
TABLE DE MATIERES

LISTES DES FIGURES

LISTES DES TABLEAUX

LISTES DES SIGLES ET ABREVIATIONS

INTRODUCTION	1
PARTIE I : ETUDE THEORIQUE SUR LE MATERIEL	3
I.1. NOTIONS SUR LE CAPTEUR : GEOPHONES.....	3
I.1.1 Définition et Caractéristiques	4
I.1.2 Mode d'emploi du géophone	7
I.2. LA COMMUNICATION SERIE	8
I.2.1 Les signaux port série	8
I.2.2 Les brochages du port série.....	10
I.2.3. Le format de données.....	13
I.3. TRANSMISSION DES DONNEES.....	14
I.3.1. Description d'une liaison RS232C.....	14
I.3.2. Lecture et enregistrement de données.....	15
I.3.3.Modes de transmission de données.....	15
PARTIE II : LA METHODE DE LA PROSPECTION SISMIQUE.....	18
II.1. ONDES SISMIQUES	18
II.1.1.Caractéristiques des ondes	18
II.1.2.Propagations des ondes sismiques	20
II.2. LES METHODES SISMIQUES	22
II.2.1. Mise en œuvre de la methode	22
II.2.2. Les modèles de terrain.....	23
PARTIE III : LE LOGICIEL D'ACQUISITION DE DONNEES SISMIQUES.....	26
III.1. LA CONCEPTION DU LOGICIEL.....	26
III.1.1.Configuration des périphériques	26
III.1.2. Traitement de données	29

III.2. INTERFACE GRAPHIQUE	43
III.2.1. Le caractéristique du matlab	43
III.2.2. Quelques commandes utilisées.....	44
III.3. REALISATION DU LOGICIEL D'ACQUISITION.....	45
III.3.1. Configuration port	46
III.3.2. Réglage Axe et Durée	47
III.3.3. Lecture de données.....	48
III.3.4. Enregistrement de données.....	49
III.3.5. Les filtrages des signaux	49
III.3.6. Traçage des signaux	53
III.3.7. Pointage temps d'arrivée.....	54
III.3.8. Hodochrone ou dromochromique.....	55
PARTIE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS	58
IV.1. RESULTAT OBTENU	58
IV.1.1. Sur les données sismiques.....	58
IV.1.2. Sur l'interface logicielle.....	58
VI.2.I. DISCUSSION.....	63
CONCLUSION.....	64
 ANNEXES	
 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	

LISTES DES FIGURES

Figure.I.1: Capteurs de géophones-----	4
Figure.I.2 : Chaîne de traitement du capteur.-----	4
Figure.I.3 : Courbe d'amortissement du Géophone-----	6
Figure.I.4 : Schéma de mise en place des géophones-----	7
Figure.I.5 : Schéma du signal de données-----	8
Figure.I.6 : Schéma du signal de contrôle-----	9
Figure.I.7 : Liaison DTE / DCE -----	10
Figure.I.8 : Liaison DTE / DTE ou DCE / DCE -----	11
Figure.I.9 : Broche DB9 mâle et femelle-----	11
Figure.I.10 : Format de données asynchrone -----	13
Figure.I.11 : Transmission de donnée asynchrone -----	16
Figure.I.12 : Transmission de donnée synchrone -----	17
Figure.II.1: Schéma d'un Onde P -----	19
Figure.II.2 : Caractéristique de l'Onde S-----	19
Figure.II.3 : Onde de Love-----	20
Figure.II.4 : Onde de Rayleigh -----	20
Figure.II.5 : Les propagations des ondes sismiques -----	21
Figure.II.6 : La sismique réflexion	Figure.II.7 : La sismique réfraction-----
Figure.II.8 : Modèle 2 terrains tabulaires -----	24
Figure.III.1 : Organigramme du programme d'enregistrement-----	29
Figure.III.2 : Schéma synoptique des étapes pour avoir les données -----	30
Figure.III.3 : Mise en place de données dans les registres -----	32
Figure.III.4 : Schéma synoptique des étapes pour le décodage en Tensions -----	34
Figure.III.5 : Organigramme de conversion de données numériques en tensions -----	36
Figure.III.2 : Les signaux sismiques provenant des géophones -----	37
Figure.III.3 : Les différentes bandes des filtres-----	38
Figure.III.4 : Les caractéristiques du réponse du filtre -----	39
Figure.III.5 : Les réponses du filtre Butterworth-----	40
Figure.III.6 : Les réponses du filtre Tchebychev-----	42
Figure.III.7 : Organigramme des objets de l'interface graphique -----	45

Figure.III.8 : Configuration du port-----	46
Figure.III.9 : Clignote de led-----	47
Figure.III.10 : Affichage des paramètres-----	47
Figure.III.11 : Configuration axe et durée -----	48
Figure.III.12 : Lecture désactivée -----	48
Figure.III.13 : Bouton lecture activée -----	48
Figure.III.14 : Zone de filtrage -----	49
Figure.III.15 : Réponse du filtre Butterworth : ordre = 4 ; 8 et $A_{\max} = 0.654$; 3 -----	50
Figure.III.16 : Réponse du filtre Tchebychev : ordre =4 ; 8 et $A_{\max} = 0.654$; 3 -----	51
Figure.III.17 : Description du fichier ou état de la manipulation -----	53
Figure.III.18 : Spectre des signaux sismiques des 24 géophones -----	53
Figure.III.19 : La valeur du temps affichée par le trait rouge -----	54
Figure.III.20 : Fenêtre d’affichage numéro du géophone pendant le pointage temps d’arrivée -----	54
Figure.III.21 : La fenêtre de l’hodochrone-----	56
Figure.IV.1 : Aspect de la fenêtre des résultats -----	60
Figure.IV.2 : L’état de la processus de la détection automatique du temps d’arrivée-----	61
Figure.IV.3 : Courbe représentative de l’hodochrone -----	62

LISTES DES TABLEAUX

Tableau 1 : Brochage d'un port série RS232C.....	12
Tableau 2 : Commande instructions enregistrements	28
Tableau 3: Exemple d'un paquet de données.....	30
Tableau 4 : Format de données pour chaque géophone	31
Tableau 5 : Les données reçues converties en 8 bits.....	32
Tableau 6 : Justification à droite des résultats de conversion	32
Tableau 7: Justification à gauche des résultats de conversion	33
Tableau 8 : Forme de donnée convertie en 10bits.....	33
Tableau 9 : Résultat du conversion	35
Tableau 10 : Différences entre les filtres Butterworth et Tchebychev.....	42

INTRODUCTION

La méthode géophysique occupe une place importante dans la prospection et la reconnaissance des ressources naturelles du sous sol. Une de ces méthodes est la prospection sismique qui est la méthode utilisée à l'Institut et Observatoire de géophysique d'Antananarivo. Cette méthode est basée sur la propagation des ondes élastiques à des vitesses différentes dans des formations sous jacentes.

L'ABEM *Terraloc* MK6 est un matériel utilisé à cette méthode sismique à l'IOGA depuis le mois de Mars 1998 qui est actuellement tombé en panne. Vu le problème de 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 employé en prospection sismique.

L'objectif de ce travail est de développer un logiciel d'acquisition sismique ou LAS permettant de traiter les signaux provenant des géophones en utilisant une interface graphique; pour avoir les différentes paramètres du sous sol afin de préciser le modèle de terrain dans un lieu à déterminer.

En effet, notre rapport est divisé en deux grandes parties distinctes : l'acquisition de données sismiques provenant des géophones et la réalisation du logiciel LAS. Cette chaîne d'acquisition comprend une création d'une source sismique (marteau, explosion,...), de traitement et de la mise en forme des signaux (conversion analogique/numérique) et enfin la visualisation des signaux sismiques sur écran. Le port série RS232 des ordinateurs : COM1 ou COM2 est un moyen de communication extrêmement puissant [13]. Cette puissance résulte de la facilité avec laquelle l'information peut être véhiculée des périphériques vers l'ordinateur. Nous avons mis à profit sa performance pour amener les données issues d'un capteur vers l'ordinateur. Le logiciel LAS est écrit sous Matlab orienté à l'objet. Le matlab est un logiciel commercial de calcul interactif, capable de faire une interface graphique pour représenter les différentes fonctions et les boutons utilisés par les prospecteurs.

Dans le cadre de la réalisation de ce matériel, nous essayons alors de répartir la chaîne de tâche en trois parties : la première partie concerne la réalisation d'une interface matérielle qui est assuré par mon collègue Alphonse **STEPHANIE**, la deuxième partie qui engage la simulation du circuit de l'appareil par **ANDRIANARIVO** Barijaona Fetison. Et je m'occupe de la troisième partie qui a pour objet de faire la conception et la réalisation d'un logiciel en utilisant l'ordinateur pour l'acquisition de données sismiques.

Ce rapport comporte quatre parties : nous présentons dans la première partie l'étude théorique des matériels. Nous parlons de la méthode de prospection sismique en deuxième partie. Et la troisième partie est consacrée à la réalisation du logiciel d'acquisition sismique ou LAS. Dans la dernière partie, nous donnons les résultats et discussions à propos du résultat obtenu. L'étude s'achève sur une conclusion.

PARTIE I : ETUDE THEORIQUE SUR LE MATERIEL

Dans ce travail, nous allons utiliser 3 types de matériels:

- Les géophones qui sont des capteurs du vitesse de propagation d'une onde sismique indiquant le temps d'arrivée de chaque onde à partir de la source en traversant les différentes structures du sous sol.
- Le port RS232 qui est une interface de transmission de données en série entre équipements. Par la suite, elle a été utilisée à d'autres fins comme la transmission de données entre des ordinateurs, entre un ordinateur et ses périphériques (imprimante, table traçante, ...), entre un ordinateur et d'autres systèmes équipés de processeur telles les commandes numériques de machines outils, ...
- L'interface matérielle qui est en général formée par le microcontrôleur PIC16F877 et ses composants accessoires.

I.1. NOTIONS SUR LE CAPTEUR : GEOPHONES

En sismique terrestre, le mouvement du sol est mesuré par un géophone illustré par la figure.I.1, en marine par un hydrophone. Nous limiterons de plus au cas du géophone vertical (celui qui enregistre le déplacement vertical du sol), c'est le cas de 99% des géophones utilisés en prospection sismique. Les géophones verticaux ont une fréquence minimale d'enregistrement égale à 4.5Hz (fréquence de résonance amortie), de manière à enregistrer des ondes de surface dans les basses fréquences.



Figure.I.1: Capteurs de géophones

I.1.1 Définition et Caractéristiques

Un capteur est un dispositif qui soumet à l'action d'un mesurande non électrique, fournit une caractéristique électrique. Un mesurande est une grandeur physique faisant l'objet de la mesure présentée par la figure.I.2

↳ Principe

Le matériel est composé de capteurs (géophones), d'un câble multiconducteur (ou flûte) reliant les géophones à l'enregistreur (interface matérielle), d'un transducteur. La flûte renferme 24 conducteurs (fils de cuivre isolés les uns des autres). Le transducteur traduit les vitesses, les accélérations, en une grandeur enregistrable. Il transforme un signal mécanique (ici l'oscillation du sol) en un signal électrique, facile à interpréter mais surtout enregistrable numériquement. Les géophones et la source sont généralement disposés sur des profils rectilignes, ce qui simplifie l'obtention des résultats.

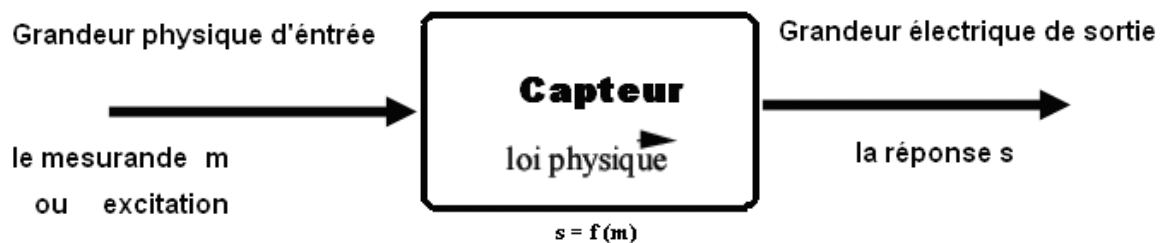


Figure.I.2 : Chaîne de traitement du capteur.

Pour faciliter l'exploitation de la réponse, on s'efforce de réaliser des capteurs dont la relation $s = f(m)$ est linéaire. Dans ce cas s et m sont proportionnels.

↳ Equation caractéristique

Un géophone est constitué d'une masse suspendue à un ressort. Lorsque le sol se déplace, le ressort transmet le mouvement du sol à la masse. Celle-ci porte une bobine qui peut se déplacer dans le champ magnétique d'un aimant. Prenons pour axe des Z, l'axe vertical correspondant à la terre au repos. Le déplacement du sol est x_s , celui de la bobine x_b . L'allongement du ressort vaut $x_s - x_b$ et donc la force de rappel du ressort vaut $k(x_b - x_s)$, k étant la raideur du ressort.

La relation fondamentale de la mécanique donne [15] :

$$m \frac{d^2 x_b}{dt^2} = k(x_s - x_b) \quad \text{Equ.1.1}$$

Le déplacement de la bobine par rapport à l'aimant est donc de $x_b - x_s$ (l'aimant se déplace avec le sol). C'est ce déplacement relatif qui produit le courant d'induction que l'on mesure, appelons le x . L'équation précédente devient :

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + kx = -m \frac{d^2 x_s}{dt^2} \quad \text{Equ.1.2}$$

Dans cette équation Equ.1.2, nous avons négligé les frottements, dont nous allons voir qu'ils jouent un rôle important. En les supposant proportionnels au dérivé de x , l'équation devient Equ.1.3

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + f \frac{dx}{dt} + kx = -m \frac{d^2 x_s}{dt^2} \quad \text{Equ.1.3}$$

Où f est la constante d'atténuation

Si le déplacement du sol est sinusoïdal, il en est de même pour la bobine dans l'aimant, ω étant la pulsation de ces mouvements, nous obtenons comme les solutions de cette équation différentielle du second ordre :

$$x_s = X_s e^{i\omega t} \quad x = X e^{i\omega t} \quad \text{Equ.1.4}$$

La réponse fréquentielle du géophone sera donc :

$$|R(\omega)|^2 = \frac{m^2 \omega^4}{(-m\omega^2 + if\omega + k)(-m\omega^2 - if\omega + k)} \quad \text{Equ.1.5}$$

Soit

$$|R(\omega)|^2 = \frac{m^2 \omega^4}{(-m\omega^2 + k)^2 + f^2 \omega^2}$$

Considérons d'abord le cas particulier où $f = 0$

$$|R(\omega)|^2 = \frac{m^2 \omega^4}{(-m\omega^2 + k)^2} \quad \text{Equ.1.6}$$

Lorsque $\omega = 0 \Rightarrow R(\omega) = 0$

$$\omega \rightarrow \infty \Rightarrow R(\omega) \rightarrow 1$$

Mais pour $\omega^2 = \frac{k}{m}$, la réponse passe par la résonance et $R(\omega) \rightarrow \infty$.

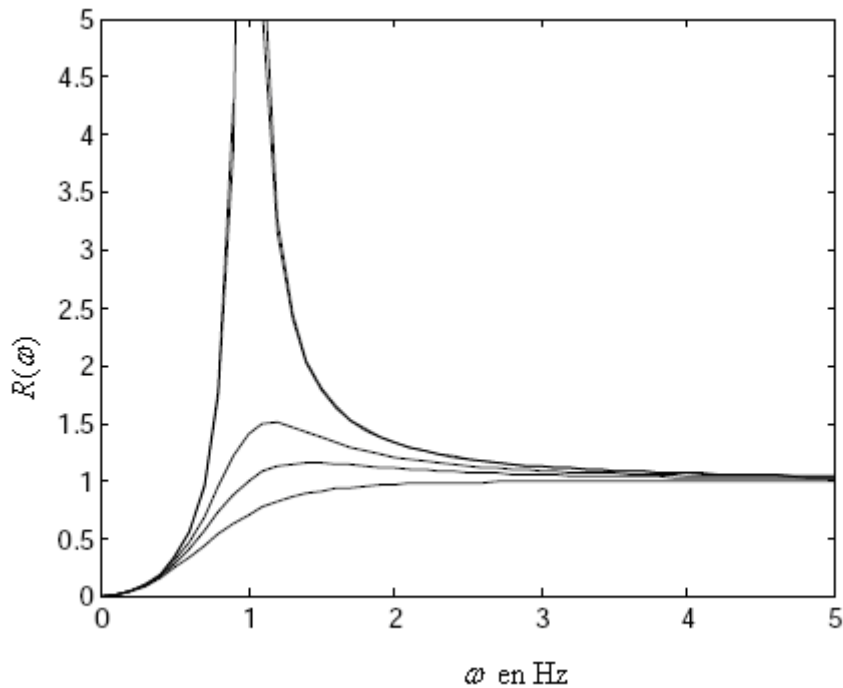


Figure.I.3 : Courbe d'amortissement du Géophone

Dans la figure I.3, la courbe allant le plus haut correspond à un amortissement nul. Pour les 3 autres courbes, celle du haut n'est pas assez amortie, celle du bas trop amorti, celle du milieu correspond à l'amortissement optimal. Le géophone est ainsi un capteur de vitesse [5]. Il n'est bien enregistré que les signaux de fréquences supérieures à la résonance du géophone. Malheureusement, le prix de l'appareil augmente considérablement si la fréquence de

résonance est faible. Nous choisirons le géophone ayant la fréquence de résonance la plus élevée possible compatible avec les fréquences que l'on désire enregistrer.

- En sismique réflexion, les fréquences utiles sont comprises entre 20 et 80 Hz, la fréquence classique des géophones de réflexion est de 11.5 Hz.
- En sismique réfraction, les fréquences sont plus basses (de 10 à 40 Hz), les géophones auront donc une résonance à 4.5 Hz.
- En sismologie de tremblements de terre, les fréquences de résonance sont soit de 1 Hz soit de 1/10 à 1/30 Hz (mais le prix de ces équipements est de 10 à 100 fois plus élevé que celui des géophones de prospection).

I.1.2 Mode d'emploi du géophone

La prospection sismique nécessite plusieurs géophones pendant la campagne géophysique, plus les géophones sont nombreux, plus nous avons des informations précises. Nous disposons sur le terrain en général d'un groupe de géophones alignés, équidistants, suivant un profil (figure I.4). A l'IOPA, nous avons utilisé 24 géophones disponibles pour la prospection sismique réfraction de bande passante variant de 0 – 100Hz. Ce dispositif a été conçu pour des prospections en génie civil. La distance entre les géophones dans ce cas est de l'ordre de 0.5 – 10 mètres.

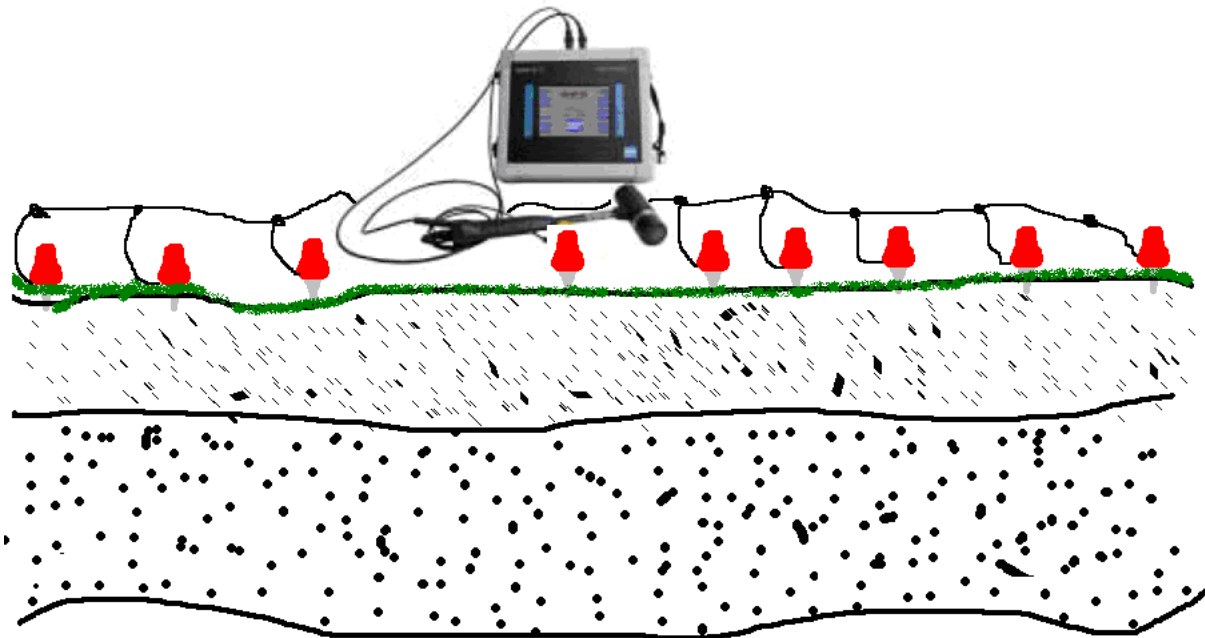


Figure.I.4 : Schéma de mise en place des géophones

I.2. LA COMMUNICATION SERIE

Le transfert de données au niveau du géophone en passant par l'interface se fait par « Communication Numérique Sérielle ». L'ordinateur peut établir sa liaison à travers les « interfaces Entrée/Sortie » appelées le plus souvent « interfaces E/S ».

I.2.1 Les signaux port série

La communication série est le protocole bas niveau pour relier 2 périphériques : l'une des périphérique est un ordinateur, l'autre pourrait être un modem, ou un instrument scientifique comme une interface matérielle. L'interface standard est fabriquée par RS232 qui signifie nombre standard recommandé (*Recommended Standart Number232*).

Le RS232 définit les caractéristiques du port :

- vitesse maximale de transfert des bits.
- longueur du Câble.
- la connexion mécanique et la signification des brochages
- caractéristiques électriques et les fonctions des signaux.

Il existe 2 types de signaux port série :

- les signaux de données
- les signaux de contrôles

☞ les signaux de données

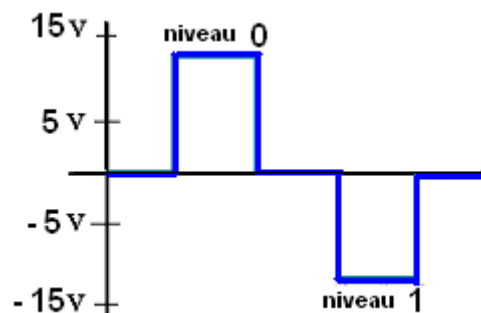


Figure.I.5 : Schéma du signal de données

Les lignes de données T_x et R_x , le "1" logique (+5V en TTL) varie de -5 V à -15 V : états activés tandis que le "0" logique (0V en TTL) appartient à l'intervalle [+5 V, +15 V] (figure.I.5) correspond à l'états désactivé [2] [11].

☞ **Les signaux de contrôle**

Les voies utilisées sont :

- (RTS, CTS)
- (DTR, DSR)
- (CD et RI)

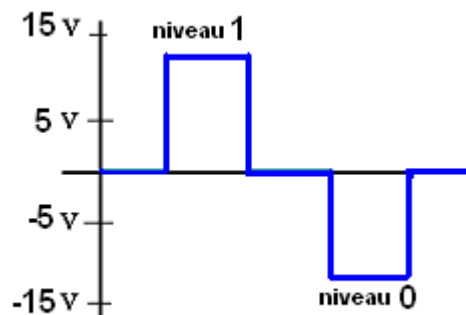


Figure.I.6 : Schéma du signal de contrôle

Les lignes de contrôle, le bit «vrai», «on» ou « mark » (+5V en TTL) est compris entre + 5V et +15V et le bit « faux », « off » ou « espace » est défini entre - 5V et -15V.

Les signaux correspondent à 2 états : L'état activé satisfait à la valeur binaire "1", et l'état désactivé qui correspond à la valeur binaire "0" (figure.I.6). L'état activé d'un signal est décrit comme étant la logique "1", ON, VRAIE, MARK ; à un état désactivé, on fait correspondre la logique "0" ou OFF, FAUSSE, ESPACE [4] [6].

I.2.2 Les brochages du port série

Le port série permet de connecter un grand nombre de périphériques. La majorité des périphériques de port série sont équipées d'une liaison *full duplex*. Elles peuvent simultanément transmettre ou recevoir des données. Dans ce cas, des connecteurs différents sont utilisés pour la transmission et la réception des données. Le RS232 standard définit 2 modes de liaison entre périphériques connectés à un câble série : l'équipement terminal de Données (DTE), l'équipement de circuit terminal de Données (DCE) [2] [11].

La communication est réalisée à l'aide de 3 broches au minimum :

- transmission de données (TxD) (broche 3)
- réception des données (RxD) (broche 2)
- masse (GND) (broche 5)

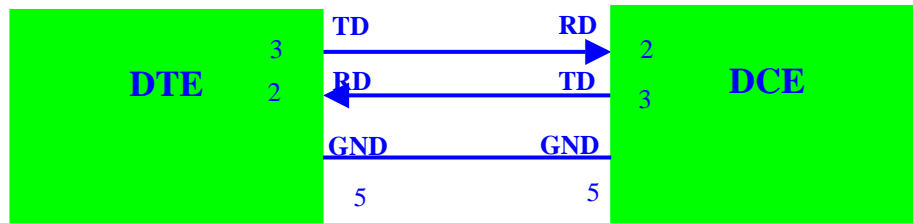


Figure.I.7 : Liaison DTE / DCE

La liaison de l'ordinateur à l'élément d'acquisition est établie à l'aide de l'interface RS232. Dans notre cas, l'ordinateur joue le rôle d'Equipement Terminal de Traitement de Données (ETTD ou DTE). L'interface matérielle prend la place de l'Equipement terminal de Circuit de Données (ou DCE). Nos DTE et DCE sont équipés d'une liaison full duplex. La connexion d'un DTE/DCE est **une liaison droite** (figure.II.8.a) c'est-à-dire de broche à broche.

La **liaison est croisée** dans le cas contraire de DTE/DTE ou DCE/DCE (figure.I.8).

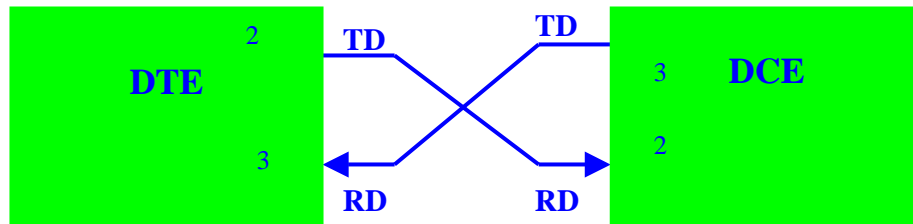
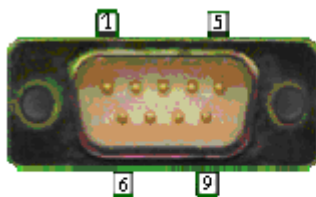


Figure.I.8 : Liaison DTE / DTE ou DCE / DCE

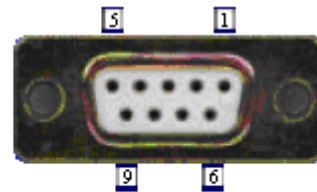
La plupart des périphériques nécessitant une connexion bilatérale pour communiquer avec un PC utilisent un port série standard RS232C (figure.I.11).

Le DB9 renferme 9 broches, et il fournit plusieurs voies de contrôles, on y trouve :

- les signaux de présences de périphériques connectés
- les signaux de contrôle du flux de données
- les signaux de données



DB9 mâle



DB9 femelle

Figure.I.9 : Broche DB9 mâle et femelle

Tableau 1 : Brochage d'un port série RS232C

Broche	Signal	Type	Utilisation
1	CD	Entrée	<i>Carrier Detect</i> : le passage au "0" logique annonce que l'autre équipement reçoit une réponse. Dans le cas d'un modem, il annonce que la connexion est établie et qu'il reçoit un signal de réponse de celui qui se trouve à l'opposé de la ligne téléphonique.
2	RD	Entrée	<i>Received Data</i> : donnée reçue
3	TD	Sortie	<i>Transmitted Data</i> : donnée émise. Lorsque l'équipement est en attente, la sortie est au "1" logique.
4	DTR	Sortie	<i>Data Terminal Ready</i> : le passage au "0" logique indique à l'autre équipement que l'on souhaite communiquer. Dans le cas d'un modem, cela prépare celui-ci à se connecter à une ligne téléphonique, et une fois connecté, à le rester.
5	SG		<i>Signal Ground</i> : masse de référence des signaux (0V)
6	DSR	Entrée	<i>Data Set Ready</i> : le passage au "0" logique annonce que l'équipement opposé est prêt. Dans le cas d'un modem, cela signifie qu'il est connecté à une ligne téléphonique en mode données, que la composition du numéro de téléphone est terminée et qu'il est prêt à émettre un signal de réponse.
7	RTS	Sortie	<i>Request To Send</i> : le passage au "0" logique demande à l'équipement opposé de se tenir prêt à recevoir.
8	CTS	Entrée	<i>Clear To Send</i> : le passage au "0" logique annonce que l'équipement opposé est prêt à recevoir.
9	RI	Entrée	<i>Ring Indicator</i> : le passage au "0" logique annonce que le modem reçoit un appel

I.2.3. Le format de données

La transmission de données peut s'effectuer sur 8 bits avec ou sans contrôle de parité (pouvant être gérée comme paire ou impaire); une trame commence par 1 bit de *start* ("0" logique) et se termine par 1 ou 2 bits de *stop* ("1" logique) (figure.I.10) [5][16].

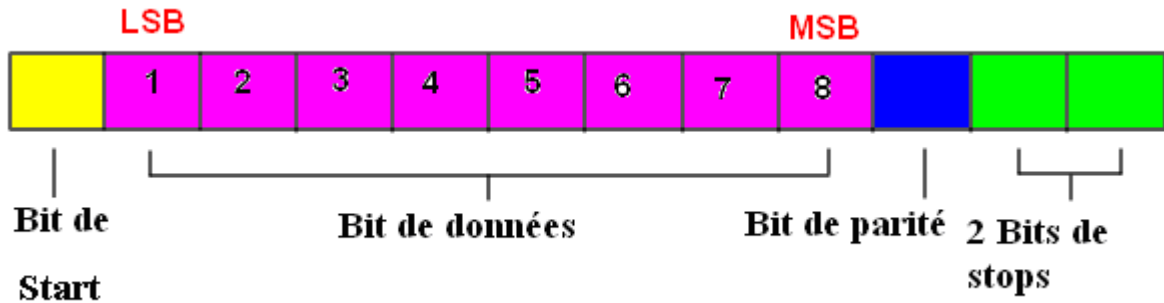


Figure.I.10 : Format de données asynchrone

→ Bits de start

C'est un bit "0" logique ou état bas qui définit le début de la donnée à transmettre.

→ Bits de données

C'est le nombre de bits ("0" ou "1" logique) transmis afin de coder un caractère. On est en 8 bits, la valeur décimale du caractère pourra aller de 0 à 255.

→ Parité

Il s'agit d'un bit qui peut être rajouté à la suite des bits de données.

❖ *Parité paire (even)*

Le bit transmis est un "0" logique si le nombre de "1" logique des bits de données est paire. C'est un "1" logique dans le cas contraire.

❖ *Parité impaire (odd)*

Le bit transmis est un "0" logique si le nombre de "1" logique des bits de données est impaire. C'est un "1" logique dans le cas contraire.

❖ *Parité espace (space)*

Le bit transmis est toujours un "0" logique.

❖ *Parité marque (mark)*

Le bit transmis est toujours un "1" logique.

❖ *Pas de parité*

On n'ajoute pas de bit de parité.

→ **Bits de stop**

C'est un bit au "1" logique qui définit la fin de la donnée transmise. Leur nombre définit la durée pendant laquelle on se trouve au "1" logique [5] [22].

❖ Nous avons dit que 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 en absence de parité) est à "0" il faudra bien que la ligne soit remontée systématiquement à "1". [8].

❖ 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. [4].

I.3. TRANSMISSION DES DONNEES

Un protocole de transmission est utilisé pour résoudre les problèmes pouvant survenir lors de l'acheminement des données entre DTE et DCE. Il a pour but d'assurer des échanges corrects et pallier à toutes les situations anormales de manière à rendre compréhensible, au DTE, les commandes transmises par DCE, et inversement [20].

I.3.1. Ordre de transfert des données

L'ordre de l'information transmise lors de la transmission de données sismiques ou des trames des données est de la forme ci-dessous :

- le bit de START stimule en premier lieu avec la valeur "0" logique « état bas » tandis que s'il n'y a pas de données transmises, toute valeur devient "1" logique « état haut ». Cela indique le commencement du transfert de l'information. [19][21]
- ensuite, les bits de données, le bit le moins significatif (ou LSB : *Least Significant Bit*) est transmis en premier mais après le bit le plus significatif (ou MSB : *Most Significant Bit*)
- le bit de parité suit les bits de données, il détecte les erreurs commises lors de la transmission mais la présence de ceci n'est pas obligatoire.
- finalement le bit de stop marque la fin de la transmission.

I.3.2. Lecture et enregistrement de données

En Sismologie, le temps d'arrivée des ondes ou des signaux est très utile au niveau de l'enregistreur, ou centre d'acquisition sismique. Dans notre cas, c'est la prospection sismique qui détermine la propagation des ondes réfractées appelées « ondes coniques » dans le sous sol provoquée par une source sismique. Nous utilisons un port série pour recevoir et envoyer des données.

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 géophones. Les données sont transférées vers l'ordinateur à l'aide de câble RS232 ; les informations acquises au niveau du port sont traitées au fur et à mesure de l'arrivée de données pour y avoir les informations du terrain à prospector. Les données transmises au niveau du port série sont enregistrées au disque dur local de l'ordinateur jusqu'à ce qu'il n'y a plus de signaux transmis.

I.3.3. Modes de transmission de données

Dans le cas d'un échange de données entre un ordinateur et ses périphériques, les interfaces séries, de type RS232 ou autre, sont de simples supports à double sens, qui transmettent les bits les uns à la suite des autres. Au repos, lorsqu' aucun caractère n'est transmis, les lignes de données T_x et R_x sont mises à "1". Ainsi, pour marquer le début et la fin d'une trame, le bit de début serait un bit de niveau « bas » et des bits de niveau « haut » pour le bit d'arrêt. La transmission série peut s'effectuer de manière : **synchrone** ou **asynchrone** :

- **Le protocole asynchrone** est utilisé lorsque les données sont sous forme de caractères, généralement ASCII sur 8 bits. Ce type de transmission est plus approprié à nos besoins car il suffit simplement d'exprimer nos données dans un format compréhensible par les deux équipements [16]. La trame asynchrone est présentée par la figure.I.11 suivante :

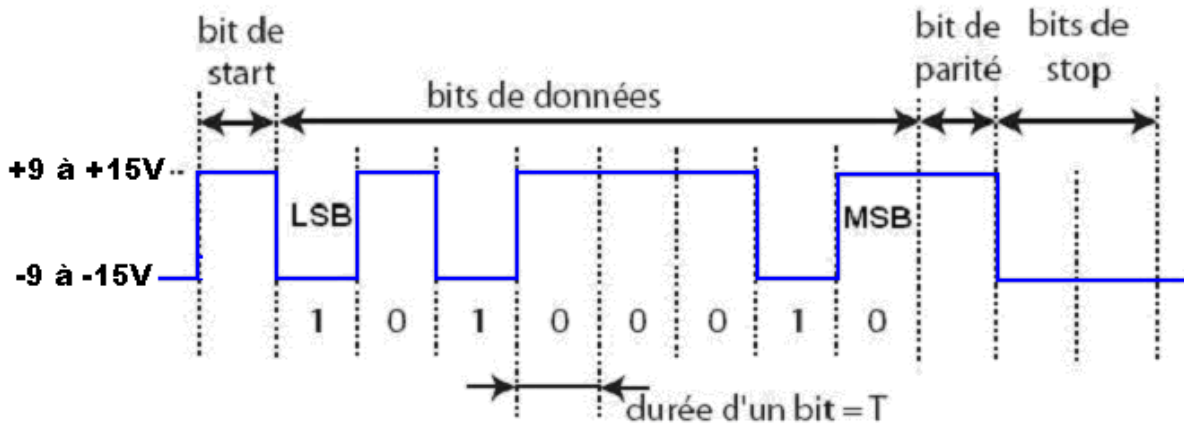


Figure.I.11 : Transmission de donnée asynchrone

Exemple: Transmission du caractère « E » (code ASCII 45H) sous forme série selon la RS232.

- L'état "1" correspond à une tension **négative** comprise entre -9 et -15 V, l'état "0" à une tension **positive** comprise entre $+9$ et $+15$ V. Au repos, la ligne est à l'état "1" (tension négative).
- Les **bits de données** sont transmis l'un après l'autre en commençant par le bit de poids faible. Chaque bit est maintenu sur la ligne pendant une durée déterminée T . L'inverse de cette durée définit la fréquence de bit = nombre de bits par secondes = **vitesse de transmission**.

Les bits de données sont traduits sous forme de chaîne de caractères appelée trame. L'indentification d'une trame asynchrone est symbolisé par « **8P2** », c'est-à-dire le format de données est composé de 8 bits de données, parité paire et 2 bits d'arrêt [23].

Nombre de bits de données – type de parité – nombre de bits d'arrêt

▪ Dans le **protocole synchrone**, l'horloge d'émission est soit transmise directement (par un fil) au récepteur, soit reconstituée par ce dernier à partir du signal lui-même selon le type de modulation. Il ne peut pas nous convenir car ceci nous oblige à munir notre interface matérielle d'une horloge interne. Afin d'assurer une plus grande sûreté au niveau de la décision, un déphasage d'une demi période entre la détermination d'un bit à l'émission et sa lecture à la réception est introduite. À l'émission, le front descendant détermine l'écriture du bit tandis qu'à la réception, c'est le front montant qui assure sa lecture.

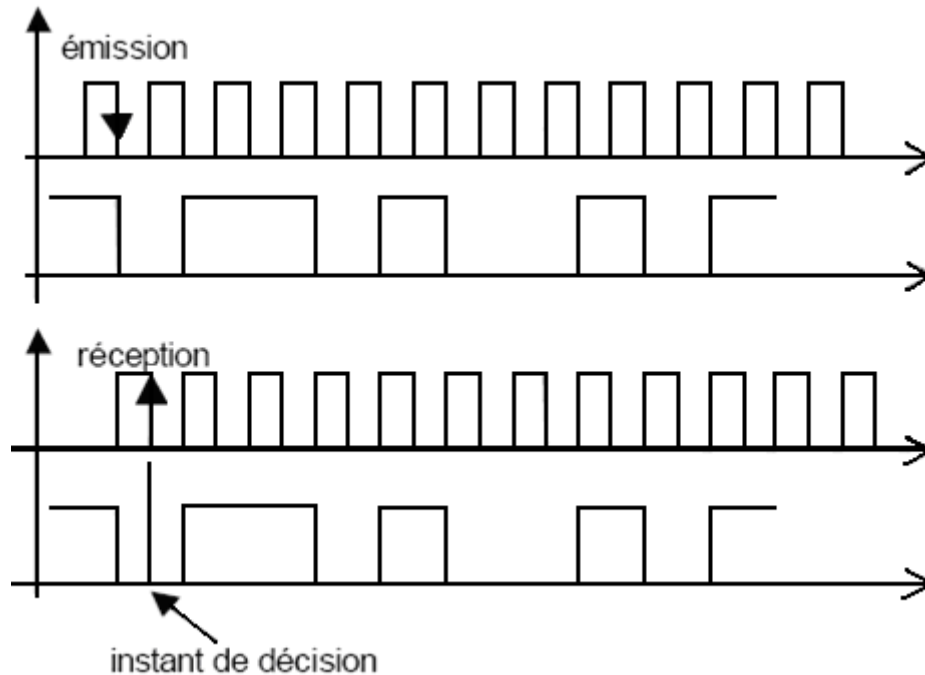


Figure.I.12 : Transmission de donnée synchrone

Pendant l'acquisition de données sismiques, nous utilisons un câble RS232 blindé (9 brins) mâle / femelle câblé fil à fil d'une longueur 17 mètres au maximum [6] pour relier l'appareil de l'interface matérielle avec l'ordinateur. Au-delà de cette longueur on pourra obtenir des pertes au niveau des signaux.

Après avoir vu le principe de communication de données à partir de la source sismique, nous allons présenter maintenant les méthodes et les caractéristiques de la prospection sismique.

PARTIE II : LA METHODE DE LA PROSPECTION SISMIQUE

Historiquement, la première mise en oeuvre de la prospection sismique a été effectuée dans le Golfe en 1923. A cette époque on utilisait la prospection sismique réfraction jusqu'en 1930. C'était la seule méthode pour déterminer la structure du sous sol à la recherche pétrolière.

Le principe de la prospection sismique est lié au fait que si en un point du sol, on provoque un ébranlement, ce dernier se traduit par une émission d'ondes élastiques. Il se propage de proche en proche en s'amortissant. Le temps nécessaire pour qu'il atteigne des récepteurs dépend de la nature et de la disposition des formations géologiques. La prospection sismique a pour base l'étude de ce temps de propagation.

II.1. ONDES SISMIQUES

Les ondes sismiques sont des signaux réels. Elles sont dues à des réfractions, réflexions, diffractions et à des propagations d'onde. En sismique, on travaille avec des signaux dont la fréquence varie de 10 Hz à 100 Hz. Un des paramètres qui caractérise une onde est sa vitesse de propagation dans un milieu. L'un des objectifs du traitement sismique est l'identification et la séparation des différentes ondes pour avoir une meilleure compréhension du sous-sol.

II.1.1.Caractéristiques des ondes

La loi de Snell-Descartes est donc utilisée lors de la prospection sismique réfraction en supposant que le sous sol est considérée comme une succession de couches superposées, on utilise le principe de l'onde conique.

Il existe deux catégories principales d'ondes sismiques : **les ondes de volume** et **les ondes de surface**.

- **Les ondes de volume** peuvent être divisées, elles-mêmes, en deux types :

⇒ **ondes P** ou de **compression** : vibration longitudinale selon la figure II.1 qui agite les particules parallèlement à la direction de propagation.

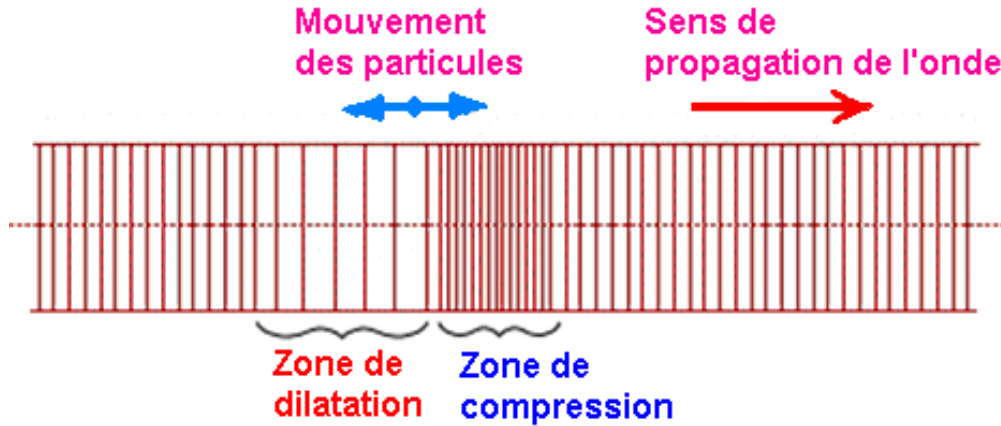


Figure. II.1: Schéma d'un Onde P

⇒ **ondes S** ou de **cisaillement** : vibration transversale (Figure II.2) qui agite les particules perpendiculairement à la direction de propagation.

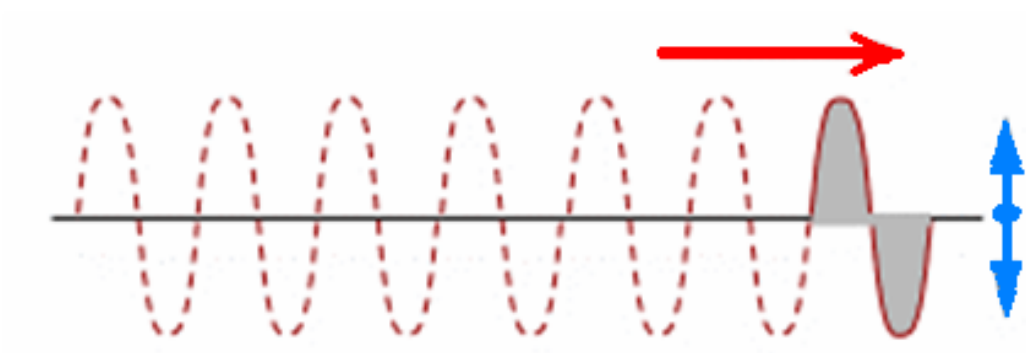


Figure.II.2 : Caractéristique de l'Onde S

- **Les ondes de surface**, la vitesse de ces ondes à qui on a donné le nom d'onde de Rayleigh est faible, comparée à celle des ondes longitudinales. Pour un milieu donné, la vitesse de l'onde de Rayleigh est à peu près 0,9 fois celle de l'onde transversale. Ils sont illustrés par les figures II.3 et II.4 ci-dessous.



Figure.II.3 : Onde de Love

L'onde de Love ou **L** déplace le sol d'un côté à l'autre dans un plan horizontal perpendiculairement à sa direction de propagation.

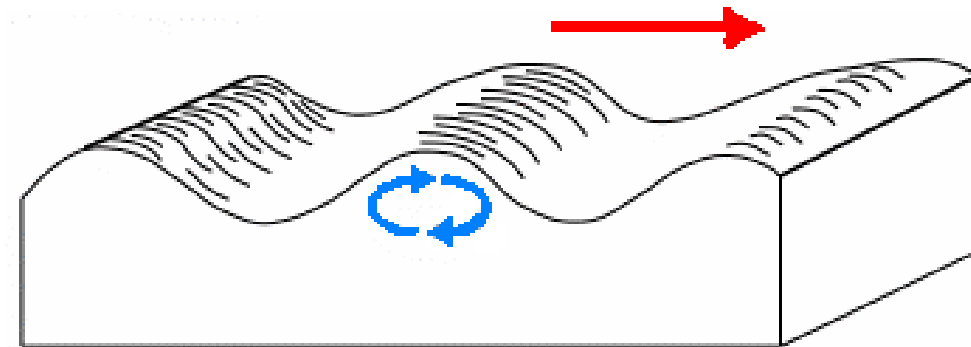


Figure.II.4 : Onde de Rayleigh

II.1.2. Propagations des ondes sismiques

La prospection sismique est caractérisée par les ondes sismiques. Ils existent 3 types des ondes sismiques :

↳ L'onde directe

L'onde directe, symbolisée par le rayon (1) de la figure.II.9, se propage à la surface du sol. Elle apporte peu d'informations intéressantes pour l'exploration, puisque les géologues ont accès à la surface du terrain. Elle parvient aux capteurs en premier, ce qui permet de la distinguer facilement.

↳ L'onde réfléchie

L'onde réfléchie, comme celle symbolisée par le rayon (2) en A de la figure.II.9, est renvoyée sous un angle égal à l'angle incident (ici noté i). Toutefois, à partir d'une certaine distance à la source, l'angle incident est suffisamment grand pour que l'on puisse considérer que l'onde est totalement réfléchie. Ces vitesses permettent de déterminer les milieux traversés grâce à des bases de données communes à toutes les compagnies, obtenues par corrélations entre sismique et carottage.

↳ L'onde réfractée

L'onde réfractée, symbolisée par le rayon (3) de la figure.II.9, passe dans les couches inférieures du sous-sol dans une direction indiquée par la loi de Snell-Descartes (n_1 et n_2 sont les indices de réfraction des milieux m_1 et m_2) : $n_1 \sin i = n_2 \sin r$. Une version plus adaptée à la sismique de cette loi est la suivante (V_1 et V_2 sont les vitesses de propagation des ondes sismiques dans les milieux m_1 et m_2) :

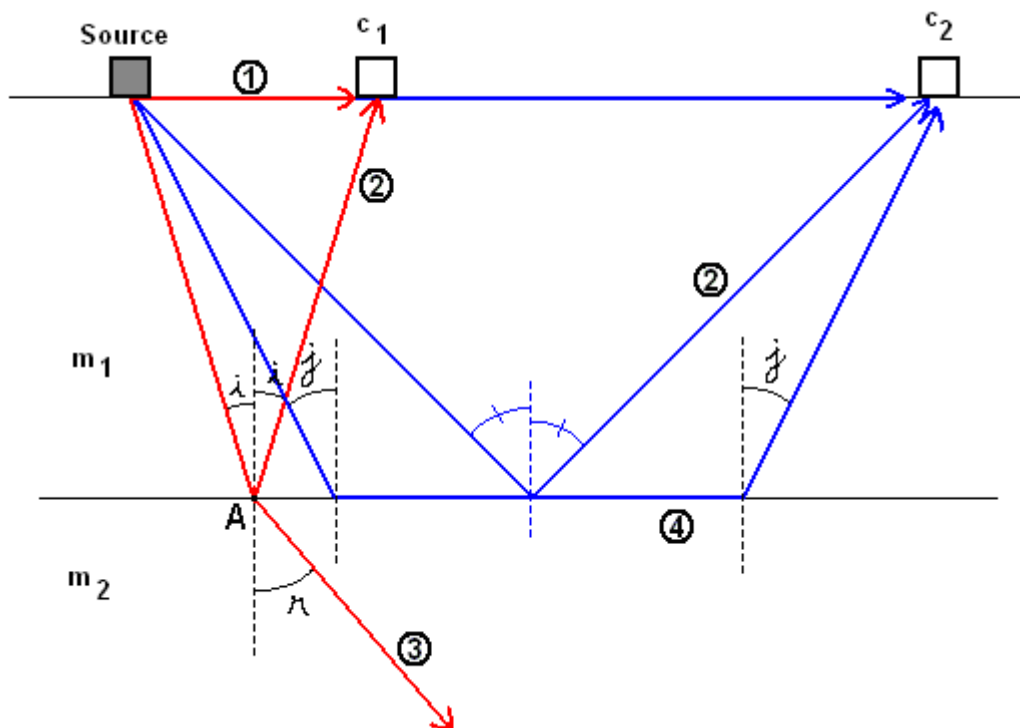


Figure.II.5 : Les propagations des ondes sismiques

La plupart du temps, la vitesse de propagation des ondes dans un milieu augmente avec sa profondeur et on a donc : $V_1 < V_2$. Dans ce cas, l'angle incident i est plus petit que l'angle r . Ce rayon réfracté n'est pas observable directement, mais une partie réfléchi sur la prochaine interface (entre la couche géologique courante et la suivante), est susceptible d'être captée.

II.2. LES METHODES SISMIQUES

La reconnaissance sismique est basée sur la mesure des temps de propagation dans les couches du sous-sol, d'ondes acoustiques générées artificiellement par une source.

Ces temps de propagation permettent de déterminer la géométrie, la structure et la configuration des couches géologiques. Dans certains cas, ils permettent également la détermination de la vitesse de propagation des ondes longitudinales dans le sol.

II.2.1. Mise en œuvre de la méthode

Dans toutes les techniques géophysiques, ce sont les méthodes sismiques qui sont le plus utilisées pour les recherches des structures géologiques de la croûte terrestre. Ces techniques sont basées sur la mesure des temps de propagation des ondes élastiques généralement engendrées par l'explosion de charge de dynamite. Deux méthodes peuvent être employées : soit *la méthode par réflexion (figure I.10)* soit *celle par réfraction (figure I.11)*. La sismique basse fréquence, dans la gamme de fréquence de 5 à 80 Hz, est utilisée pour des pénétrations de quelques kilomètres (jusqu'à 30km) et une résolution de l'ordre de la centaine de mètres.

Les mesures de terrain nécessitent la mise en oeuvre d'un système d'émission d'une vibration (ébranlement du sol à l'aide du marteau ou de petites charges d'explosif), des géophones d'enregistrement des vibrations, une centrale d'acquisition et de stockage des données obtenues. La mise en oeuvre des méthodes sismiques peut concerner des mesures en surface ou avec un forage associé.

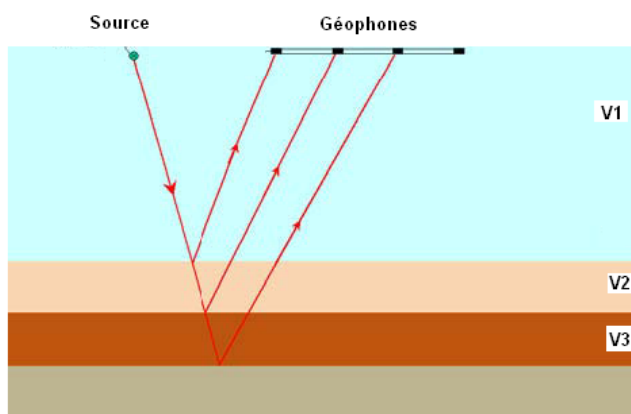


Figure.II.6 : La sismique réflexion

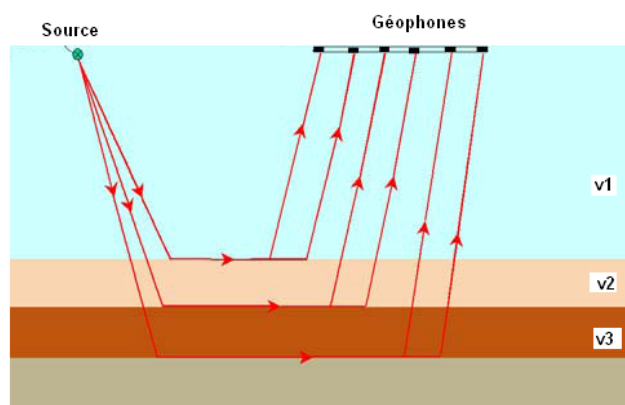


Figure.II.7 : La sismique réfraction

Dans tous ce qui suit, les seules ondes considérées sont les ondes de compression ou « **onde P** ». Les ondes émises par la source sont captées par une série de « géophones », placés régulièrement suivant un alignement ou un profil équidistant.

II.2.2. Les modèles de terrain

La prospection sismique est l'application directe de la sismologie à l'investigation du sous sol. Théoriquement, on a rencontré différents modèles géométriques de terrains :

- le modèle tabulaire à deux terrains
- le modèle tabulaire à trois terrains
- les modèles deux terrains à interface incliné
- les modèles faillés

Le modèle tabulaire à deux terrains est un modèle le plus couramment et le plus fondamental sur la prospection sismique ; l'interface de séparation du terrains étant plane et horizontale

Les ondes cités précédents qui parcourent le sous sol ou sa superficie après un coup de marteau ou une chute de masse respectent les lois de l'optique géométrique (Snell-Descartes) (Figure II.9) par la passage de l'interface entre les deux terrains.

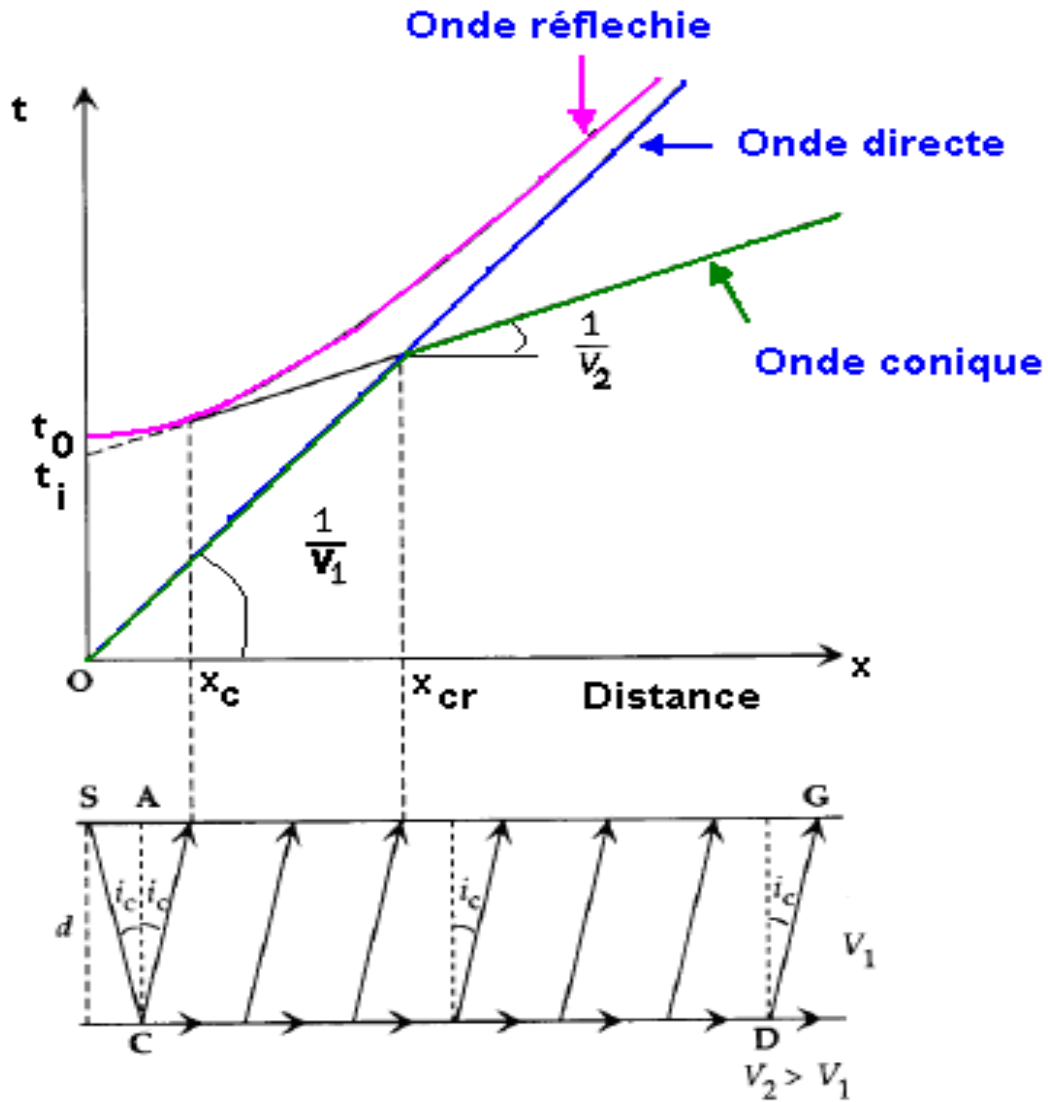


Figure.II.8 : Modèle 2 terrains tabulaires

Le temps de parcours t peut s'exprimer sous forme:

- d'onde directe : $t_d = \frac{\Delta}{V_1}$ Equ.II.1

- d'onde réfléchie par l'interface 1 : $t_r = \frac{(\Delta^2 + 4h_1^2)^{1/2}}{V_1}$ Equ.II.2

- d'onde réfractée ou conique sous l'angle incidence i_c et si $V_2 > V_1$ la loi de Snell - Descartes pour l'onde réfractée donne :

$$\sin i_c = \frac{V_1}{V_2} \quad \text{Equ.II.3}$$

Le temps de propagation est : $t_r = \frac{\Delta}{V_2} + \frac{2h_1 * \cos i_c}{V_1}$ Equ.II.4

La finalité de traitement des données sismiques consiste à représenter les hodochrones correspondantes. En effet nous concevons un logiciel d'acquisition de traitement LAS capable d'afficher les signaux sismiques des différents géophones afin d'obtenir les informations du sous sol.

PARTIE III : LE LOGICIEL D'ACQUISITION DE DONNEES SISMIQUES

L'objectif de ce travail est de réaliser une application de traitement de données sismiques, ou interface logicielle afin d'acquérir et de tracer les données provenant de l'interface matérielle par un programme écrit sous MATLAB. Cette application doit aussi être capable de réaliser les principales fonctions attribuées au sismomètre assisté par ordinateur comme l'appareil de prospection sismique Terraloc. Pour chacune des fonctions de la réalisation, il faudra accomplir un ensemble de procédures à suivre permettant d'utiliser convenablement le logiciel en respectant les règles de développement définies par les normes.

III.1. LA CONCEPTION DU LOGICIEL

Comme il a été dit auparavant, ce travail a pour but de développer un Logiciel d'Acquisition de données Sismiques ou (LAS) qui est représenté par une interface graphique ou interface utilisatrice appelée aussi le GUI *en anglais Graphical User Interface*.

III.1.1. Configuration des périphériques

La manipulation faite au niveau du port série, que ce soit en mode configuration ou en mode transmission, est bloquée tant que ce dernier n'est pas ouvert. Ensuite, concernant les configurations du port, le chargement des paramètres tels que *BaudRate*, bits de stop, bits de données et parité dans son contrôleur est réalisé avec la fonction de commande « *set* » en matlab.

III.1.1.1 Ouverture du port série

Le début de l'acquisition de données est réalisé en ouvrant le port série par la commande « *fopen* ». En langage MATLAB, la manipulation d'un port COM ou port série est souvent effectuée par une fonction de commande. En voici un exemple :

% Créer un objet port série

```
s = serial('COM1');  
s.Terminator = 'CR';  
s.StopBit = 1;  
s.TimeOut = 1; % Temps d'attente pour réaliser une opération de lecture  
set(s, 'BaudRate', 57600); % La vitesse de transmission de données  
fopen(s);
```

III.1.1.2 Lecture de données sur les périphériques

Au moment de la lecture des données, nous pouvons clarifier les applications et les caractéristiques du port série [16]:

- l'accès aux lignes de commande de MATLAB
- le type de données à transférer (binaire ou texte)
- la lecture de données

Les données transmises peuvent être traitées en même temps par divers programmes déjà installés au niveau de l'ordinateur. La lecture est effectuée par l'utilisation des fonctions « *fscanf* » ou « *fread* » [21], l'écriture des données se fait par le biais des fonctions matlab « *fprintf* » ou « *fwrite* ». Quand il n'y a pas d'information émise par les géophones, on déconnecte les périphériques par la commande « *fclose* ». Les données contenues dans le tampon du PC sont effacées par la fonction « *delete* » et celles de l'espace de travail par « *clear* ».

L'opération de lecture est caractérisée 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

III.1.1.3 : Sauvegarder des informations

Quand le port série est connecté aux périphériques, nous pouvons enregistrer les informations provenant des géophones transmises par le biais du RS232 dans un fichier sous forme *filename.ssr* (signal sismique réfracté) placé dans un répertoire de l'ordinateur. L'enregistrement de l'information sur le disque fournit une valeur permanente de la session port série.

Tableau 2 : Commande instructions enregistrements

Commandes	Significations
<i>RecordDetail</i>	Etat d'information enregistrée sur disque
<i>RecordMode</i>	Signifie que les données sont enregistrées sur un ou plusieurs fichiers
<i>RecordName</i>	Indique le nom de fichier de stockage
<i>RecordStatus</i>	Les données sont sauvegardées sur le disque.

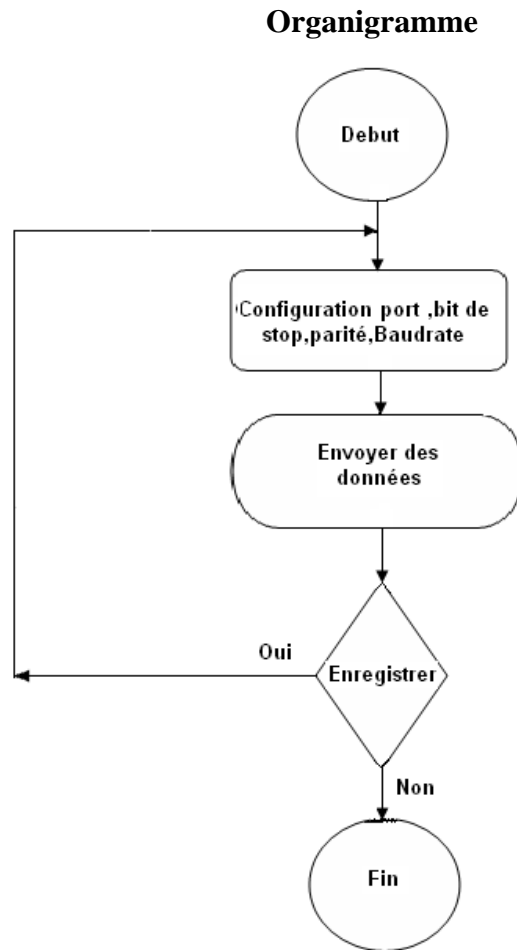


Figure.III.1 : Organigramme du programme d'enregistrement

III.1.2. Traitement de données

Après l'acquisition des données sismiques, le pointage du temps d'arrivée des ondes enregistrés par les capteurs nous permet de fournir les informations du sous-sol. Pour avoir une représentation relative des couches, la composition physique des différentes couches doit être déterminée en établissant un modèle de vitesse.

En effet, nous devons convertir les données reçues sous forme de tension, qui est l'étape de décodage. Nous procédons en plusieurs étapes comme le montre le schéma synoptique de la figure III.2 suivant :

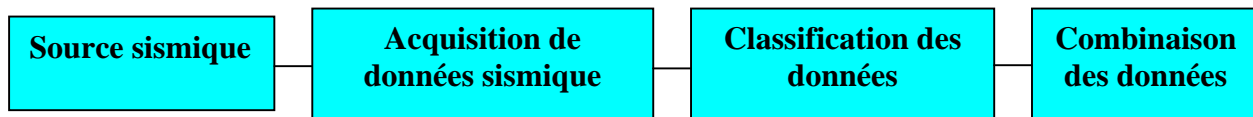


Figure.III.2 : Schéma synoptique des étapes de mise en forme des données

☞ Séparation de données pour chaque géophone

L'acquisition des données sismiques issues de la source est effectuée par le microcontrôleur PIC16F877. Un PIC ou « *Programmable Interface Controller* » ou Contrôleur d'Interface Programmable est un microcontrôleur qui possède des mémoires internes, un convertisseur analogique numérique, USART. Le PIC16F877 est fabriqué par le *MICROCHIP Technology*. A la sortie du PIC, les données sont présentes au niveau du port série sous forme de chaînes binaire. Matlab les traduit sous forme de chaîne de caractère. Le nombre fixe « 112 » initialise le paquet de données, qui indique le début de l'acquisition. Pour chaque paquet de données ce nombre s'affiche en premier; puis un chiffre zéro, ensuite le numéro du géophone après les deux valeurs de données « hautes » (DH) et « basses » (DB) pour le géophone n°1 et ainsi de suite pour les autres géophones. Nous illustrons par le tableau 4 ci-dessous.

Tableau 3: Exemple d'un paquet de données

112	0	1	02	93	2	03	210	3	...	....	24	01	40
↑	↑	↑	↑	↑							
Nb fixe	zéro	st n°1	DH	DB									

A l'instant t_0 les données issues des différents capteurs sont prises en une seule fois et stockées temporairement au mémoire interne du microcontrôleur. La lecture des données disponibles au niveau de l'interface matérielle se fait à partir des programmes écrits sous matlab. L'ordinateur reçoit les données transférées par le PIC et la communication avec le PC doit se faire par l'intermédiaire du port série RS-232. Les "ports" de communication série sont appelés COM1 et COM2 et leurs connecteurs sont accessibles sur la face arrière du PC. Le microcontrôleur comporte d'un USART qui permet de respecter les temps de communication du protocole RS-232. Ce module peut envoyer des données en série à une vitesse spécifiée sous une tension de 0-5V. En revanche, une adaptation des niveaux de tension est nécessaire, celle-ci se fera par l'intermédiaire d'un circuit spécialisé, le MAX-232,

qui converti les niveaux de sortie TTL du PIC en signaux RS-232. La norme RS-232 utilise des tensions entre -15 et $-3V$ pour coder un niveau logique "haut" et entre 3 et $15V$ pour un niveau "bas". Ces tensions sont obtenues à partir de l'alimentation $0-5V$ par un principe de charge/décharge de capacités.

Le géophone le plus proche de la source sismique (marteau ou explosion...) enregistre les données en premier puis passe au géophone voisin et ainsi de suite jusqu'au 24^{ème} capteur. Un paquet de données est formé par les valeurs de données de 24 géophones qui sont caractérisées par des données « hautes » et « basses ».

Tableau 4 : Format de données pour chaque géophone

N° Géophone	1		2		3		4		.....	24	
Donnée	DH	DB	DH	DB	DH	DB	DH	DB	... ..	DH	DB
1	02	93	03	210	04	41	02	81	.....	01	40
2	03	52	03	10	01	95	03	35	.....	00	30
3	02	156	04	08	02	125	01	65	.....	00	20

☞ Combinaison de données basses et hautes

Le microcontrôleur est composé de 2 blocs mémoires : la mémoire programmable et la mémoire de données. Ces mémoires de données du PIC16F877 permettant de mémoriser temporairement les données produites par le microprocesseur pendant les différentes phases de l'acquisition ; ils sont accessibles en écriture et en lecture :

- la mémoire vive (RAM)
- mémoire morte (EEPROM)

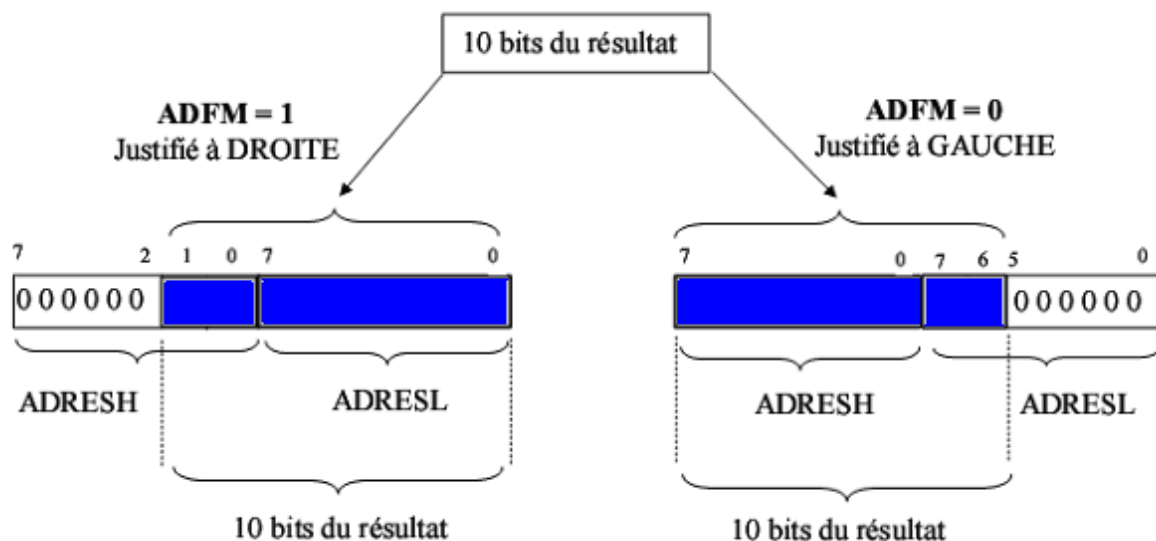
Le but du calcul est de récupérer les valeurs de tension reçue par chaque géophone après leur passage de l'unité de traitement interface matérielle. Ensuite, nous pouvons convertir les données décimales reçues au niveau de l'ordinateur en données binaires pour arranger les informations acquises. Les deux données dans les registres « hautes » et « basses » sont converties en 8 bits par la commande « *dec2bin* » du matlab. Le tableau 5 donne une représentation de ces données.

Tableau 5 : Les données reçues converties en 8 bits

112	0	1	00000010	01011101	2	00000011	11010010	3	24	00000001	00101000
-----	---	---	----------	----------	---	----------	----------	---	-----	------	----	----------	----------

Les données traitées par le microcontrôleur seront enregistrées dans la mémoire de données du PIC plus précisément dans les registres du RAM. Le résultat doit être sauvegardé dans 2 registres. Ces registres sont les registres *ADRESL* et *ADRESH*, ces 2 registres contiennent 16 bits, c'est-à-dire 8 bits pour le registre *ADRESL* et 8 bits également pour l'autre. Nous n'utilisons que 10 bits. La façon de sauvegarder les données est laissée à notre choix. Nous pouvons, soit justifier le résultat à gauche, soit à droite. Le terme justification des résultats signifie emplacement des données dans la mémoire du PIC.

La justification à droite : Ce résultat sera justifié à droite dans les registres *ADRESH* et *ADRESL* ; en effet *ADRESL* contient les bits 7 à 0 du résultat de la conversion et *ADRESH* contient 6 zéros suivi des bit 9 et 8 du résultat de la conversion.


Figure.III.3 : Mise en place de données dans les registres
Tableau 6 : Justification à droite des résultats de conversion

<i>ADRESH</i>							<i>ADRESL</i>								
0	0	0	0	0	0	b9	b8	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0

La justification à gauche : Le résultat sera justifié à **gauche**, c'est-à-dire **ADRESH** contient les bits **9 à 2** du résultat de la conversion et **ADRESL** contient les bits **1 et 0** du résultat de la conversion suivi de **6 zéros**.

Tableau 7: Justification à gauche des résultats de conversion

<i>ADRESH</i>								<i>ADRESL</i>							
b9	b8	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0	0	0	0	0	0	0

Pour notre cas, nous préférons la justification à droite car on a besoin de l'intégralité des 10 bits de résultat. Dans ce cas, les 2 bits de poids faibles se trouvent isolés dans *ADRESH*. La justification à droite complète donc la partie gauche du résultat par des "0" tandis que la justification à gauche est très pratique lorsque 8 bits nous suffisent. Dans ce cas, les 2 bits de poids faibles se trouvent isolés dans *ADRESL*.

Le choix de cette opération s'effectue à l'aide du bit 7 de *ADCON1*, du registre du microcontrôleur PIC16F877.

$$\text{Donnée} = \text{donnée ADRESH} \oplus \text{donnée ADRESL}$$

Equ.III.1

Remarque : Le signe \oplus dans l'équation III.1 précédent n'est pas un additionneur binaire mais une concaténation des deux valeurs.

Tableau 8 : Forme de donnée convertie en 10bits

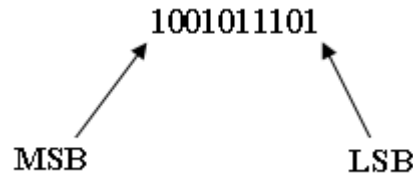
MSB					LSB				
H1	H0	L7	L6	L5	L4	L3	L2	L1	L0

Exemple pour le géophone n°1 :

Donnée *ADRESH* = $(2)_{10} = (00000010)_2$

Donnée *ADRESL* = $(93)_{10} = (01011101)_2$

Ce qui entraîne que la donnée reçue par le géophone n°1 à l'instant t est



☞ Conversion des informations binaires en tensions

Le PIC16f877 dispose également d'un convertisseur analogique numérique pour la conversion des données. Un Convertisseur Analogique Numérique (CAN) recevant à son entrée un échantillon d'un signal analogique, produit à sa sortie un signal numérique codé en binaire sur n bits.



Figure.III.4 : Schéma synoptique des étapes pour le décodage en Tension

La relation (Equ.III.3) entre la grandeur analogique V_a et la grandeur numérique s'écrit:

$$V_a = \frac{1}{2^n} \cdot V_{ref} \cdot [b_{n-1} 2^{n-1} + \dots + b_1 2^1 + b_0 2^0] \quad [20] \text{ Equ.III.3}$$

V_{ref} est la tension de référence ; b_0 représente le bit de poids le plus faible ou LSB (Lowest Significant Bit) ;

n: indique le nombre de bit ici $n = 10$ bits

b_{n-1} représente le bit de poids le plus fort ou MSB (Most Significant Bit).

Exemple : $V_{\text{ref}} = 5 \text{ Volts}$; $V_a = 4 \text{ Volts}$

Tableau 9 : Résultat du conversion

	MSB					LSB				
SORTIES	b-9	b-8	b-7	b-6	b-5	b-4	b-3	b-2	b-1	b-0
POIDS (V)	2,5	1,25	0,625	0,3125	0,15625	0,078125	0,039063	0,019532	0.0097657	0.0048829
Obtenu	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0
Produit	2.5	1.25	0	0	0.15625	0.078125	0	0	0.0097657	0
SOMME	3,9941407									

Le tableau 10 ci-dessus récapitule les résultats de la conversion, les bits de sortie du registre du microcontrôleur sont codés en 10 bits :

- ➔ La première ligne représente les bits de sortie.
- ➔ La deuxième ligne montre les poids de chaque bit, exprimés en volts.
- ➔ La troisième ligne indique le résultat réel de la conversion, en octet.
- ➔ La quatrième ligne affiche les valeurs de chaque bit, en volts.
- ➔ La dernière ligne donne la somme de tous les bits

La démarche pour le principe de la conversion de données numériques en tensions est représentée par la figure.III.2

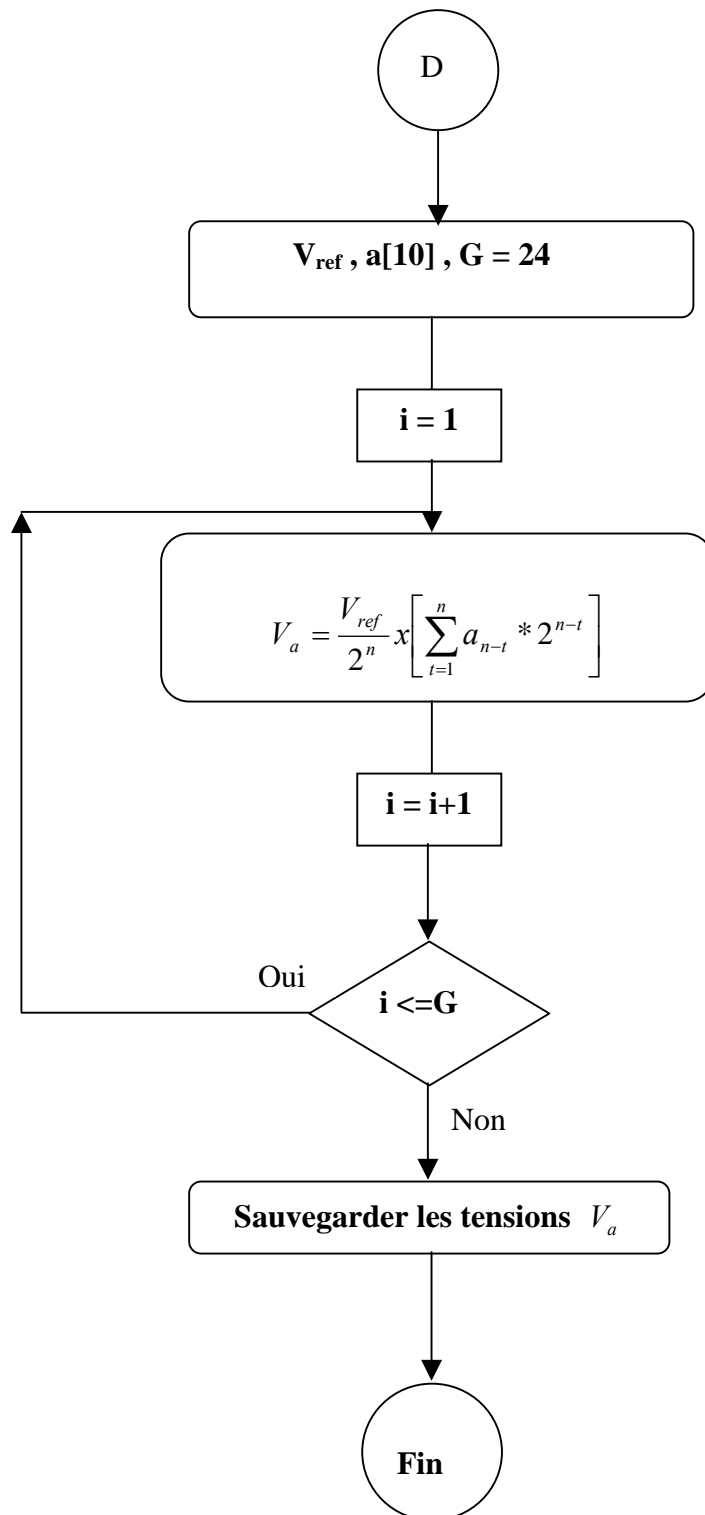


Figure.III.5 : Organigramme de conversion de données numériques en tensions

III.1.3. Tracage et filtrage du signal pour chaque voie

Après le traitement des données, nous traçons les informations reçues par les différentes géophones dans une fenêtre du LAS. La visualisation de chaque trace sismique permet de pointer le temps d'impact ou le temps d'arrivée de l'onde pour chaque géophone et la durée de la propagation des différentes ondes pour chaque géophone.

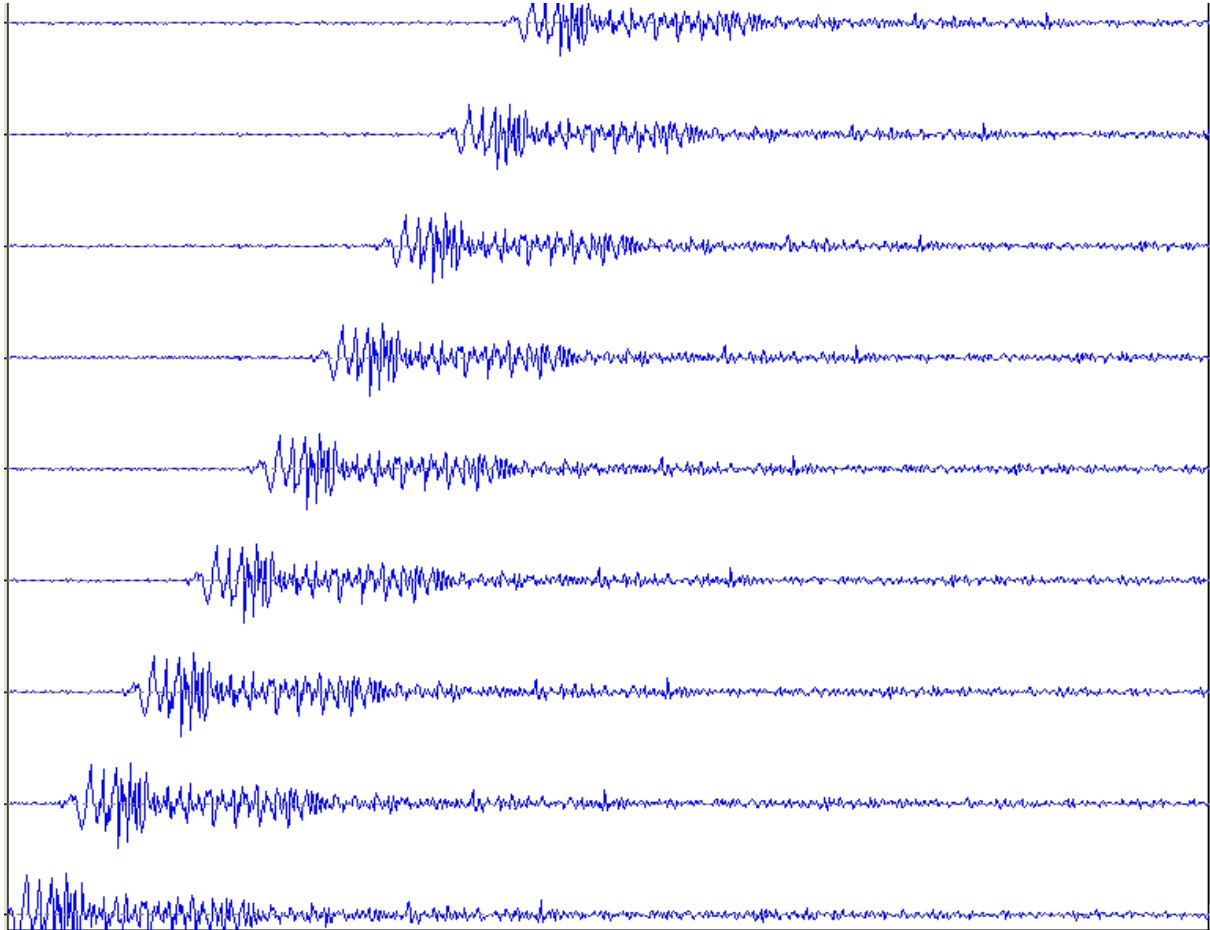


Figure.III.2 : Les signaux sismiques provenant de la station sismique

On utilise le filtre passe bas pour éliminer les parasites à hautes fréquences. Le but du filtrage est donc de séparer de la meilleure façon possible le signal du bruit, pour pouvoir disposer d'une meilleure et plus grande information du sous-sol traverser. Cependant le signal sismique enregistré est toujours bruité. Il y a intérêt à filtrer le signal en supprimant les zones (en fréquence) supérieure à une fréquence caractéristique appelée fréquence de coupure f_c . Les filtres représentent un outil essentiel en traitement de signal, ce filtre peut être de type :

passe-bas, passe-haut, passe-bande ou coupe bande. Il existe plusieurs types de filtres passe-bas plus habituellement utilisés: les filtres de Butterworth, Tchebychev et Bessel.

La réponse en amplitude ou gain du filtre $G_{dB}(f) = 20 \cdot \log(|H(f)|)$ d'un filtre passe – bas est illustrée par la figure

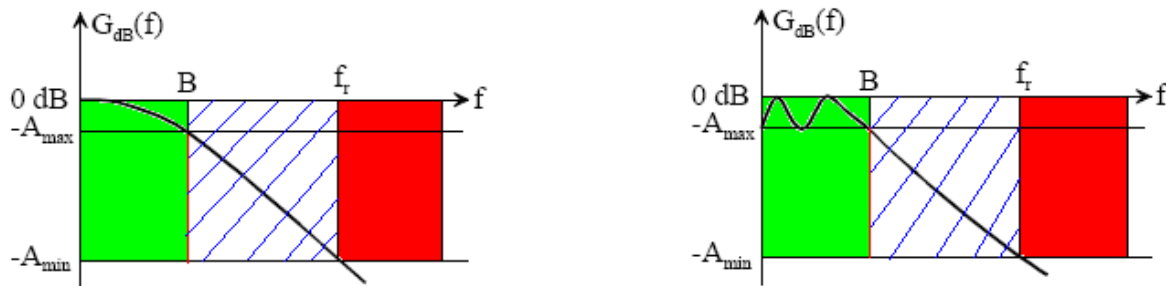


Figure.III.3 : Les différentes bandes des filtres

- $0 \leq f \leq B$: **Bande passante** en verte (*en anglais pass band*)
- $B < f < f_r$: **Bande de Transition** qui est la partie hachurée
- $f_r \leq f < \infty$: **Bande bloquante** ou bande de réjection zone rouge (*en anglais stop band*)
- A_{max} : Affaiblissement maximale dans la bande passante (dB) (*anglais. rippel*). Si rien n'est précisé, on admet $A_{max} = 3$ dB.
- A_{min} : Ondulation minimale dans la bande de réjection

Dans notre travail, les filtres disponibles à utiliser sont : *Butterworth* et *Tchebychev*. Nous les avons choisis à cause de l'uniformité de leurs caractéristiques de la réponse du filtre. Et l'utilisateur peu faire le choix entre eux lors du filtrage des signaux. Une comparaison de la réponse fréquentielle des trois caractéristiques du filtre passe-bas est illustrée à la figure III.4.

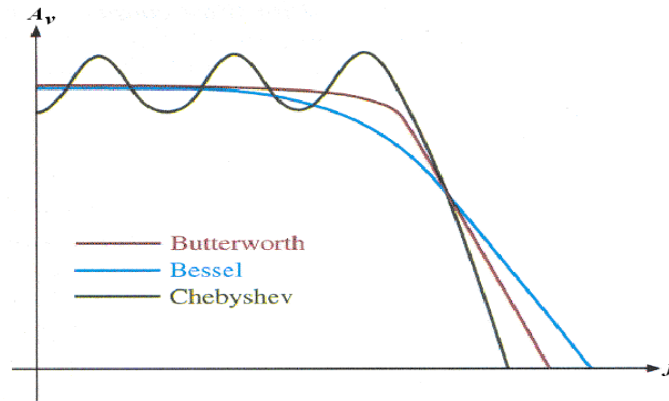


Figure.III.4 : Les caractéristiques du réponse du filtre

Le filtre est amené à remplir certaines exigences, par exemple :

- Bonne réponse indicielle (aussi carrée que possible).
- Peu de distorsion d'amplitude dans la bande passante.
- Peu de distorsion de phase dans la bande passante.
- Affaiblissement aussi brutal que possible après la fréquence de coupure.

En bref, toutes ces conditions ne peuvent pas être remplies en même temps mais cela dépend du caractéristique du filtre utilisé.

➤ Filtre de Butterworth

Les filtres passe bas de *Butterworth* sont des filtres linéaires dont la forme générale est semblable pour tous les ordres comme illustrés sur la figure III.5, n est donc l'ordre du filtre mais d'une part la pente différente dans la bande de coupure et il a un déphasage non linéaire dans la bande passante. Le caractéristique *Butterworth* fournit une réponse d'amplitude très uniforme dans la bande passante et un taux d'atténuation de -20 dB/décade. Toutefois, la réponse en phase n'est pas linéaire. Le gain d'un filtre de *Butterworth* passe- bas d'ordre n est donné par la relation suivante :

$$G_n(f) = |H_n(jf)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon^2 \left(\frac{f}{f_c}\right)^{2n}}}$$

Equ.III.5

G_n : le gain de filtre

H_n : la fonction de transfert

j : l'unité complexe

f : la fréquence du signal (Hz)

f_c : la fréquence de coupure (à -3dB)

ε : Facteur compris entre 0 et 1

$$\varepsilon = \sqrt{10^{\frac{A_{\max}}{10}} - 1}$$

Equ.III.6

A_{\max} : Affaiblissement maximal dans la bande passante

La figure III.5 illustre l'allure de la réponse fréquentielle du filtre passe-bas de *Butterworth*.

La réponse de type *Butterworth* est souvent qualifiée comme étant la plus uniforme, ainsi la décroissance de l'atténuation varie en fonction de l'ordre du filtre

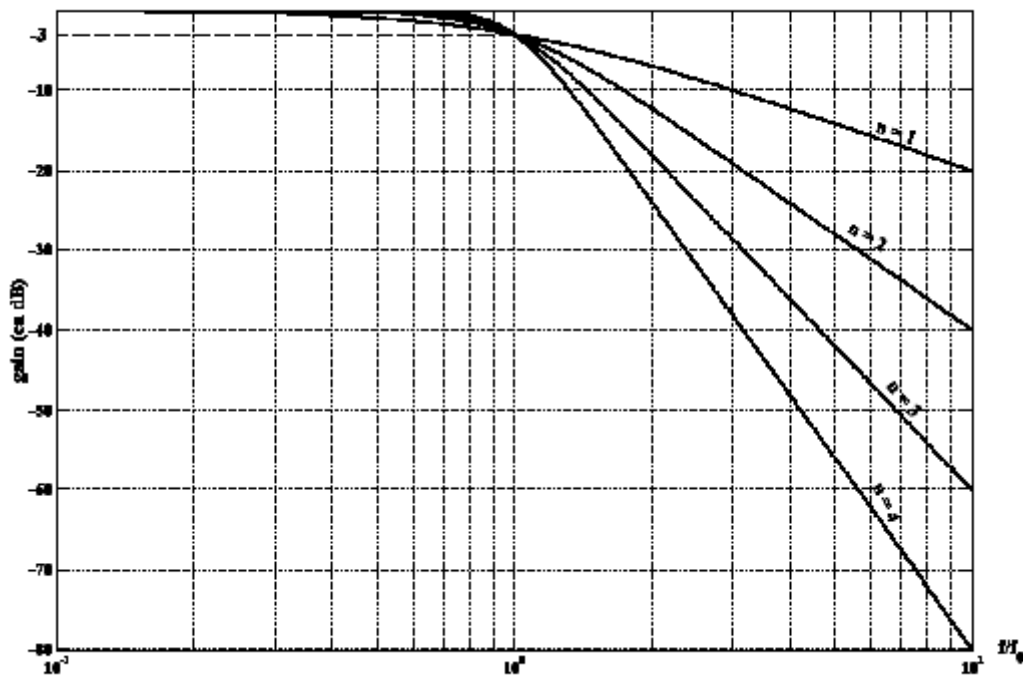


Figure.III.5 : Les réponses du filtre *Butterworth*

➤ **Filtre de Tchebychev**

Les filtres passe bas de *Tchebychev* sont optimisés pour que l'atténuation dans la bande passante oscille le plus grand nombre de fois possible entre zéro et A_{\max} (l'affaiblissement maximal de la bande passante). De cette manière, l'atténuation résiduelle dans la bande passante est répartie sur toute la largeur de cette bande. Par rapport aux filtres de *Butterworth*, l'atténuation après la bande passante est aussi beaucoup plus raide.

Les filtres de *Tchebychev* reprennent l'équation (Equ.III.7) de la manière suivante :

$$|H(\Omega)| = K \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon^2 T_n^2(\Omega)}} \quad \text{Equ.III.7}$$

ε : Facteur compris entre 0 et 1

$$\varepsilon = \sqrt{10^{\frac{A_{\max}}{10}} - 1}$$

A_{\max} : Affaiblissement maximal du filtre dans la bande passante

Ω : Le rapport entre la fréquence du signal f_p par la fréquence de coupure f_c

$T_n(\Omega)$: polynôme de *Tchebychev* de degré n ($-1 \leq T_n(\Omega) \leq 1$ lorsque $\Omega \leq 1$)

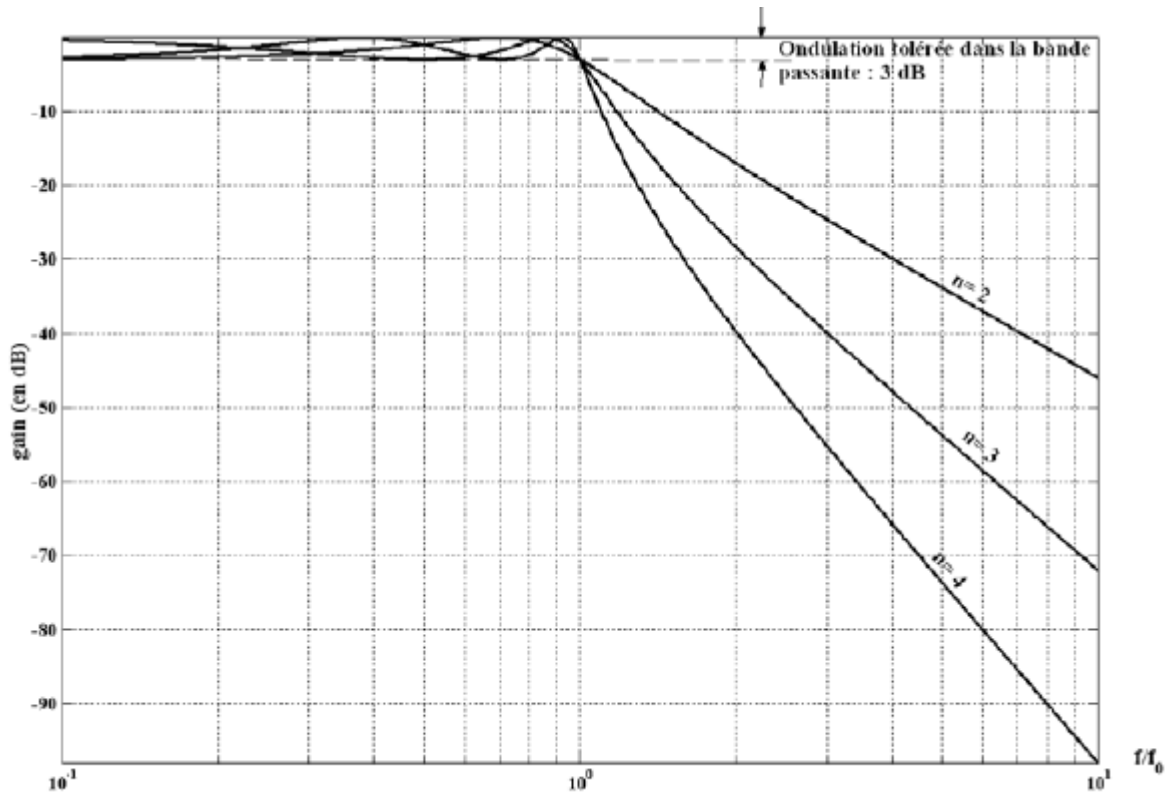
K : facteur d'adaptation pour que $|H(0)| = 1$.

Les polynômes de *Tchebychev* peuvent être exprimés sous une forme trigonométrique

lorsque $\Omega < 1$: $T_n(\Omega) = \cos(n \cdot \arccos(\Omega))$. Equ.III.8

n = l'ordre de la filtre

Le filtre de *Tchebychev* répartit son affaiblissement A_{\max} sur l'ensemble de la bande passante, comme

Figure.III.6 : Les réponses du filtre *Tchebychev*Tableau 11 : Différences entre les filtres *Butterworth* et *Tchebychev*

Types	Critères
<i>Butterworth</i>	Réponse en amplitude plate jusqu'à la fréquence de coupure
<i>Tchebychev</i>	Meilleur affaiblissement après la coupure, léger 'ripple' dans la bande passante. La distorsion de phase est plus forte que pour les types précédents.

III.2. INTERFACE GRAPHIQUE

L'interface graphique a été écrite sous MATLAB. MATLAB est une abréviation de *Matrix LABoratory*. Écrit à l'origine, en Fortran, par C. Moler, MATLAB était destiné à faciliter l'accès au logiciel matriciel développé dans les projets *LINPACK* et *EISPACK*. La version actuelle, écrite en C par *the MathWorks Inc.*

III.2.1. Le caractéristique du matlab

Le logiciel MATLAB est un environnement complet, ouvert et extensible pour le calcul et la visualisation. Il dispose de plusieurs centaines (voire des milliers, selon les versions et les modules optionnels autour du noyau Matlab) de fonctions mathématiques, scientifiques et techniques. Il devient très facile de modifier interactivement les différents paramètres des graphiques pour les adapter selon nos souhaits. Il permet le travail interactif soit en mode commande, soit en mode programmation tout en ayant toujours la possibilité de faire des visualisations graphiques. MATLAB possède les particularités suivantes par rapport aux autres langages :

- la programmation facile,
- la continuité parmi les valeurs entières, réelles et complexes,
- la gamme étendue des nombres et leurs précisions,
- la bibliothèque mathématique très compréhensive,
- l'outil graphique qui inclus les fonctions d'interface graphique et les utilitaires,
- la possibilité de liaison avec les autres langages classiques de programmations (C ou Fortran).

Voici donc quelques spécificités de ce logiciel matlab :

- MATLAB fait également partie d'un ensemble d'outils intégrés dédiés au Traitement du Signal.
- MATLAB comprend aussi un ensemble d'outils spécifiques à des domaines, appelés **Toolboxes** (ou Boîtes à Outils). Indispensables à la plupart des utilisateurs, les Boîtes à Outils sont des collections de fonctions qui étendent l'environnement MATLAB pour résoudre des catégories spécifiques de problèmes.

III.2.2. Quelques commandes utilisées

Pour l'interface graphique, des représentations scientifiques et même artistiques des objets peuvent être créées sur l'écran en utilisant les expressions mathématiques. Les graphiques sur MATLAB sont simples et attirent l'attention des utilisateurs, vu les possibilités importantes offertes par ce logiciel.

Un des avantages de Matlab est de pouvoir créer des interfaces :

- fenêtres interactives
- boutons d'exécution de commande
- menus
- barres à choix multiples

Chaque objet graphique a des propriétés propres attachées. Elles contiennent les informations pour afficher cet objet. Matlab dispose même d'un outil d'aide à la création d'interfaces graphiques (GUIDE) ou GUIs Interfaces Graphiques Utilisateur.

On utilise les objets suivants dans la réalisation du LAS. Mais, il est à noter qu'il n'est pas question d'une liste exhaustive: *figure, axes, uimenu, uicontrol, text, axes, line, edit, slider, button, checkbox,* Un GUI se présente comme une structure arborescente ci-dessous composée d'objets d'interface

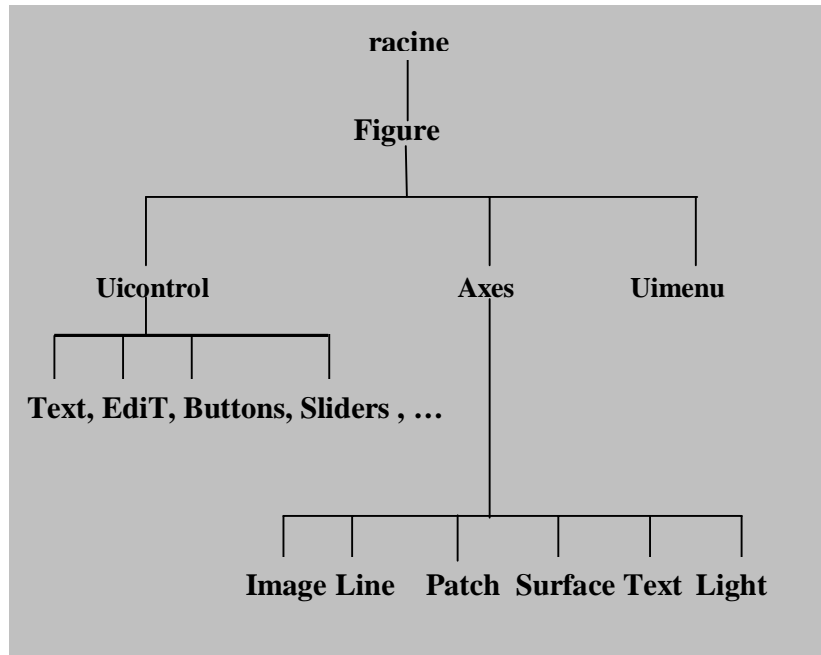


Figure.III.7 : Organigramme des objets de l'interface graphique

III.3. REALISATION DU LOGICIEL D'ACQUISITION

Les capteurs reçoivent les signaux émis par une source après propagation dans le milieu. Quand les données sont transmises vers l'ordinateur, le logiciel d'acquisition de données est prêt à recevoir et à tracer les informations. Le Logiciel d'Acquisition de données Sismique LAS est représenté par une interface graphique. Il comprend huit fonctions:

- fonction de configuration et la connexion de port
- fonction de réglage axe
- fonction d'acquisition et d'enregistrement dans un disque dur
- fonction conversion de données
- traçage des signaux
- fonction calcul de spectre du signal
- le filtrage de données
- Hodochrone

III.3.1. Configuration port

Les étapes nécessaires à la compréhension d'une session normale du port série sont décrites ci-dessous :

- Création d'un port série : le port est créé à l'aide de l'instruction « serial ».

Nous pouvons configurer les propriétés pendant la création du port et y associer la vitesse de transfert et/ou le nombre de bits de données.

- Configuration des propriétés : les paramètres établissant le comportement de la liaison série sont assignés aux valeurs par défaut du PC.

- Connexion aux périphériques : l'objet port série est connecté au périphérique à l'aide de « fopen ». Après la liaison, nous pouvons fixer les paramètres de configuration ou lire des données.

Pour choisir le port série utilisé, nous avons deux possibilités pour connecter le DB9 femelle : au COM1, au COM2. La vitesse de transmission de données est 57600 bauds. Le nombre de données est de 8 bits. Le bit de parité peut prendre successivement les valeurs : paire, impaire, marque, espace, aucun. Le bit d'arrêt contient 1 ou 2 bits à sélectionner et le terminal n'a que deux choix : le LF (*Line Feed* ou à la ligne en français) et le CR (*Carriage Return* ou Retour Chariot en français). Nous représentons cette configuration du port sur la figure III.10.

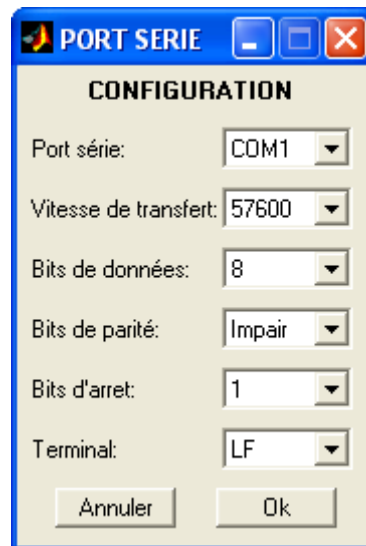


Figure.III.8 : Configuration du port

Cette fenêtre est utilisée pour configurer et connecter les ports séries avec la périphérie. Avant de lancer le programme principal, nous pouvons ajuster les valeurs de chaque case et la plateforme utilisée. On achève cette opération en appuyant sur le bouton « Ok ».

Une fois que le port soit configuré, le bouton Connexion est activé et le port sera ensuite connecté. Par contre, le bouton Déconnexion débranche ou interrompt le port avec l'interface matérielle périphérique. Quand le port est ouvert, le « led » de configuration devient vert, quand il est fermé le « led » change de couleur en rouge figure III.11.

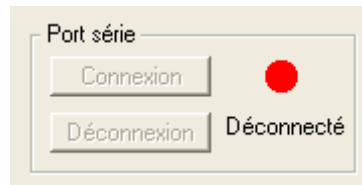


Figure.III.9 : Clignote de led

III.3.2. Réglage Axe et Durée

La figure III.10 nous montre l'affichage du nombre de géophones utilisés ainsi que la durée maximale d'enregistrement des signaux. Les traces obtenues des 24 géophones peuvent être figurées en même temps. Mais le nombre minimal de traces qu'on peut visualiser est de 4. Par contre, l'utilisateur peut visualiser d'autres signaux ou traces, autres que les 4 affichés avec la « barre de défilement ». Les données reçues sont tracées en fonction de la durée de l'acquisition. Si l'amplitude du signal est trop faible, on pourra l'augmenter avec le facteur d'échelle. Toutefois, la valeur par défaut de ce facteur est de 0.5.

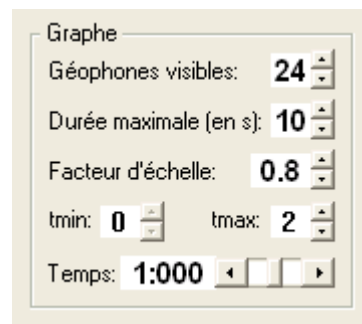


Figure.III.10 : Affichage des paramètres

Sur l'axe des abscisses, on représente le temps d'arrivée du signal avec un pas de 2s par défaut, mais l'utilisateur aura le choix de l'intervalle de temps convenable au signal.

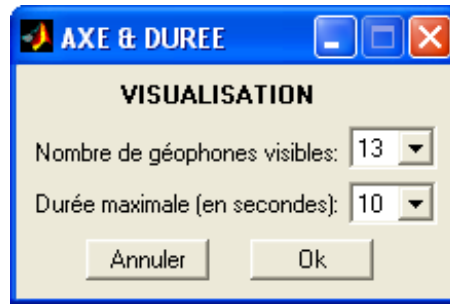


Figure.III.11 : Configuration axe et durée

III.3.3.Lecture de données

Quand le port série est prêt à recevoir les données; nous pouvons alors lire les valeurs à partir du périphérique. La zone de lecture de l'interface logicielle comprend le bouton de «Commencer » qui déclenche l'enregistrement de données et en même temps afficher la durée du temps d'acquisition de données en seconde. La terminaison de la lecture est actionnée par le bouton « Arrêter » figure III.12.

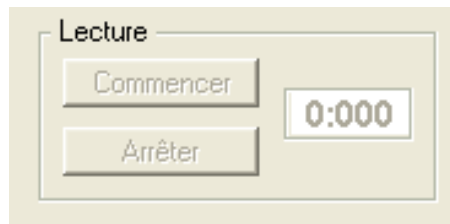


Figure.III.12 : Lecture désactivée

Pour activer les boutons de la lecture de donnée, il est nécessaire de configurer le port série après la validation des paramètres par le bouton « Ok » de la fenêtre du port série précédent. A partir de ce moment, le bouton « Commencer » sera activé.

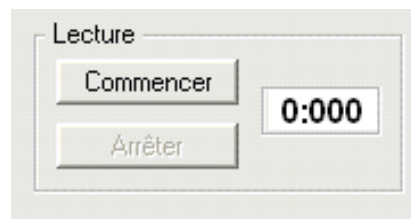


Figure.III.13 : Bouton lecture activée

III.3.4.Enregistrement de données

Lorsque le port est connecté au périphérique, nous pouvons enregistrer temporairement les données reçues dans un fichier **tmp.ssr**. Ces fichiers seront stockés dans un disque dur de l'ordinateur. Une barre de menu est affichée comme toutes fenêtres sous MATLAB pour nous indiquer les processus à suivre tels que ouvrir fichier, enregistrer fichier.... Les données disponibles sur le port série sont des chaînes binaires. Matlab les interprètes en code ASCII allant de 0 à 255 et ce sont ces derniers qui seront stockés dans l'ordinateur.

III.3.5.Les filtrages des signaux

Une fenêtre (figure III.14) est employée pour afficher la valeur de fréquence de coupure f_c . L'utilisateur pourrait faire le choix sur la fréquence de coupure utilisé exprimée en Hz en consultant l'allure du spectre du signal obtenu. Il est à remarquer que la fréquence de coupure du filtre est la fréquence pour laquelle le signal de sortie est atténué de -3dB, c'est-à-dire que son amplitude tombe à 71% de l'amplitude du signal d'entrée.

Ainsi pour effectuer une opération de filtrage, on choisit la fréquence de coupure et on appuie sur le bouton « Ok » de la fenêtre de filtrage. L'écran affichera en même temps le signal initial ainsi que le signal filtré. En décochant l'icône « Signaux filtrés », seul le signal initial est affiché à l'écran.

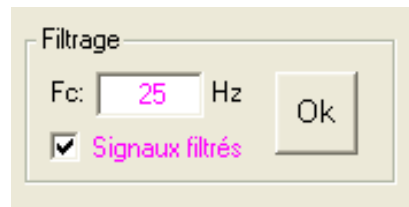


Figure.III.14 : Zone de filtrage

D'après l'équation III.5 et III.6 de la fonction de transfert du filtre *Butterworth* passe bas, la réponse fréquentielle du filtre dépend de la valeur de l'ordre du filtre et A_{\max} figure III.16. L'avantage de l'utilisation de ce filtre est sa bande passante plate. Cependant la pente d'atténuation de ce filtre est assez élevée par rapport à celui de *Tchebychev*. Avant de valider par le bouton « Ok », il faut choisir le type de filtre utilisé que ce soit le filtre de *Butterworth* ou que ce soit *Tchebychev*. Il ne faut pas oublier également de préciser les valeurs de l'ordre du filtre et l'affaiblissement maximale A_{\max} .

La figure III.7 montre une comparaison sur l'allure de la réponse fréquentielle des filtres passe-bas de Butterworth en variant l'ordre et A_{\max} .

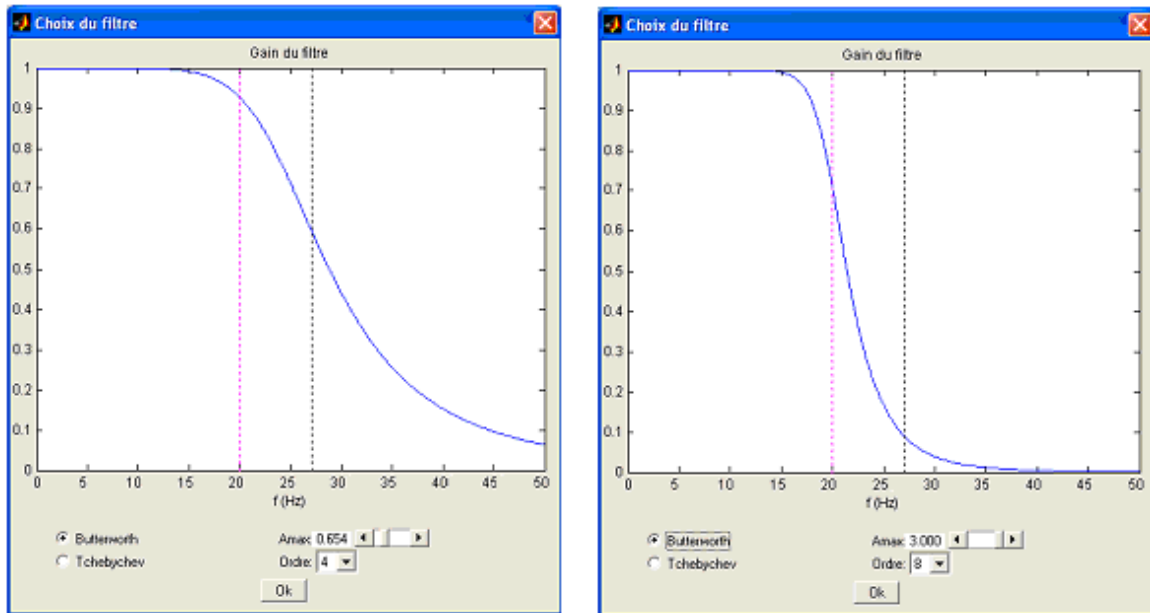


Figure.III.15 : Réponse du filtre *Butterworth* : ordre = 4 ; 8 et $A_{\max}=0.654$; 3

Les filtres type *Tchebychev* sont caractérisés par le coefficient d'amortissement A_{\max} et les polynômes des *Tchebychev* donnés par l'équation III.18. Lorsque l'ordre du filtre augmente le changement de pente est franche. De même A_{\max} peut prendre les valeurs comprises entre 0,000 et 3,000. Plus on augmente l'ordre du filtre, plus la pente tend vers l'infini et par conséquent le phénomène de Gibbs apparaît. (Figure III.18)

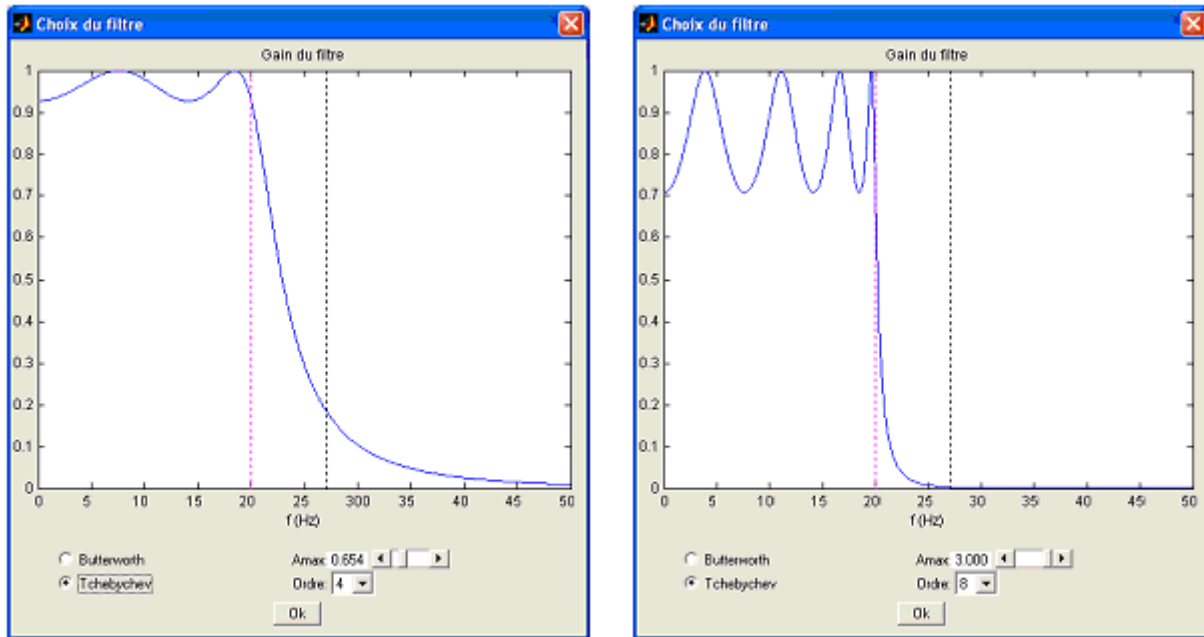


Figure.III.16 : Réponse du filtre *Tchebychev* : ordre =4 ; 8 et $A_{\max} = 0.654$; 3

Voici une partie du programme dans l'étape de filtrage des signaux sismiques en utilisant les 2 types des filtres Butterworth et tchebychev.

```

Fc = str2num(get(frec,'string'));
p = get(gcf,'position');
xo = (py-546)*2/13; yo = 2*xo+116;
chxfil = figure('name','Choix du filtre','numbertitle','off','position',[p(1)+px-175-10 p(2)+yo-20
180 205],...
    'menubar','none');
axes('units','pixels','position',[20 125 150 60],'fontsize',7)
call1 = ['set(chxf1,"value",1); set(chxf2,"value",0);'];
call2 = ['set(chxf1,"value",0); set(chxf2,"value",1);'];
call3 = ['vsldf = get(sldf,"value"); set(strf,"string",num2str(vsldf,"%0.3f"));',...
    'A = str2num(get(strf,"string")); ep = sqrt(10^(A/10)-1); fp = df:df:fe/2; n =
get(ordf,"value");',...
    'Hp = 1./sqrt(1+ep^2*(fp/Fc).^(2*n)); clc; plot(fp,Hp,[Fc Fc],[0 1],":m",[ff ff],[0
1],":k");',...
    'title("Gain du filtre"); axis([0 fe/2 0 1]); xlabel("f (Hz)");'];
call4 = ['vsldf = get(sldf,"value"); set(strf,"string",num2str(vsldf,"%0.3f"));',...

```

```

'A = str2num(get(strf,"string")); ep = sqrt(10^(A/10)-1); fp = df:df:fe/2; n =
get(ordf,"value");',...
'Hp = 1./sqrt(1+ep^2*cos(n*acos(fp/Fc)).^2); clc; plot(fp,Hp,[Fc Fc],[0 1],':m',[ff ff],[0
1],':k');',...
'title("Gain du filtre"); axis([0 fe/2 0 1]); xlabel("f (Hz)");'];
chxf1 = uicontrol(gcf,'style','radio','value',vchxf1,'string','Butterworth','position',[10 55 80
20],'callback',[call1 call3]);
uicontrol(gcf,'style','text','string','Amax:', 'position',[100 75 30 16],'Horizontalalignment','left');
strf = uicontrol(gcf,'style','text','string','0.509','position',[132 77 35 14],'backgroundcolor','w');
uicontrol(gcf,'style','text','string','Ordre:', 'position',[100 36 30 16],'Horizontalalignment','left');
ordf = uicontrol(gcf,'style','popup','string','1|2|3|4|5|6|7|8','position',[132 42 37
14],'backgroundcolor','w',...
'callback',[vord = get(ordf,"value"); if get(chxf1,"value"),' call3 'else,' call4 'end']);
sldf = uicontrol(gcf,'style','slider','position',[102 58 65 16],'backgroundcolor','w',...
'callback',[if get(chxf1,"value"),' call3 'else,' call4 'end'],'min',0,'max',3,'sliderstep',[0.001/3
0.01],'value',vsldf);
chxf2 = uicontrol(gcf,'style','radio','value',vchxf2,'string','Tchebychev','position',[10 35 80
20],'callback',[call2 call4]);
uicontrol(gcf,'style','push','string','Ok','position',[(180-40)/2 10 40 20],'callback','call_log(16);
close(chxfil)');
set(strf,'string',num2str(vsldf,'% .3f'))
A = str2num(get(strf,'string')); ep = sqrt(10^(A/10)-1); fp = df:df:fe/2; set(ordf,'value',vord)
if vchxf1==1
    Hp = 1./sqrt(1+ep^2*(fp/Fc).^(2*vord));
else
    Hp = 1./sqrt(1+ep^2*cos(vord*acos(fp/Fc)).^2);
end
plot(fp,Hp,[Fc Fc],[0 1],':m',[ff ff],[0 1],':k')
title('Gain du filtre'); axis([0 fe/2 0 1]); xlabel('f (Hz)')
c = get(0,'defaultuicontrolBackgroundColor');
set(gcf,'color',c,'resize','off','windowstyle','modal')

```

III.3.6. Tracé des signaux

La fonction de tracé du signal est une représentation graphique sur écran principale de l'information reçue au niveau du port série. Nous représentons l'allure des signaux pour chaque géophones avant et après le filtrage, une fois que les données sont enregistrées dans un fichier du disque local. Le nom et l'état de donnés sont affichés sur la fenêtre de fichier (figure III.17).



Figure.III.17 : Description du fichier ou état de la manipulation

En appuyant sur le bouton « Fermer », on efface les figures des signaux existants dans la fenêtre principale. La visualisation des spectres des signaux (figure III.18) est nécessaire pour avoir l'allure et le niveau de la fréquence fondamentale.

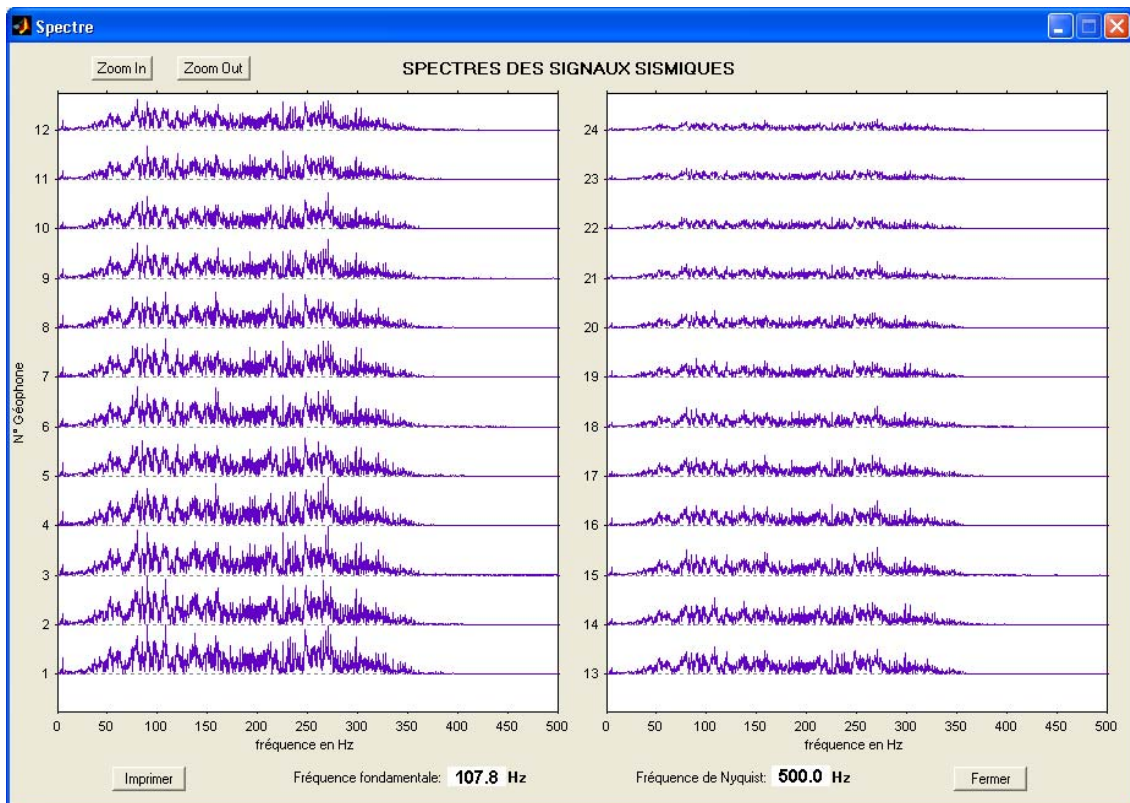


Figure.III.18 : Spectre des signaux sismiques des 24 géophones

III.3.7. Pointage temps d'arrivée

Les temps d'arrivées de chaque signal provenant des géophones indiquent le temps d'arrivée de la première onde P au niveau de géophone, indispensable à la détermination de la structure du sous sol. Avant de lancer la manipulation de détection du temps d'arrivée des signaux, nous allons ouvrir la fenêtre de l'hodochrone en appuyant sur le menu calcul puis sur hodochrone de la fenêtre principale. L'utilisateur aura le choix sur cette manipulation soit : en **mode manuel** ou soit **en mode automatique**.

Pour le mode manuel, il suffit de cliquer le bouton "Manuel" et une petite fenêtre apparaît puis "Ok". Nous allons être dirigés vers la fenêtre principale directement pour le pointage des temps d'arrivées. Le pointage des temps d'arrivée des ondes longitudinales est réalisé en déplaçant le trait rouge vertical de l'écran principal. Ce trait se déplace avec un intervalle temps de 1ms. En effet, et ce temps s'affichent immédiatement sur la zone verte de la figure III.19.

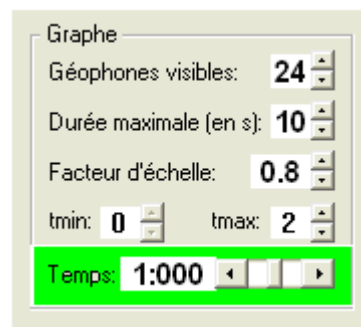


Figure.III.19 : La valeur du temps affichée par le trait rouge

En appuyant sur le bouton "Ok" de la zone du « pointage temps d'arrivée », figure III.20, le temps sera affiché automatiquement à la case correspondant à chaque géophone dans la fenêtre de l'hodochrone pour être utilisé au traçage de la courbe d'hodochrone. Quelques instructions et divers boutons de commandes sont affichés en bas de cette fenêtre pour indiquer la démarche à suivre pendant la détermination du temps d'arrivée.



Figure.III.20 : Fenêtre d'affichage numéro du géophone pendant le pointage temps d'arrivée

La détection automatique du temps d'arrivée se fait de la même façon qu'auparavant en appuyant aussi sur le bouton « Manuel » puis « Ok ». Pour activer le bouton « Automatique » dans la fenêtre de l'hodochrone, qui sert à détecter automatiquement le temps d'arrivée des signaux sismiques, il faudra pointer le temps d'arrivée du premier géophone. Le bouton manuel sera ensuite activé. On appuie après sur ce bouton manuel pour obtenir les pointés sur les 23 autres traces.

Nous utilisons la méthode de la corrélation pour repérer ce temps d'arrivée de l'onde P en considérant la fonction de corrélation $C_{x,y}(\tau)$ cf. Annexe I. Sur la figure IV.2 nous montrons un exemple de pointage automatique. Dès qu'on a terminé de pointer manuellement la première trace du 1^{er} géophone, par corrélation de signaux on arrive à placer automatiquement le début de chaque signal des autres traces. Les valeurs des temps de pointage respectives seront transmises directement dans les cases des temps d'arrivés à chaque trace. On pourra par la suite effectuer des corrections au niveau de ces différents d'arrivés.

III.3.8. Hodochrone ou dromochronique

Le pointage du temps d'arrivée de l'onde P pour chaque trace sismique permet de calculer la vitesse de propagation de l'onde et de positionner les interfaces de discontinuités du sous sol. Sur la fenêtre de l'hodochrone, les valeurs de pas du géophone et l'offset sont introduites par l'utilisateur. Ensuite, les valeurs du temps d'arrivées sont affichées dans la case correspondante à chaque géophone soit en mode manuel ou automatique. Le traçage de la courbe de l'hodochrone se fait en appuyant sur le bouton « Tracer ». En effet, la courbe représentative des temps d'arrivées en fonction de la distance du géophone sera visualisée sur l'écran de l'hodochrone. Elle peut être sauvegardée ou imprimée en entrant dans le menu Fichier de l'hodochrone.

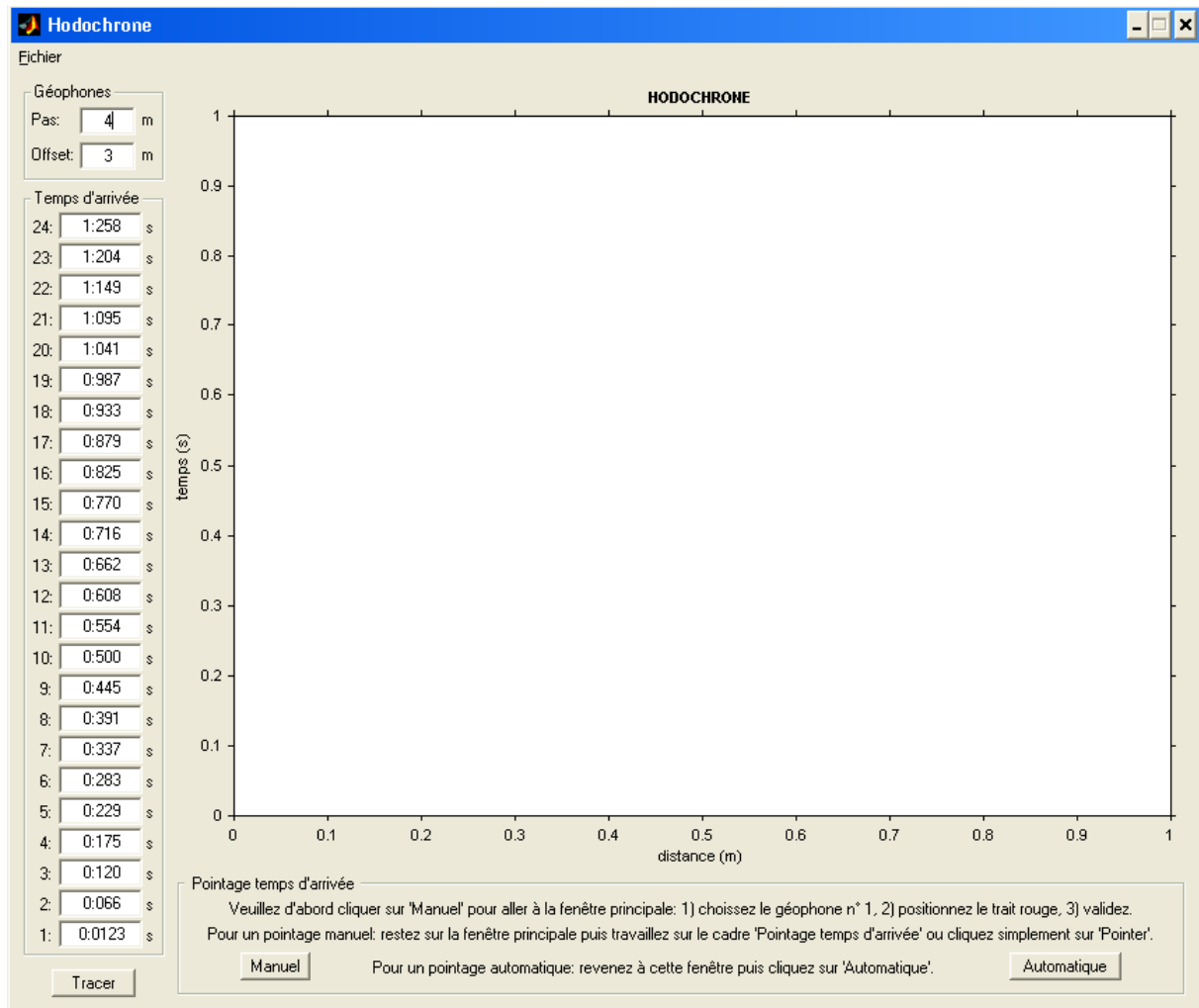


Figure.III.21 : La fenêtre de l'hodochrone

Un listing de programme qui permet de tracer l'hodochrone du terrain :

```

xof = str2num(get(edtof,'string'));
xpa = str2num(get(edtpa,'string'));
if isempty(xof)|length(xof)>1|xof<0|isempty(xpa)|length(xpa)>1|xpa<0 % Verification
de le valeur introduite dans la zone du pas du géophone et de l'offset.
    errordlg('Paramètres des Géophones manquants ou incorrects!','Erreur!','modal');
return
end
ti = 0; dis = 0;
for i = 1:24

```

```
    tps = get(edt(i),'string'); tps = str2num(strrep(tps,':','.'));
    if isempty(tps)|length(tps)>1|tps<0
errordlg(sprintf('Temps d'arrivée n° %d manquant ou incorrect!',i),'Erreur!','modal'); return
    else
        ti = [ti tps];
    end
    dis = [dis xof+(i-1)*xpa];
end
axes(axhod); cla; hold on
plot(dis,ti,'color',[0.8 0.8 0.8])
plot(dis,ti,',' markersize',6);
set(gca,'xlim',[0 dis(end)+xpa],'box','on','tickDir','out','ticklength',[0.005 0.01])
title('HODOCHROME','fontweight','bold'); xlabel('distance (m)'); ylabel('temps (s)')
case 19 % Efacer
```

PARTIE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1. RESULTAT OBTENU

Comme nous avons mentionné à l'introduction, l'objectif final de ce travail est d'avoir un logiciel capable d'acquérir et de traiter les données sismiques provenant du géophone en passant par l'interface matérielle. Après avoir transférer les données acquises vers l'ordinateur par voie du port RS232, il faudrait bien que le logiciel LAS soit disposé à traiter les données pour ne pas avoir de risque de pertes d'informations ou de ruptures de données.

IV.1.1. Sur les données sismiques

Les données sismiques reçues sont donc des données enregistrées par les 24 géophones, alignés à un intervalle régulier dans un profil du terrain à détecter. Ils sont envoyés vers l'ordinateur par un câble RS232 par le biais du port série. Les données arrivées sur le port série sont des chaînes binaires, Matlab les traduit sous forme de code ASCII ou en caractère. Ensuite, nous pouvons convertir les données décimales reçues en données binaires pour arranger les informations transmises et de tracer en signaux sismiques. L'étude du temps mis par l'onde pour arriver au géophone permet de détecter la nature du sous-sol

IV.1.2. Sur l'interface logicielle

- L'interface logicielle comprend une fenêtre principale et cinq fenêtres accessoires :
 - la fenêtre des résultats des signaux et les boutons des commandes
 - la fenêtre de configuration port
 - la fenêtre du nombre de géophone et l'axe
 - la fenêtre du filtrage
 - la fenêtre du spectre
 - la fenêtre de l'hodochrone

- Le logiciel d'acquisition peut être utilisé sur des machines pourvues des systèmes d'exploitation suivants :
 - windows 98
 - windows 2000 et NT
 - windows XP
- Sur les machines utilisées, MATLAB 6.1 au minimum doit être installé.

La taille du fichier du programme obtenu est de 3 Mo. L'ensemble des programmes est en général un programme de 900 lignes au total. Le schéma principal du logiciel d'acquisition Sismique réfracté est donné par la figure IV.1.

En effet, il existe deux possibilités pour pointer le début du signal sismique : soit on utilise le déplacement du trait vertical à l'aide du bouton « déplacer » sur l'écran principal soit d'utiliser la souris de l'ordinateur. Pour cette dernière, pour avoir beaucoup plus de précision pour le pointage, dès qu'on appuie sur le bouton « pointer » un repère s'affiche automatiquement à l'écran. Avec la souris, on pourra déplacer avec précision ce repère à l'endroit voulu du signal. Cette opération est très utile quand on utilise une fenêtre zoomée.

Ce logiciel comprend différentes séquences d'activités durant l'acquisition jusqu'à la représentation sur écran des signaux sismiques des 24 géophones :

- Première séquence : la phase de pré-traitement.

L'élimination des enregistrements de mauvaise qualité, la classification de données pour chaque géophone et la sommation des enregistrements obtenus à la même cote.

- Seconde séquence : la séparation de données

La deuxième séquence de traitement consiste à séparer les différentes données pour chaque géophones

- Troisième séquence : Obtention de l'image sismique

Après séparation des ondes, la séquence de traitement aboutit le trace sismique optimale pour reconnaître la structure du sous sol.

- Quatrième séquence : le pointage des temps des premières arrivées.

La quatrième séquence de traitement consiste à pointer les temps des premières arrivées qui fournissent la loi temps- profondeur.

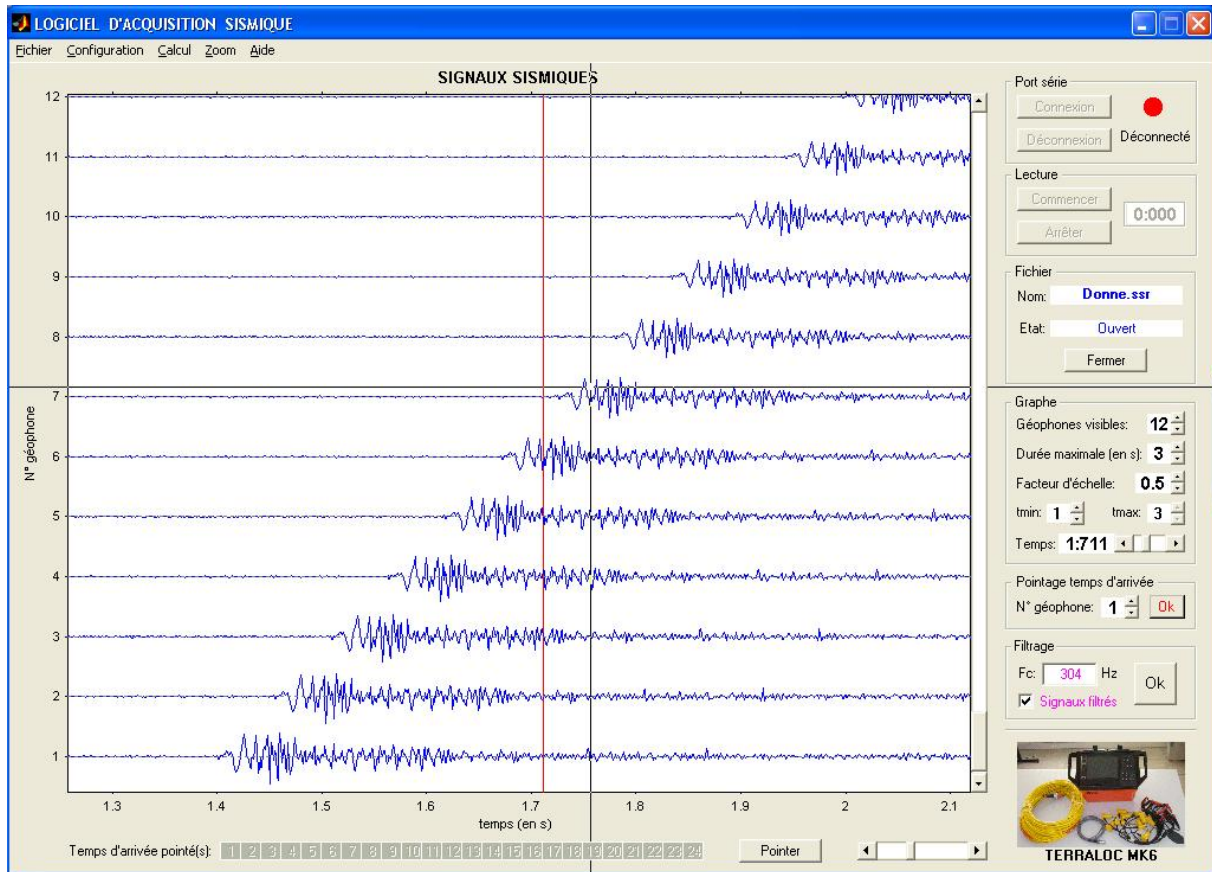


Figure.IV.1 : Aspect de la fenêtre des résultats

La figure.IV.2 montre le processus de la détection des temps d'arrivée en mode automatique. Les numéros des géophones sont affichés en bas de la fenêtre principale montrant l'état de l'évolution de la détection du temps d'arrivée du signal pour chaque géophone respectif.

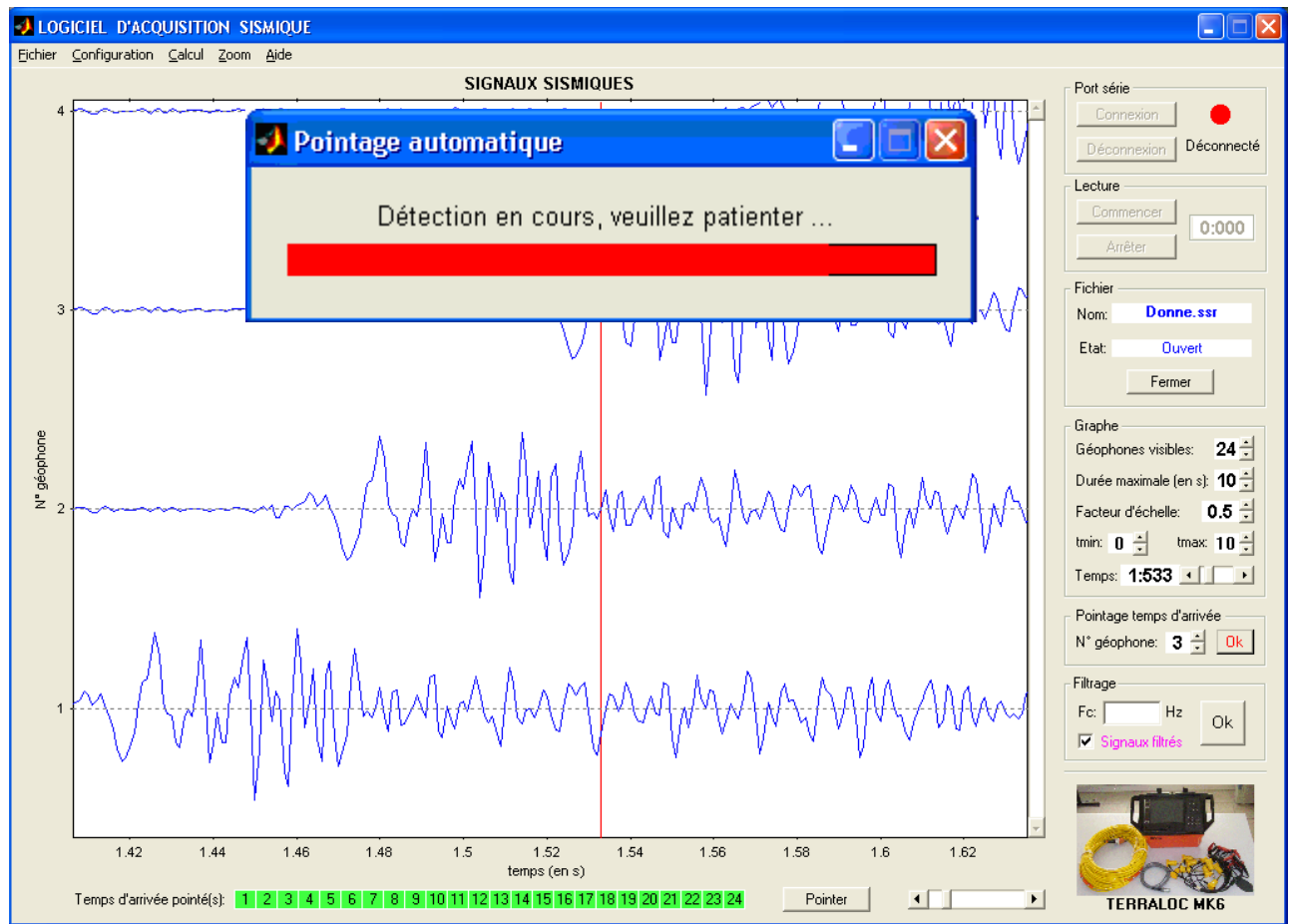


Figure.IV.2 : L'état de la processus de la détection automatique du temps d'arrivée

La figure IV.3 représente le résultat de l'hodochrone pour un essai de simulation au laboratoire du temps d'arrivée des signaux sismiques en considérant que les valeurs du pas des géophones est de 4m et l'offset ou la distance entre la première géophone et la source sismique est de 5m.

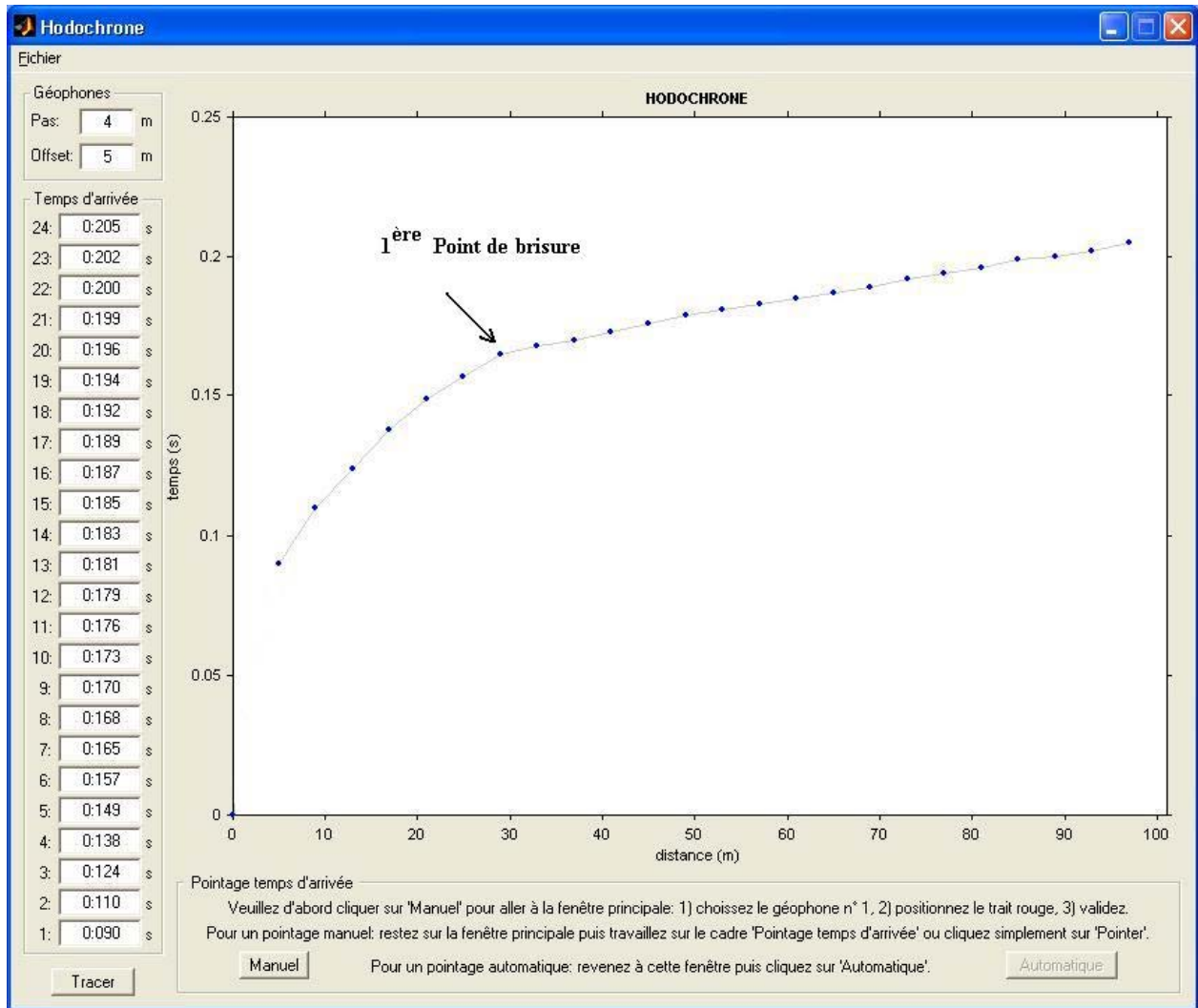


Figure.IV.3 : Courbe représentative de l'hodochrone

VI.2. DISCUSSION

La discussion se rapportera sur la réalisation du logiciel LAS qui permet de traiter et de tracer les données reçues par les géophones afin d'obtenir les caractéristiques du terrain à prospector.

Nous abordons ici quelques difficultés pour l'acquisition de données et la réalisation de ce logiciel :

- Lors de l'acquisition de données, nous avons constaté qu'il ne faut jamais perturber ni connecter le port série avec d'autre appareil pour assurer la stabilité et le verdict de l'information provenant des géophones.

- Nous avons quelques embarras sur les gestions des axes pour les affichages des signaux. Cela signifie que si l'on agrandit la figure en utilisant la commande "Zoom In", les signaux agrandis ne sont pas gardés leur taille en variant la durée et le nombre de géophone visible à l'écran principale. Pour améliorer ce logiciel, nous proposons de créer pour chaque signal de géophone ces axes propres.

- L'interface matérielle et logicielle doit être synchronisées pendant le transfert des données sismiques. La lecture de données nécessite un ordinateur ou laptop ayant une mémoire RAM de 256 Mo au minimum car la vitesse de transmission de données est de 57 600 Bauds sur le port série. Par conséquent, il faudra utiliser une machine performante et rapide.

- Le logiciel LAS n'est pas encore exécutable. Il nécessite autre logiciel appelé Compiler C, pour l'exécuter. Certes ce dernier n'est pas disponible dans notre laboratoire.

Ce logiciel apporte aussi un important avantage par rapport aux autres logiciels de traitement des données sismiques. Il peut détecter automatiquement le temps d'arrivée des ondes sismiques.

CONCLUSION

Nos objectifs sont atteints du moins dans le cadre de la réalisation et du fonctionnement de l'appareil en prospection sismique. Ce travail nous a permis également de maîtriser la technique de la prospection sismique. Une partie de temps de ce travail a été consacrée à l'acquisition et traitement de données sismiques provenant de l'interface matérielle utilisant une communication série et l'autre partie utilisée à la réalisation du logiciel. La conception de l'interface matérielle nécessite la réalisation d'une interface logicielle comme le Logiciel d'Acquisition Sismique ou LAS. Ensuite, il était utilisé pour observer les échanges de données et l'acheminement des informations entre l'interface matérielle et l'ordinateur.

Cependant ces deux matériels doivent être synchronisés pendant la phase de l'acquisition de données et le transfert des informations sismiques pour qu'ils n'y aient pas de risque de perte d'informations. Ces données sont des signaux provenant des différents capteurs des géophones utilisé en prospection sismique réfracté, une des méthodes utilisée en Géophysique Appliquée. Cette méthode est basée sur la propagation des ondes élastiques à des vitesses différentes dans des formations sous jacentes.

Le premier logiciel LAS version 1.1 peut satisfaire les principales fonctionnalités d'un Teraloc MK6, un sismographe digital multicanal basé sur un processeur à système d'exploitation MS-DOS. Mais, la conception et la réalisation du logiciel LAS nécessite d'une part la connaissance de la méthode de la prospection sismique et le traitement du signal et d'autre part la bonne maîtrise de la programmation en langage Matlab et l'infographie pour avoir les signaux des géophones.

Le logiciel de développement Matlab facilite la réalisation de notre application même si on rencontre toujours des problèmes sur l'acquisition de données au niveau du port série et la représentation graphique des signaux. Le programme du LAS est facile à comprendre ; il peut être amélioré et permet la possibilité d'insérer d'autre programme qu'en cas de nécessité. Le résultat obtenu par ce logiciel d'application est fiable.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] - Alain T., Mars 2006. Reconnaissance Géophysique pour le génie civil. Cours en ligne : <http://www.labos.upmc.fr/sisyphe/dga/courslabo/recongeophy.pdf>
- [2] - Joely A.A., 2004. Interfaçage du programmeur d'eprom RWE27 à un micro-ordinateur pour des applications aux appareillages géophysiques. (Rapport de stage DEA).
- [3] - Besse C., 2000. *Construction d'interfaces graphiques pour MATLAB*, mip.upstlsefr/perso/BESSE/GUI%20MATLAB/Construction
- [4] - Biggerstaff T., 1989. Outils logiciels pour la programmation systeme, Microelectronic and computer technology corporation. Masson Austin Texas, p 104 - 119
- [5] - Claude D., Georges A., 1991. Théorie : *Les capteurs en instrumentation industrielle* – éd. Dunod – 4^{ème} édition
- [6] - Duplessix A., 1997. *Etude et réalisation d'une liaison série à 1 Gbaud. indépendante du codage de données*, thèse de doctorat de l'université de Paris VI
- [7] - Guillaume R., 2004 – 2005. *Etude de faisabilité d'une TUI pour la validation d'hypothèses en Géosciences*. Université Bordeaux 1. (Master 2)
- [8] - Haggege J.Y., 2003. *Support de cours Microprocesseur* « Génie Electrique » à l'ISSET de Radès
- [9] - Haussmann P., 1988. *La bible du pc*, Micro application.
- [10] – Beau J., 2001. La transmission série, IUT Cachan – Geii électronique, module 3 TP Liaison série
- [11] - Koren D., Janvier 2007. *Protocols and computer networks*, Cours en ligne de l'université de Tel- Aviv, <http://www2.rad.com/networks/1995/rs232/>
- [12] - Campbell J., 1984. LA SOLUTION RS-232
- [13] - Leibson S., 1986. *Manuel des interfaces*, Mc Graw-Hill.
- [14]- Magarotto E., 2003. *Support de cours de transmission et acquisition de données*, Laboratoire d'automatique et de procédés : ISMRA.
- [15] - Mechler P., 1998. *Déroulement d'une campagne sismique*, cours en ligne
- [16] - Nicolas B., 2001. *Traitement algébrique des signaux, Application à la séparation d'ondes sismiques*. (Thèse)
- [17] - Notivol C. D., 2000. *Filtrage matriciel large bande* : Application aux signaux

- sismiques réels. (Rapport de stage DEA)
- [18] – Etienne R., 2005. *Caractérisation de sols hétérogènes par des méthodes géophysiques*. (Thèse) P 212
- [19] – Refaaty A.A, Ahmed A.A. *Introduction to Graphical User Interface (GUI) MATLAB 6.5*, UAE University college of Engineering Electrical Engineering
Département IEEE UAEU STUDENT BRANCH
- [20] – Hoby R., 2004. *Conception et réalisation d'une interface logicielle pour un résistivimètre électrique*. (Rapport de stage DEA).
- [21] - Site MATLAB, Mars 2006.
http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/instrument/ch_seri9.html
%20d_interfaces%20graphiques%20pour%20MATLAB.ppt, Laboratoire MIP
Université Paul Sabatier Toulouse 3.
- [22] - Site MATLAB, Juin 2006.
http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/techdoc/matlab_external/recordmode.html
- [23] - Sweet M., 1994. *Serial programming guide for posix operating system*,
5^{ème} édition : 3^{ème} révision, Appendix C GNU Free documentation license

Annexe 1:

❖ Corrélation de deux signaux

La fonction de corrélation $C_{x,y}(\tau)$ de deux signaux réels $x(t)$ et $y(t)$ est définie par :

$$C_{x,y}(\tau) = \int_t x(t)y(t + \tau)dt$$

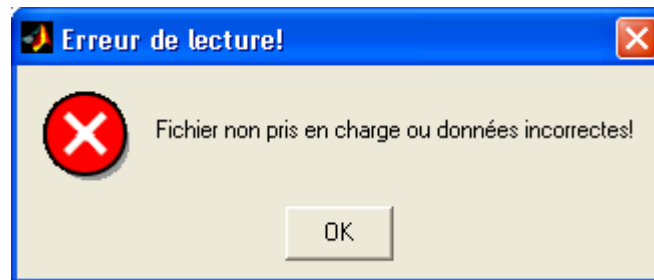
où τ est appelé écart ou décalage. La fonction $C_{x,y}(\tau)$ peut être interprétée comme une comparaison mathématique entre les deux signaux $x(t)$ et $y(t)$. En effet, $C_{x,y}(\tau)$ est faible pour les valeurs de τ où les deux signaux sont très différents entre eux. Par contre, $C_{x,y}(\tau)$ passe par une valeur maximale pour la valeur de τ_{\max} où les deux signaux sont mathématiquement identiques entre eux à un facteur multiplicatif près, c'est-à-dire $y(t + \tau_{\max}) \approx kx(t)$, k étant un réel positif ou négatif.

Dans notre cas, connaissant le temps d'arrivée t_1 du signal $x_1(t)$ sur le géophone n°1, nous pouvons calculer la corrélation $C_{x_i,x_1}(\tau)$ entre $x_i(t)$ et $x_1(t)$. Le maximum τ_i de $C_{x_i,x_1}(\tau)$ ainsi obtenu correspond alors à la différence entre les temps d'arrivée des deux signaux et nous en déduisons le temps d'arrivée t_i du signal $x_i(t)$, soit :

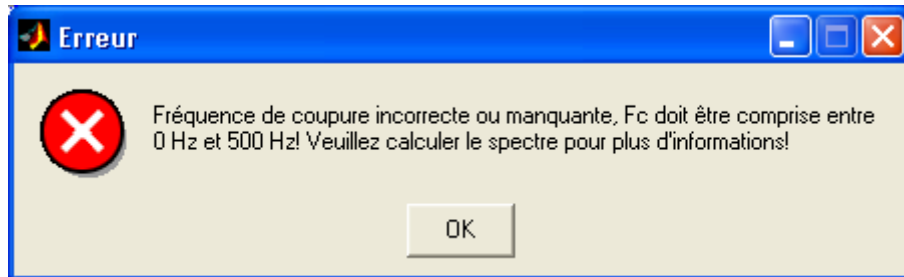
$$t_i = t_1 + \tau_i$$

Cette méthode est valable car les signaux sismiques ont physiquement des morphologies très semblables à un facteur de décalage près.

❖ **Quelques exemples de messages d'erreur pendant l'utilisation de ce logiciel**



Fausse manipulation du LAS : Message d'erreur pendant la lecture de données



Pendant le filtrage des signaux : Si nous oublions la fréquence de coupure F_c ou on introduit de valeur inexacte, cette fenêtre s'affiche

Annexe 2 : Détermination des paramètres du sous sol

(Epaisseur des terrains et les vitesses)

Le but de la prospection sismique réfractée est de connaître les paramètres comme les vitesses de la propagation des ondes et l'épaisseur de chaque terrain.

Exemple pour le modèle tabulaire 3 terrains

Les vitesses des ondes pour chaque couches sont respectivement V_1 , V_2 , V_3 telles que $V_3 > V_2 > V_1$ et d'épaisseur h_1 pour le premier terrain, h_2 du deuxième, et celle du troisième $h_3 = \infty$, plus on va en profondeur, plus la formation est dure donc l'onde se propage plus vite.

Et en utilisant la loi de Snell-Descartes :

$$\frac{\sin i_1}{V_1} = \frac{\sin i_2}{V_2} = \frac{1}{V_3}$$

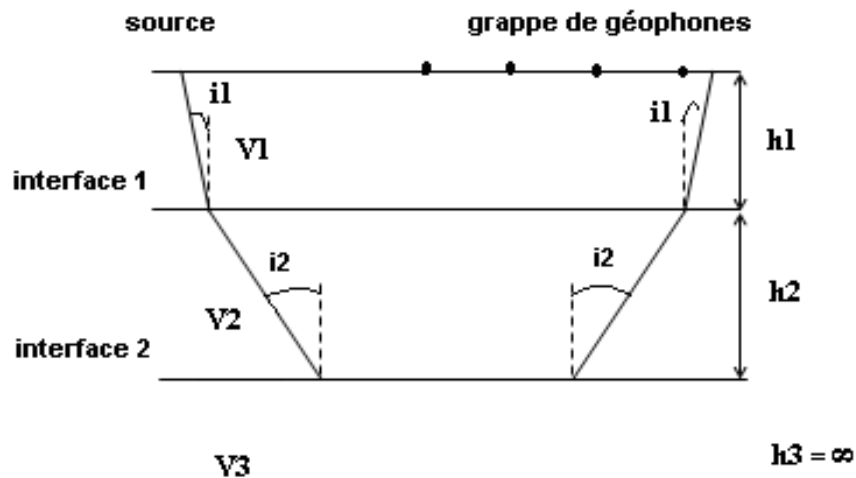


Schéma du modèle tabulaire à 3 Terrains

L'allure de l'hodochrone correspondant est représentée sur la figure II.15.

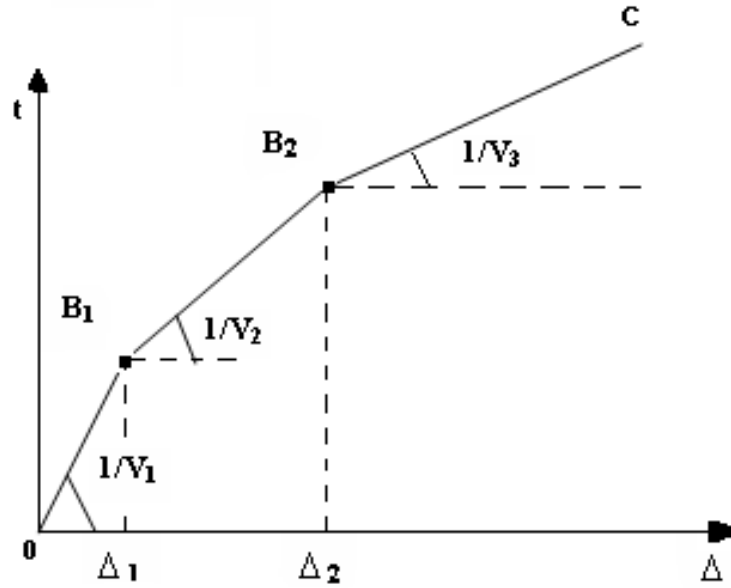


Figure de l'hodochrone pour un modèle tabulaire 3 Terrains

- Au point **B₁** correspond à Δ_1 qui est également le premier point de brisure c'est-à-dire les temps de propagation des ondes directes et réfractées par l'interface 1 sont égaux, on aura :

$$h1 = \frac{\Delta_1 \cdot (V_2 - V_1)^{1/2}}{2 \cdot (V_2 + V_1)^{1/2}}$$

- Au point **B₂** correspond à Δ_2 : les temps de propagation des ondes réfractées à l'interface entre la couche 1 et 2 sont égaux. L'épaisseur du deuxième terrain est

$$h2 = \frac{\Delta_2 \cdot (V_3 - V_2)^{1/2}}{2 \cdot (V_3 + V_2)^{1/2}} + \frac{h1 \left(\left(1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2 \right)^{1/2} - \left(1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2 \right)^{1/2} \right)}{V1 \left(1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2 \right)^{1/2}}$$

Si on peut généraliser cette expression par la méthode de récurrence on a :

- Pour une seule interface ou 2 Terrains, le temps de propagation est :

$$tr = \frac{\Delta}{V_2} + \frac{2h \cos i}{V_1}$$

$$h1 = \frac{\Delta}{2} \left(\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1} \right)^{1/2}$$

- Trois terrains tabulaires (ou interface 1 supérieur et interface 2 inférieurs)

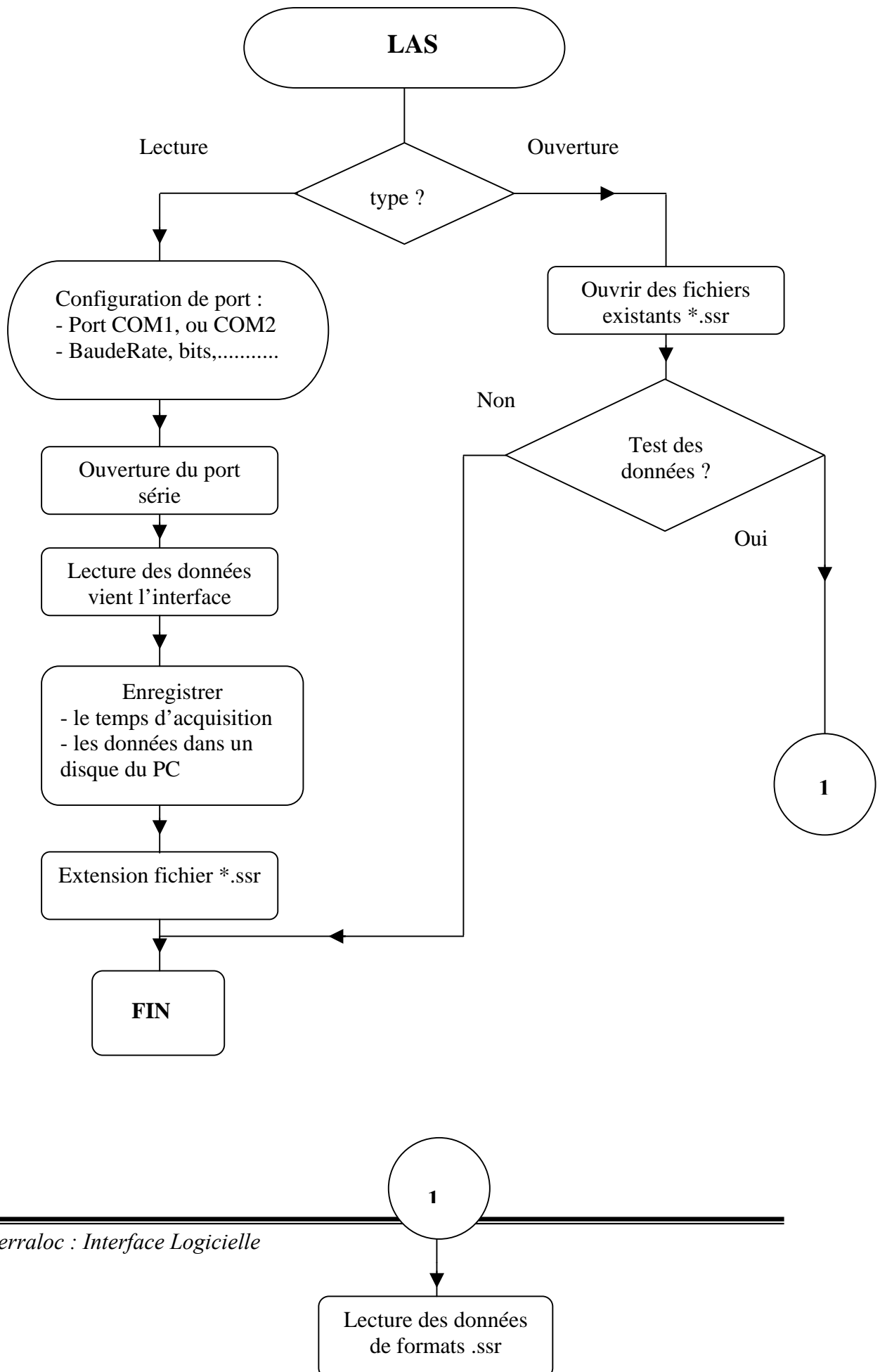
$$\text{tr} = \frac{\Delta}{V_3} + \frac{2h_1 \cos i_1}{V_1} + \frac{2h_2 \cos i_2}{V_2}$$

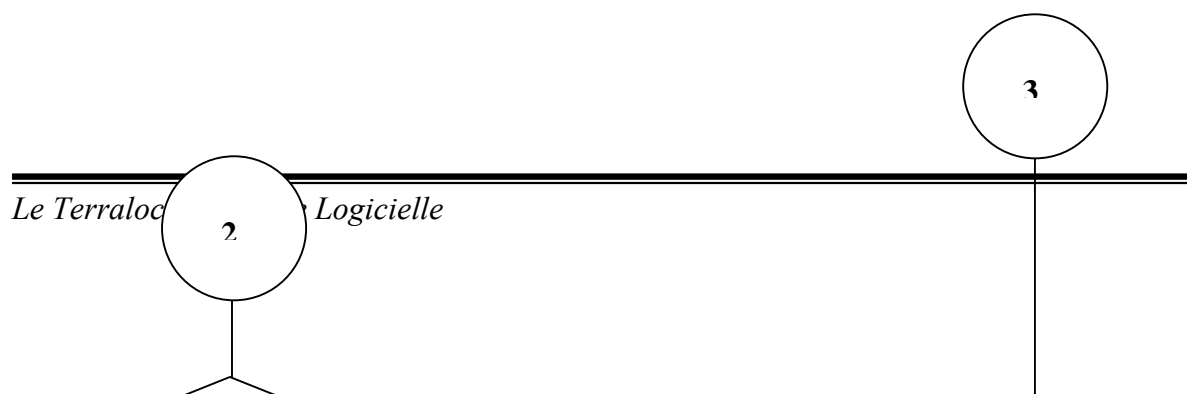
Donc

$$\text{tr}(n) = \frac{\Delta}{V_n} + \sum_{j=1}^{n-1} \frac{2h_j \cos i_j}{V_j}$$

$$h(n) = \frac{V_n}{2 \cos i_n} \left[t(n) - \sum_{j=1}^{n-1} \frac{2h_j \cos i_j}{V_j} \right] \quad n = \text{nombre de couche}$$

Annexe 3 : Organigramme de la programmation





Filtre
Tchebychev

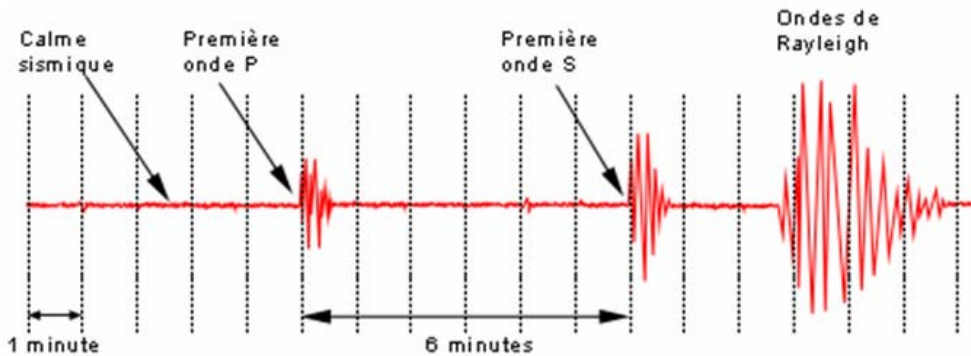
**UNE PARTIE DE SOUS PROGRAMME PERMETTANT DE FAIRE LE
VERIFICATION ET LA MISE EN FORME DE DONNEE EN 10bits
flec.m**

```
function [f, t] = flec(fich);
%
sz = size(str);
if sz(2)<74|(~strcmp(ext,'ssr')&~strcmp(ext,'SSR')), f = []; t = []; return; end
if sz(2)>74*4
U = load(fich,'ascii');
D = U(end); U(end) = [];
d = [];
for i = 1:length(U)-2
    if U(i)= =112&U(i+1)= =0&U(i+2)= =1 d = [d i]; end
end
U(d(end):end) = [];
n = 74;
for tr = 1:length(U)/n
    S = U((tr-1)*n + 1:tr*n);
    for g = 1 : 24
        dh = S(3*(g-1)+4);
        db = S(3*(g-1)+5);
        dhb = dec2bin(dh,8);
        dbb = dec2bin(db,8);
        d = [dhb(7:8) dbb];
        dc = [];
        for b = 1:10
            dc = [dc str2num(d(b))];
        end
        dg = conves;
        f(tr,g) = sum(dc.*dg);
    end
end
end
s = size(f); N = s(1);
t = linspace(0,D,N);
```


Annexe 4

L'enregistrement du signal sismique

Sismogramme



$$V_P = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad \gg \quad \frac{V_P}{V_S} \approx \sqrt{3} \quad V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

λ et μ : paramètres élastiques. ρ : masse volumique

**VITESSES DES ONDES SISMQUES EN FONCTION DE LA FORMATION SOUS –
JACENTE**

MATERIAUX	Vitesses Vp (m/s)	Vitesses Vs (m/s)	MATERIAUX	Vitesses Vp (m/s)	Vitesses Vs (m/s)
Alluvions en surface	500-200		Gneiss	3100-5400	
Alluvions à 200 m de profondeur	3000-3500		Basalte	3000-6400	
Sol (Zone altéré)	300- 900		Granite	4000-5700	2100-3300
Marnes	1800-3800		Eau douche à 5°C	1440	
Sables	200-2000		Eau douche à 15°C	1480	
Calcaire	1700-6400		Eau douche à 25°C	1500	
Grés	1400-6000		Eau douche à 35°C	1530	
Dolomies	3300-7600		Eau de Mer	1480-1530	
Sel (NaCl)	4600		Glace	3200-3700	1600-1850
Anhydride (CaSo4)	6100		Pétrole	1300-1400	
Charbon	2000-3400		Gaz (Méthane)	400	

Titre du mémoire : **INTERFACE LOGICIELLE D'UN SISMOMETRE**

RESUME :

Le Logiciel d'Acquisition Sismique ou LAS est une application de traitement des données sismiques provenant d'une interface matérielle par le biais du port série RS232 émis par les géophones.

Le LAS est utilisé pour la transmission de données en utilisant l'interface série et le logiciel Matlab version 6 au minimum. Le principe de mesure de données consiste à frapper la source sismique qui provoque un ébranlement. Ce mouvement du sol est capté par les « grappes de géophones », appareil de mesure des ondes sismiques réfractées, qui sont alignés régulièrement dans un profil. Ainsi après avoir fait le traitement et la conversion de données acquises, le LAS stocke, affiche sous forme graphique le signal de propagation des ondes sismiques dans le sous sol. Enfin, Le pointage de la première onde P de chaque signal de 24 capteurs caractérise la modèle du terrain ou la nature du sous sol enfouis.

Mots Clés : Prospection sismique, logiciel, interface, port série, ondes sismique, RS232

ABSTRACT:

The Seismic Software of Acquisition or L.A.S is a treatment unit of the seismic data coming from a hardware interface by the means of the serial port RS232 emitted by geophones.

The LAS is used to transmit data by using the serial interface and the software Matlab version 6. The principle of data measurement serial interface of striking the seismic source which causes shocks, this oscillation or ground motion is collected by geophones, sensor for the refracted seismic waves, which are aligned regularly in a profile. After the acquisition of the seismic data, the "model of time" resulting from the measurement of the arrival time of the waves from sensors gives only the topology of the basement. Thus after having made the treatment and data conversion into decimal, the L.A.S store data in hard drive, and displays waveforms which propagates underground. Lastly, the pointing of the first wave P of each signal of 24 sensors characterizes models it ground or the nature of under ground hidden.

Key words: *Prospection seismic, Software, interface, port series, waves seismic, RS232C*

Encadreur :

**Pr.RAMBOLAMANANA
Gérard**

Impétrant :

Nom : RAMILISON

Prénoms : Andriamampionona Nomenjanahary

Adresse : Cité « U » Ankatso II BLOC 59 Antananarivo 101

Tel : 0331230578 / 0202464716

ram.milison@gmail.com/ ram_milison@yahoo.fr