

# Mémoire de fin d'étude

Licence Sciences et Techniques

« Géologie Appliquée aux Ressources Minières »

## **Etude de la zone altérée de la région de TENDRARA (Maroc oriental) par les méthodes de carottage sismique (Upholes)**

**Soutenu le : 26 juin 2013**

**Réalisé par :**

**Mlle. AIT TALEB JAMILA**

**Mlle. MHAH NADA**

**Encadré par :**

**Mme. Assmaa EL IMRANI**

**Mr. Mohamed JAFFAL**

**Mme K. ELHARIRI**

**Jury :**

**Mme. S. BERRADA**

**Année universitaire 2012-2013**

## *Dédicaces*

*Nous dédions notre travail :*

*À nos chers parents pour leurs sacrifices, leur grand soin et leurs  
précieux conseils ;*

*À nos chers frères et sœurs, pour leurs soutiens et amabilités ;*

*À tous les membres de nos familles, pour leur encouragement ;*

*À tous nos amis de La FST et d'ailleurs ;*

*À nos professeurs qui ont toujours sacrifié leur temps, afin d'assurer une  
formation solide ;*

*À tous ceux qui nous sont chers et témoins d'affection et de*

*Reconnaissance.*

*Au(x) lecteur(s) à qui nous souhaitons très bonne compréhension.*

## *REMERCIEMENT*

*Vu la Qualité de la Formation reçue et la Richesse de la Valeur Ajoutée tirées de notre Stage.*

*Nous tenons à adresser nos chaleureux remerciements à Madame le directeur général de L'ONHYM **A. BENKHADRA** pour nous avoir permettre d'accomplir notre stage au sein de cet office de grande envergure.*

*Nous tenons à remercier **Mr .DAKKI**, chef de la Division géophysique pétrolière et Mme JEMJAMI, chef de département d'acquisition, traitement et base des données, pour leurs aides.*

*Un grand merci à Mme **A.EL IMRANI**, de nous avoir encadré durant notre stage et d'avoir orienté notre travail de rédaction du rapport du stage, nous la remercions aussi pour sa disponibilité, et pour tout ce qu'elle a fait pour nous faire profiter de son expérience.*

*Nous remercions vivement **Mr. M. JAFFAL** et **Mme K. ELHARIRI**, nos encadrants pour le soutien et l'aide précieux qu'ils nous ont apportés pour la réussite de ce projet, ainsi que l'ensemble du corps professoral du département des sciences de la terre, d'avoir veillé sur notre formation.*

*Enfin que tous ceux qui nous n'avons pas cité et qui nous ont prodigué leur aide pour la réussite de notre Projet Fin d'Etudes n'en soient pas moins remerciés.*

# *Sommaire*

INTRODUCTON .....6

## **1<sup>ère</sup> partie : Généralités**

I. Présentation de l'ONHYM .....8

  I.1-Historique .....8

  I.2- Les missions de l'ONHYM .....8

  I.3- Organisation .....9

II- Généralités sur les hydrocarbures .....10

  II.1- Définition .....10

  II.2- Genèse .....10

  II.3- Prospection des hydrocarbures .....13

    II.3.1- Les ondes sismiques .....13

    II.3.2- La sismique réflexion .....14

    II.3.3- Acquisition sismique .....20

    II.3.4- Sources sismiques .....22

    II.3.5 Traitement .....24

  II.4 Gisements et indices au Maroc .....27

## **2<sup>ème</sup> partie : Les corrections statiques par la méthode du carottage sismique(UPHOLE) et de la petite réfraction**

I. Etude de la zone altérée.....29

  I.1 Tir de petite réfraction.....30

  II.2 Le carottage (Uphole Survey).....31

## **3<sup>ème</sup> partie : Etude de la zone altérée dans la région de Tendrara par la méthode du carottage sismique (Upholes)**

I- Présentation générale sur la zone d'étude .....34

  I.1- Situation géographique .....34

  I.2- Contexte géologique .....34

    I.2.1- Stratigraphie .....35

|   |           |
|---|-----------|
| I.2.2- Tectonique.....  | 38        |
| I.3. Travaux antérieurs .....                                       | <b>39</b> |
| I.3.1 - Méthode et Equipement .....                                 | 40        |
| III. Application : calculs des corrections statiques.....           | 41        |
| III.1 Interprétation des courbes des enregistrements.....           | <b>41</b> |
| III.2 Réalisation des cartes d'iso- épaisseur et d'iso-vitesse..... | <b>44</b> |
| III.3 Profils de corrélations vitesse-lithologie .....              | <b>47</b> |
| III.4 Calcul des corrections statiques.....                         | <b>50</b> |
| Conclusion .....  | 55        |
| Bibliographie.....  | 56        |

## *Liste des figures*

|  |    |
|--|----|
| Figure 1 : Organigramme de l'ONHYM .....   | 9  |
| Figure 2 : Processus de formation des hydrocarbures.....   | 10 |
| Figure 3 : Illustration de la migration des hydrocarbures .....  | 11 |
| Figure 4: Les différents pièges des hydrocarbures. ....  | 12 |
| Figure 5: Propagation d'onde sismique suivant la loi de Snell/Descartes. ....                                  | 14 |
| Figure 6: Les différents hodochrones .....   | 18 |
| Figure 7: le plan miroir et CDP.....   | 19 |
| Figure 8: Couverture simple. ....  | 19 |
| Figure 9: Couverture multiple. ....  | 20 |
| Figure 10: Maillage en sismique 2D .....   | 21 |
| Figure 11: Acquisition sismique terrestre 3D. ....   | 22 |
| Figure 12: Camion vibreur.....   | 23 |
| Figure 13: point de tir avant et après l'édition d'une trace mauvaise.....                                     | 24 |
| Figure 14: Tir avant et après l'application de NMO. ....   | 25 |
| Figure 15 :Atténuation des réflexions multiples. ....  | 26 |
| Figure 16: Carte des permis d'exploration et des autorisations de reconnaissance .....                         | 27 |
| Figure 17: Schéma montre la variation latérale de l'épaisseur et la topographie de la couche altérée.....      | 29 |
| Figure 18 : Schéma montre une courbe de réflectivité d'un réflecteur déformé par le problème de statique ..... | 29 |
| Figure 19: Trajet des rayons réfractés et dromochroniques.....   | 30 |
| Figure 20: Principe de la méthode des Upholes .....  | 31 |
| Figure 21: Dromochroniques des Upholes.....  | 32 |
| Figure 22: Situation géographique de la zone de Tendara .....  | 34 |
| Figure 23: Carte géologique des hauts plateaux .....   | 35 |
| Figure 24: Série stratigraphique du bloc de Tendara (POURTAL, 1989) .....                                      | 37 |
| Figure 25: Carte de localisation des Upholes .....   | 39 |
| Figure 26: L'échelon de carottage avec la sondeuse monté sur camion 6x6. ....                                  | 40 |
| Figure 27: Hammer source and Soursile source .....   | 41 |
| Figure 28: Graphe Temps-Profondeur de l'Uphole 3.....  | 42 |
| Figure 29: Représentation 3D du toit de la couche altérée .....  | 44 |
| Figure 30: A-Carte d'iso-épaisseur, B carte d'iso-vitesse de la couche 1 .....                                 | 45 |
| Figure 31: A-Carte d'iso-épaisseur, B carte d'iso-vitesse de la couche 2 .....                                 | 45 |
| Figure 32: A-Carte d'iso-épaisseur, B carte d'iso-vitesse de la couche 3 .....                                 | 46 |
| Figure 33: Profil n°1 orienté NE-SW.....   | 47 |
| Figure 34: profil 2 orienté NE-SW .....  | 48 |
| Figure 35: Profil 3 orienté NW-SE .....  | 49 |
| Figure 36: Profil 4 orienté NW-SE .....  | 49 |
| Figure 37 : Paramètres de calcul des corrections statiques.....  | 51 |
| Figure 38 :Section sismique avant (a) et après (b) corrections statiques .....                                 | 54 |

## *INTRODUCTION*

Les bassins marocains ont été pendant longtemps l'objet de plusieurs recherches pétrolières justifiées par l'intérêt économique que présentent certaines formations géologiques. Or ces recherches n'ont pu aboutir que sur de modestes réserves dans le bassin d'Essaouira et le bassin de Rharb.

Cependant et malgré une coopération développée avec les compagnies pétrolières opérant au Maroc, le sous-sol demeure encore sous exploré notamment l'offshore atlantique qui, avec ses 350 000 km de bassins sédimentaires, constitue toujours un objet intéressant et une zone vierge pour l'exploration.

Cette situation contraint le Maroc à importer la quasi-totalité de ses besoins en hydrocarbures. Actuellement, vu l'augmentation incessante du prix du baril de pétrole et dans la perspectives d'assurer l'approvisionnement du pays en la matière, les services et les autorités concernés invitent de nombreuses sociétés pétrolières internationales à opérer dans différents régions du Maroc aussi bien en offshore qu'en onshore. Plusieurs atouts confortent ces initiatives tels que le potentiel en hydrocarbures des bassins sédimentaires marocains, l'attractivité de la loi pétrolière qui offre de nombreux avantages favorables aux investisseurs pétroliers sans oublier les efforts continus que déploie l'ONHYM en matière de promotion auprès des compagnies pétrolières.

L'exploration pétrolière est basée sur la prospection des bassins sédimentaires et concerne plus précisément les premiers kilomètres de l'écorce terrestre. Elle a pour but la découverte d'accumulations d'hydrocarbures liquides, gazeux ou éventuellement solides et qui sont technico- économiquement exploitables en utilisant la sismique réflexion à couverture multiple pour décrire et analyser les structures géologique en profondeur, afin d'éviter de s'aventurer à la réalisation de forages mécaniques très coûteux.

L'objectif majeur de la sismique réflexion qui est de fournir des images correctes de la géométrie des réflecteurs est contrarié par le problème de statique. Celui-ci est défini comme étant un retard en temps statique introduit dans les traces par des anomalies de vitesse, d'épaisseur et de la topographie des couches superficielles. Ces décalages temporels déforment la véritable géométrie de réflecteurs profonds.

Le travail mené dans le cadre de la présente d'étude a pour objectifs :

- ❖ Une initiation aux techniques de prospection et d'analyse de données sismiques brutes aboutissant à une section sismique utilisable par la suite pour l'interprétation.
- ❖ Etude de la zone altérée de la région de Tendrarra et application des corrections statiques à des données sismiques en utilisant la méthode de carottages sismiques (Upholes).

# 1<sup>ère</sup> partie : Généralités



## I. Présentation de l'ONHYM

### I.1-Historique

L'Office National des Hydrocarbures et des Mines (ONHYM) a été créé le 17 août 2005, par la fusion du Bureau de Recherches et de Participations Minières (BRPM) et de l'Office National de Recherche et d'Exploitations Pétrolières (ONAREP).

Depuis leur création, en 1928 pour le BRPM et en 1981 pour l'ONAREP, ces deux organismes ont été les pionniers et les leaders au Maroc dans leurs domaines d'activité respectifs, et ont bénéficié d'une grande renommée auprès des opérateurs internationaux.

C'est donc avec un nouvel élan, porté par une stratégie réactualisée dans le droit fil des orientations gouvernementales, que l'ONHYM reprend et développe les acquis des organismes fusionnés : l'expertise dans la recherche, la production et le traitement des substances minérales et hydrocarbures, les relations et les partenariats avec les opérateurs et investisseurs.

L'ONHYM est administré par un conseil d'administration présidé par le premier ministre et un comité de direction présidé par le ministre de l'énergie et des mines. Sa gestion est assurée par un directeur général. Actuellement, ce poste est occupé par Madame Amina Benkhadra.

### I.2-Les missions de l'ONHYM

Les missions claires et pleinement assurées par l'ONHYM sont :

- Conduire la recherche, l'exploration et l'exploitation des gisements d'hydrocarbures ou de schistes bitumineux, ainsi que des gisements miniers et de toute substance minérale (à l'exclusion des phosphates) ;
- Appui de toute action de nature à contribuer au développement de l'exploration et de l'exploitation des hydrocarbures et des substances minérales, notamment dans le cadre de partenariats.
- Mise à la disposition de tout opérateur des bases de données riches, fiables et accessibles sur le sol et le sous-sol national, ainsi qu'une documentation sur les dispositifs administratif, financier et juridique.
- Négociation avec tout partenaire potentiel, les termes contractuels conformément aux dispositions légales en vigueur.

### I.3- Organisation

Pour accomplir ses missions, l'Office National des Hydrocarbures et des Mines (ONHYM) a adopté un mode de gouvernance lui permettant d'exceller dans l'exécution de ses activités, au travers de directions métiers, portées par des fonctions support. L'organigramme suivant montre la hiérarchie organisationnelle de l'office (Fig.1)

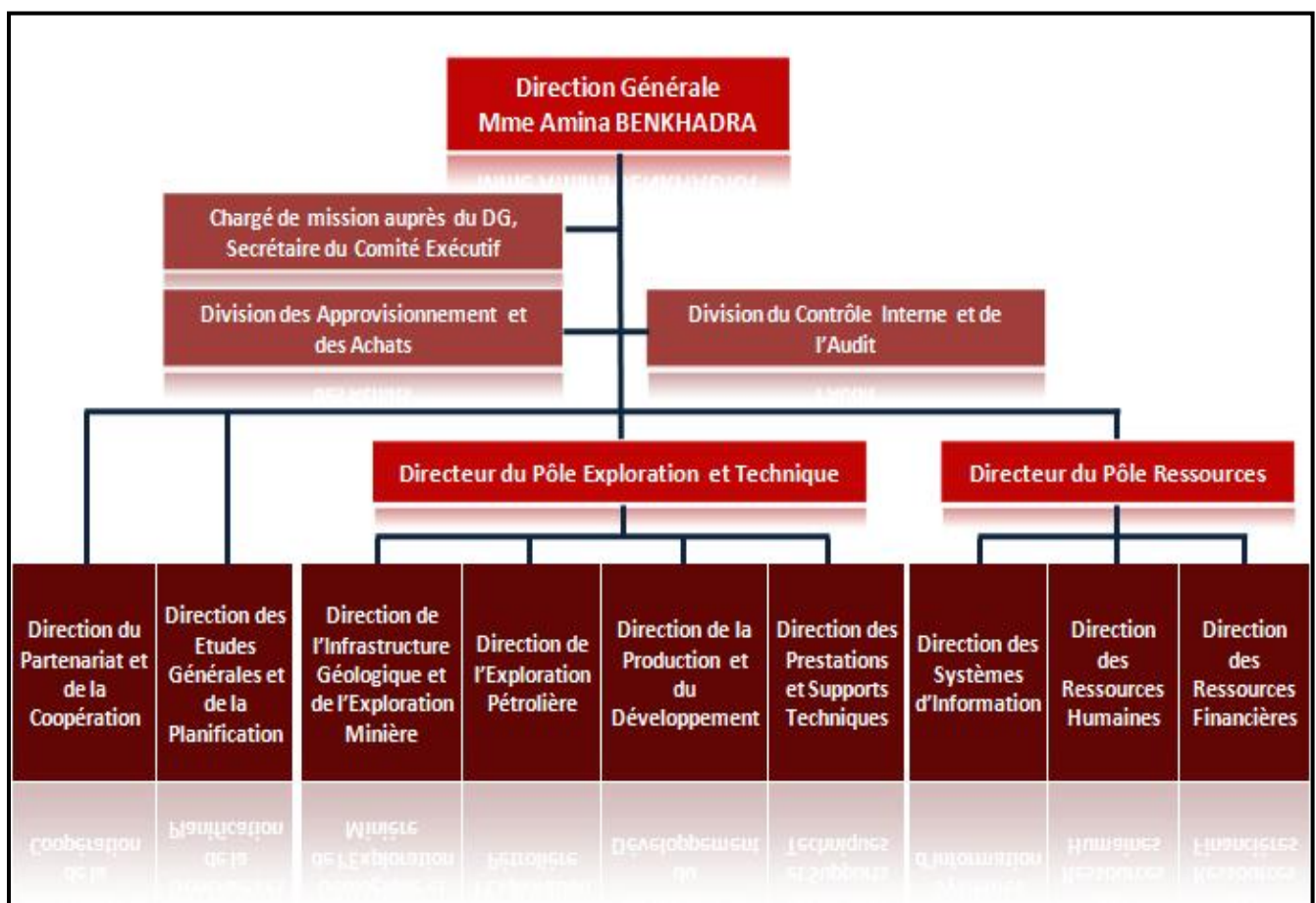


Figure 1 : Organigramme de l'ONHYM

## II- Généralités sur les hydrocarbures

### II.1- Définition

Un hydrocarbure (HC) est un composé organique contenant essentiellement des atomes de carbone (C) et d'hydrogène (H). Ils possèdent en conséquence une formule brute de type  $C_nH_m$ , où  $n$  et  $m$  sont deux entiers naturels. Sous forme de carbone fossile, ils sont une ressource énergétique essentielle pour l'économie depuis la révolution industrielle, mais aussi source de gaz à effet de serre issus de leur utilisation massive.

Les hydrocarbures constituent des ressources non renouvelables. Quel que soit l'ampleur de ses réserves, tout gisement est voué à l'épuisement. Les gisements d'accès relativement facile sont en général déjà reconnus et/ou exploités. De ce fait, actuellement l'exploration est contrainte à orienter vers la recherche de cibles plus difficiles et plus coûteuse à prospecter (gisements en offshore, très profonds, de moindre qualité, etc.) qu'il s'agisse de charbon, de pétrole ou de gaz naturel.

### II.2- Genèse

La mise en place d'un système pétrolier est liée essentiellement à la présence de l'ensemble des conditions nécessaires à l'accumulation des hydrocarbures, à savoir une roche mère, une roche réservoir, une couverture et un piège. Cela se base aussi sur le fait que ces éléments doivent s'inscrire dans un scénario dynamique, dans lequel le rôle majeur est celui de la roche mère. Le processus de formation des hydrocarbures comporte quatre principales étapes qui sont schématiquement illustrées sur la figure 2 :

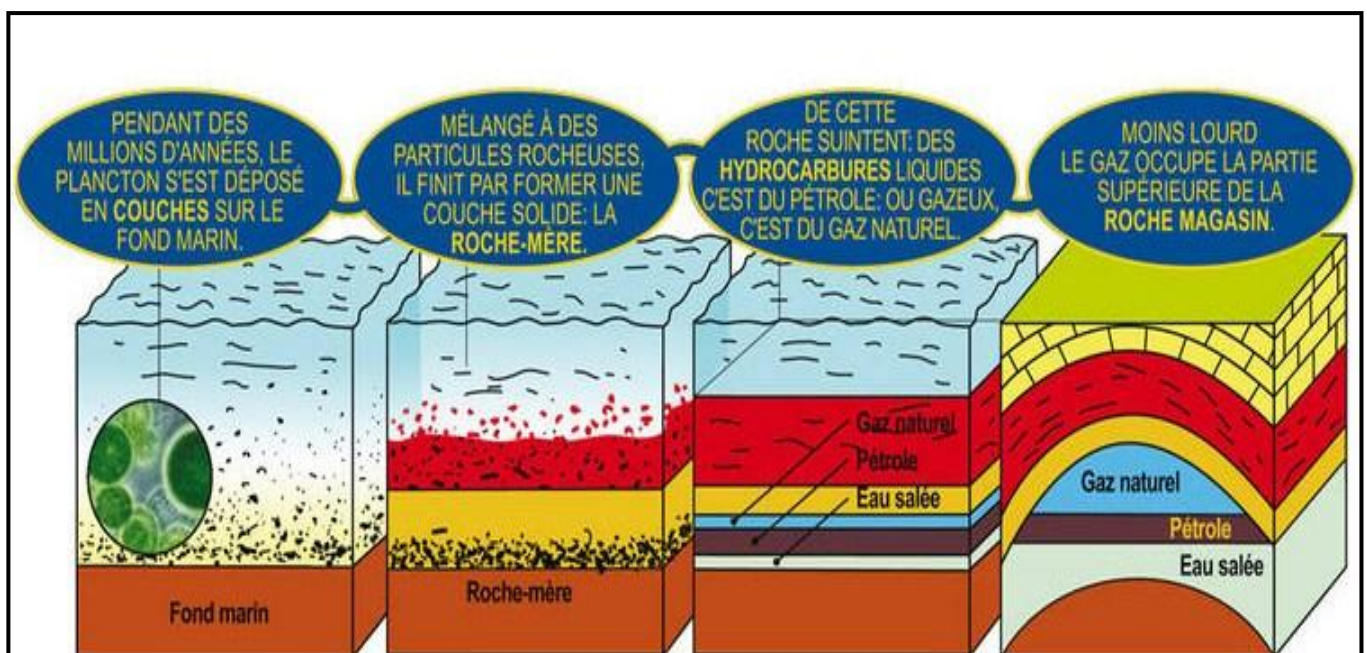


Figure 2 : Processus de formation des hydrocarbures.

### ❖ Etape d'accumulation de la matière organique

Le pétrole et le gaz naturel trouvent leur origine dans la dégradation de la matière organique contenue dans les organismes vivants animaux ou végétaux (plancton, végétaux, animaux, etc.) constitués essentiellement de protéines, de lipides et de glucides. L'accumulation de cette matière organique se produit dans un environnement sédimentaire de faible énergie ce qui permet sa préservation.

### ❖ Etape d'enfouissement

Durant la phase d'enfouissement des sédiments riches en matière organique, cette dernière se transforme en gaz, en huile ou en pétrole. La nature du produit transformé dépendra de la profondeur, de la durée du séjour et de la température à laquelle la matière organique aura été soumise.

### ❖ Etape de migration

Une fois formés, les hydrocarbures quittent la roche mère et migrent vers des roches à plus forte porosité appelées roches réservoir. Cette migration commence avec le pic de formation d'huile et se subdivise en deux phases :

- **La migration primaire** qui est définie comme étant le passage des hydrocarbures de la roche à la roche réservoir. Les principaux facteurs connus qui en sont responsables sont : la température, la pression, la porosité des formations.
- **La migration secondaire** qui correspond aux mouvements des hydrocarbures dans la roche réservoir à la recherche du piège.

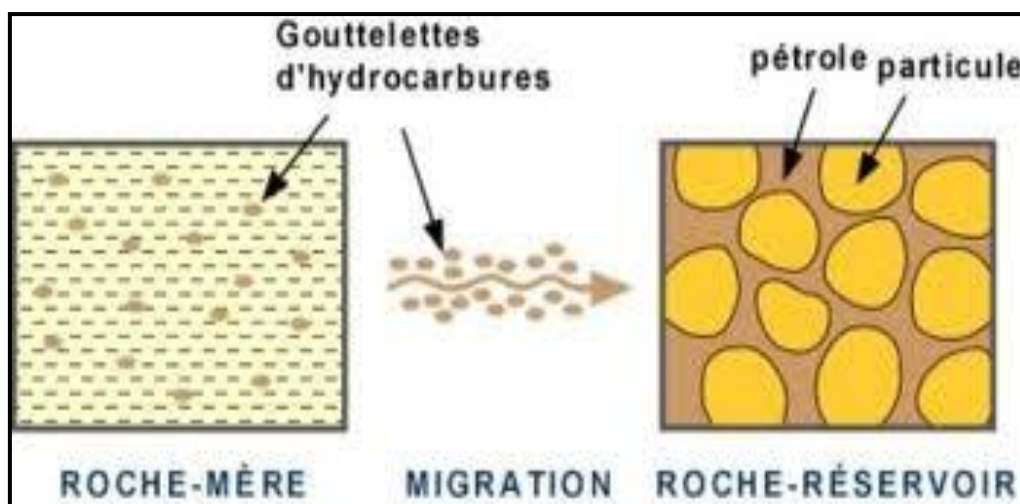


Figure 3 : Illustration de la migration des hydrocarbures

### ❖ Etape de piégeage

Un piège est un obstacle susceptible de bloquer la progression des hydrocarbures. Il est constitué d'une couverture étanche de nature argileuse ou évaporitique. Les pièges peuvent être d'origine structural (plis, failles) ou stratigraphique liés essentiellement à des phénomènes sédimentaires ou paléogéographiques tels les biseaux et les discordances (Fig4).

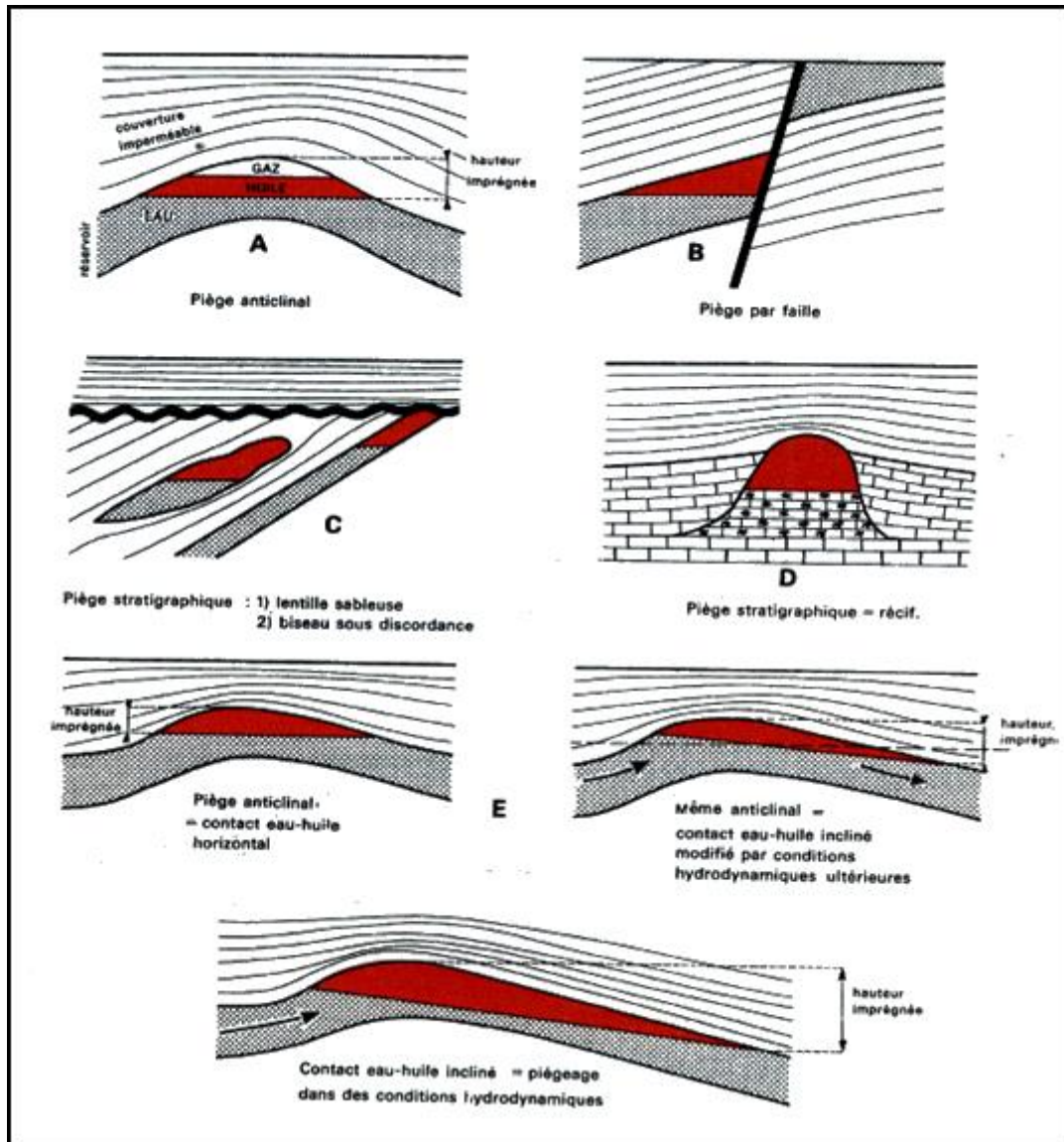


Figure 4: Les différents pièges des hydrocarbures.

### II.3- Prospection des hydrocarbures

La prospection des hydrocarbures se base principalement sur l'utilisation des méthodes sismiques et ciblent généralement des bassins sédimentaires. Les sections fournies par la sismique réflexion offre une imagerie précise du sous-sol sur plusieurs kilomètres, ce qui permet d'analyser les structures géologiques en profondeur et d'identifier les pièges potentiels d'hydrocarbures.

#### II.3.1- Les ondes sismiques

Les ondes sismiques (ou ondes acoustiques) correspondent à la propagation des ébranlements du sol et du sous-sol par des mouvements de celui-ci, à partir d'un point d'émission ou source. Elles se subdivisent en deux types : les ondes de volume et les ondes de surface.

**Les ondes de volume** se propagent à l'intérieur du sol. Leur vitesse dépend du matériau traversé et augmente généralement avec la profondeur car ces matériau deviennent de plus en plus dense. On distingue

- ❖ Les ondes P ou ondes primaires, appelées aussi ondes de compression. Elles se déplacent parallèlement à la direction de propagation des ondes. Ce sont les plus rapides et donc les premières à s'enregistrer sur les sismogrammes.
- ❖ Les ondes S ou ondes secondaires appelées aussi ondes de cisaillement. À leur passage, les mouvements du sol s'effectuent perpendiculairement au sens de propagation de l'onde. Ces ondes ont comme propriété importante de ne pas se propager dans les milieux liquides.

**Les ondes de surface (ondes lentes)** se propagent directement de la source aux détecteurs sans trop pénétrer en profondeur, elles sont moins rapides que les ondes de volume mais leurs amplitudes sont généralement plus fortes. Elles constituent les bruits de surface qui peuvent être gênants et venir masquer les réflexions.

## II.3.2- La sismique réflexion (YILMAZ.O, Sismic data processing)

### II.3.2.1- Définition

La sismique réflexion est la méthode géophysique la plus utilisée en prospection pétrolière à terre comme en mer compte tenu de son puissant pouvoir de résolution en imagerie du sous-sol (20m, 10m voire quelques mètres) et son importante profondeur d'investigation (10 000 m à 15 000m). Elle consiste à provoquer en surface ou à faible profondeur un ébranlement du sol généré soit par une source émettrice, soit par la mise à feu d'explosifs enterrés, soit par des vibrateurs posés au sol.

Des récepteurs disposés en surface (géophones à terre ou hydrophones en mer), recueillent les ondes acoustiques réfléchies par les différentes interfaces et discontinuités des terrains dans lesquelles les ondes se propagent. Lorsqu'un front d'ondes rencontre un obstacle une partie de l'énergie de départ (énergie incidente) est réfléchi et une autre partie est réfractée ou transmise. D'autres ondes perturbatrices qualifiées de bruit sismique ainsi que des ondes réfractées sont également enregistrés, mais sont ensuite éliminés par traitement des données.

### II.3.2.2- Principe

L'onde sismique émise par une source génératrice se propage dans le sous-sol selon le principe de l'optique géométrique (loi de DESCARTES-SNELL). Après réflexion sur une interface marquée par une variation d'impédance acoustique, l'onde sismique est captée par des récepteurs installés en surface (Fig.5).

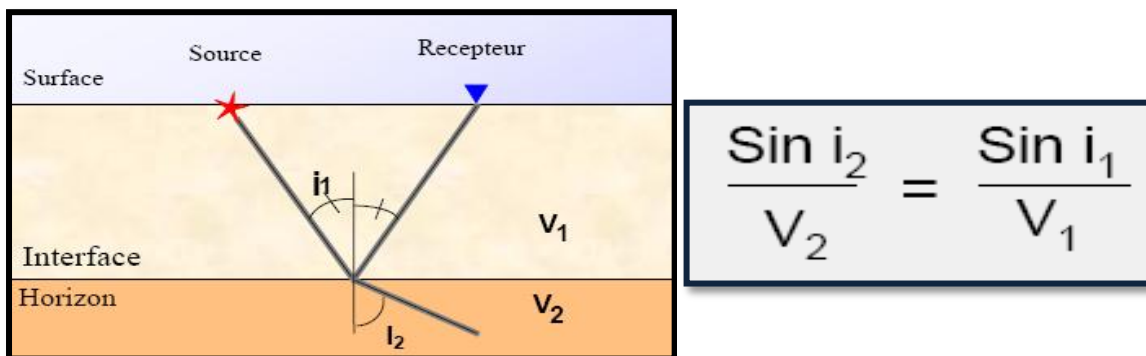


Figure 5: Propagation d'onde sismique suivant la loi de Snell/Descartes.

### II.3.2.3- Notion d'impédance acoustique (Z)

L'impédance acoustique caractérise la résistance du milieu à sa mise en mouvement lorsqu'il est traversé par une onde acoustique. Elle est définie comme le produit de la masse volumique du matériau par la vitesse de déplacement local de l'onde dans ce même matériau. Ce paramètre, noté « Z » est donc défini par la relation suivante :

$$Z = \rho V$$

$\rho$ : Masse volumique du milieu exprimée en kg/m<sup>3</sup>.

V : Vitesse du milieu exprimée en m/s.

### II.3.2.4- Coefficient de réflexion (CR)

La réflexion d'une onde est due au contraste d'impédance acoustique entre deux milieux différents. La réflexion est quantifiée par un paramètre appelé coefficient de réflexion. La formule générale de ce paramètre est donnée par la relation suivante :

$$CR = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

CR : coefficient de réflexion.

Z<sub>2</sub> : impédance acoustique de la formation supérieure.

Z<sub>1</sub> : impédance acoustique de la formation inférieure.

### II.3.2.5- Les signaux sismiques

Les signaux peuvent être subdivisés en deux groupes :

- ❖ Signaux à phase nulle, présentant un caractère symétrique.
- ❖ Signaux à phase quelconque tels que les signaux à phase minimum, à phase maximum et à phase mixte.

Lors des interprétations, on préfère les données de phase nulle pour les raisons suivantes :

- ❖ Le signal est symétrique avec un maximum d'énergie concentrée dans le lobe central.
- ❖ Le centre du signal coïncide avec le trajet vers l'interface de la réflexion et facilite ainsi l'interprétation.



### II.3.2.6- Les bruits

Tout ce qui n'est pas de signal est considéré comme bruit. On distingue :

**Les bruits naturels** et industriels existent sur les enregistrements même en absence d'ébranlement. Les bruits naturels comme le vent et les microséismes sont désorganisés et de caractère plus au moins cohérent. Par contre les bruits industriels sont plus organisés, telles que l'agitation sismique due à la circulation automobile.

**Les bruits provoqués** sont engendrés par l'ébranlement sismique. En sismique terrestre, les ondes de surface sont souvent considérées comme bruits provoqués. En sismique marine, les diffractions engendrées lorsque l'onde incidente rencontre des aspérités du fond de la mer. Il est considéré aussi comme bruits: les ondes aériennes, les arrivées réfractées et les ondes directes qui se propagent dans l'eau.

### II.3.2.7- Hodochrones

L'hodochrone d'une onde est la courbe des temps d'arrivées (T) de l'onde en fonction du départ (X) entre le point de l'émission et celui de réception (Fig. 6).

**Hodochrone de l'arrivée directe** : c'est la courbe de propagation correspondant à l'arrivée de l'onde directe. Il est donné par la formule suivante :

$$T(X) = \frac{X}{V_1}$$

**Hodochrone de l'arrivée réfléchie (ou indicatrice)**: c'est la courbe de propagation correspondant à l'arrivée de l'onde réfléchie sur l'interface milieu1-milieu2. C'est une courbe de type hyperbolique dont la fonction est :

$$T(X) = \sqrt{\frac{X^2}{V_1^2} + T_0^2}$$

**Hodochrone de l'arrivée réfractée (ou dromochronique)** : c'est la courbe de propagation correspondant à l'arrivée de l'onde réfractée sur l'interface milieu1-milieu2. Elle est représentée par une droite de pente  $1/V_2$ :

$$T(X) = \frac{X}{V_2} + \frac{2p \cos i_c}{V_1}$$

T : Temps de parcours.

$V_1$  : Vitesse du milieu 1.

X: Distance émetteur-récepteur.

$V_2$ :Vitesse du milieu 2.

p: Profondeur de l'interface.

$i_c$ : Angle critique.

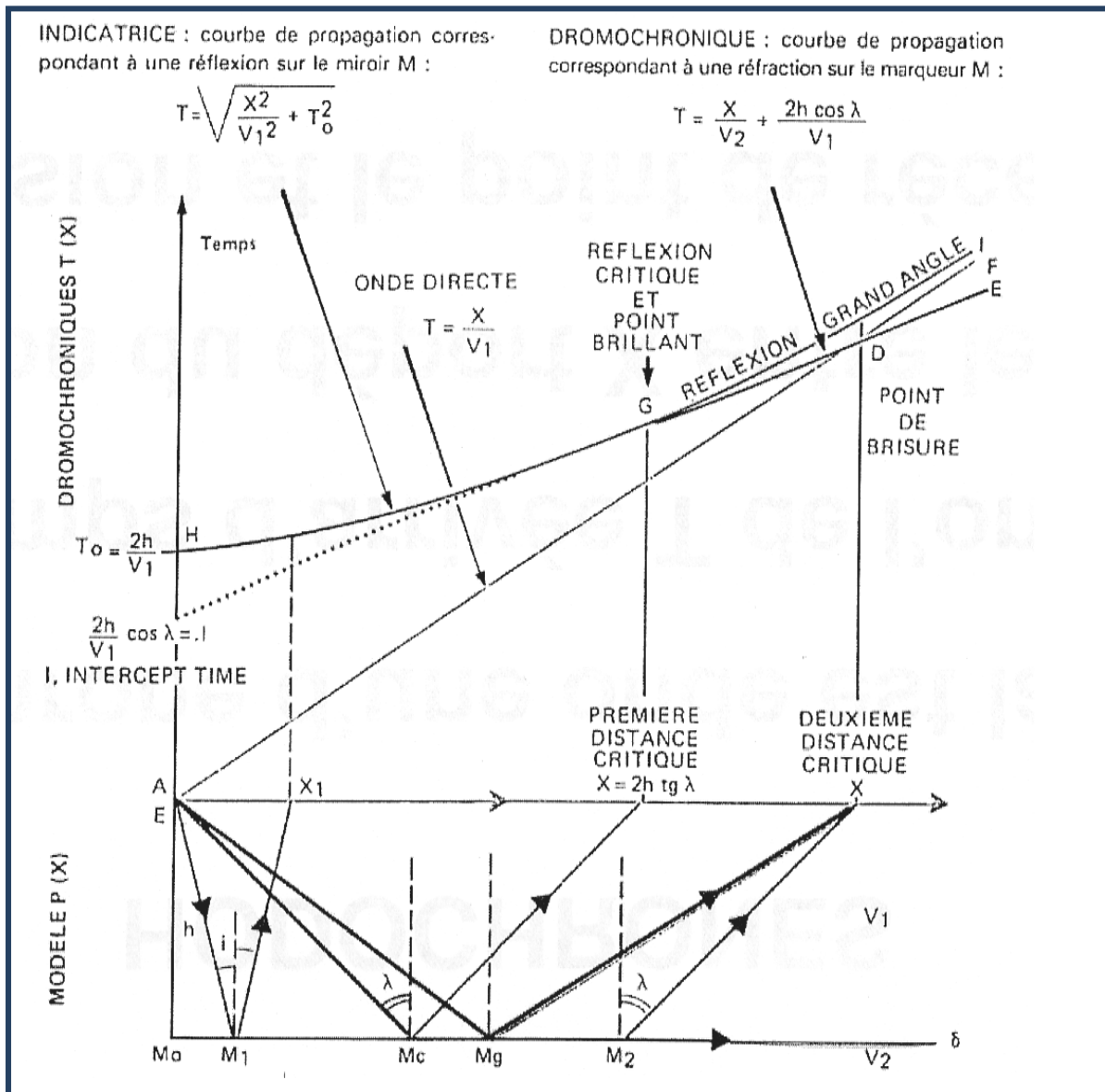


Figure 6: Les différents hodochrones

### II-3-2.8. Notion de CDP et de couverture

Le point miroir ou CDP (Common Depth Point), est le point de l'interface considérée, sur laquelle se réfléchit l'onde incidente. L'ensemble des points miroirs constitue le plan miroir (Fig.7).

La couverture est le nombre de fois dont le point miroir réfléchit une onde incidente (couverture simple et multiple).

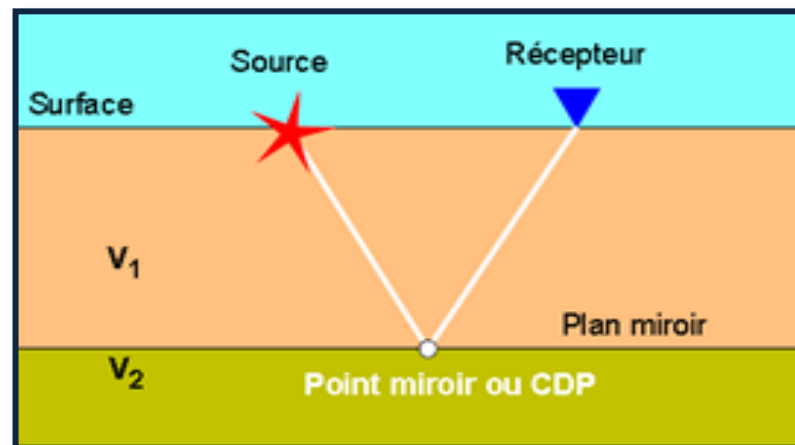


Figure 7: le plan miroir et CDP.

**Couverture simple**: son principe consiste à déplacer l'ensemble du dispositif de telle manière à ce que les points d'impact sur le miroir soient régulièrement répartis sur tout le profil. Cette couverture est le principe d'acquisition utilisé autrefois (Fig.8).

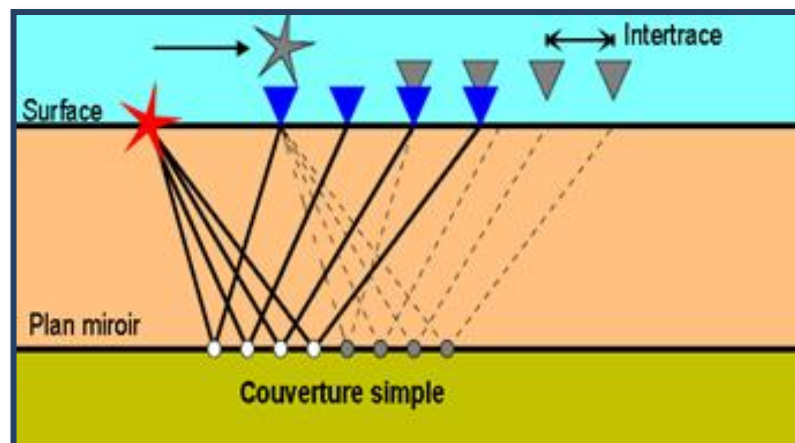


Figure 8: Couverture simple.

**La couverture multiple** : elle est la plus utilisée actuellement à raison de son amélioration du rapport signal /bruit, elle apporte une atténuation des réflexions multiples, son principe est l'observation d'un même point miroir CDP (Common depth point) par des trajets différents, en déplaçant la source non pas d'un demi dispositif, mais d'une distance plus faible (Fig.9).

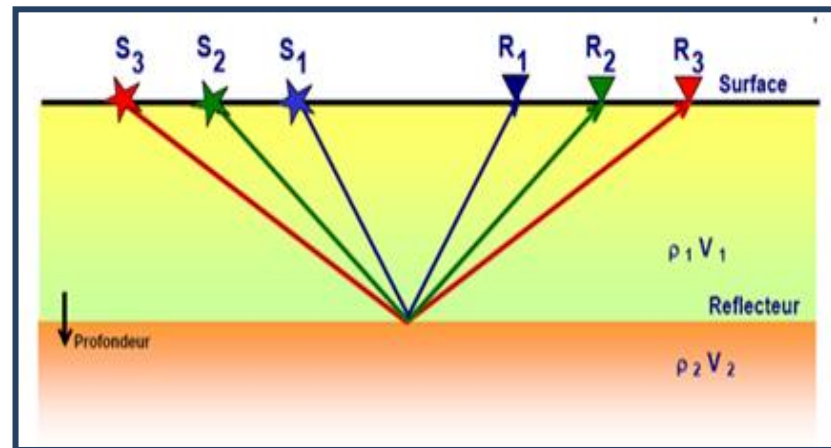


Figure 9: Couverture multiple.

L'ordre de couverture en 2D est donné par la formule suivante:

$$C = \frac{N}{2} \frac{\Delta R}{\Delta S}$$

Avec :

C : Ordre de Couverture.

$\Delta R$  : Distance entre Récepteurs.

N : Nombre de Canaux(ou traces).

$\Delta S$  : Distance entre Sources.

### II.3.3- Acquisition sismique

En sismique réflexion, un dispositif d'acquisition est constitué par des groupements de capteurs régulièrement espacés et d'un plan de tir. L'acquisition sismique débute par l'établissement d'un maillage dont la géométrie dépend de l'objectif de la prospection. Cela nécessite généralement la mise en œuvre d'équipements lourds composés entre autres de sources sismiques, de récepteurs, de laboratoires d'enregistrements et de traitement sismique.

### II.3.3.1- Acquisition 2D

Le dispositif d'enregistrement et le dispositif d'émission sont placés le long d'une même ligne de mesure, généralement rectiligne (Fig.10). En déplaçant l'ensemble émetteur et récepteur de nombreuses fois, on parvient à construire une image du sous-sol en deux dimensions. Lorsque l'acquisition concerne une étude de reconnaissance à caractère régional, on adopte un maillage large. Par contre lorsqu'il s'agit d'une étude plus localisée et plus détaillée les profils sont disposés de façon plus serrée.

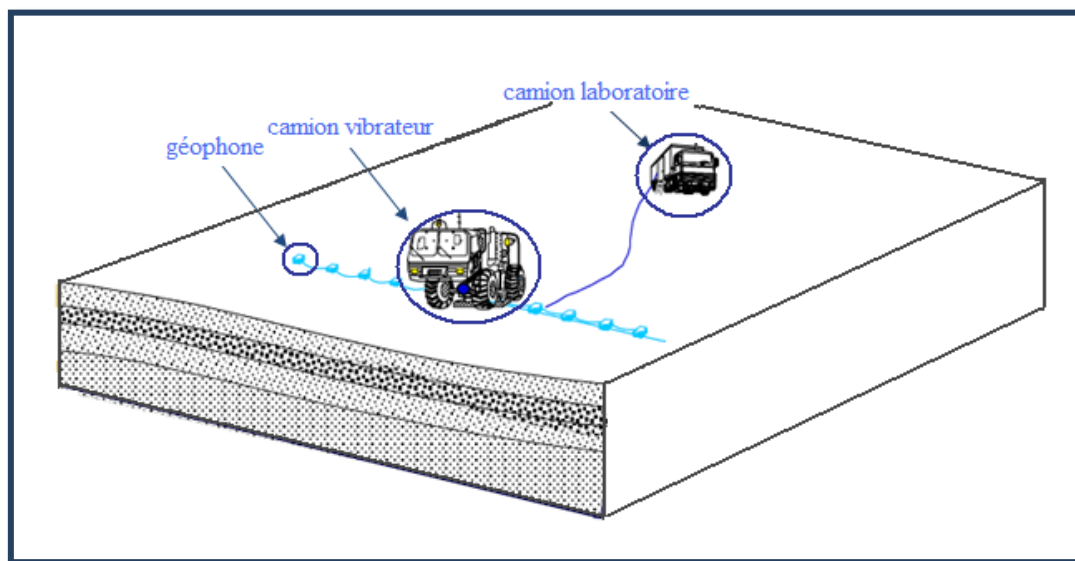


Figure 10: Maillage en sismique 2D

### II.3.3.2-Acquisition 3D

Un maillage 2D ne donne d'information qu'à la verticale des lignes de levé sismique, la zone de séparation entre les lignes n'est pas imagée. Les résultats obtenus sont pour des structures du sous-sol en deux dimensions : monoclinaux, anticlinaux ou synclinaux à axes allongés, failles et flexures admettant un plan de symétrie. Pour caractériser des structures plus complexes sans plan de symétrie, il faudrait réaliser des levés de sismique réflexion en trois dimensions (Fig. 11).

La technique 3D permet d'obtenir non plus une coupe à la verticale d'un profil, mais un cube à la verticale d'un dispositif étalé sur une surface. Cette technique plus onéreuse permet d'obtenir une image continue du sous-sol dans toutes les directions. Généralement une étude 3D fait suite à une étude 2D et s'en inspire fortement pour le choix des paramètres d'acquisition. Sur une étude 3D, les lignes émettrices et réceptrices sont parallèles et régulièrement espacées avec une disposition en grille. Les lignes sources et réceptrices sont généralement perpendiculaires, mais on peut adopter n'importe quelle orientation.

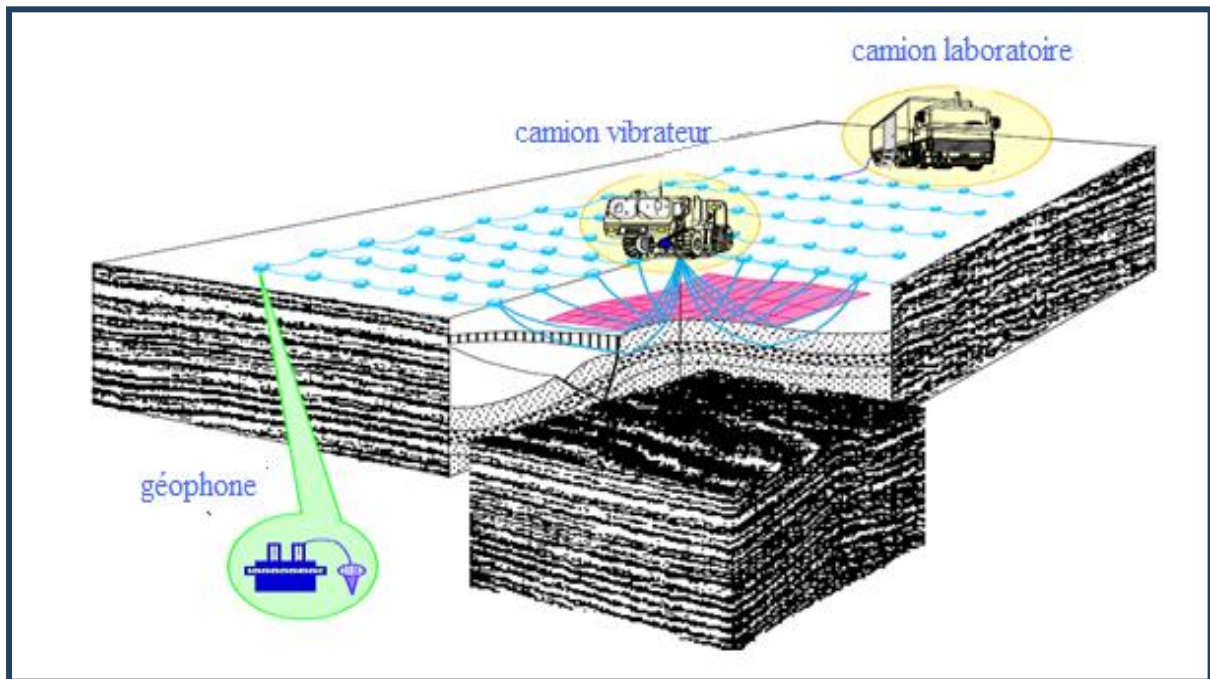


Figure 11: Acquisition sismique terrestre 3D.

### II.3.4- Sources sismiques

Afin d'obtenir l'énergie nécessaire pour produire un ébranlement on fait appel à des sources sismiques explosives ou non explosives.

#### II.3.4.1- Sources sismiques en onshore

##### Sources explosives (dynamite)

Après déclenchement du détonateur, les constituants de l'explosif se décomposent en produisant un gros volume de gaz qui donne naissance à une onde de compression qui se propage dans toutes les directions de l'espace. La préparation et le déclenchement de ce type de source se fait selon les étapes suivantes :

- Préparation des accès.
- Forage des trous (et tubage si le sol menace de refermer le trou).
- Chargement : mise en place des explosifs et des détonateurs.
- Remplissage des trous (bourrage).
- Tir : déclenchement des explosifs.

##### Sources non explosives

Le désir de se passer parfois de l'utilisation des explosifs compte tenu du temps, du coût et des contraintes liés à son utilisation, des sources alternatives ont été conçues. Parmi celles-ci la plus utilisée aujourd'hui est le camion vibrateur. Même si l'énergie sismique produite est

faible en comparaison avec celle de l'explosif, les vibrateurs sont largement utilisés dans les endroits accessibles par véhicules et partout où les explosifs peuvent produire des dégâts importants. Leur utilisation est aussi répandue grâce aux méthodes d'addition.

En pratique, la source sismique proprement dite est constituée par une masse d'environ 4 tonnes et une plaque d'environ 2 tonnes qui vibre au-dessus du sol (Fig. 12). L'ensemble du véhicule porteur appuie sur la plaque et la maintient en contact permanent avec le sol. L'énergie est fournie par une pompe hydraulique, puis transmise à la masse vibrante par l'intermédiaire d'une vanne. En vibrosismique on utilise généralement plusieurs vibrateurs simultanés.



Figure 12: Camion vibreur

#### ***II.3.4.2- Sources sismiques en offshore***

##### **Sources gazeuses**

La sismique marine (offshore) se caractérise économiquement par des investissements élevés, mais également par une importante productivité (jusqu'à 80 tirs par jours). L'acquisition se fait par le biais de tirs en bout réalisés à partir de bateaux sources dont le positionnement se fait en temps réel par GPS. La source la plus utilisée en offshore est le canon à air (ou Airgun). De nos jours, on fait appel à ce type de source dans 90% des missions dans les zones recouvertes d'eau (lac, mer en eau peu profonde, deltas...). Le canon à air propulse, au fond de l'eau, de l'air à très haute pression pouvant atteindre 70 Mpa, mais des valeurs de 14 Mpa sont très courantes. Cela crée une onde de compression qui se propage dans l'eau puis les roches sous-jacentes.



### II.3.5 Traitement (MARI J.L., GLANGEAUD F. et COPPENS F. (2004)) et (FLECHE JC. (1992))

Le traitement des ondes sismiques enregistrées est extrêmement complexe et nécessite des capacités de calcul très importantes. Seuls les progrès de l'informatique autorisent ce type d'opération. Le résultat du traitement informatique donne une imagerie du sous-sol en deux ou trois dimensions. Parmi les logiciels commerciaux qui permettent d'effectuer ces calculs, l'ONHYM dispose du programme FOCUS. Les principales étapes d'une séquence typique de traitement sismique sont les suivantes :

#### Phase 1 : Edition et prétraitement

##### But :

- ❖ l'extraction des ondes réfléchies à partir des tirs élémentaires.
- ❖ Filtrages de toutes les ondes parasites bruitées.

##### Résultats :

- ❖ compensation des pertes d'amplitudes liées à la propagation.
- ❖ Harmonisation des enregistrements (émission et réception).
- ❖ Amélioration de la résolution.
- ❖ Séparation /extraction des ondes réfléchies.

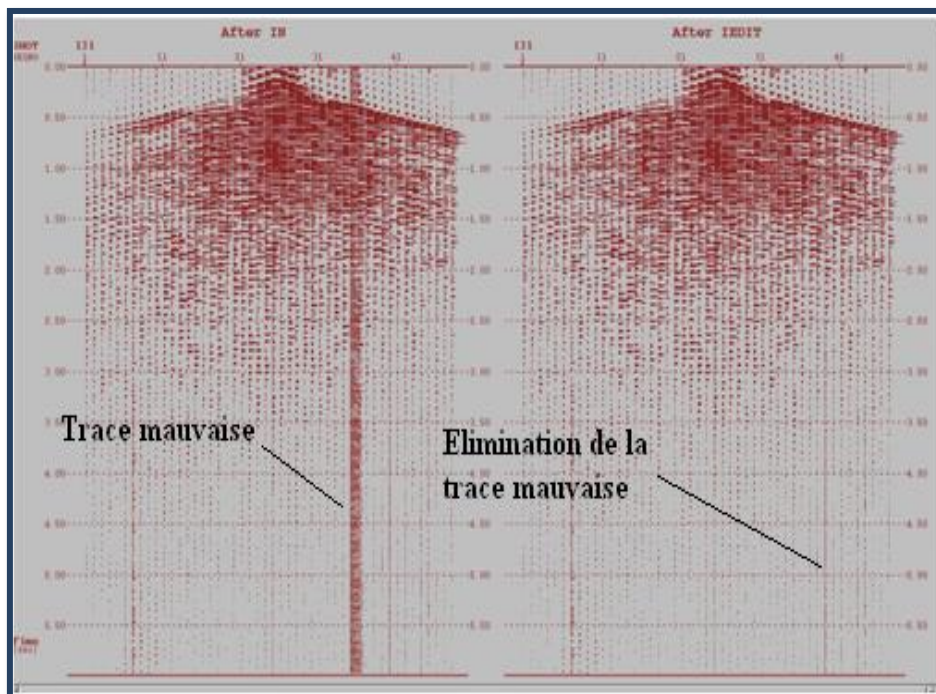


Figure 13: Point de tir avant et après l'édition d'une mauvaise trace

## Phase 2 : Corrections statiques et dynamiques (NMO)

### ➤ Corrections statiques :

Elles permettent de corriger les effets de la topographie et des couches superficielles du sous-sol, souvent très hétérogènes et appelées zone altérée. Ces corrections s'appliquent donc essentiellement au cas de la sismique terrestre. Dans le cadre de la présente étude, on s'intéresse essentiellement à ce type de traitement.

### ➤ Correction dynamique NMO (Normal Move Out) :

Dans une collection point milieu, les indicatrices montrent la dépendance des temps d'arrivée des réflexions en fonction du déport(Offset). Pour éliminer cet effet de déport, on applique des corrections dynamiques appelées aussi corrections NMO (Normal Move Out), celles-ci corrigent le temps de trajet pour le ramener en temps du rayon normal(Fig.14).

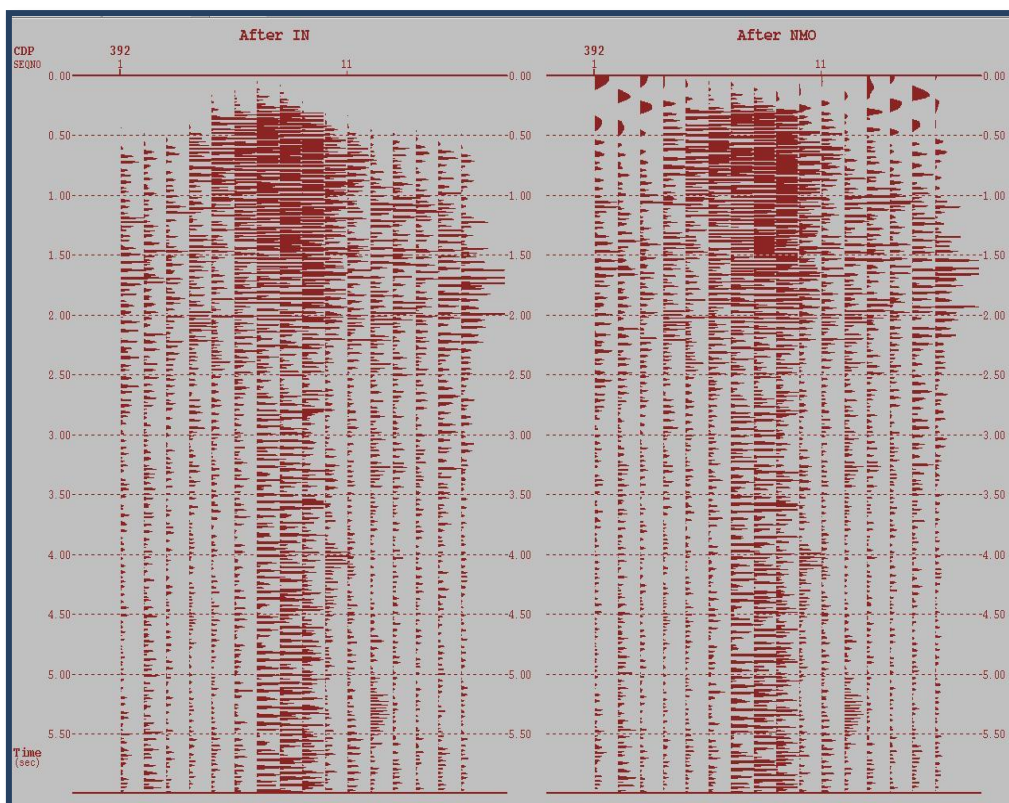


Figure 14: Tir avant et après l'application de NMO.

### Résultats :

- ❖ On ramène toutes les données au DP « Datum Plane » ;
- ❖ On détermine le champ de vitesse.

### Phase3 : Sommation en couverture multiple (Stack) :

Elle consiste à additionner mathématiquement pour chaque temps, les traces d'une même collection point milieu après correction dynamique et mute. La sommation permet d'améliorer le rapport signal/bruit et d'atténuer les multiples (Fig.15).

Le résultat est l'obtention d'une section sismique dite « stack brute ».

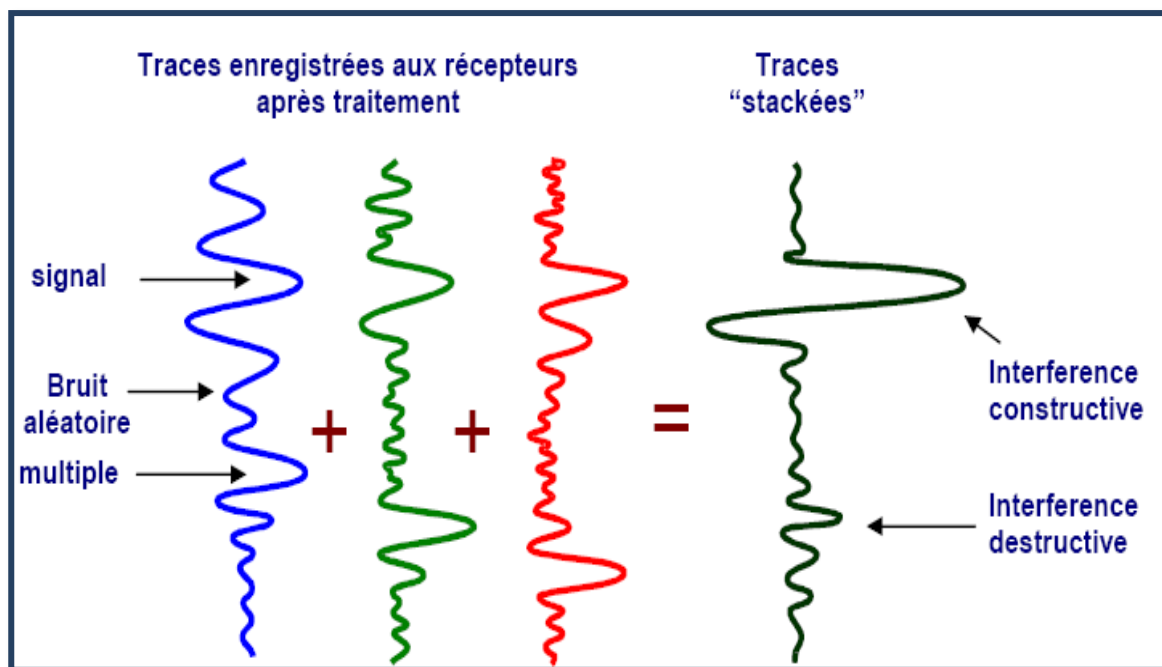


Figure 15 : Atténuation des réflexions multiples.

### Phase 4 : Traitement après sommation (post stack) :

#### But :

- ❖ Amélioration du rapport signal/bruit ;
- ❖ Amélioration de la cohérence et de la qualité des données ;
- ❖ Optimisation du traitement en vue de l'interprétation.

#### Résultats :

- ❖ Obtention d'une section sismique dite « stack final » prête pour l'interprétation.



## 2<sup>ème</sup> partie : Les corrections statiques par les méthodes du carottage sismique (UPHOLE) et de la petite réfraction

## I. Etude de la zone altérée

On appelle zone altérée ou WZ (Weathered zone) la couche superficielle qui est sujette à de multiples actions climatiques (érosion éolienne, érosion due à la circulation des eaux). La vitesse et l'épaisseur de cette couche varient énormément le long d'un profil sismique (Fig. 17).

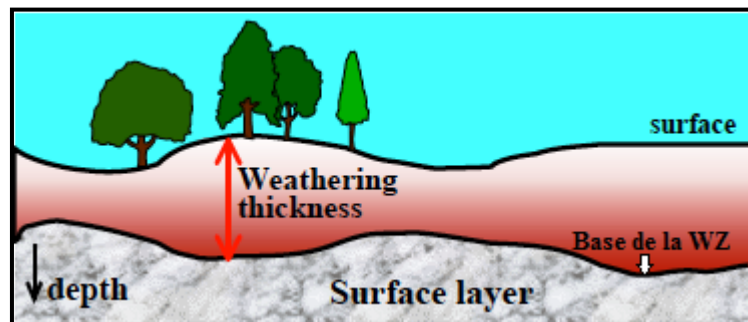


Figure 17: Schéma montrant la variation latérale de l'épaisseur et la topographie de la couche altérée

Les corrections statiques des données sismiques de l'effet de la topographie et de la zone altérée, constituent une étape primordiale dans la séquence de traitement des données sismiques avant sommation (stack). En effet, l'altération des couches superficielles conduit à l'augmentation de la porosité, ce qui engendre une diminution des vitesses de propagation des ondes et par conséquent un retard dans le temps de parcours des arrivées réfléchies.

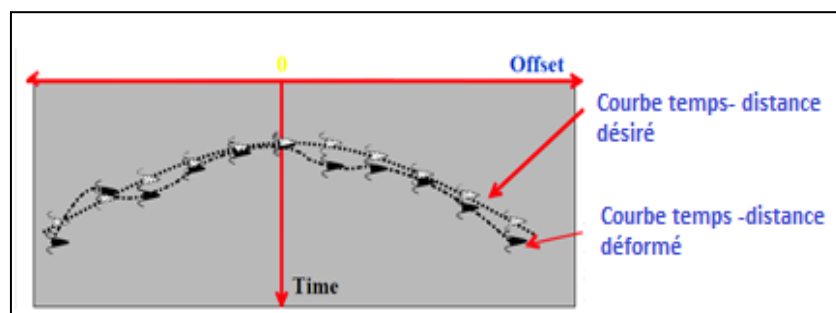


Figure 18 : Schéma montrant une courbe de réflectivité d'un réflecteur déformé par le problème de statique

Les caractéristiques de la WZ nécessaires à connaître sont : sa vitesse et son épaisseur. Les deux méthodes les plus utilisées pour obtenir les informations nécessaires aux calculs de corrections statiques sont : les méthodes des Upholes et la petite réfraction.

### I.1 Tir de petite réfraction

Il s'agit essentiellement de l'étude de la propagation des rayons réfractés dans les premières couches du terrain. Le réfracteur recherché est en fait le toit du terrain consolidé sous la WZ.

Cette méthode nécessite une acquisition spécifique où les dispositifs employés s'étalent sur une centaine de mètres, avec des tirs directs et des tirs inverses effectués avec de petites charges d'explosifs.

Le principe de la méthode consiste à enregistrer le temps de parcours depuis une source jusqu'à un détecteur dont le déport est bien défini. Les temps sont déterminés sur les enregistrements et reportés en fonction de la distance source-détecteurs (offset) sous forme d'une dromochronique (Fig.19).

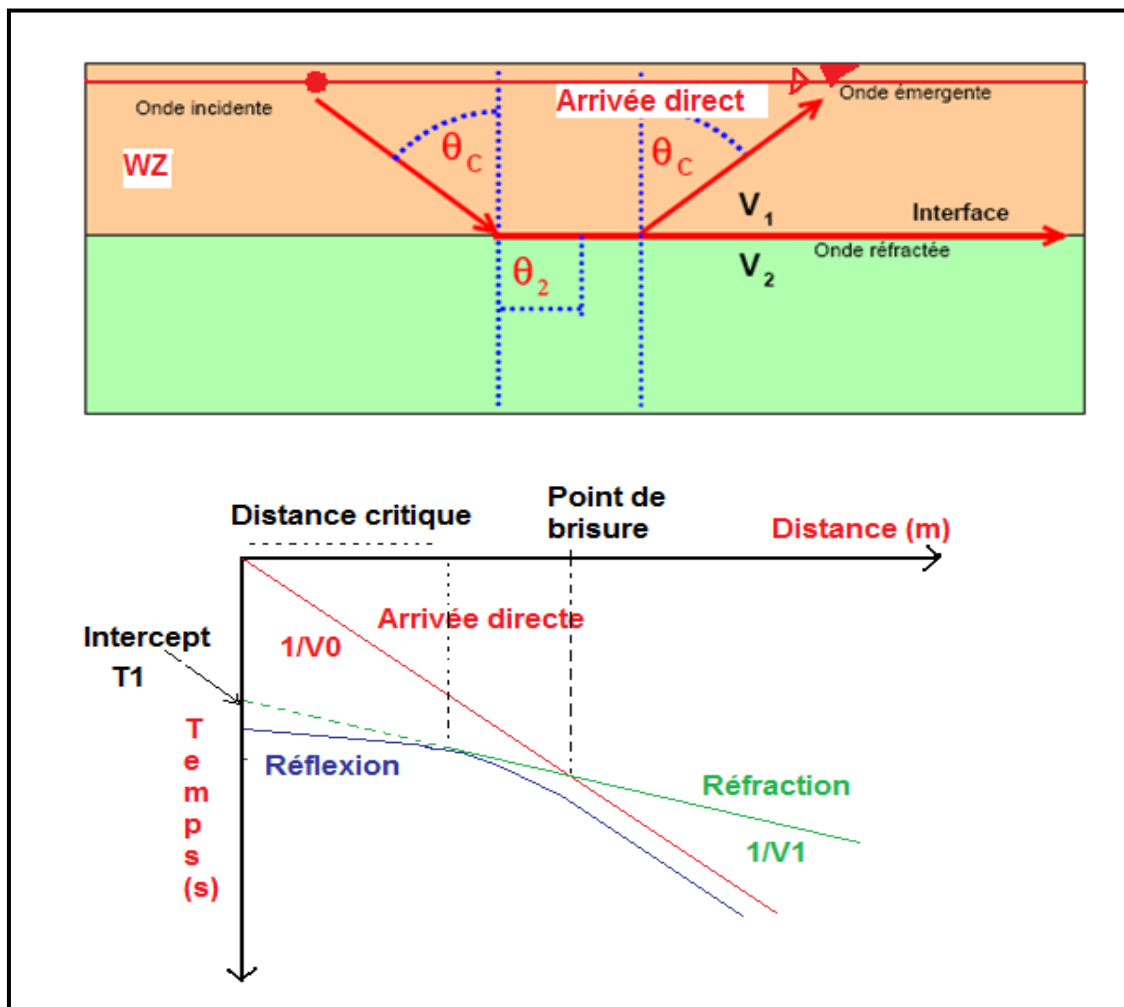


Figure 19: Trajet des rayons réfractés et dromochroniques

Pour les courtes distances, les premières arrivées sont constituées des arrivées directes qui sont des ondes se propageant directement de la source au géophone, puis, à partir d'une distance appelée distance critique, des arrivées réfractées sur la base de la zone altérée qui sont détectées par les géophones.

## II.2 Le carottage sismique (Uphole Survey)

Le carottage sismique a pour but d'enregistrer des temps de parcours de l'onde sismique le long d'un trou foré de façon à dépasser la base de la WZ avec un dispositif quasi vertical afin de calculer des vitesses et les épaisseurs des différentes tranches de la WZ. Cette méthode nécessite une WZ pas trop épaisse (ou des forages profonds) et elles impliquent de forer un nombre important de trous (Upholes) pour une étude précise de la WZ(Fig.20).

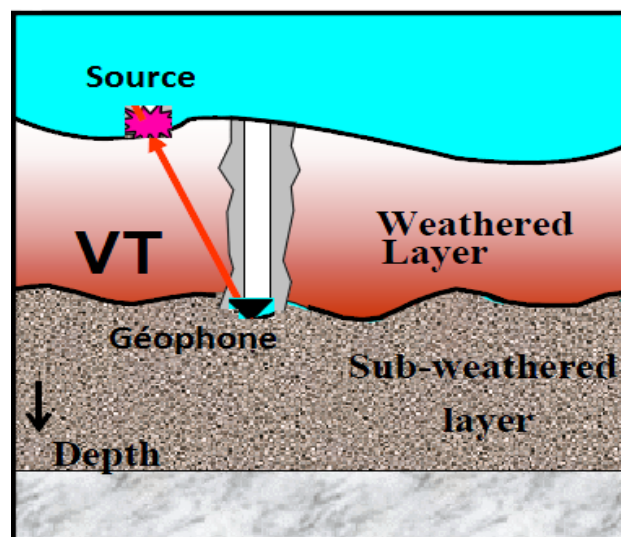


Figure 20: Principe de la méthode de carottage sismique (Uphole)

### Mise en œuvre :

Un carottage sismique peut être mis en œuvre de deux façons :

- ❖ Des charges explosives espacées généralement de 5 mètres sont placées dans le trou et sont explorées séparément en commençant par le fond du trou.
- ❖ Un géophone déplacé le long du forage enregistre le signal émis par une source d'énergie déclenchée en surface.

Actuellement c'est la deuxième méthode qui est utilisée.



Pour chaque tir on enregistre les temps des premières arrivées qu'on reporte sur un graphe et on trace les droites passant au mieux par les points reportés (la première droite passe par l'origine) (Fig .21).

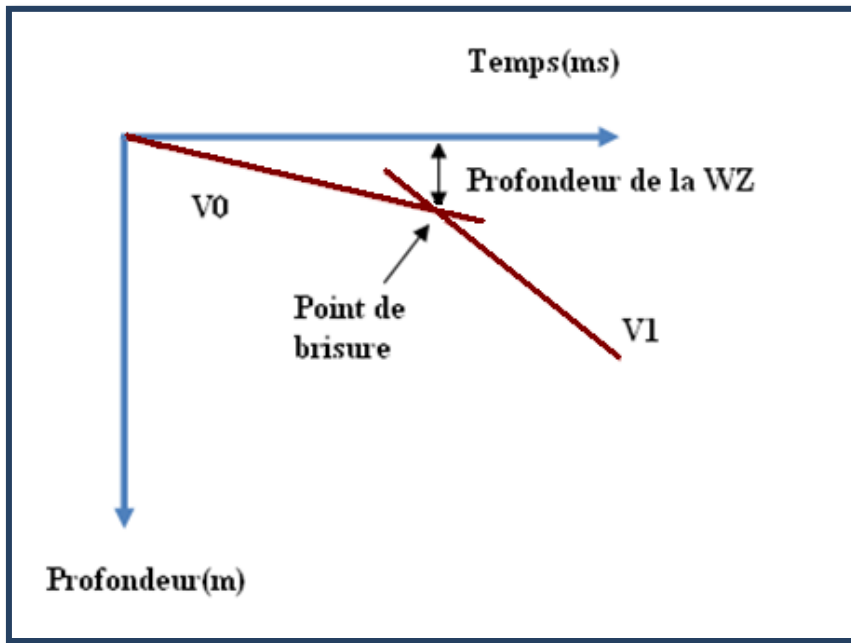


Figure 21: Schéma de la dromochronique d'un Uphole

- La pente de la première droite donne la vitesse de la couche altérée (WZ)  $V_0$
- La pente de la deuxième droite donne la vitesse du milieu sous-jacent  $V_1$
- Le point de brisure des deux droites donne l'épaisseur de la WZ.

## 3<sup>ème</sup> partie : Etude de la zone altérée dans la région de Tendrara par la méthode du carottage sismique (Upholes)

## I- Présentation générale sur la zone d'étude

### I.1- Situation géographique

La région de Tendirara se situe dans le Maroc oriental au Sud de la ville d'Oujda. Elle fait partie de la zone des hauts plateaux qui couvre une superficie de 40 000 Km<sup>2</sup>. Cette zone est bordée au Nord par les affleurements paléozoïques de Debdou, Mekkam et Jerada, à l'Ouest par l'alignement de Mechkakour, au Sud par le Haut Atlas et à l'Est par le territoire Algérien (Fig. 22).



Figure 22: Situation géographique de la zone de Tendirara

### I.2- Contexte géologique

La région de Tendirara fait partie du domaine structural Mesétien, caractérisé par un socle paléozoïque déformé par l'orogénèse hercynienne surmonté par une couverture méso-cénozoïque, restée quasi horizontale. Cette couverture est constituée de marnes et calcaires du Crétacé supérieur reposant en discordance angulaire sur le socle hercynien formé de micaschistes à grenats et à amphibolites (Fig.23).

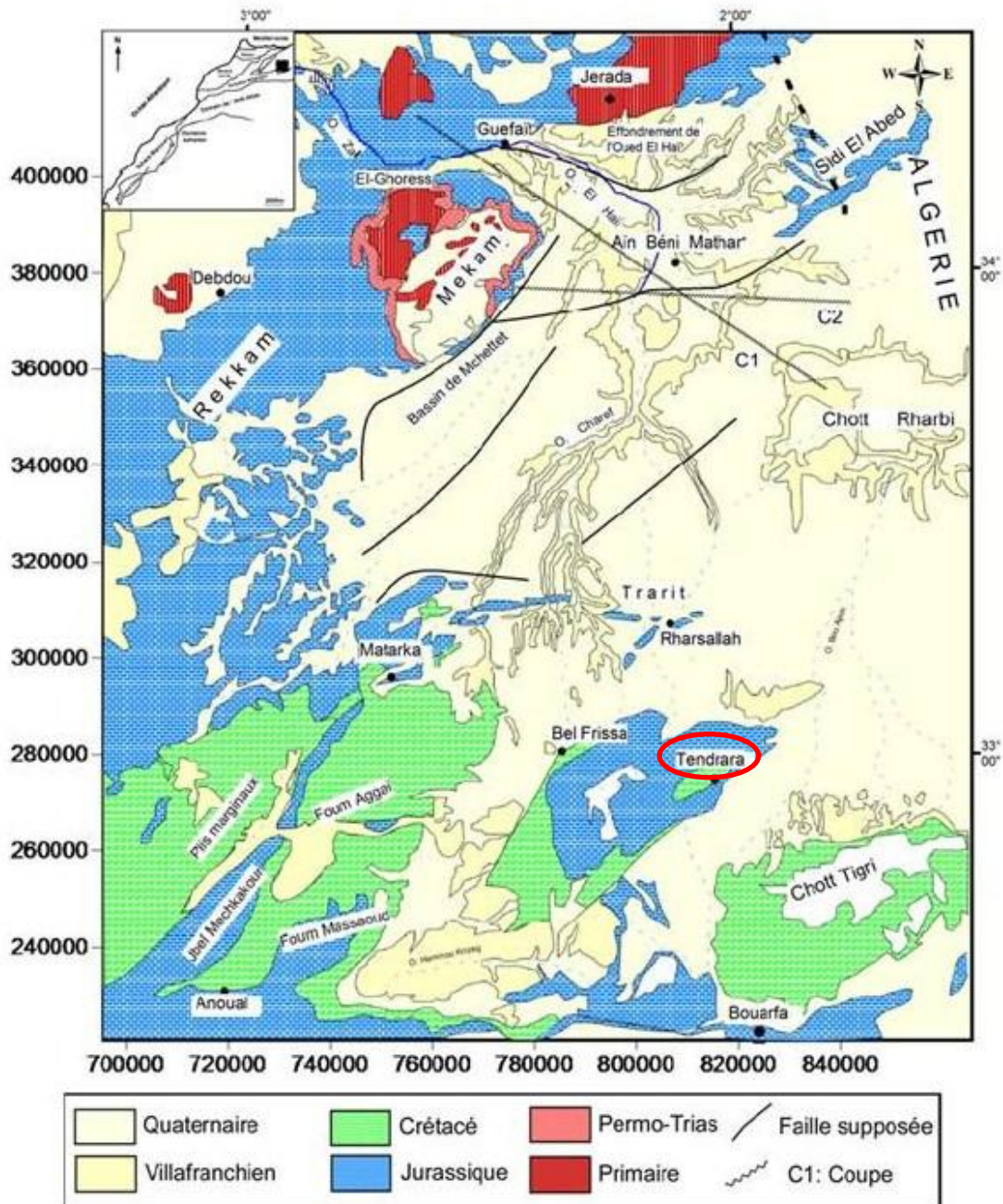


Figure 23: Carte géologique des hauts plateaux

### I.2.1- Stratigraphie

La région de Tendrara est recouverte dans sa totalité de formations géologiques récentes, la série stratigraphique n'est connue que par les résultats des différents forages et, localement, au voisinage de dômes ou plissements récents. A l'extérieur de la zone, au Nord et à l'Ouest, on retrouve une série de boutonnières paléozoïques (Tazekka, Mekam, bassin de Jerada) où

les formations plus anciennes affleurent. La série stratigraphique de cette zone (Fig.24) est formée de bas en haut par les entités suivantes :

- **Le Paléozoïque**

Le Dévonien est constitué par des schistes de types flyschs connus dans le massif de Debdou Mekam (Hollard, 1967). Il est surmonté du Carbonifère qui comprend un complexe volcano-détritique composé de dacites, rhyolites et andésites sous forme de brèches et coulées avec de rares intercalations de niveaux grés-argileux suggérant une mise en place en milieu aquatique (Izart, 1990). Les séries sédimentaires sus-jacentes (Viséen supérieur et Namurien) débutent par les formations calcaires (Jerada) et passent à une importante série de marnes avec intercalations de rares niveaux détritiques.

- **Le Mésozoïque**

Le **Trias** est formé de quatre principales séquences qui sont de bas en haut :

**Séquence I** : Constituée d'une formation de base grés-conglomératique à ciment argileux surmontée par une série argilo-silteuse. Cette séquence montre des dépôts qui caractérisent un milieu continental (Vakartchouk 1981) de type alluvionnaire ou lacustre.

**Séquence II** : Caractérisée par des séries argileuses et salifères avec intercalations de gypses et d'anhydrites au sommet. Elle correspond à une série transgressive de types lagunaire à détritiques rares et d'épaisseur constante au centre de la zone 200m.

L'épaisseur de ces deux séquences (I et II) est de l'ordre de 300 à 400 m.

**Séquence III** : Se compose d'un niveau de basalte visible sur tous les forages des hauts plateaux, il possède une épaisseur constante de 150 à 200 m.

**Séquence VI** : Comprenant une importante série salifère jusqu'à 1100m avec quelques rares intercalations des bancs argileux.

En ce qui concerne le jurassique, sa série sédimentaire observée à Tendrara (Lias-Bajocien) montre une succession de dépôts marins caractérisés par les faciès suivants :

- **Un faciès néritique** épicontinental avec quelques épisodes subcontinentaux d'âge toarcien.
- **Un faciès de type géosynclinal** avec de grandes épaisseurs de calcaire marneux et d'argiles.

La transition entre ces deux faciès peut se faire de façon très nette comme au niveau de Mechkakour. Depuis le Bathonien inférieur s'instaure un régime épicontinental avec une sédimentation de type littorale ou très néritique correspondant à la formation marno-calcaire de Tendrara.

Les séries jurassiques sont constituées principalement de calcaires et dolomies passant parfois à des argiles ou des anhydrites (Lias) et localement à des formations récifales (Dogger).

Le Crétacé se compose de séries continentales (sables, argiles) et de calcaires avec des zones détritiques locales (grès de Tigri). Plusieurs formations caractérisant le Crétacé sont signalées dans la région de Tendara.

- **La dalle cénomano-turonniene** qui correspond à des calcaires blancs couronnant les falaises de marnes à gypses de Cénomaniens (**Choubert**)

- **Les conglomérats et grès du Sénonien** qui est une série gréseuse continentale reposant sur la dalle précitée constituée de marnes rouges sableuses avec des passées de grès en petits bancs.

- **Le Tertiaire et le Quaternaire**

Les ères tertiaires et quaternaires sont essentiellement marquées par la formation de calcaires à silex de Jbel Tendara d'âge oligocène avec des grès et calcaires blancs à gros lits de Silex.

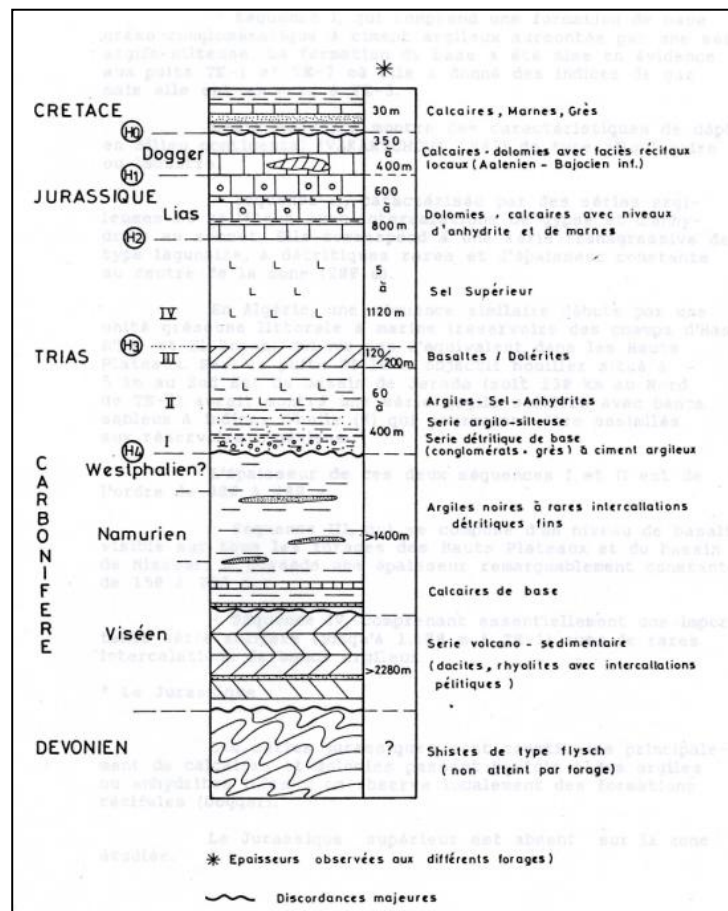


Figure 24: Série stratigraphique du bloc de Tendara (POURTAL, 1989)

## I.2.2- Tectonique

L'allure anticlinale de massif de Tandrara apparait clairement soulignée par l'affleurement Crétacé qui l'entoure complètement. La voûte de ce dôme est très abaissée et affecté par des faibles ondulations qui déterminent une succession d'anticlinaux et de synclinaux allongés (SW-NE). La région de Tandrara, tout comme ses alentours a subi trois principaux épisodes orogéniques :

- Episode I : Compression hercynienne

Cet épisode débute par une première phase dite bretonne affectant les terrains antéviséens suivie d'une phase majeure postwetphalienne induisant de vastes plis kilométriques dans les séries carbonifères d'orientation WSW/ENE. Cette orogénèse est essentiellement caractérisée par des chevauchements et des intrusions magmatiques.

- Episode II : Extension triasique

La base du Trias est soulignée par une discordance qui témoigne d'une importante érosion ayant pu actualiser la série volcano-sédimentaire. Cet épisode se manifeste par :

- ✓ Le réajustement en bloc de quelques paléo-reliefs.
- ✓ La pénéplanation effective du Trias moyen.
- ✓ La dominance d'une tectonique en distension au Trias supérieur et Jurassique.

- Episode III : Compression alpine

Cette phase a provoqué la surrection des Atlas, surtout dans la partie méridionale de la région. Les plissements d'âge post-hercynien sont orientés à peu près de l'Est à l'Ouest, alors que les plissements hercyniens sont orientés NE-SW ou ENE-WSW. La superposition des plis récents aux plis anciens devenus rigides oblige les plus récents à surmonter le matériel figé. Il en résulte ainsi un relèvement des plis post-hercyniens aux endroits où ils croisent les zones hautes des plis hercyniens.

Les hauts plateaux se comportent comme un rôle rigide qui n'est affecté de mouvements de compression que sur ses limites externes, en particulier au Sud-Ouest où l'on observe de vastes plissements sans doute en liaison avec des zones de décrochement.

### I.3. Travaux antérieurs (Final report MPE TENDRARA -3D CCG CREW, January 2004)

Le secteur de Tendrara a fait l'objet d'une campagne de prospection sismique 3D, mise en œuvre en 2004, par la compagnie générale de la géophysique (CGG). Au cours de cette campagne, 36 carottages sismiques ont été réalisés. On propose dans le cadre de cette étude d'analyser les enregistrements relatifs à ces upholes afin d'en déduire les corrections statiques à appliquer aux données sismiques (Fig.25).

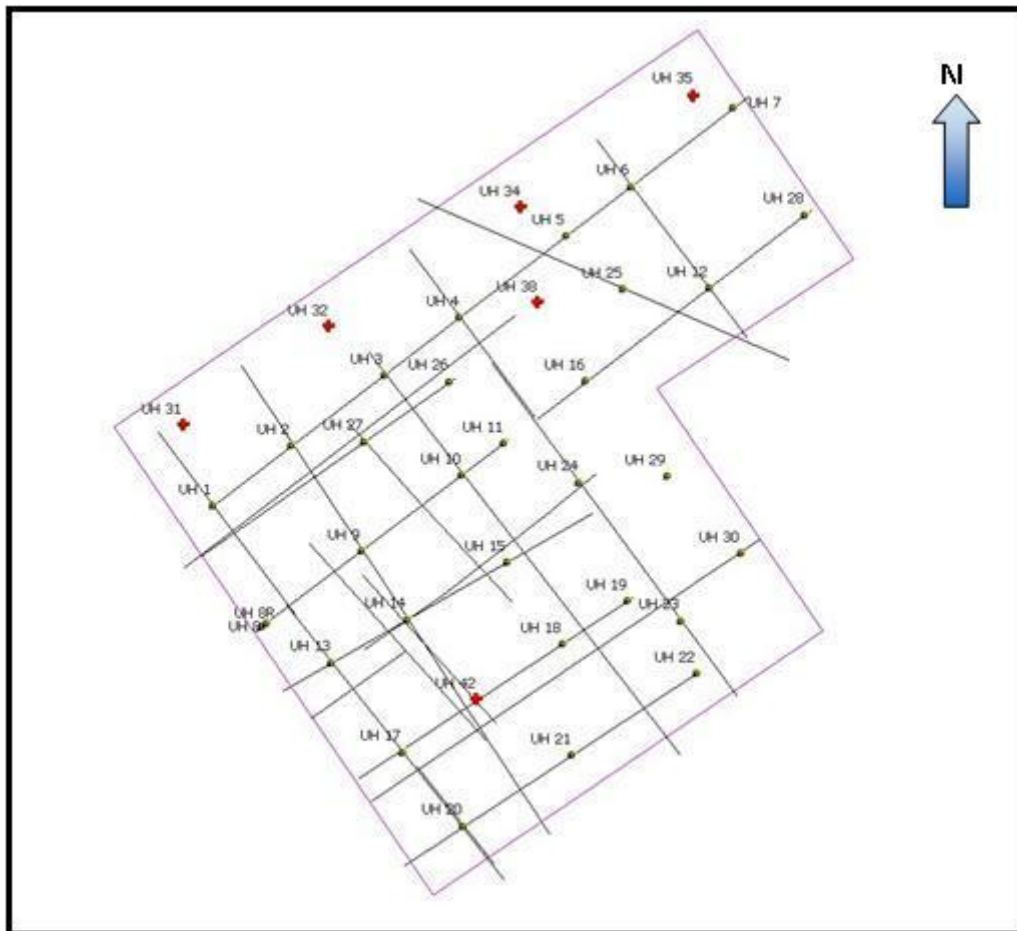


Figure 25: Carte de localisation des Upholes réalisés dans le secteur de Tendrara



### I.3.1 - Méthode et Equipement

Les forages destinés à la mise en œuvre des upholes ont été réalisés par une sondeuse TD500 montée sur un camion 6X6 (Fig. 26). Les upholes ont un diamètre qui varie de 150 à 165 mm et une profondeur moyenne est de 50m.



Figure 26: Sondeuse TD500 utilisée pour la réalisation des forages des upholes.

La source utilisée dépend du signal et du type des roches du sous-sol (Fig. 27) :

- ❖ Dans le cas d'un bon signal, on utilise un marteau tout en frappant au-dessus d'une plaque posée à un mètre de la tête de forage. Celle-ci possède une large base afin d'assurer le meilleur couplage avec le sol
- ❖ Dans le cas d'un signal insuffisant, la source utilisée est une source.



Figure 27: Hammer source and Sourcile source

L'enregistrement des données se fait par l'intermédiaire d'un minilabo, la 'Géode'. L'intervalle d'enregistrement est de 5 mètres pour la partie profonde, 2.5 mètres pour la partie centrale et 1.25 mètres pour les premier 10 mètres. Par ailleurs, la lithologie est prélevée pour chaque carottage, afin d'aider à l'interprétation.

### III. Application : calculs des corrections statiques

#### III.1 Interprétation des courbes Temps-Profondeur des upholes

Les mesures sismiques, obtenues pour les 36 Upholes réalisées à Tendrarra, sont reportées sur un graphe Temps-Profondeur  $T=f(P)$  à fin de déterminer les épaisseurs et les vitesses des différentes couches (Fig.28). Les résultats de l'interprétation de ces graphiques pour les 36 upholes étudiés sont présentés dans le tableau 1 ci-dessous.

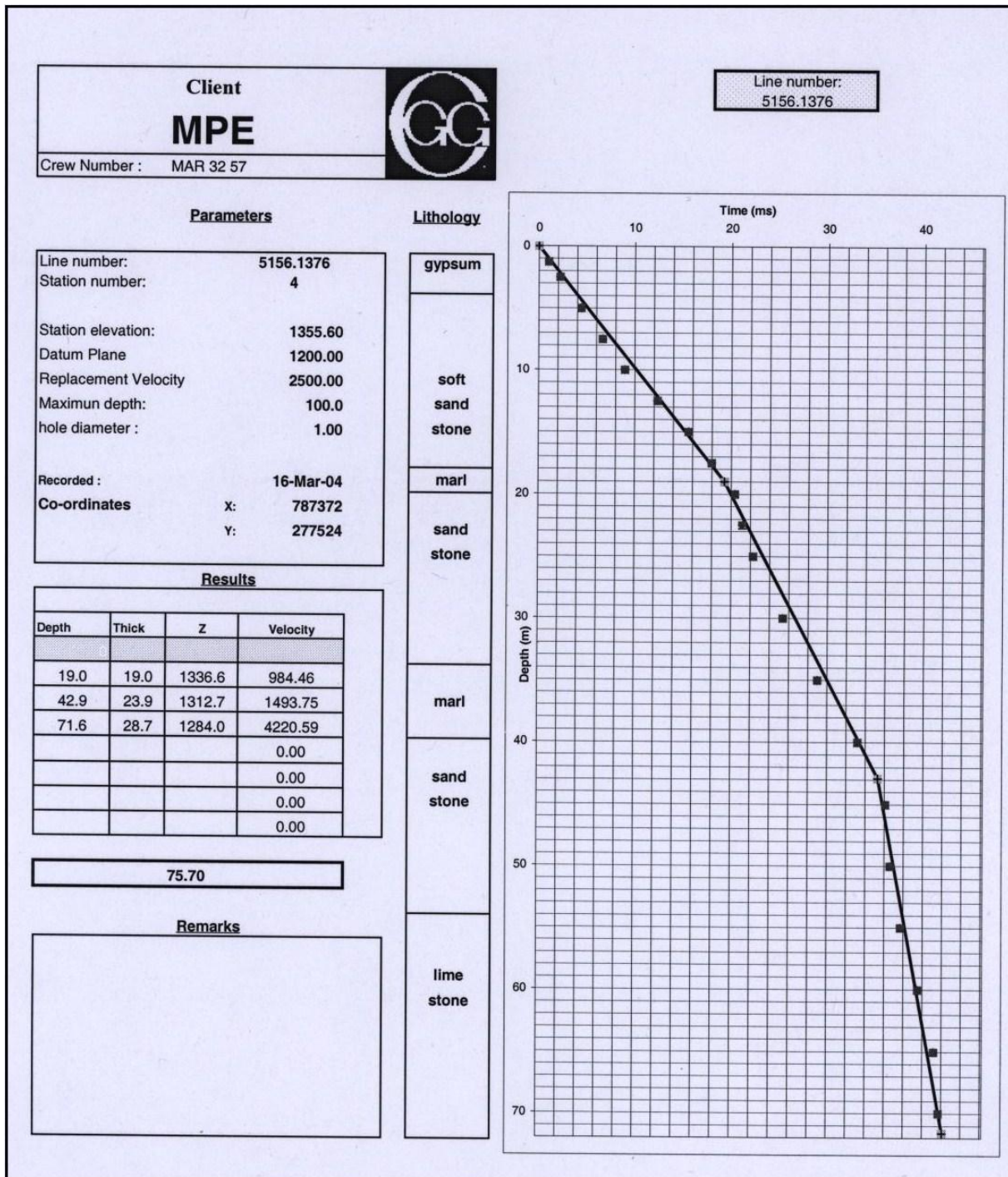


Figure 28: Graphe Temps-Profondeur de l'Uphole 4

| Uphole | couche 1       |                | couche 2       |                | couche 3       |                |
|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|        | h <sub>1</sub> | V <sub>1</sub> | h <sub>2</sub> | V <sub>2</sub> | h <sub>3</sub> | V <sub>3</sub> |
| Uph 1  | 5.9            | 556.6          | 15.6           | 1190.84        | 30.1           | 3420.45        |
| Uph 2  | 4.7            | 723.08         | 18.9           | 1400           | 48             | 1289           |
| Uph 3  | 2.5            | 532.61         | 16.6           | 1504.55        | 32.5           | 3669.05        |
| Uph 4  | 19             | 984.46         | 23.9           | 1493.75        | 28.7           | 4220.59        |
| Uph 5  | 11             | 1195.65        | 21.5           | 2067.31        | 39.3           | 4051.55        |
| Uph 6  | 3              | 441.18         | 32             | 1975.31        | 36.9           | 2635.71        |
| Uph 7  | 6.7            | 1288.46        | 9.2            | 3285.71        | 34.8           | 5194.03        |
| Uph 8  | 7              | 500            | 7.4            | 804.35         | 37             | 6065.57        |
| Uph 9  | 10             | 769.23         | 18.7           | 1280           | 22.1           | 3946.43        |
| Uph 10 | 11.3           | 1313.95        | 59.1           | 4345.59        |                |                |
| Uph 11 | 3.7            | 822.22         | 17.2           | 2123.46        | 29.9           | 3646.34        |
| Uph 12 | 6.5            | 619.05         | 45             | 3813.56        |                |                |
| Uph 13 | 4.3            | 1023.81        | 12.3           | 2617.02        | 56.4           | 4372.09        |
| Uph 14 | 2.7            | 519.23         | 17.8           | 2282.05        | 31.4           | 4077.92        |
| Uph 15 | 3.6            | 857.14         | 13.1           | 1452.22        | 24.6           | 2960           |
| Uph 16 | 6.3            | 1032.79        | 45.5           | 3527.13        |                |                |
| Uph 17 | 3.9            | 534.25         | 17.4           | 2383.56        | 29.7           | 3061.86        |
| Uph 18 | 4.1            | 1051.28        | 12             | 1967.21        | 35.3           | 3460.78        |
| Uph 19 | 2.7            | 689.12         | 16             | 2727.89        | 33.3           | 3845.27        |
| Uph 20 | 4.8            | 960            | 41.3           | 3014.6         | 25.3           | 4216.67        |
| Uph 21 | 3.4            | 492.75         | 15.2           | 2375           | 32.7           | 3802.33        |
| Uph 22 | 3.5            | 795.45         | 13.8           | 2146.19        | 33.8           | 3098.08        |
| Uph 23 | 10.8           | 850.39         | 18.3           | 1591.3         | 46.4           | 4142.86        |
| Uph 24 | 1.9            | 516.67         | 8.8            | 1061.45        | 41.1           | 3456.3         |
| Uph 25 | 7.3            | 1780.49        | 64             | 2700.42        |                |                |
| Uph 26 | 22.5           | 1190.48        | 18.7           | 5500           | 32.4           | 2551.18        |
| Uph 27 | 16.5           | 1231.34        | 54.7           | 2367.97        |                |                |
| Uph 28 | 4.7            | 675.71         | 10.1           | 2650           | 36.2           | 3261.26        |
| Uph 29 | 10.2           | 1186.05        | 36.5           | 1921.05        | 24.6           | 2963.86        |
| Uph 30 | 6.1            | 835.62         | 16.1           | 1850.57        | 29.5           | 3288.89        |
| Uph 31 | 28.6           | 1032.49        | 53.5           | 1771.52        |                |                |
| Uph 32 | 13.7           | 901.32         | 18.6           | 1617.39        | 39.2           | 2292.4         |
| Uph 34 | 10.2           | 1186.05        | 20.9           | 1741.67        | 40.9           | 3029.63        |
| Uph 35 | 10.6           | 972.48         | 60.8           | 4571.43        |                |                |
| Uph 38 | 33.1           | 2546.15        | 39.6           | 3413.79        |                |                |
| Uph 42 | 6.6            | 709.68         | 9.8            | 1921.57        | 55.1           | 3880.28        |

Tableau 1 : Résultats de l'interprétation des données des Upholes réalisés à Tendrara

Les résultats de ces Upholes montrent qu'on est en présence de trois couches :

- ✓ Une première couche d'épaisseur  $h_1$  allant de 2 à 33m et d'une vitesse  $V_1$  qui varie de 441 à 2546 m/s.
- ✓ Une deuxième couche d'une épaisseur moyenne  $h_2$  de l'ordre de 26 m avec une vitesse entre 804 et 5500 m/s.
- ✓ Une troisième couche plus compacte de vitesse supérieure à 1289 m/s.

### III.2 Réalisation des cartes d'iso- épaisseur et d'iso-vitesse

Afin d'illustrer les variations dans l'espace des paramètres de la couche altérée, des cartes d'iso-vitesse et d'iso-épaisseur ont été établies pour chacune des trois couches mises en évidence dans cette étude ainsi que la carte des élévations topographiques.

- A- Carte topographique:

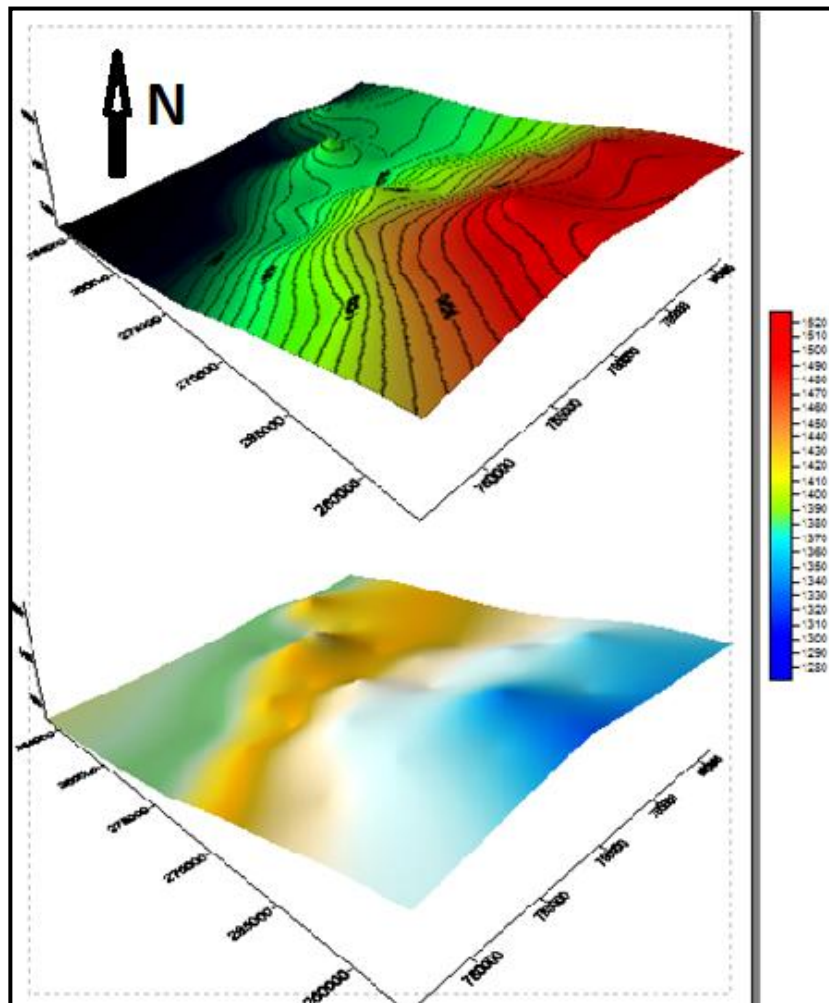


Figure 29: Représentation 3D du toit de la couche altérée

L'examen de la carte topographique montre que la zone d'étude est caractérisée par une variation relativement importante du relief. Les altitudes augmentent progressivement du Sud vers le nord avec des valeurs allant de 1297 m à 1527 m (Fig.29).

- B- Cartes iso-épaisseur et iso-vitesse :  
Couche1 :

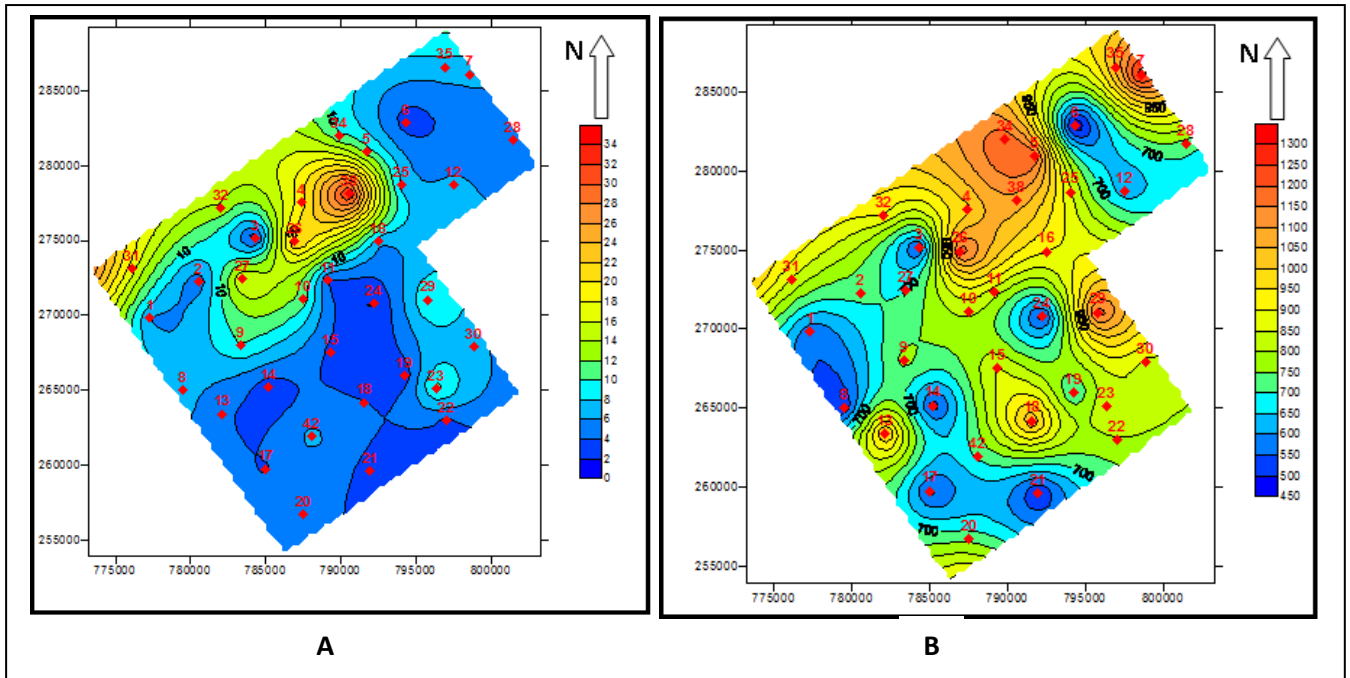


Figure 30: Cartes d'iso-épaisseur (A) et d'iso-vitesse (B) de la couche 1

Couche2 :

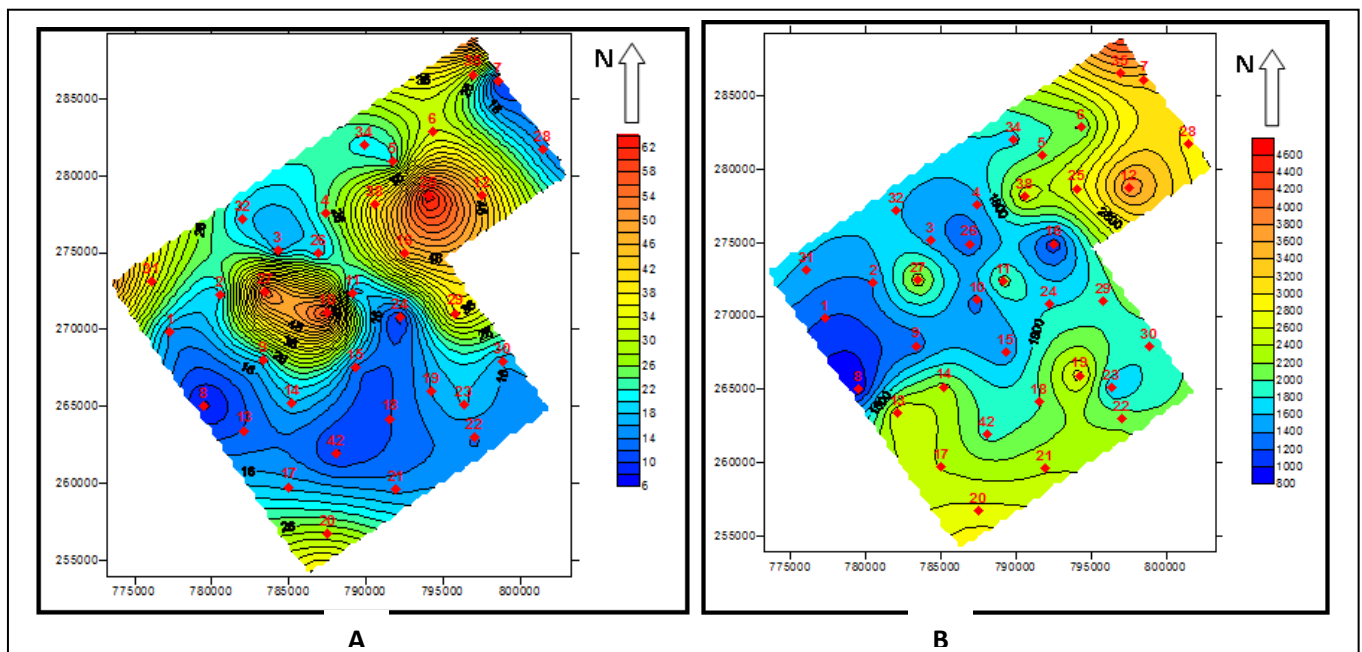


Figure 31: Cartes d'iso-épaisseur (A) et d'iso-vitesse (B) de la couche 2

Couche 3 :

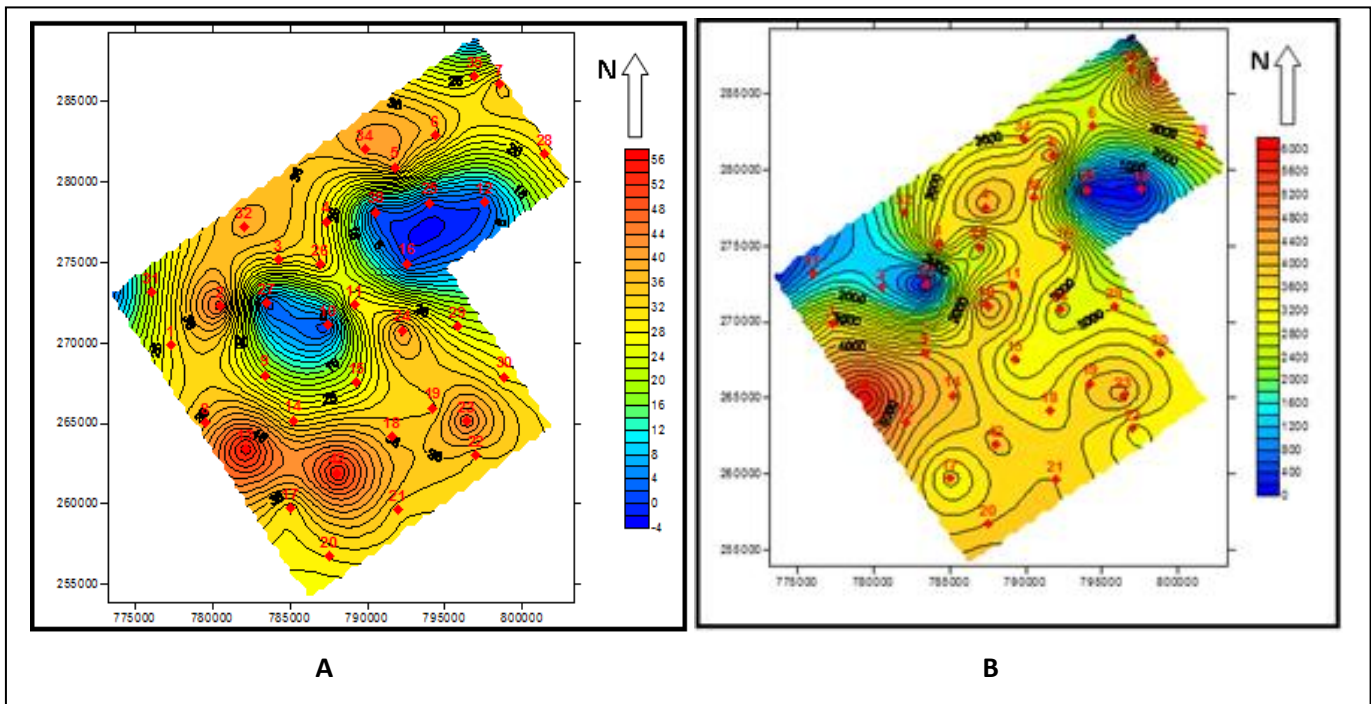


Figure 32: Cartes d'iso-épaisseur (A) et d'iso-vitesse (B) de la couche 3

➤ **Interprétation des cartes d'iso-épaisseur**

En comparant les cartes d'iso-épaisseur des trois couches ci-dessus, on constate que :

- ✓ La couche 1 se caractérise par des épaisseurs plus ou moins faibles (2 à 9 mètres) à l'exception de la partie NW (Fig.30-A-).
- ✓ Dans La couche 2, les épaisseurs augmentent généralement dans la partie Nord du secteur (Fig.31-A-).
- ✓ La couche 3 est marquée par des épaisseurs plus importantes par rapport aux couches sus-jacentes. Cependant, dans la partie centrale, on note l'absence de la couche 3, ce qui peut être expliqué par le fait que la couche consolidée (substratum) apparait à des profondeurs inférieures à 72 mètres de la surface du sol (Fig.32-A-).

➤ **Interprétation des cartes d'iso-vitesse**

En faisant une comparaison entre les trois cartes d'iso-vitesse, on remarque que la vitesse s'accroît depuis la couche 1 (dominance de la couleur bleu) (Fig.30-B-) jusqu'à la couche 3 (dominance de la couleur rouge) (Fig.32-B-). où la profondeur augmente et l'altération devient de moins en moins faible.

### III.3 Profils de corrélations vitesse-lithologie

La réalisation des logs stratigraphiques ainsi que la courbe de variation des différentes vitesses et leurs corrélations est faite par un logiciel d'interprétation sismique appelé « Pétrel ». Par conséquent, on a pu réaliser plusieurs profils suivant deux directions générales NW-SE et NE-SW.

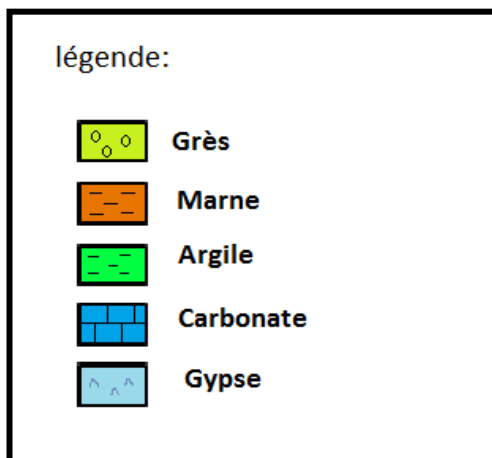
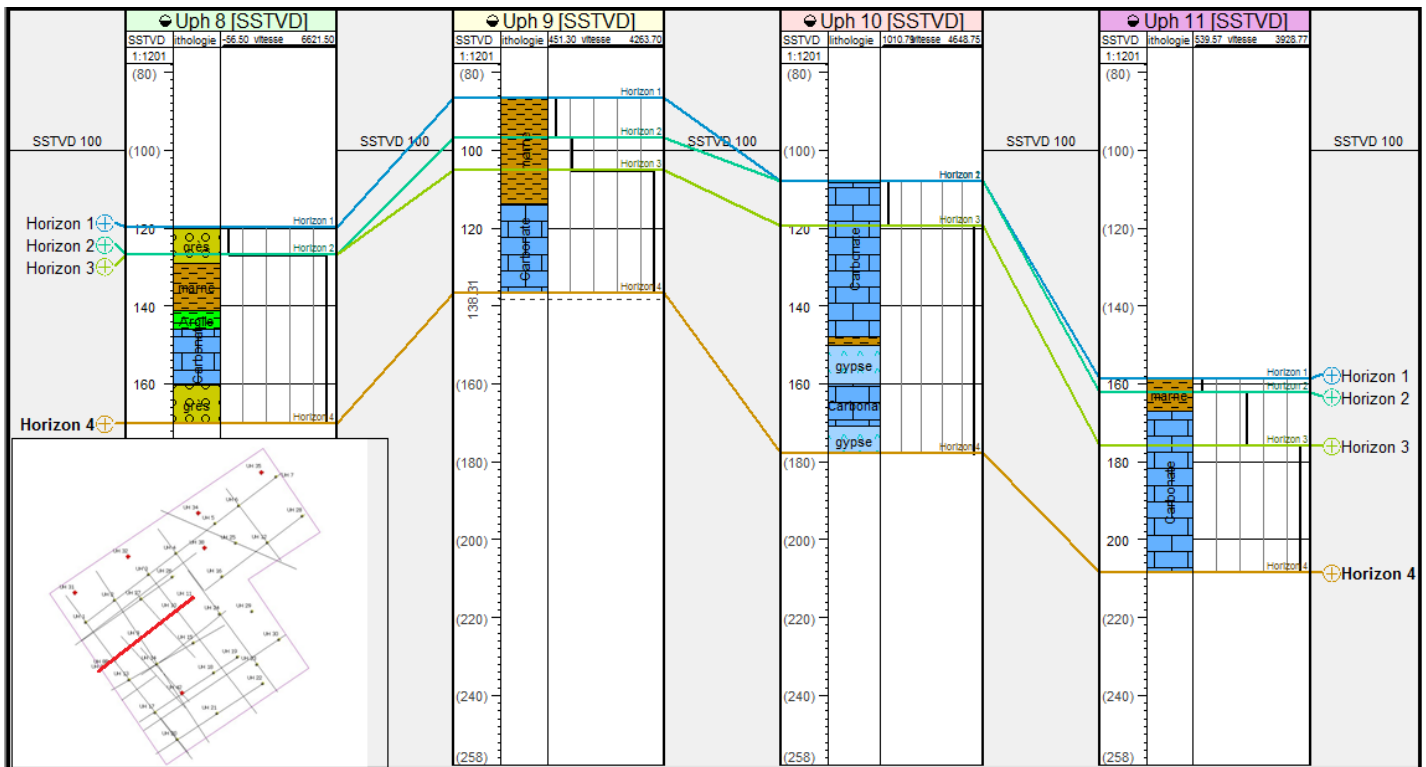


Figure 33: Profil n°1 orienté NE-SW



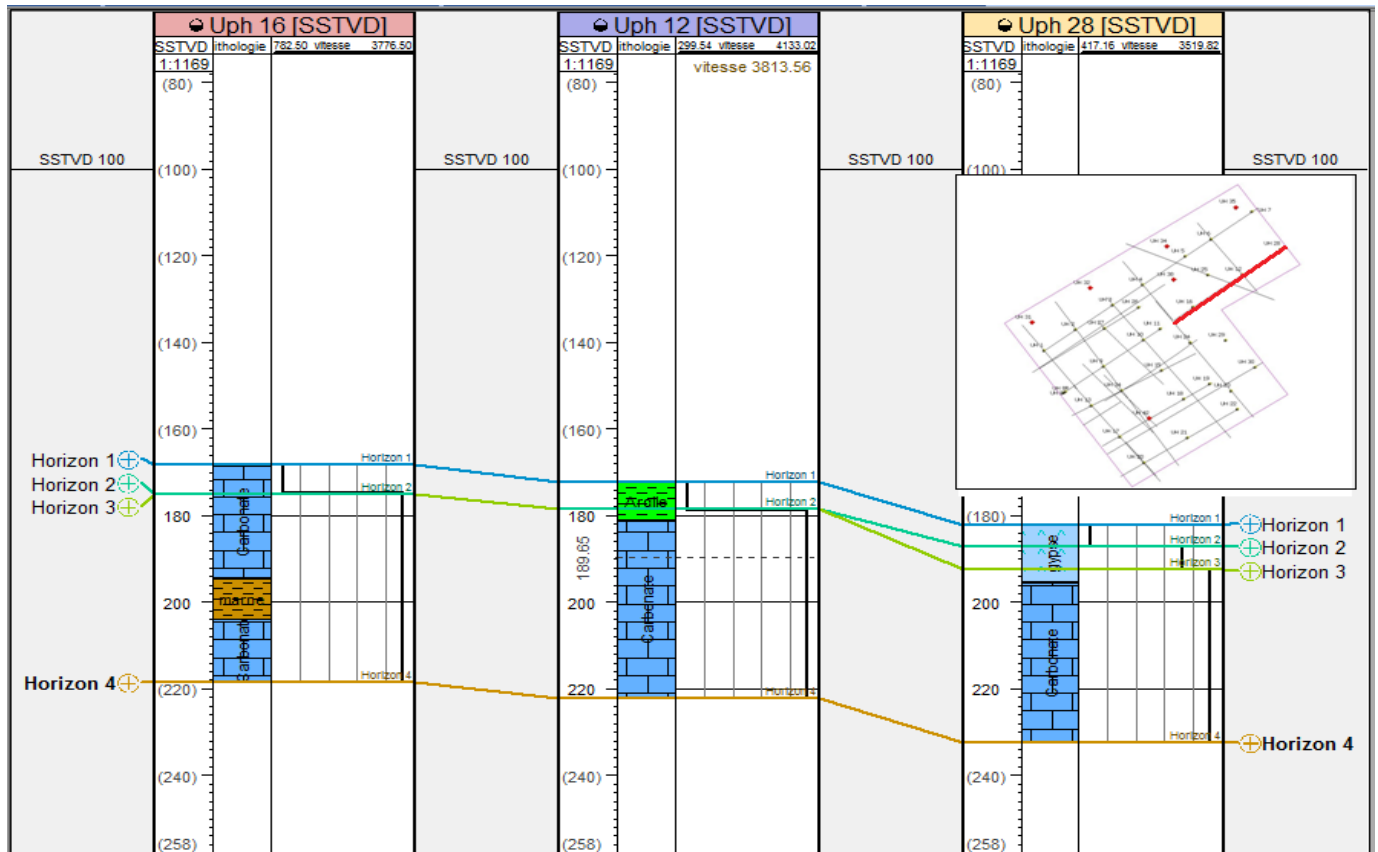


Figure 34: Profil 2 orienté NE-SW

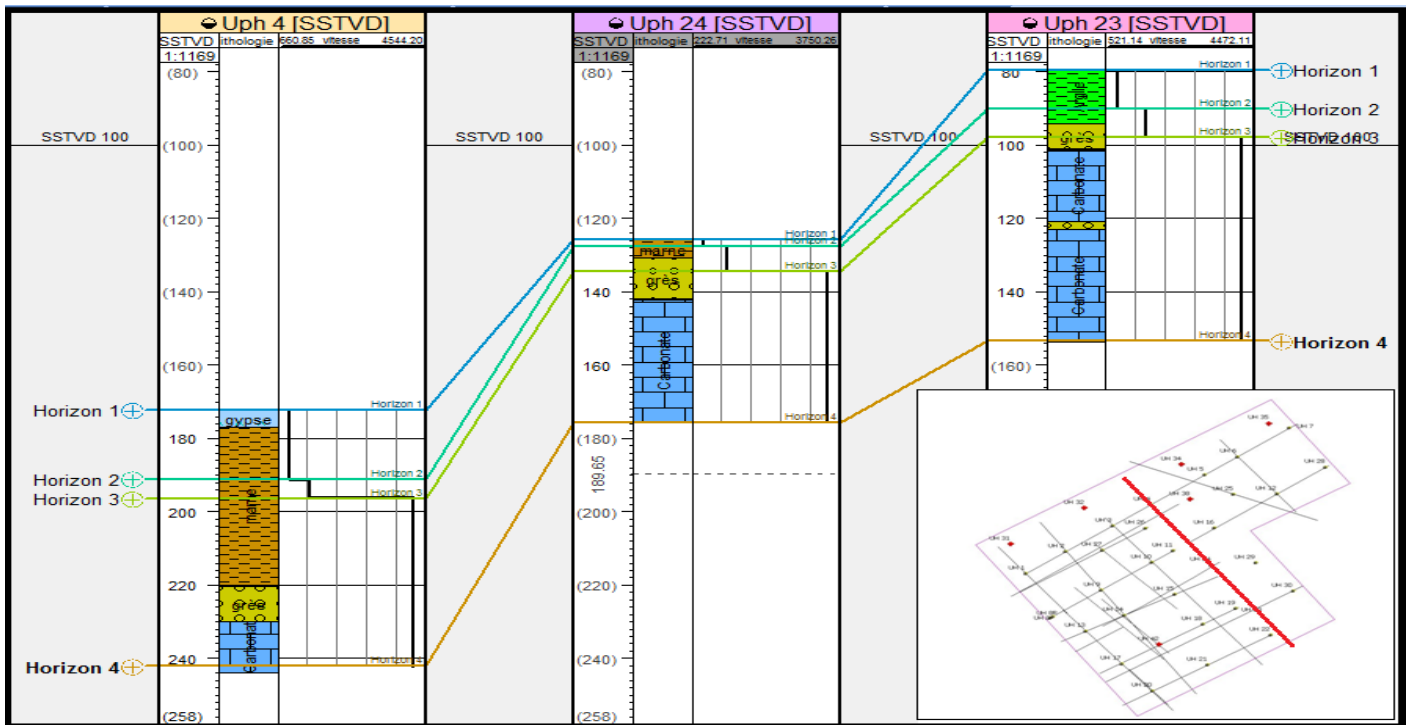


Figure 35: Profil 3 orienté NW-SE

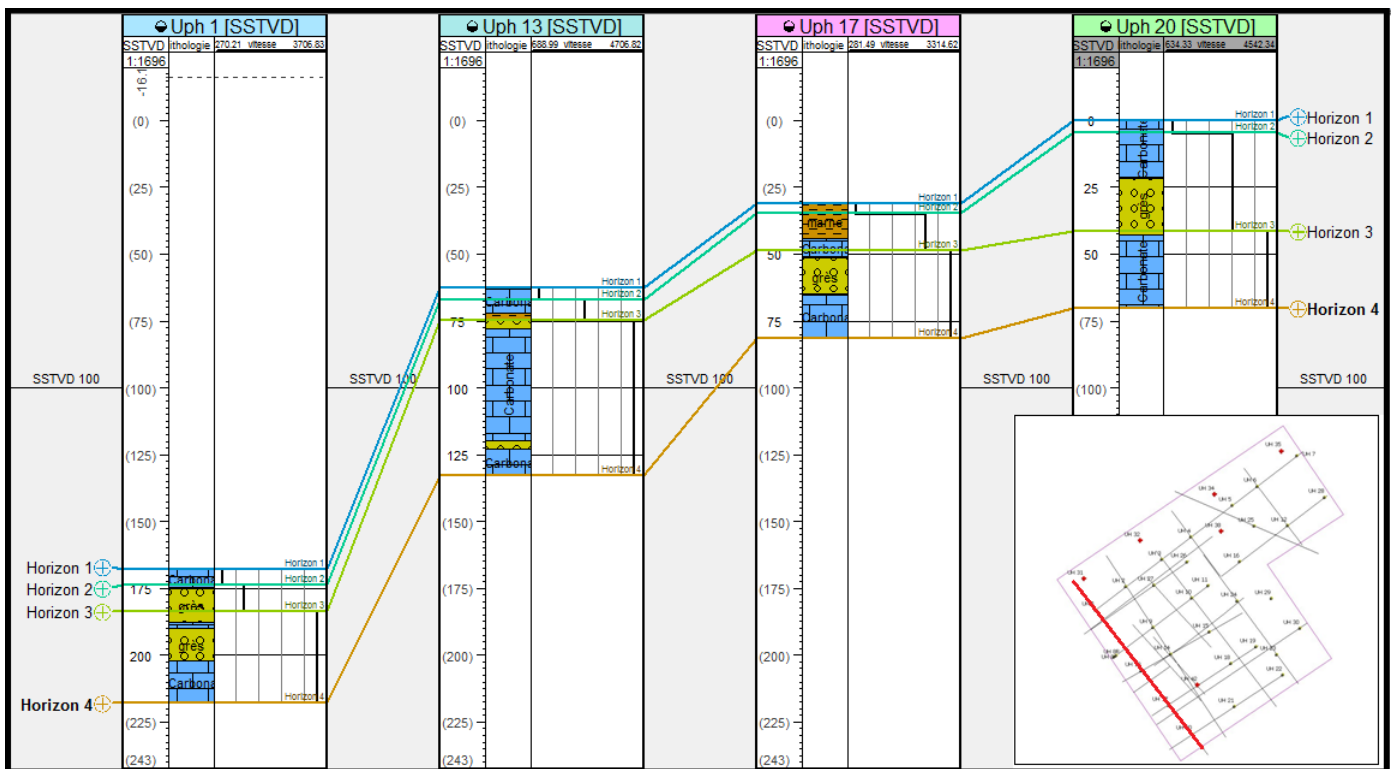


Figure 36: Profil 4 orienté NW-SE

### ➤ Interprétation des profils réalisés

Les faciès observés au niveau des trois couches sont généralement des carbonates, des grès, des marnes et des argiles sableuses.

Les logs des forages des différents upholes permettent de corréler les variations des vitesses au sein de la zone altérée avec les formations géologiques de sub-surface recoupées par les forages. Cette corrélation montre que :

- ✓ Le profil n°1 est caractérisé par la variation des épaisseurs dans les trois couches, ainsi que l'absence de la couche 1 au niveau de l'Uphole 10 et la couche 2 au niveau de l'Uphole 8 (Fig.33).
- ✓ Le profil n°2 se caractérise par l'absence de la couche 2 au niveau des deux Upholes 16 et 12 et par une épaisseur constante au niveau des autres couches ainsi qu'une vitesse croissante avec la profondeur(Fig.34).
- ✓ Au niveau du profil n°3, les couches sont de différentes épaisseurs où les vitesses s'accroissent (Fig.35).
- ✓ Dans le profil n°4, l'épaisseur de la couche 1 reste constante avec une vitesse entre 500m/s à 1000m/s. Alors que la couche 2 devient plus épaisse en allant du NW au SE, avec une vitesse 1500m/s à 2000m/s, finalement la couche 3 est caractérisée par une grande vitesse d'environ 4000m/s (Fig.36).

Ces observations permettent d'expliquer les variations de la vitesse sismique en particulier au niveau de troisième couche où les fortes valeurs de vitesse se superposent aux calcaires marneux plus compactes et où les plus faibles valeurs coïncident avec les marnes et les argiles.

### III.4 Calcul des corrections statiques

Le calcul des corrections statiques consiste à déterminer le temps double de parcours d'une onde sismique d'un plan de référence (Datum Plane) à la base de la zone altérée. En effet, il faut ramener les points de tir et les traces à un niveau de référence du Datum Plane en corrigeant l'altitude et les hétérogénéités de la weathered zone (Fig. 37).

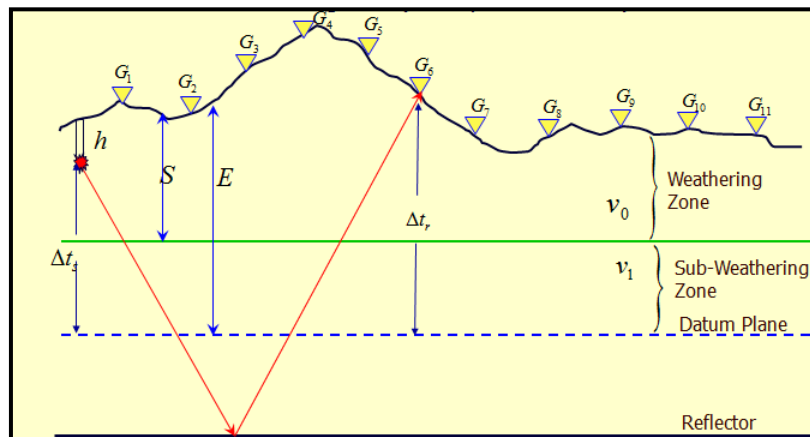


Figure 37 : Paramètres de calcul des corrections statiques

Les paramètres de calcul employés en correction statiques sont :

- L'altitude du plan de référence  $E_d = +400$  mètres,
- Vitesse de correction (ou de comblement):  $V_c = 2500$  m /s, elle est issue des reconnaissances préliminaire,
- Vitesse dans la WZ.

La formule de correction statique est:

$$CS = \sum_i \frac{h_i}{v_i} + (E_d - E_s - \sum_i h_i) / V_c$$

Avec:

$V_i$  et  $h_i$  sont respectivement la vitesse et l'épaisseur de couche  $i$  déduits de la dromochronique;

$E_s$  : Altitude du sismographe obtenue par les levées topographiques.

Dans notre cas la correction de l'altitude des géophones est la même que celle des point vibrés ( $C_s = C_R$ ) puisque l'inter-tir est égale à l'inter-trace.

**Remarque:**

Les valeurs de la correction statique peuvent être positives ou négative selon le positionnement des traces par rapport au plan de référence DP.

La convention de la **Société of Exploration Geophysicists** est :

- Si la correction statique est négative, on la soustrait de la trace, ce qui le raccourcit (ou la fait monter),
- Si la correction statique est positive, elle doit être ajoutée à la trace ce qui l'allonge (ou la fait descendre).

La **CGG** a adopté une convention de signe inverse: une correction statique négative augmente le temps, une correction positive diminue le temps.

Le calcul de la correction statique en appliquant le modèle ci-dessus a permis d'obtenir les résultats suivants. Le modèle de correction statique adopté est celui de la CGG.

Le tableau ci-dessous récapitule les résultats de calcul des corrections statiques obtenues pour les 36 Upholes réalisés.

|        | DP       | 1200 m   |          |          |          |          |         |        |         |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|--------|---------|
|        | Vc       | 2500 m/s |          |          |          |          |         |        |         |
|        | Couche 1 |          | Couche 2 |          | Couche 3 |          |         |        |         |
| Uphole | h1 (m)   | V1 (m/s) | h2(m)    | V2 (m/s) | h3 (m)   | V3 (m/s) | Z(m)    | Σh (m) | Cs (ms) |
| Uph 1  | 5,9      | 556,6    | 15,6     | 1190,84  | 30,1     | 3420,45  | 1360    | 51,6   | 75,86   |
| Uph 2  | 4,7      | 723,08   | 18,9     | 1400     | 48       | 1289     | 1360,6  | 71,6   | 92,84   |
| Uph 3  | 2,5      | 532,61   | 16,6     | 1504,55  | 32,5     | 3669,05  | 1358,43 | 51,6   | 67,32   |
| Uph 4  | 19       | 984,46   | 23,9     | 1493,75  | 28,7     | 4220,59  | 1355,6  | 71,6   | 75,70   |
| Uph 5  | 11       | 1195,65  | 21,5     | 2067,31  | 39,3     | 4051,55  | 1314,79 | 71,8   | 46,50   |
| Uph 6  | 3        | 441,18   | 32       | 1975,31  | 36,9     | 2635,71  | 1363,8  | 71,9   | 73,76   |
| Uph 7  | 6,7      | 1288,46  | 9,2      | 3285,71  | 34,8     | 5194,03  | 1300,42 | 50,7   | 34,59   |
| Uph 8  | 7        | 500      | 7,4      | 804,35   | 37       | 6065,57  | 1408    | 51,4   | 91,94   |
| Uph 9  | 10       | 769,23   | 18,7     | 1280     | 22,1     | 3946,43  | 1441,2  | 50,8   | 109,37  |
| Uph 10 | 11,3     | 1313,95  | 59,1     | 4345,59  | 0        | 0        | 1419,8  | 70,4   | 81,96   |
| Uph 11 | 3,7      | 822,22   | 17,2     | 2123,46  | 29,9     | 3646,34  | 1369,4  | 50,8   | 68,24   |
| Uph 12 | 6,5      | 619,05   | 45       | 3813,56  | 0        | 0        | 1355,71 | 51,5   | 63,98   |
| Uph 13 | 4,3      | 1023,81  | 12,3     | 2617,02  | 56,4     | 4372,09  | 1465,1  | 73     | 98,64   |
| Uph 14 | 2,7      | 519,23   | 17,8     | 2282,05  | 31,4     | 4077,92  | 1466,2  | 51,9   | 106,42  |
| Uph 15 | 3,6      | 857,14   | 13,1     | 1452,22  | 24,6     | 2960     | 1424,9  | 41,3   | 94,97   |
| Uph 16 | 6,3      | 1032,79  | 45,5     | 3527,13  | 0        | 0        | 1359,43 | 51,8   | 62,05   |
| Uph 17 | 3,9      | 534,25   | 17,4     | 2383,56  | 29,7     | 3061,86  | 1496,8  | 51     | 122,62  |
| Uph 18 | 4,1      | 1051,28  | 12       | 1967,21  | 35,3     | 3460,78  | 1470,5  | 51,4   | 107,84  |
| Uph 19 | 2,7      | 689,12   | 16       | 2727,89  | 33,3     | 3845,27  | 1458,5  | 52     | 101,04  |
| Uph 20 | 4,8      | 960      | 41,3     | 3014,6   | 25,3     | 4216,67  | 1527,9  | 71,4   | 127,30  |
| Uph 21 | 3,4      | 492,75   | 15,2     | 2375     | 32,7     | 3802,33  | 1495,6  | 51,3   | 119,62  |
| Uph 22 | 3,5      | 795,45   | 13,8     | 2146,19  | 33,8     | 3098,08  | 1493,5  | 51,1   | 118,70  |
| Uph 23 | 10,8     | 850,39   | 18,3     | 1591,3   | 46,4     | 4142,86  | 1448,6  | 75,5   | 104,64  |
| Uph 24 | 1,9      | 516,67   | 8,8      | 1061,45  | 41,1     | 3456,3   | 1402,3  | 51,8   | 84,06   |
| Uph 25 | 7,3      | 1780,49  | 64       | 2700,42  | 0        | 0        | 1344,73 | 71,3   | 57,17   |
| Uph 26 | 22,5     | 1190,48  | 18,7     | 5500     | 32,4     | 2551,18  | 1355,4  | 73,6   | 67,72   |
| Uph 27 | 16,5     | 1231,34  | 54,7     | 2367,97  | 0        | 0        | 1354,3  | 71,2   | 69,74   |
| Uph 28 | 4,7      | 675,71   | 10,1     | 2650     | 36,2     | 3261,26  | 1345,62 | 51     | 59,71   |
| Uph 29 | 10,2     | 1186,05  | 36,5     | 1921,05  | 24,6     | 2963,86  | 1378,5  | 71,3   | 78,78   |
| Uph 30 | 6,1      | 835,62   | 16,1     | 1850,57  | 29,5     | 3288,89  | 1411,8  | 51,7   | 89,01   |
| Uph 31 | 28,6     | 1032,49  | 53,5     | 1771,52  | 0        | 0        | 1320,24 | 82,1   | 73,16   |
| Uph 32 | 13,7     | 901,32   | 18,6     | 1617,39  | 39,2     | 2292,4   | 1306,04 | 71,5   | 57,62   |
| Uph 34 | 10,2     | 1186,05  | 20,9     | 1741,67  | 40,9     | 3029,63  | 1302,88 | 72     | 46,45   |
| Uph 35 | 10,6     | 972,48   | 60,8     | 4571,43  | 0        | 0        | 1294,51 | 71,4   | 33,44   |
| Uph 38 | 33,1     | 2546,15  | 39,6     | 3413,79  | 0        | 0        | 1390,2  | 72,7   | 71,60   |
| Uph 42 | 6,6      | 709,68   | 9,8      | 1921,57  | 55,1     | 3880,28  | 1518,53 | 71,5   | 127,41  |

Le résultat des corrections statiques obtenues par la méthode des Upholes a relevé des valeurs importantes ( $C_s$  allant de 33,44 ms à 127,41ms). Ces valeurs sont introduites au niveau du logiciel de traitement sismique qui applique ces corrections statiques aux points de tir et aux récepteurs. L'effet de cette correction est illustré sur les figures 21 et 22 qui présentent respectivement une même section sismique avant et après correction statique(Fig.38). On peut remarquer l'amélioration de la continuité latérale des réflecteurs sur la section corrigée. D'où l'importance d'une bonne caractérisation de la WZ pour toute campagne de sismique réflexion.

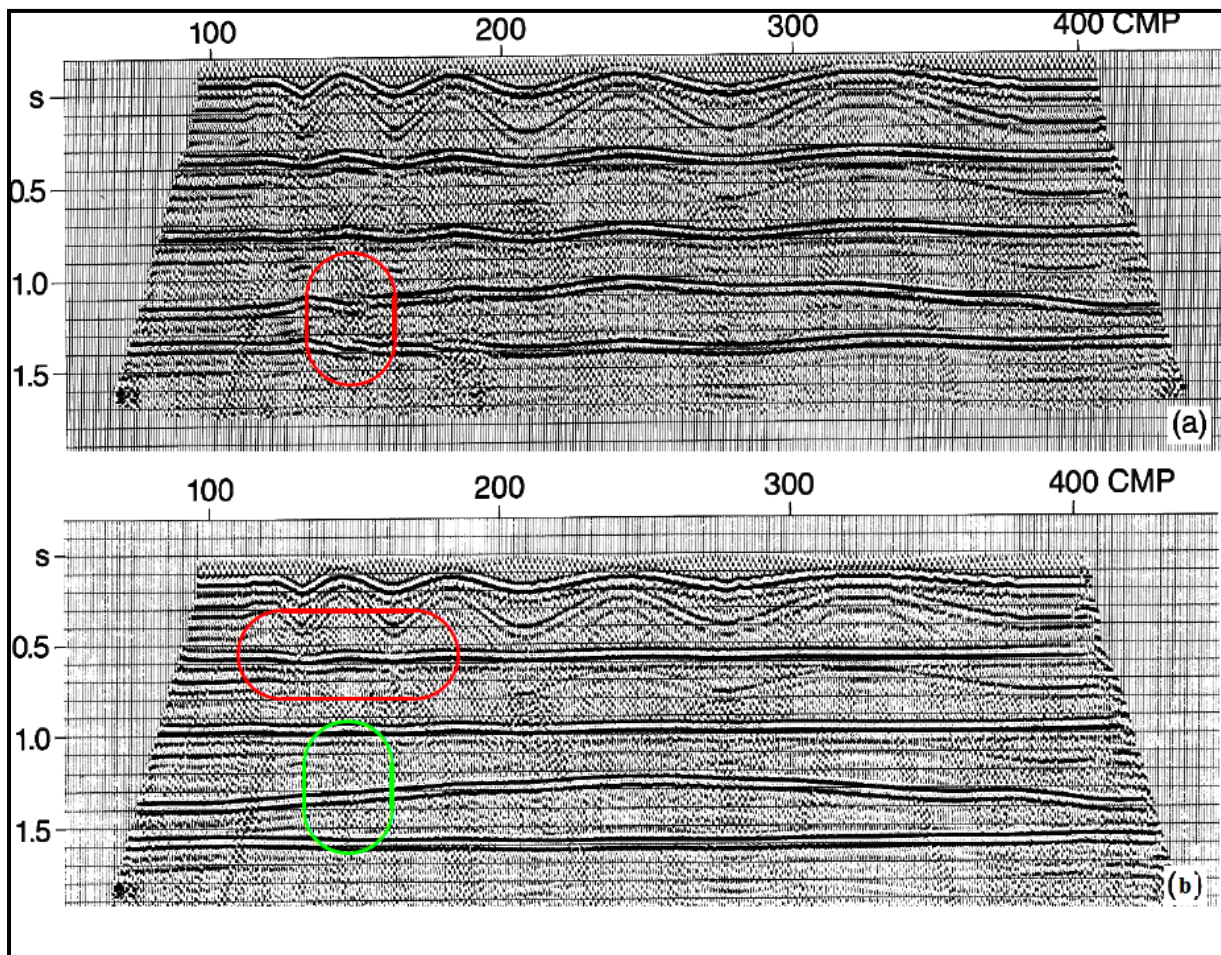


Figure 38 : Section sismique avant (a) et après (b) corrections statiques

## *Conclusion*

- ❖ La sismique est un outil d'investigation du sous-sol extrêmement puissant : la profondeur de pénétration de la sismique réflexion peut atteindre une dizaine de kilomètres avec un pouvoir de résolution très important. Par contre, son coût est relativement élevé par rapport à celui des autres méthodes.
- ❖ Une campagne sismique, comprend généralement deux étapes : l'acquisition des données, le traitement de l'information pour faciliter l'interprétation.
- ❖ La séquence de traitement inclut plusieurs étapes dont la correction statique qui vise à éliminer l'effet des différences d'élévation des points sources et récepteurs ainsi que celui des variations latérales de vitesse et d'épaisseur de la zone altérée qui a d'énormes impacts sur le temps et l'énergie de propagation des ondes sismique dans le sous-sol.
- ❖ Les corrections statiques s'appliquent essentiellement au cas de la sismique terrestre, où elles permettent de corriger les effets de la topographie et des couches superficielles du sous-sol, souvent très hétérogènes qui constituent la zone altérée.
- ❖ L'étude de la zone altérée de la zone de Tandrara par l'emploi des données Upholes a révélé la présence d'une couche superficielle d'épaisseur variable dépassant localement les 60 mètres.



## *Bibliographie*

**YILMAZ.O**, Sismic data processing ,p.20-21.

**GEOSCIENCE TRAINING CENTER (CGG) :** Initiation à la prospection sismique terrestre, Land acquisition 2D and 3D Geometry, France,p.22-23

**Rapport d'activité de l'ONHYM 2010-** permis d'exploration et des autorisations de reconnaissance, p.28.

**Final report MPE TENDRARA -3D CCG CREW, January 2004**, p.40-42.

**A.EL IMRANI -2008- Rapport de stage de titularisation**, p.15-19.

**J. ABDERBI & D. KHATTACH-201:** Structure des hauts plateaux (Maroc oriental).

**Hollard. (1967),Izart.( 1990),Vakartchouk.(1981), Choubert** –Serie stratigraphique de la zone de Tendrara, p.37-38.

**MARI J.L., GLANGEAUD F. et COPPENS F. (2004)) et (FLECHE JC. (1992):** Traitement sismique,p.25-27.

**[www.onhym.com](http://www.onhym.com)**

**[www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)**