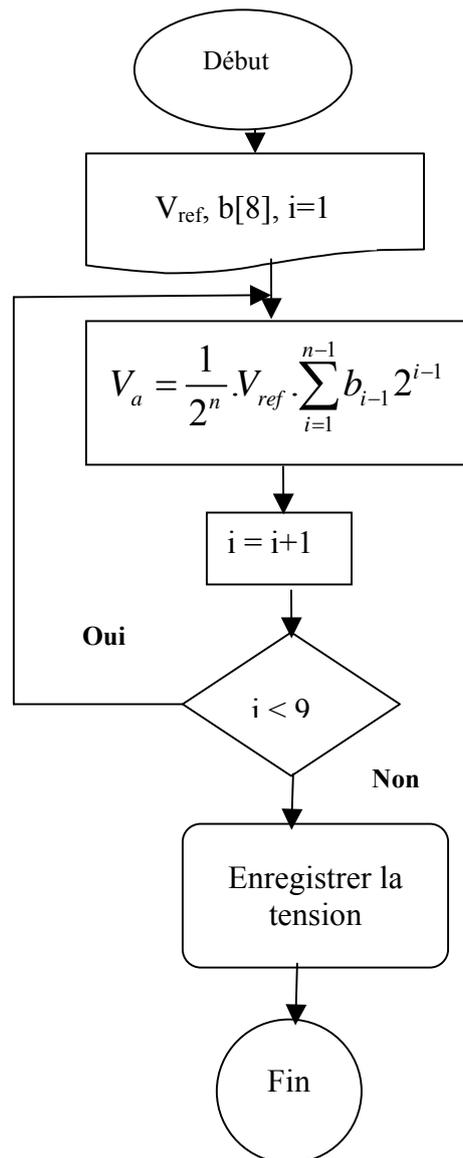
#### La mesure de la tension

On mesure la différence de potentiel aux bornes des électrodes M et N après l'injection de courant dans le sous sol. Une fois que la mesure est prise, le Pic 16f877 possède un CAN qui la code en donnée compréhensible par l'U.S.A.R.T. ou le convertisseur série parallèle. Après l'avoir traduit en série, l'équipement informatique décode les données binaires en tension selon la relation :

$$V_a = \frac{1}{2^n} \cdot V_{ref} \cdot [b_{n-1} 2^{n-1} + \dots + b_1 2^1 + b_0 2^0] \quad (1.10)$$

Où  $V_a$  est la tension analogique,  $V_{ref}$  est la tension de référence ;  $b_0$  représente le bit de poids le plus faible ou LSB (Lowest Significant Bit) ;  $b_{n-1}$  représente le bit de poids le plus fort ou MSB (Most Significant Bit).

Les données disponibles sur le port série sont des chaînes binaires. Visual Basic l'interprète en code ASCII allant de 0 à 255. Ces valeurs correspondent, une fois converties à des tensions de 0V à 4,926V. La démarche pour le décodage des données numériques en tension est donnée par l'organigramme ci-dessous :



*Figure 3.2: Organigramme de décodage des données numériques*

$b[8]$  est la donnée numérique en huit bit et  $V_{ref} = 4.926V$  selon la tension de référence du SIM .

Le principe est le même pour la mesure de la polarisation spontanée, la seule différence c'est qu'on mesure la tension sans qu'il y a injection de courant pour la polarisation spontanée.

### Les modes de calcul de résistivité

Avant de déterminer la valeur de la résistivité, on procède à deux étapes : La première est la mesure de la tension entre deux points du sous sol, la seconde étape sert à calculer la valeur de la résistivité.

➤ Première étape : Mesure de la tension

On mesure la polarisation spontanée avant les autres mesures. Pour cela, on émet cinq caractères identiques qui résultent de cinq autres caractères décodés en tension. La valeur de la polarisation spontanée se déduit de la moyenne entre ces cinq valeurs.

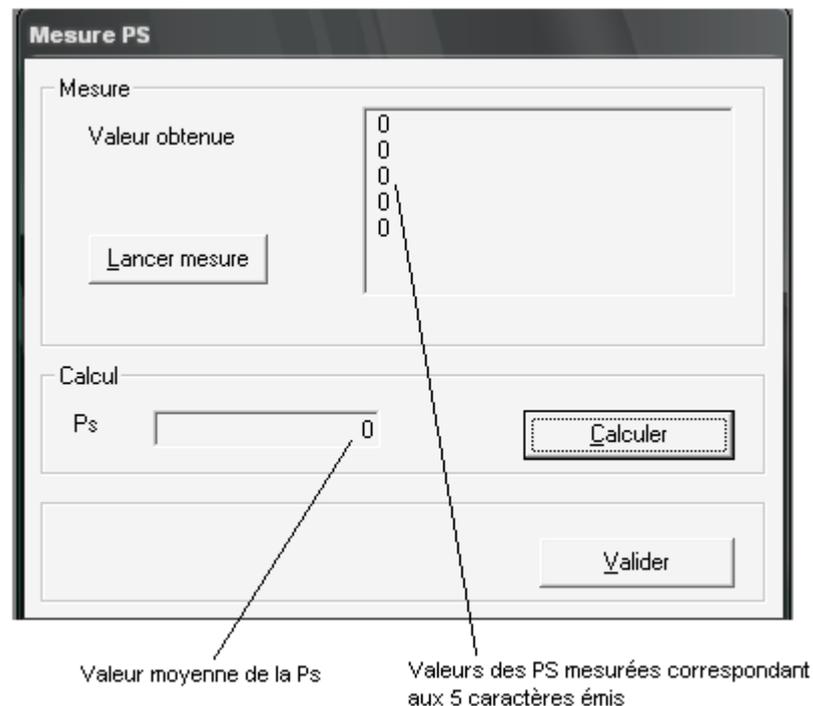


Figure 3.3 Fenêtre pour la mesure de la Polarisation spontanée

➤ Deuxième étape : Calcul de résistivité

L'obtention de la résistivité du sous sol est déterminée après l'envoi des vingt et un caractères dont la signification est comme suit :

Le premier caractère est associé à la commande d'injection pour le premier caractère.

Pour stabiliser le convertisseur analogique numérique du Pic 16F877, on envoie dix espaces blancs

Ensuite, les cinq caractères suivants correspondent à la commande de mesure de la tension aux bornes de M et N, on en déduit la moyenne des cinq valeurs après le décodage en tension des cinq autres caractères reçus.

Enfin, pour les cinq derniers caractères, ils nous servent à la mesure de la tension aux bornes de la résistance  $R_3$ . La moyenne ( $m$ ) et l'écart type ( $s$ ) des cinq tensions sont calculés. Il faut que chaque tension vérifie la condition  $m - s < U < m + s$ . Cela veut dire que ces tensions ont besoin d'être triées.

Une fois la polarisation spontanée éliminée, on obtient la valeur de la tension  $U_{MN}$  corrélée avec le courant émis. A l'aide des distances inter-électrodes, on peut déterminer le facteur géométrique  $K$ . La résistivité apparente s'obtient par le produit de la tension  $U_{MN}$ , le facteur géométrique  $K$  et l'inverse du courant injecté dans le sous sol.

$$\rho = K * \frac{U_{MN}}{I_{AB}}$$

Les procédés de calcul de la résistivité apparente sont schématisés à l'aide de l'organigramme suivant :

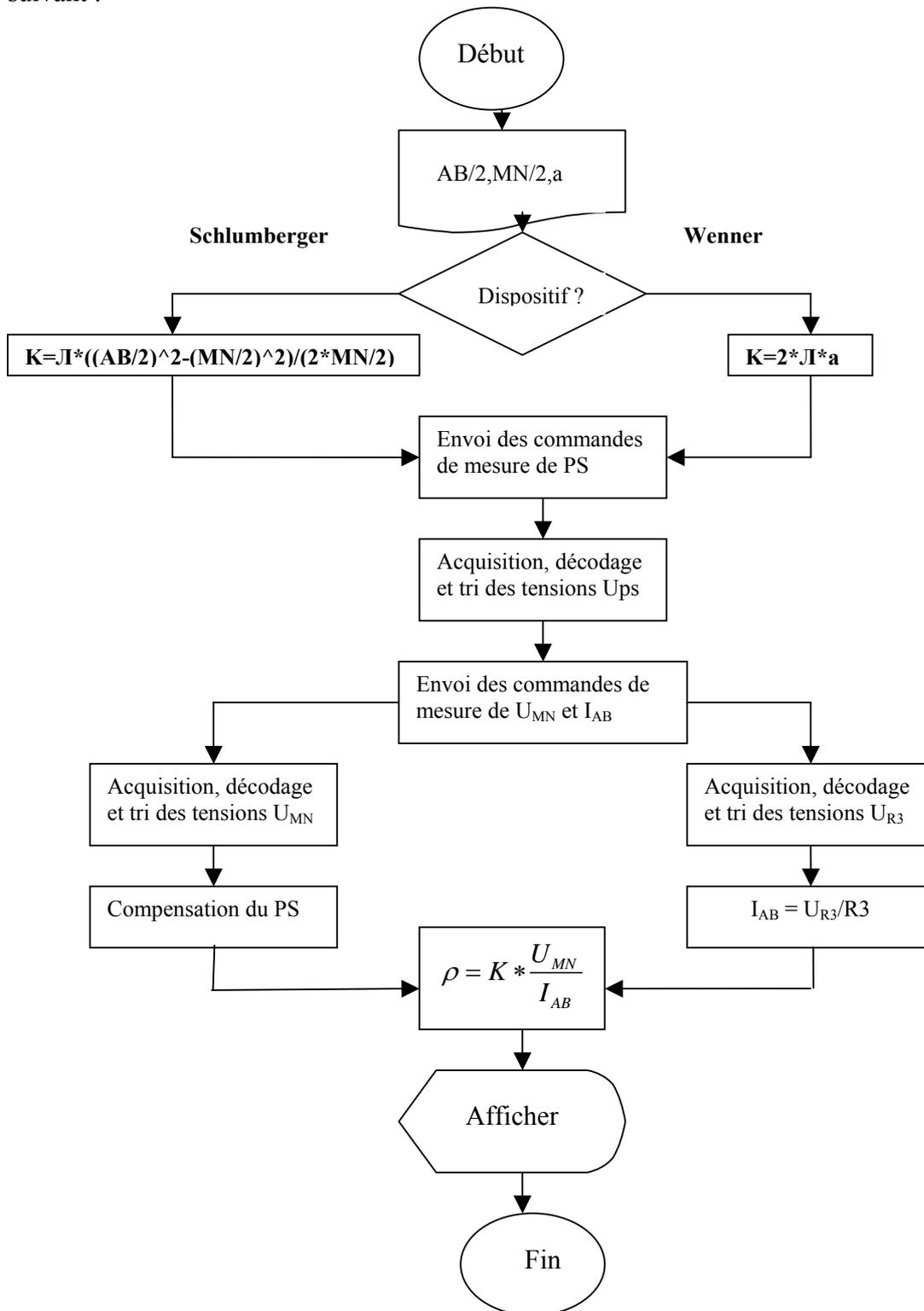


Figure 3.4: Organigramme pour le calcul de la résistivité apparente

### III.2. Réalisation du logiciel

Le paragraphe précédent nous renseigne sur le mode de calcul de la résistivité apparente du sous sol, pour cela, différentes étapes sont à suivre avant d'aboutir aux valeurs

finale de ces résistivités : on peut en citer en premier lieu la connexion, la configuration du port de communication ; une fois connectée, on peut mesurer la polarisation spontanée du sous sol. En second lieu, on choisit d'une part le dispositif à utiliser, et d'autre part on envoie les commandes nécessaires et la valeur de la résistivité s'affiche après le calcul. Notons qu'on n'a pas besoin de stocker une à une ces données reçues puisqu'elles sont immédiatement enregistrées dans une base de donnée Access.

Un autre travail est en train d'être effectué actuellement sur le fonctionnement du panneau à 32 électrodes malgré le fait que ce dispositif n'est pas encore opérationnel actuellement dans cette réalisation, nous avons conçu une fonction qui permet de simuler ce dispositif à panneau.

### **III.2.1 Authentification du personnel**

Dès le premier lancement du logiciel, la première fenêtre montrant le matériel apparaît au premier écran : pour indiquer aux utilisateurs qu'il s'agit d'un logiciel pour l'acquisition des données électriques.



*Figure 3.5: Page d'accueil du logiciel*

Comme certain logiciel, chaque utilisateur doit avoir un login et un mot de passe pour la sécurité des données reçues, et aussi pour générer ces utilisateurs.



*Figure 3.6 : Page d'authentification du personnel*

Cette fenêtre Authentification est un procédé permettant à l'administrateur d'être sûr de l'identité de l'utilisateur. Ceci pour une sécurité des données.

Après que l'utilisateur s'identifie, un message apparaît sur l'écran que ce dernier est autorisé à utiliser ce logiciel, sinon il faut demander à l'administrateur de créer une identification.



Figure 3.7: Page d'authentification

Une fois que l'utilisateur arrive à s'identifier, la fenêtre principale du programme s'affiche et dans la barre de menu, on choisit *paramètre* parce qu'il contient toutes les fonctions nécessaires que nous avons définies auparavant, les fonctions qui attribuent à la détermination de la résistivité apparente du sous sol.



Figure 3.8: Fenêtre principale du logiciel

La barre des menus de la fenêtre contient les menus *fichier* et *traitement*. On trouve dans le menu *fichier* la gestion des utilisateurs ou l'administrateur peut créer un compte utilisateur pour un accès rapide au système. On remplit les zones de texte correspondant par un nom, prénom, fonction, login et mot de passe de l'identifiant, puis on valide et l'utilisateur admet un compte dans ce logiciel.

Nom	Prénom	Fonction	Login
autre	deaea	utilisateurs	users
RTC	Christo	Administrateur	admin

Figure 3.9 : Fenêtre gestion des utilisateurs

Le plus important est dans le menu traitement où s'effectue la gestion de port série suivie par les différents traitements des données et l'interprétation des données reçues. Ces traitements se déroulent dans les sous menus sondage et panneau à 32 électrodes.

### III.2.2. Menu Sondage

En choisissant le menu Sondage, la première fenêtre *gestion de Sondage* apparaît en premier lieu. Cette fenêtre permet aux utilisateurs de faciliter les manipulations des différentes étapes de traitement qui sont :

- La configuration du port série
- La mise en marche du Pic
- La saisie des paramètres utilisés en sondage
- La mesure de la polarisation spontanée
- L'injection et la mesure de la tension entre les électrodes M et N
- La récapitulation et l'affichage des résultats finaux. Il y en a une représentation graphique des points permettant de faciliter l'interprétation des données reçues.



Figure 3.10 : Fenêtre pour la gestion du sondage

### III.2.2.1 Configuration du port

Pour configurer le port et connecter avec la périphérique, on utilise cette fonction . L'utilisateur peut choisir l'option **automatique** dont l'avantage est qu'il n'a pas besoin de paramétrer le port, seulement le logiciel lui choisit les paramètres convenable du port série . Autrement s'il le souhaite, il pourra utiliser la seconde option « **sélectionner** » s'il veut modifier ces paramètres. Plusieurs choix sont possibles pour la seconde option :

Pour le port série, on peut connecter le DB9 femelle soit avec COM1, soit avec COM2, le nombre de bits de données varie entre 5 et 8 bits. Pour la parité, l'utilisateur peut choisir l'option N pour indiquer que le format des données n'a pas de parité, E s'il est paire et O s'il est impaire. Le bit d'arrêt contient un ou deux bits à sélectionner.

Après cette configuration, on clique sur la touche « **valider** » pour indiquer que l'on a bien configuré le port avec les paramètres automatiques ou les paramètres de nos choix.

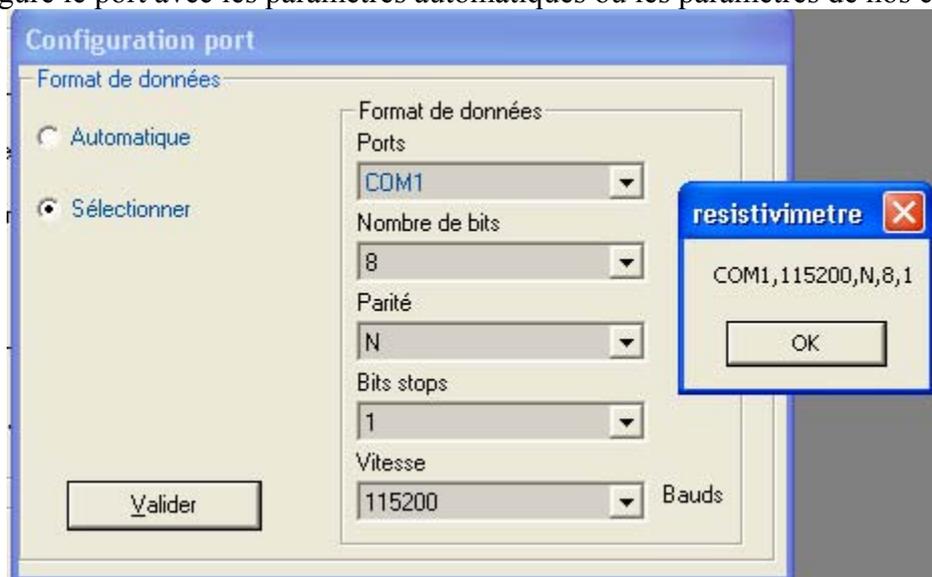


Figure 3.11: Page pour la gestion du port série

Il y a une fenêtre qui apparaît pour indiquer le format de données que l'on veut envoyer après la touche de validation.

### III.2.2.2 Mise en marche du Pic

Après la configuration du port série, on envoie un octet au Pic pour sa mise en marche. Pour cela on retourne à la fenêtre principale de *Gestion Sondage* et en bas, il y en a la commande « *Suivant* » permettant d'accéder à la mise en marche du Pic. Une fois le bouton « On/Off » activé, il suffit de lancer la commande avec la touche « *Lancer* » et l'octet correspondant à la mise en marche du Pic est envoyé.

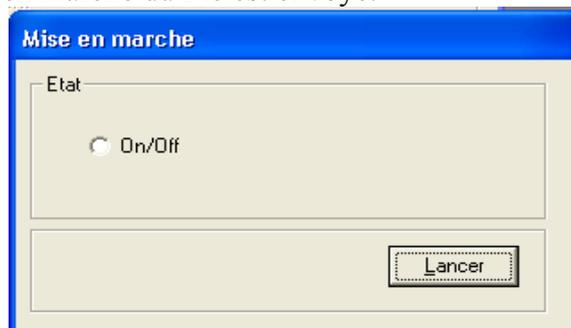


Figure 3.12 : Page pour le fonctionnement du Pic

### III.2.2.3 Saisie des paramètres

Chaque mesure correspond à une valeur de  $AB/2$ , de  $MN/2$  pour l'option Schlumberger ou de  $a$  pour l'option Wenner, donc il faut entrer ces valeurs, la valeur de la facteur géométrique  $K$  est déduite de ces valeurs, et la commande « CalculK » nous permet de calculer la valeur de  $K$ .

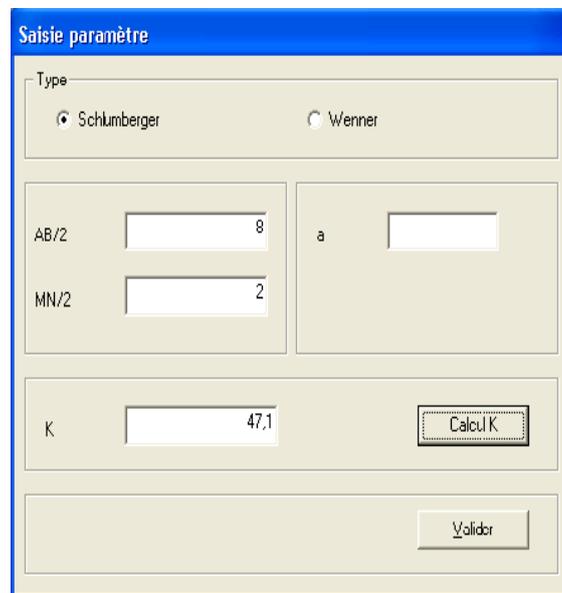


Figure 3.13: Page pour la saisie des paramètres

Après le saisi des paramètres, on calcule  $K$  et la touche « valider » en bas permet de stocker ces valeurs dans une base de donnée et aussi permet d'accéder à l'étape suivante.

### III.2.2.4 Mesure de la Polarisation Spontanée

On effectue 5 mesures pour cette PS, ceci pour s'assurer de la fiabilité du résultat. On calcule ensuite la moyenne  $m$  et l'écart type entre ces 5 mesures. Pour chaque mesure, la critère de justesse et de fiabilité doit être comprise entre la moyenne  $m$  plus ou moins l'écart type. On effectue la moyenne des PS restant, la fonction « *calculer* » permet de faire toutes

ces opérations et d'afficher la valeur de la PS finale. Comme auparavant, la touche de commande « valider » permet de stocker la valeur du PS dans la base de donnée.

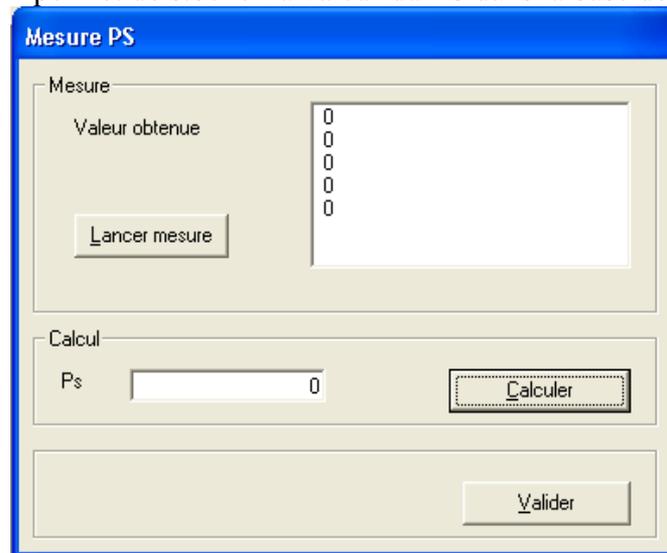


Figure 3.14: Fenêtre pour la mesure du PS

### III.2.2.5 L'injection du courant et la mesure de la tension entre M et N

Cette étape est toujours précédée de la mesure de la polarisation spontanée. Deux possibilités sont offertes à l'utilisateur pour l'envoi du courant dans le sous sol : soit il choisit l'option automatique dont il laisse le choix au Pic de trouver le courant convenable à cette injection, soit il sélectionne dans la gamme de courant la valeur de l'intensité du courant à injecter. Une fois la gamme de courant sélectionnée, on clique sur la touche « **Lancer mesure** ». Cette touche a pour rôle d'envoyer au Pic l'octet correspondant à l'injection du courant sélectionné, puis envoyer au terminal les 5 valeurs de la tension  $U_{mn}$ . La fonction « **Calculer** » de la touche de commande en bas à droite de la fenêtre « **Mesure Tension** » permet de faire les critères de justesse et de fiabilité lors des 5 mesures et d'afficher la valeur de la tension finale.

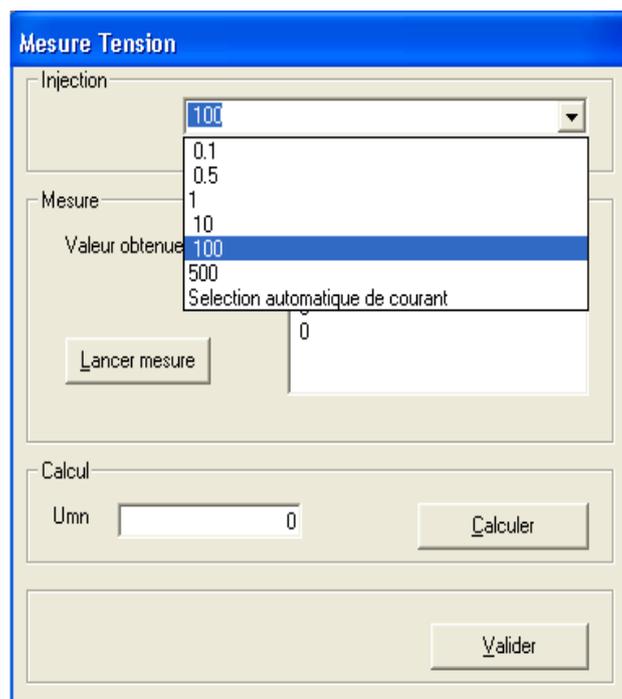


Figure 3.15: Fenêtre pour la mesure de la tension

On enregistre la valeur finale de Umn dans une base de données après avoir tenu compte de la valeur de la PS.

### III.2.2.6 Affichage du résultat

Notre but est d'essayer de déterminer la résistivité apparente du sol d'après la formule

$$\rho = K * \frac{\Delta V}{I}$$

Pour cela, il faut afficher la valeur de chaque paramètre qui nous aide à déterminer la valeur de la résistivité apparente, ces valeurs sont stockées dans une base donnée, on récapitule ces données avec la résistivité correspondante dans un tableau. On a alors une distribution des résistivités du sous sol plus précis.

Cependant, il est plus facile à l'utilisateur de faire une interprétation graphique des données. Une touche de commande nommée « *Courbe* » dans la page « *Affichage des résultats* » permet de représenter les valeurs des résistivités apparentes dans un repère en fonction de la distance AB/2.

N°	dateheure	AB/2	MN/2	a	K	ps	Umn	resistivite ap
28	25/08/2007	3	1	0	12,56			
30	26/08/2007	12	2	0	109,9			
31	02/09/2007	15	2	0	173	0	0	
32	11/09/2007	14	1	0	306	0	0	
33	11/09/2007	20	3	0	204	0	0	

Figure 3.16 : Page de récapitulation des résultats de sondage

### III.2.3 Menu Panneau à 32 électrodes

L'avantage d'un panneau à 32 électrodes, c'est qu'il peut effectuer 155 mesures simultanément. Donc il est plus facile d'en déterminer la structure du sous sol. Le laboratoire d'instrumentation et de maintenance en électronique et informatique est sur le point de réaliser un panneau à 32 électrodes. Le problème qui se pose est le passage d'une électrode

qui effectue une injection de courant en mesure de tension. L'organigramme de la figure 3.17 essaie de résoudre ce problème.

Il s'agit tout simplement d'une simulation du fonctionnement du panneau, c'est-à-dire on essaie de montrer les électrodes actives pour l'injection, les électrodes actives pour les mesures de la tension  $U_{mn}$ , et les points de mesure correspondants.

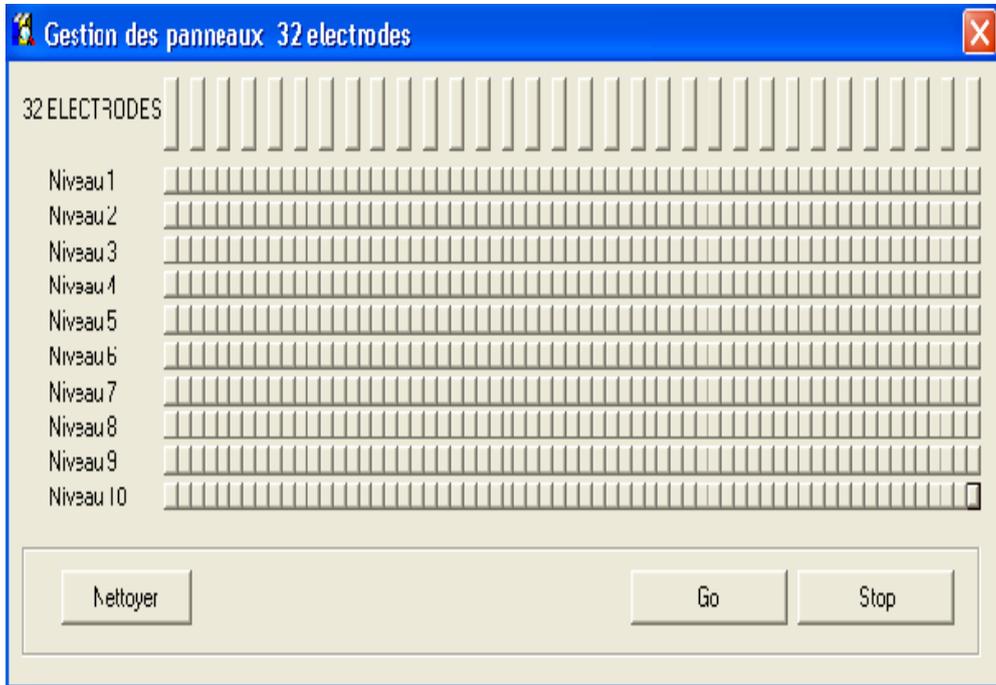


Figure 3.17: Page de simulation du panneau à 32 électrodes

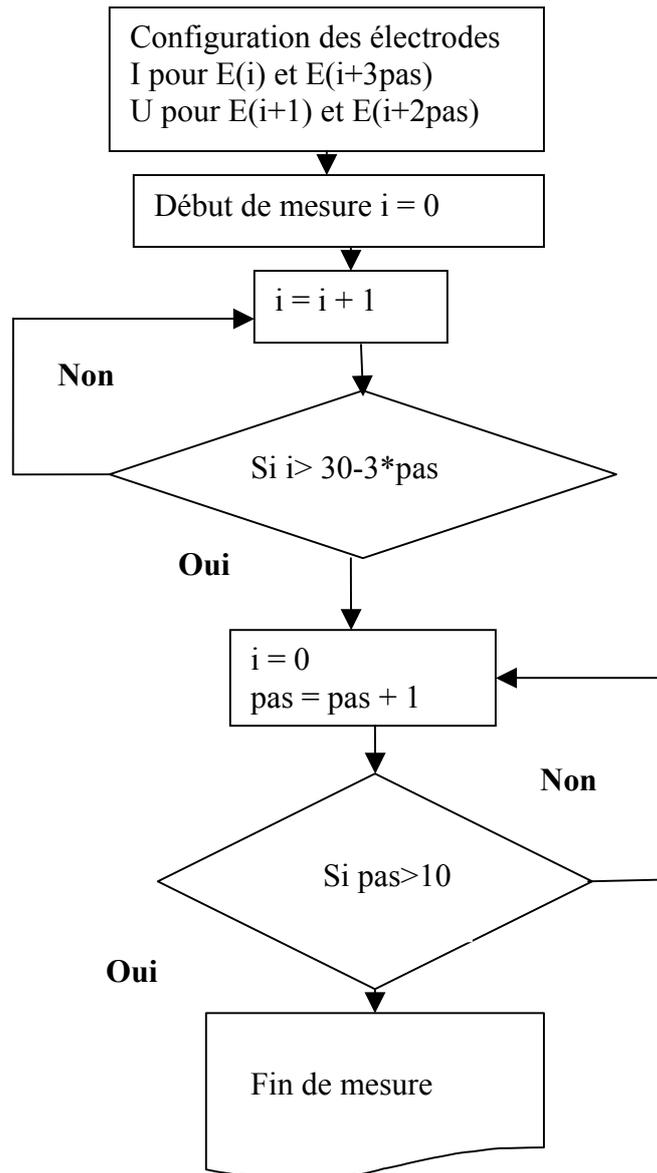


Figure 3.18: Organigramme pour le fonctionnement du panneau à 32 électrodes

On clique sur le bouton de commande « **Go** » pour le début de mesure, les électrodes en rouge sont considérées comme injecteurs de courant, celles en bleues pour la mesure de la différence de potentiel entre deux électrodes M et N, et en bas les points de mesure correspondants qui sont colorés en verts

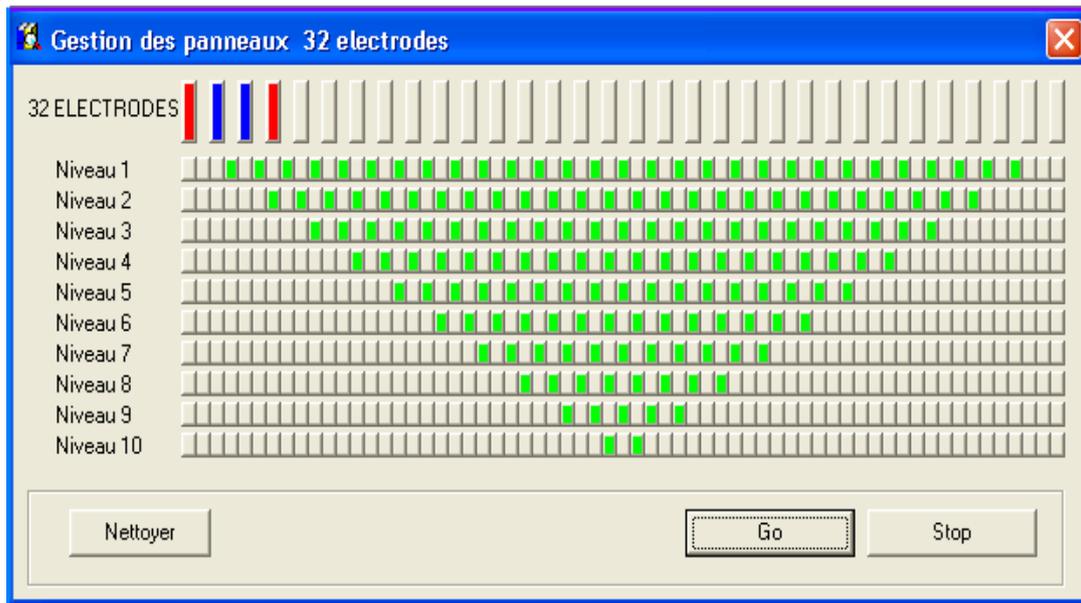


Figure 3.19: Gestion du panneau à 32 électrodes

L'organigramme ci-dessous est une récapitulation des différentes étapes de fonctionnement du logiciel.

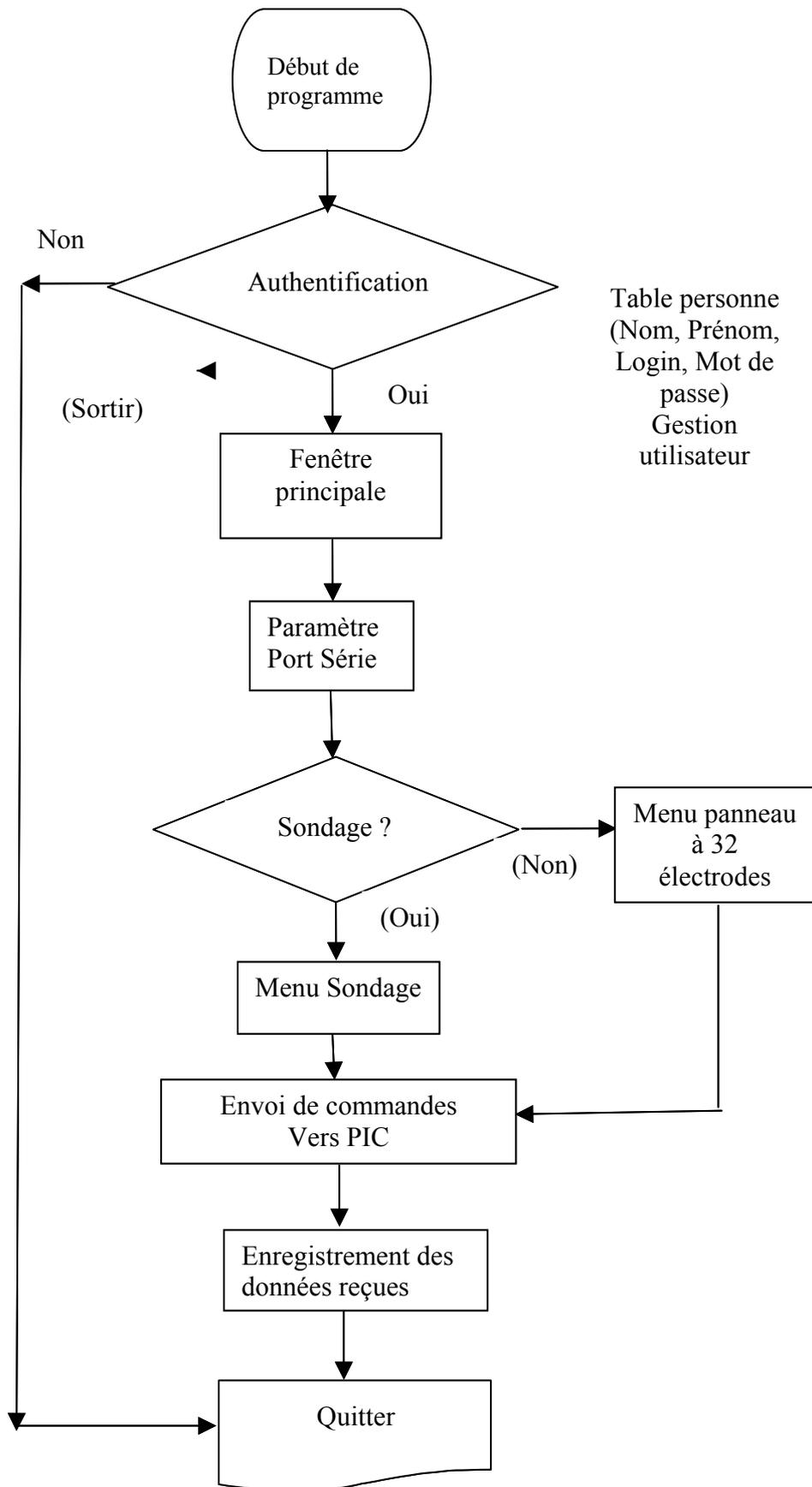


Table personne  
(Nom, Prénom,  
Login, Mot de  
passe)  
Gestion  
utilisateur

Figure 3.20: Organigramme de fonctionnement du logiciel

## **4<sup>ème</sup> Partie : RESULTATS ET DISCUSSIONS**

### **IV.1. Résultats obtenus**

L'interface logicielle comprend une fenêtre d'ouverture, une fenêtre d'authentification, une fenêtre principale, une fenêtre pour faire la simulation du panneau à 32 électrodes, et six fenêtres accessoires dans la fenêtre Gestion de sondage dont :

- la fenêtre de configuration du port série
- la fenêtre de mise en marche du Pic
- la fenêtre pour la saisie des paramètres de sondage
- la fenêtre pour la mesure de la polarisation spontanée
- la fenêtre pour l'injection de courant et la mesure de la tension
- la fenêtre de récapitulation permettant à l'affichage de toutes les données
- la fenêtre pour la représentation graphique de la résistivité en fonction de la distance AB/2
- Le logiciel d'acquisition peut être utilisé sur des machines pourvues des systèmes d'exploitation suivants :
  - windows 98
  - windows 2000 et NT
  - windows XP
- Les machines utilisées ne sont pas forcements pourvus du logiciel Visual Basic 6.0 puisque VB6 crée un logiciel d'extension .EXE. La taille du fichier du programme obtenu est de 1.11 Mo.

### **IV.2. Interprétation et discussions**

En Géophysique Appliquée, l'interprétation consiste à construire un modèle à partir de mesures physiques d'une réalité géologique inconnue, mais des contextes géologiques connus.

- en général, pour avoir plus de confiance sur les résultats issus d'une opération de lecture, le logiciel doit enregistrer à chaque arrivée de données le temps de l'acquisition correspondant à chaque lecture.
- lors de l'acquisition de données, le port série ne doit jamais perturber ni connecter avec d'autres appareils pour assurer la stabilité et le verdict de l'information provenant des résistivimètres.

Le logiciel ainsi réalisé assure les commandes de contrôle suivants : l'injection, la mesure, l'adaptation et la mise en forme des signaux. Ces entités assurent respectivement :

- les contrôles et les commandes des courants à injecter aux électrodes A et B
- l'acquisition de données géophysiques à partir des électrodes M et N
- la diffusion des informations entre les différentes entités

Nous avons fait les tests et simulations au laboratoire, or tous les phénomènes géophysiques réels ne peuvent pas être simulés. Même si ce logiciel ne peut pas prétendre concurrencer les résistivimètres sur le marché qu'après les rectifications citées précédemment, mais elle nous a permis d'avoir réalisé un système ayant toutes les fonctions améliorées d'un résistivimètre électrique.

## Conclusion

L'objectif du laboratoire d'instrumentation et maintenance en électronique et informatique de l'Institut d' Observatoire Géophysique sont atteints du moins en ce qui concerne la continuité du travail de recherche. En 2004, RAKOTONDRAFARA Hobiniaina a commencé à faire des recherches dans son mémoire intitulé : « Conception et réalisation d'une interface logicielle pour un résistivimètre électrique », elle a réalisé l'interface logicielle du matériel tandis que l'interface matérielle a été réalisée par ses collègues RAMBOLAMANANA Mamiharijao pour la partie UART et ANDRIAMBELOSON Joely pour la partie stockage de données (EPROM). Actuellement ces 2 circuits sont assemblés dans un microcontrôleur nommé Pic16F877 dont l'interface matérielle a été réalisée par mon collègue RAZAFIARISERA Ralay Tiana et pour la continuité du travail, nous avons effectué l'interface logicielle.

Le principe de mesure de données consiste à injecter un courant continu dans le sous sol et on mesure la différence de potentiel entre deux électrodes. En utilisant la relation entre la résistivité apparente du sous sol, le courant injecté et la valeur de la tension obtenue, on peut convertir la valeur de la tension obtenue en résistivité apparente du sous sol. Ainsi après avoir fait le traitement et la conversion de données reçues le logiciel enregistre les mesures dans une base de données. Il permet également de faire une représentation graphique de la résistivité en fonction des dispositions des électrodes d'injection de courant (AB/2). Enfin, on peut simuler à partir de ce logiciel le fonctionnement d'un panneau à 32 électrodes

Le logiciel a été écrit en Visual Basic qui a pour avantage de posséder un fichier d'extension du type *Filename.Exe* dans son application. La partie logicielle peut être améliorée par la prise en compte des courbes de sondage avec le modèle de terrain y afférent et aussi par la représentation des couches en 2 dimensions pour le panneau électrique.

## ANNEXES: Distribution du potentiel électrique dans le sous-sol

La prospection électrique est basée sur la mesure du potentiel électrique généré par l'injection du courant continu (DC) dans le sol.

### 1-1 Potentiel créé par un courant I injecté en un point

Considérons tout d'abord un sol homogène et isotrope. On injecte un courant d'intensité I en un point C<sub>1</sub>

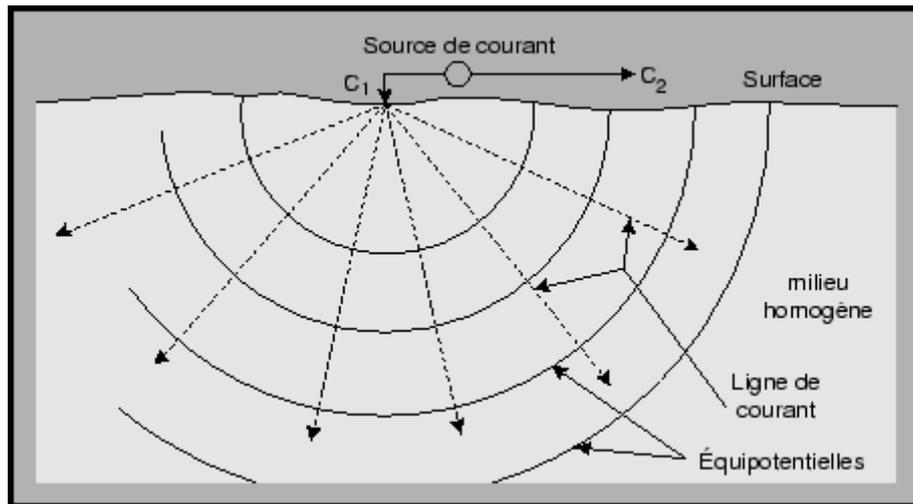


Figure I-1 : Ligne de courant dans un sol homogène et isotrope

Les lignes de courant sont radiales et les surfaces équipotentielles (S) sont des hémisphères centrées en C<sub>1</sub>

L'intensité I, flux du vecteur densité de courant  $\vec{j}$  à travers la surface (S), a pour expression

$$I = \iint_S \vec{j} \cdot \vec{n} \, dS \quad (1)$$

Or le sol est homogène,  $\vec{j}$  et  $\vec{n}$  sont colinéaires en tout point M de la surface (S)

Donc

$$I = \iint_S j \, dS = j \cdot 2\pi r^2$$

Ce qui nous donne la densité de courant en tout point M de la surface

$$j = \frac{I}{2\pi r^2} \quad (2)$$

Or, la loi d'Ohm nous donne

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad (3)$$

où  $\sigma$  est la conductivité du sol, inverse de la résistivité  $\rho$  tel que  $\rho = \frac{1}{\sigma}$

$\vec{E}$  étant le champ électrique créé par le passage du courant dans le sol.

Les deux vecteurs  $\vec{j}$  et  $\vec{n}$  sont toujours colinéaires en tout point M de la surface(S), nous pouvons écrire :

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}$$

En tenant compte de la relation (2), nous obtenons le champ électrique au point M

$$\vec{E} = \rho \cdot \vec{j} = \rho \frac{1}{2\pi \cdot r} \quad (4)$$

Posons  $\vec{r}$  et  $CM$ , le champ électrique s'écrit

$$\vec{E} = \left( \frac{\rho I}{2\pi \cdot r^2} \right) \cdot \frac{\vec{r}}{r} \quad (5)$$

où  $\frac{\vec{r}}{r}$  est un vecteur unitaire radial

Comme ce champ électrique dérive d'un potentiel scalaire V, nous avons donc

$$\vec{E} = - \vec{\nabla} V$$

Puisque le sol est homogène, donc il existe une symétrie sphérique, le champ  $\vec{E}$  est radial

$$E = - \frac{dV}{dr}$$

et en introduisant la relation (4), nous pouvons écrire

$$- \frac{dV}{dr} = \frac{\rho \cdot I}{2\pi \cdot r^2}$$

et en intégrant

$$V = \frac{\rho \cdot I}{2\pi \cdot r} + K$$

Où K est une constante d'intégration

Or pour une distance r infiniment grand ( $r \rightarrow \infty$ ), le potentiel est négligeable c'est-à-dire

$V \rightarrow 0$  lorsque  $r \rightarrow \infty$ , le potentiel devient :

$$V = \frac{\rho I}{2\pi.r}$$

## 1-2 Potentiel créé par l'injection d'un courant entre deux électrodes

La plupart du temps, on emploie quatre électrodes pour les acquisitions (*Figure I.2*). Les deux électrodes A et B sont les électrodes d'injection de courant, tandis que les deux autres, M et N, sont les électrodes de potentiel

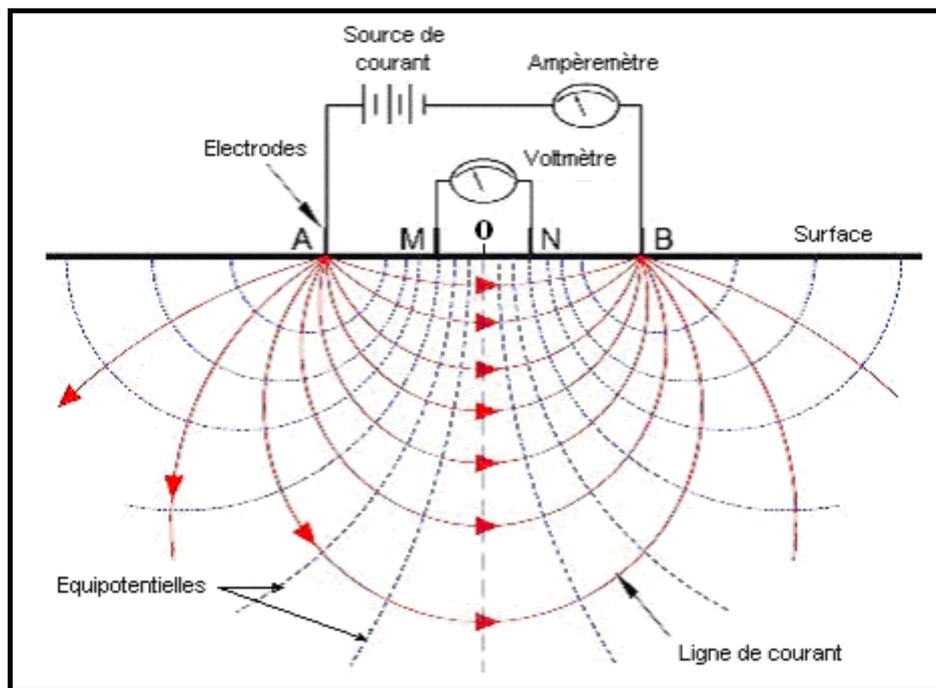


Figure I-2 : Dispositif à quatre électrodes à la surface

Le potentiel au point A dû à l'électrode A parcourue par I est :

$$V_A = \frac{\rho.I}{2\pi.AM}$$

et le potentiel au point B dû à l'électrode B parcourue par  $-I$  est :

$$V_B = -\frac{\rho.I}{2\pi.BM}$$

Ce qui permet de donner le potentiel au point **M**,  $V(\mathbf{M})$ , la somme des potentiels en A et B

$$V_M = V_A + V_B = \frac{\rho.I}{2\pi} \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right)$$

et au point N

$$V_N = \frac{\rho.I}{2\pi} \left( \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right)$$

Donc la différence du potentiel entre M et N sera

$$\Delta V = V_M - V_N = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right)$$

La résistivité au centre o du dispositif est donc

$$\rho = \frac{2\pi \cdot \Delta V}{\left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right) \cdot I} \quad (7)$$

qui est la forme

$$\rho = K \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

où 
$$K = \frac{2\pi}{\left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right)}$$

K appelé facteur géométrique dépend de la disposition géométrique des électrodes.

### 1-3 Notion de résistivité vraie et de résistivité apparente du sol.

La relation (7) est valable seulement pour un terrain homogène et isotrope. Dans ce cas, la résistivité est dite « **vraie** ». Mais en réalité, le sol est hétérogène, c'est-à-dire, des couches de résistivités différentes se superposent. Dans ce cas, les surfaces équipotentielles ne sont plus des hémisphères parfaits centrés en A et B mais ils sont déformés du fait du couplage. La résistivité donnée par la relation (7) est alors la résistivité d'un milieu homogène fictif produisant la même différence de potentiel entre les électrodes M et N pour un même intensité I injecté et pour le même dispositif. Dans ce cas, la résistivité est dite « **apparente** ».

La résistivité apparente dépend de la nature du sous-sol, et également de leur degré de porosité. Elle dépend aussi de la quantité et de la qualité des eaux retenues dans les pores. C'est-à-dire que les roches saines ont des valeurs de résistivité apparente élevées par rapport aux roches fracturées et poreuses.

## **Bibliographique**

- [1]. ANDRIAMBELOSON J. A., 2004, Interfaçage du programmeur d'eprom RWE27 à un micro-ordinateur pour des applications aux appareillages géophysiques. (Rapport de stage DEA).
- [2] A. OUMNAD, 2003, Microcontrôleur famille Mid-Range le PIC16f876/877
- [3] BURKHARD KAINKA, 2001, Petites expériences de mon PC pour Mesurer, Commander, Automatiser (Visual Basic en pratique)
- [4] D. Chapellier 2000/01, Résistivités électriques, Cours de géophysique .Université de Lausanne-Institut Français du Pétrole
- [5] Magarotto E, 2003, Support de cours de transmission et acquisition de données, Laboratoire d'automatique et de procédés : ISMRA.
- [6] - PADIOLLEAU Jean- Yves, 2000 Le microcontrôleur (stage en Novembre 2000)
- [7] – Philippe HOPPENOT, 2004, PIC 16F84
- [8] – Philippe LETENNEUR, GRANVILLE, 2003, les microcontrôleurs PIC 16F87X
- [9] - RAKOTONDRAFARA H., 2004. Conception et réalisation d'une interface logicielle pour un résistivimètre électrique. (Rapport de stage de DEA).
- [10] – RAMBOLAMANANA Mamiharijao , 2004, Conception et réalisation d'une interface matérielle pour un résistivimètre électrique (rapport de stage DEA)
- [11] – RAZAFIARISERA Ralay Tiana 2007, résistivimètre à base de PIC 16f877 (Rapport de stage de DEA).

## **Webographie**

- [12] - <http://www.abcelectronique.com/bigonoff>
- [13] - <http://www.arcelect.com/rs232.htm>
- [14] [http://www.aurel32.net/elec/port\\_serie.php](http://www.aurel32.net/elec/port_serie.php)
- [15] [http://www.camiresearch.com/Data\\_Com\\_Basics/RS232\\_standard.html](http://www.camiresearch.com/Data_Com_Basics/RS232_standard.html)
- [16] <http://kudelsko.free.fr>
- [17] <http://www.microchip.com>
- [18] <http://www.tavernier-c.com>
- [19] <http://plasserre.developpez.com/vsommair.htm>, vb.net. cours en ligne

# **AUTOMATISATION DU FONCTIONNEMENT D'UN RESISTIVIMETRE ELECTRIQUE**

RASOANAIVO Tovohery Christo

*(Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo)*

## **RESUME**

Ce logiciel Acquisition est utilisé pour la transmission et le traitement de données (résistivités du sous sol) en utilisant le port série de l'ordinateur et le logiciel Visual Basic. Le principe de mesure de données consiste à injecter un courant continu dans le sous sol, et on mesure la différence de potentiel entre deux électrodes. En utilisant la relation entre la résistivité apparente du sous sol, le courant injecté et la valeur de la tension obtenue, on peut convertir la valeur de la tension obtenue en résistivité apparente du sous sol. Ainsi après avoir fait le traitement et la conversion de données reçues, le logiciel stocke les valeurs de résistivités mesurées dans une base de donnée. Il permet également de faire une représentation graphique de la résistivité en fonction des dispositions des électrodes d'injection de courant (AB/2). Enfin, on peut simuler à partir de ce logiciel le fonctionnement d'un panneau à 32 électrodes.

**Mots clés** : résistivimètre électrique, automatisation, acquisition de données,

## **ABSTRACT :**

The Software Acquisition is used for the transmission and processing of data using the serial port on the computer and the software Visual Basic. The data measurement concerns a constant flow injection of current into the basement, and we after that measure the difference in potential between two electrodes. Using the relationship between the apparent resistivity basement, the injected current and the value of the obtained voltage, we can convert the value of the produced voltage by the apparent resistivity basement. After the treatment and conversion of the received data, the software stores the measurements in a database. A graphical representation of the resistivity according to the provisions of the electrodes current injection (AB / 2) could be issued.

Finally, we can simulate from the software operation of a panel to 32 electrodes.

**Keywords:** Electrical prospecting, automatisation, data acquisition.

## **Encadreur :**

Pr.RAMBOLAMANANA Gérard

## **Impétrant :**

RASOANAIVO Tovohery Christo

Tel 033 12 469 13

E-mail : [rasoa\\_naivo@yahoo.fr](mailto:rasoa_naivo@yahoo.fr)