

UNIVERSITE CADI AYYAD

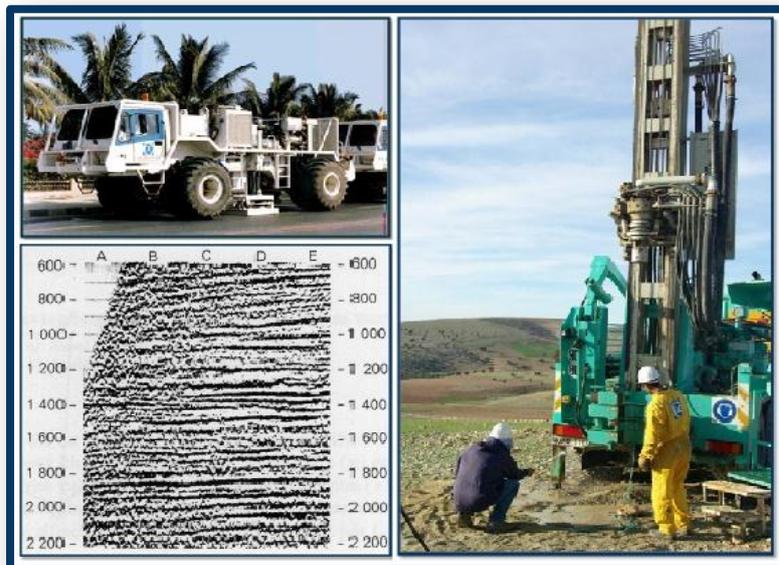
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES GUELIZ MARRAKECH

Licence Sciences et Techniques

Géologie Appliquée aux Ressources Minières

Equipe de recherche « Génie Civil & Géo-Ingénierie »

**Etude de la zone altérée de la région de Meskala  
(bassin d'Essaouira) par les méthodes de carottage  
sismique (Uphole) et de la petite sismique**



Réalisé par :

Mlle. Hanane BAKBOUCH

Mlle. Karima SEKKAOUI

Encadré par :

Mme A. EL IMRANI

Mr M. JAFFAL

Soutenu le 28 Juin devant le jury :

Mr A. TOUIL

Mr A.HAFID

Mr M. JAFFAL

## **Dédicace**

Nous nous trouvons obligées de rendre hommage à toutes les personnes ayant contribué à l'élaboration de ce modeste rapport, et qui nous ont fournis tous leurs efforts et leurs soutiens, pour que nous avançons en pas sûrs pendant toute l'année, et aussi tout au long de notre période de stage.

Nous tenons très fort à dédier ce travail à notre famille, et spécialement à nos parents qui n'ont pas cessé de nous orienter et nous conseiller pour que nous prenions le bon chemin.

Nous tenons à le dédier aussi à tous les responsables du stage, nos formateurs et les personnels de la DGP/DEP.

Et finalement, nous ne serions que fières d'exprimer notre gratitude envers nos amis qui n'ont hésité à aucun moment à être à nos côtés pour nous apporter toute l'aide nécessaire.

## Remerciement

En gratitude et témoignage de notre profonde reconnaissance, nous tenons à remercier tous ceux qui ont participé de près ou de loin au bon déroulement de notre stage au sein de l'ONHYM et plus précisément dans la division géophysique pétrolière(DGP).

Nous profitons cette occasion pour adresser nos vifs remerciements et notre sincère gratitude précisément à **Mr. DAKKI** (Chef de la Division Géophysique Pétrolière), **Mme. JEMJAMI** (Chef de département Acquisition et Traitement) et **Mme. ESSALLOUMI** (Chef de service Traitement) qui nous ont permis de passer notre stage au sein de leur division

Nos respects s'adressent à **Mme. EL IMRANI** notre encadrante pour son support et son écoute durant la période de stage, et avec qui nous avons eu la plus grande chance de travailler.

Un grand merci à notre encadrant de Faculté des sciences et technique à Marrakech **Mr. Mohamed JAFFAL**, de nous avoir encadré durant notre stage et d'avoir orienté notre travail de rédaction du rapport du stage, nous le remercions aussi pour sa disponibilité.

Nous adressons nos plus sincères remerciements à **Mr. Brahim IGMOLAN** (chef de département des sciences et de vie) et **Mme. Aicha REDDAD** (responsable de LST-GARM), ainsi que tout le corps enseignant de la FST.

# Sommaire

|                   |   |
|-------------------|---|
| Introduction..... | 8 |
|-------------------|---|

## Première partie : Généralités

|  |    |
|--|----|
| I-Aperçu sur l'Office National des Hydrocarbures et des Mines (ONHYM).....             | 10 |
| II-Aperçu général sur le bassin d'Essaouira .....                                      | 11 |
| II-1. Situation géographique .....   | 11 |
| II-2.Historique de l'exploration dans le bassin d'Essaouira .....                      | 12 |
| II-3. Cadre géologique et stratigraphique .....  | 13 |
| II-4. La genèse des hydrocarbures.....   | 17 |
| III-Prospection des hydrocarbures.....   | 19 |
| III-1.Les ondes sismiques .....  | 19 |
| III-2.Sismique réflexion .....   | 20 |
| III-2-1. Principe .....  | 20 |
| III-2-2.Notion d'impédance acoustique :Z.....  | 21 |
| III-2-3. Coefficient de réflexion :CR.....   | 21 |
| III-3. Sismique réfraction .....   | 24 |
| IV- Acquisition sismique .....   | 24 |
| IV-1. Système d'acquisition.....   | 24 |
| IV-1-1. Les Sources sismiques .....  | 24 |
| IV-1-2. Les détecteurs sismiques.....  | 25 |
| IV-1-3. Notion de CDP et de couverture .....   | 26 |
| IV-1-4. Dispositifs d'enregistrement.....  | 28 |
| IV-2. Les types d'acquisition sismique .....   | 29 |
| IV-2-1. Acquisition de la sismique 2D .....  | 29 |
| IV-2-2. Acquisition de la sismique 3D.....   | 30 |
| V- Traitement.....   | 31 |
| V-1. Traitement sur point de tir .....   | 31 |
| V-2. Traitement sur points CDP : Il se subdivise en deux phases : .....                | 33 |
| V-2-1. Traitement pré-Stack : (traitement multiple sur PRST-CDP avant sommation):..... | 33 |
| V-2-2. Traitement post-stack : (traitement sur des sections).....                      | 36 |

## **Deuxième partie : Etude de la zone altérée en utilisant les méthodes de carottage sismique (Upholes) et de la petite réfraction**

|  |    |
|--|----|
| I- Introduction .....  | 38 |
| II- Etude de la couche altérée .....   | 38 |
| II-1. La méthode du carottage « Uphole » .....   | 38 |
| II-2. La méthode de la petite réfraction .....   | 39 |
| II-3. Mode de calcul de la correction statique .....   | 42 |
| III- Application de la correction statique par « Upholes » et sismique réfraction à la région de Meskala (Bassin d'Essaouira)..... | 44 |
| III-1. Situation géographique de la zone d'étude .....   | 44 |
| III-2. La méthode du carottage sismique «Upholes » .....   | 45 |
| III-2-1. Mise en œuvre sur le terrain .....  | 45 |
| III-2-2. Analyse des données de carottage sismique .....   | 47 |
| III-2-3. Interprétation des cartes d'iso-vitesses .....  | 50 |
| III-2-4. Calcul des corrections statiques : .....  | 53 |
| III-3. Méthode de la petite réfraction : .....   | 57 |
| III-3-1. Analyse des dromochroniques de la petite réfraction .....   | 57 |
| III-3-2. Présentation des résultats sous forme de cartes iso-vitesses.....   | 61 |
| III-4. Comparaison des résultats des corrections statiques des deux méthodes : .....   | 65 |
| III-5. Application des corrections statiques sur les données sismiques :.....  | 65 |
| Conclusion .....   | 67 |
| Bibliographie .....  | 69 |

## Liste des figures

|  |    |
|--|----|
| Figure 1: Organigramme de l'ONHYM.....   | 10 |
| Figure 2: Situation géographique du bassin d'ESSAOUIRA.....  | 12 |
| Figure 3: Carte géologique simplifiée des bassins d'Essaouira-Abda et de Doukkala.....   | 14 |
| Figure 4: Colonne lithostratigraphique synthétique du bassin d'Essaouira (D'après Broughton et Trépanier, 1993). .....               | 15 |
| Figure 5: Carte structurale simplifiée du bassin d'Essaouira. ....   | 16 |
| Figure 6: Processus de formation des hydrocarbures.....  | 19 |
| Figure 7: Propagation d'onde sismique suivant la loi d'optique de Snell/Descartes. ....  | 20 |
| Figure 8: les différents hodochrones. ....   | 23 |
| Figure 9: Camion vibreur .....   | 25 |
| Figure 10: Airgun ou canon à air.....  | 25 |
| Figure 11: Géophone. ....  | 25 |
| Figure 12: Hydrophone. ....  | 25 |
| Figure 13: Dispositif d'acquisition en sismique marine. ....   | 26 |
| Figure 14: Dispositif d'acquisition en sismique terrestre. ....  | 26 |
| Figure 15: le plan miroir et CDP. ....   | 27 |
| Figure 16: Couverture simple. ....   | 27 |
| Figure 17: Couverture multiple. ....   | 28 |
| Figure 18: Acquisition sismique terrestre 2D. ....   | 29 |
| Figure 19: Acquisition sismique terrestre 3D. ....   | 30 |
| Figure 20: Point shot après édition d'une trace mauvaise. ....   | 32 |
| Figure 21: Application du GAIN sur le point shot. ....   | 32 |
| Figure 22: Déconvolution. ....   | 33 |
| Figure 23: Tir avant et après l'application de NMO.....  | 34 |
| Figure 24: Application du MUTE après NMO et élimination de l'effet stretching. ....  | 35 |
| Figure 25: Atténuation des réflexions multiples.....   | 35 |
| Figure 26: Dromochronique d'un carottage sismique (Uphole).....  | 39 |
| Figure 27: Dromochronique en sismique réfraction.....  | 40 |
| Figure 28: Paramètres nécessaires à connaître pour le calcul de la correction statique totale à appliquer pour une trace donnée..... | 43 |
| Figure 29: Situation géographique de la zone d'étude.....  | 44 |
| Figure 30: Carte de localisation des carottages sismiques.....   | 46 |
| Figure 31: Dispositif de mise en œuvre d'un carottage sismique. ....   | 47 |

|  |    |
|--|----|
| Figure 32: Graphe temps-profondeur du carottage UH03. ....   | 48 |
| Figure 33: Carte d'iso-vitesses de la couche 1 (m/s). ....   | 50 |
| Figure 34: Carte d'iso-vitesses de la couche 2 (m/s). ....   | 51 |
| Figure 35: Carte d'iso-vitesses de la couche 3 (m/s). ....   | 52 |
| Figure 36: Représentation 3D de la zone altérée. ....  | 56 |
| Figure 37: Carte du programme sismique 3D (2007) et des profils sismiques 2D (1984). ....                  | 57 |
| Figure 38: Dromochronique de la sismique réfraction obtenue pour le profil ES365 au point de tir 155. .... | 58 |
| Figure 39: Carte d'iso-vitesses de la couche 1. ....   | 61 |
| Figure 40: Carte d'iso-vitesses de la couche 2. ....   | 62 |
| Figure 41: Carte d'iso-vitesses de la couche 3. ....   | 63 |
| Figure 42: Représentation 3D de la zone altérée. ....  | 64 |
| Figure 43: La section sismique avant les corrections statiques. ....                                       | 66 |
| Figure 44: La section sismique après les corrections statiques. ....                                       | 66 |

## Introduction

La prospection pétrolière sert à explorer le sous-sol dans le but de la découverte des zones de piégeage des hydrocarbures. Dans ce cadre, d'importantes méthodes géophysiques sont mises en œuvre : la sismique réflexion à couverture multiple est la plus utilisée actuellement en acquisition des données de terrain. Cette méthode fournit une échographie du sous-sol en deux ou trois dimensions selon la mise en œuvre de chacune sur le terrain. La première étant le profilage sismique dont l'axe des x représente la distance horizontale et l'axe vertical (y) correspond au temps double (TWT) d'enregistrement des signaux sismiques. La seconde technique permet d'illustrer la zone investiguée sous forme d'un bloc en trois dimensions, constitué d'une maille de surface définie par deux axes horizontaux (x et y) et d'un axe vertical représentant le temps double.

L'exploration pétrolière est étroitement liée à la sismique réflexion. Celle-ci se déroule selon trois phases importantes, de l'amont vers l'aval, on distingue :

- ❖ L'acquisition sur le terrain des données sismiques basée sur la mise en œuvre de dispositifs d'émission, de réception et d'enregistrement de signaux sismiques.
- ❖ Le traitement sismique qui permet d'obtenir à partir des données de terrain brutes des sections sismiques utilisables pour analyse et interprétation par des géologues.
- ❖ L'interprétation des résultats qui se base sur l'identification des différents horizons et formations géologiques à partir de la section sismique. L'objectif ultime de cette phase est la mise en évidence des zones d'intérêt pétrolier.

En exploration pétrolière, on fait appel également à la sismique réfraction, comme méthode complémentaire, notamment pour la détermination de la couche altérée (Weathered Zone) afin d'en corriger l'effet sur les sections de sismique réflexion.

Le travail mené dans le cadre du présent stage de fin d'étude a comme principal objectif :

- ❖ 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 et application des corrections statiques à des données sismiques en utilisant deux approches différentes, à savoir : la méthode de carottages sismiques (Uphole) et celle de la petite sismique réfraction (WZ).

**Première partie :**

**Généralités**

## I-Aperçu sur l'Office National des Hydrocarbures et des Mines (ONHYM)

L'Office National des Hydrocarbures et des Mines est un établissement public représentant les intérêts du royaume du Maroc dans le domaine de l'exploration et la production des hydrocarbures, l'extraction et la commercialisation des métaux. Il a aussi pour objectif l'évaluation et la promotion de bassins sédimentaires de notre pays.

L'ONHYM est le fruit de la fusion de l'Office National de Recherches et d'Exploitations Pétrolières (ONAREP) créée en 1981 et du Bureau de Recherche et de Participation Minière (BRPM) dont la création remonte à 1928.

L'organigramme suivant montre la hiérarchie organisationnelle de l'Office :

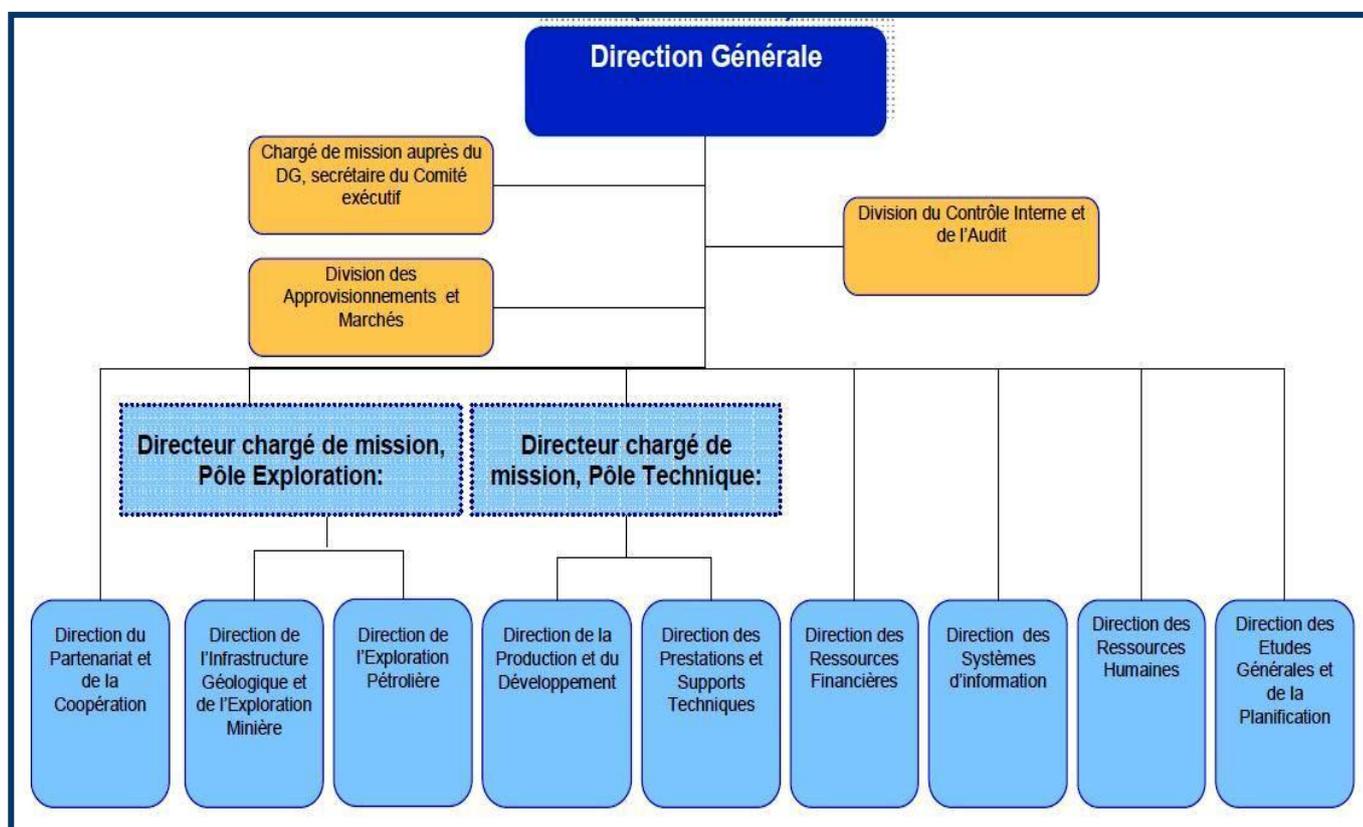


Figure 1: Organigramme de l'ONHYM

Notre stage était au sein de la Division Géophysique Pétrolière (DGP) de la Direction de l'Exploration Pétrolière (DEP).

❖ **Les missions assurées par l'ONHYM sont diverses :**

- Conduire la recherche de l'exploration et de l'exploitation des gisements d'hydrocarbures ou de tout autre combustible, ainsi que des gisements miniers ou toute substance minérale, à l'exclusion des phosphates.
- Promouvoir toute action de nature qui contribue au développement de l'exploration des hydrocarbures et des substances minérales, notamment dans le cadre d'un partenariat avec le secteur privé qui peut intervenir à tous les stades des opérations.
- Elaborer et mettre gratuitement à la disposition de tout opérateur intéressé une documentation et des bases de données suffisamment riches, fiables et accessibles, sur le sous-sol national et sur les dispositifs administratifs, financiers et juridiques en place dans le pays.
- Négocier, avec tous types de partenaires, les termes et les conditions des différents accords d'associations, coopérations ou partenariats conformément aux dispositifs légaux en vigueur.

## **II-Aperçu général sur le bassin d'Essaouira**

### **II-1. Situation géographique**

Situé à environ 70 Km au Sud de la ville d'Essaouira, la région d'étude, objet de ce travail, fait partie du grand bassin d'Essaouira onshore; élément morpho- structurel du bassin côtier d'El Jadida-Agadir. Géographiquement, ses limites sont au nord le couloir d'Abda qui assure la transition vers le bassin de Doukkala; au Nord-Est, les Jbilettes occidentales ; à l'Est la plaine du Haouz ; au Sud-Est ; le haut Atlas occidental ; au Sud les plateaux de Haha et à l'ouest l'océan Atlantique (Fig. 2).



Figure 2: Situation géographique du bassin d'ESSAOUIRA.

## II-2. Historique de l'exploration dans le bassin d'Essaouira

Le bassin d'Essaouira constitue l'une des zones les plus prometteuses du pays dont le potentiel confirmé en hydrocarbures est le plus important à ce jour. En effet, plusieurs découvertes ont été réalisées sur ce bassin dont celle du gisement de Meskala considéré comme la plus importante découverte faite jusqu'à présent au Maroc. (N.ESSALLOUMI, Retraitement sismique sur la région d'Essaouira avec essai d'application de DMO).

Le tableau suivant montre la succession des différentes phases d'exploration pétrolière dans le bassin d'Essaouira:

| Date    | Responsable | travaux   |
|---------|-------------|---|
| 1955    | S.C.P       | Travaux géologiques, géophysiques et de forage.                     |
| 1957    | S.C.P       | Découverte de gaz(Argovien) à Kechoula.                             |
| 1967    | S.C.P       | Découverte de gaz à Jeer et d'huile sidi Rhalem                     |
| 1973    | BRPM        | Prise des travaux antérieurs.<br>Reprise des travaux d'exploration. |
| 1975/76 | BRPM        | Découverte de gaz à condensât à TOUKIMT et de gaz à Azote à N'Dark. |
| 1977/78 | BRPM        | Découverte de gaz sous hautes pressions.                            |
| 1981    | ONAREP      | Découverte de gaz à condensât de Meskala.                           |
| 1984    | ONAREP      | Découverte de gaz à condensât de Zelten.                            |
| 1970    | ONAREP      | Travaux d'exploration en off-shore.                                 |
| 2008    | ONHYM       | Acquisition sismique 3D dans la zone de Meskala.                    |

\* S.C.P : Société Chérifienne du Pétrole.

### II-3. Cadre géologique et stratigraphique

- **Stratigraphie**

Les formations fini-paléozoïques, mésozoïques et cénozoïques du bassin d'Essaouira sont classiquement décrites par l'assemblage de deux super-séquences tectono-stratigraphiques (Heyman 1989, Medina 1995). (Fig. 3 et 4) :

- ❖ Une super-séquence syn-rift d'âge Permien terminal probable à Jurassique basal. Les formations de cette super-séquence syn-rift comportent des conglomérats, des grès, des argilites, des évaporites et des coulées de basaltes marquant généralement au Maroc la limite Trias–Jurassique. Cette super-séquence comprend 3 séquences tectono-stratigraphiques d'âges respectivement Permien terminal probable à Anisien probable, Carnien (voire Ladinien) – Norien (Slimane & El Mostaine 1997), et Lias basal (Hettangien).

- ❖ Une super-séquence post-rift d'âge Lias supérieur à éocène, est formée de sédiments épicontinentaux carbonatés alternant avec des dépôts fluvio-deltaïques, dont les faciès et les épaisseurs sont contrôlés par les variations eustatiques, la tectonique et l'halocinèse. (Le Roy 1997, Hafid 1999, Mehdi *et al.* 2004).

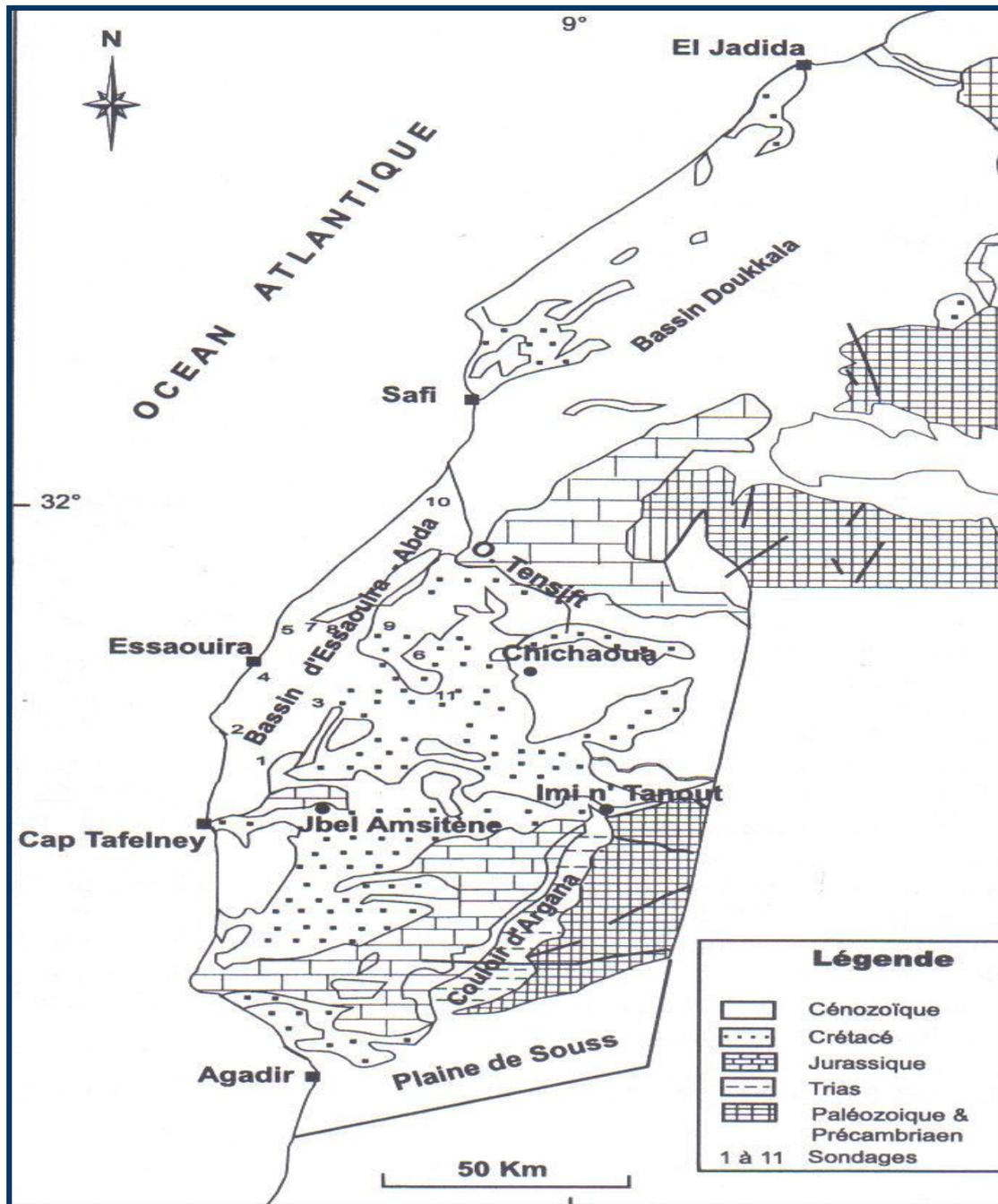


Figure 3: Carte géologique simplifiée des bassins d'Essaouira-Abda et de Doukkala. (d'après Duffaud et al, adapté).

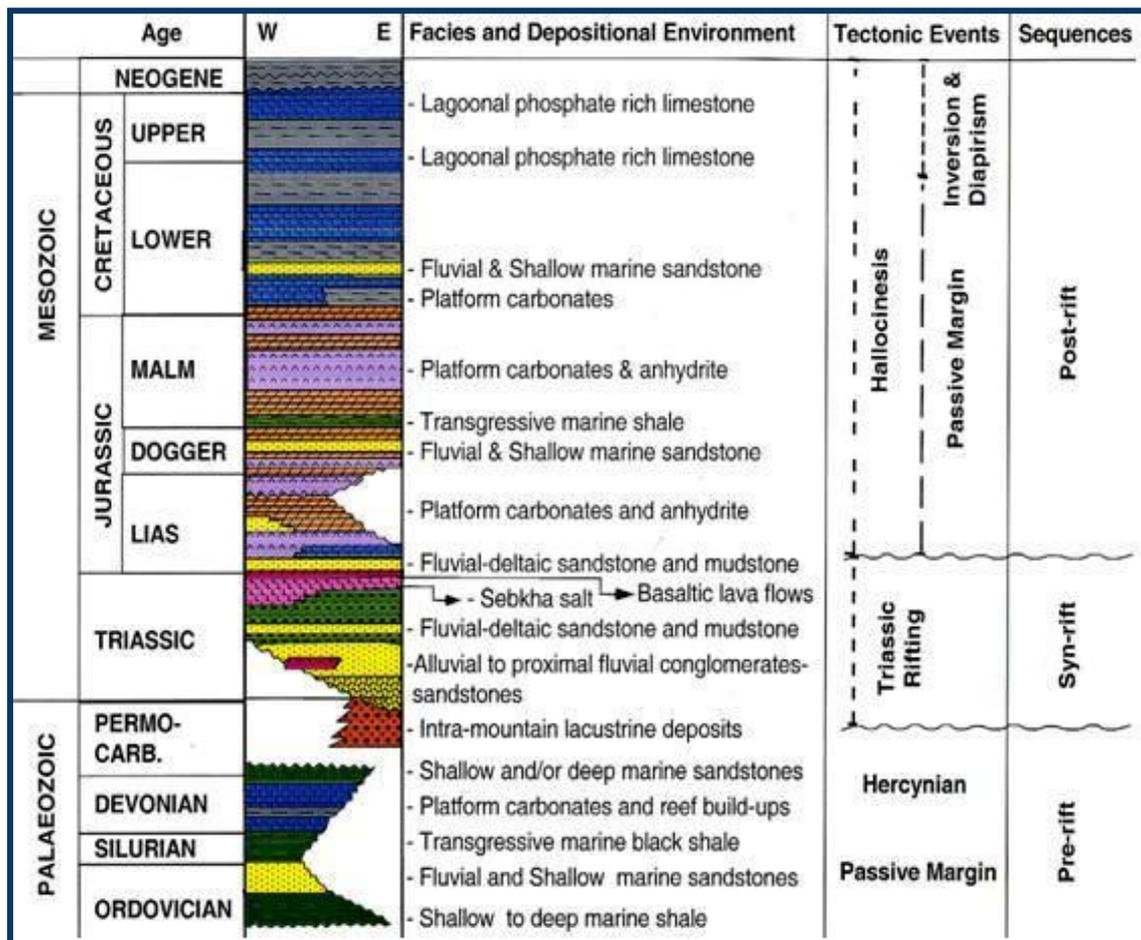


Figure 4: Colonne lithostratigraphique synthétique du bassin d'Essaouira (D'après Broughton et Trépanier, 1993).

- **Structure**

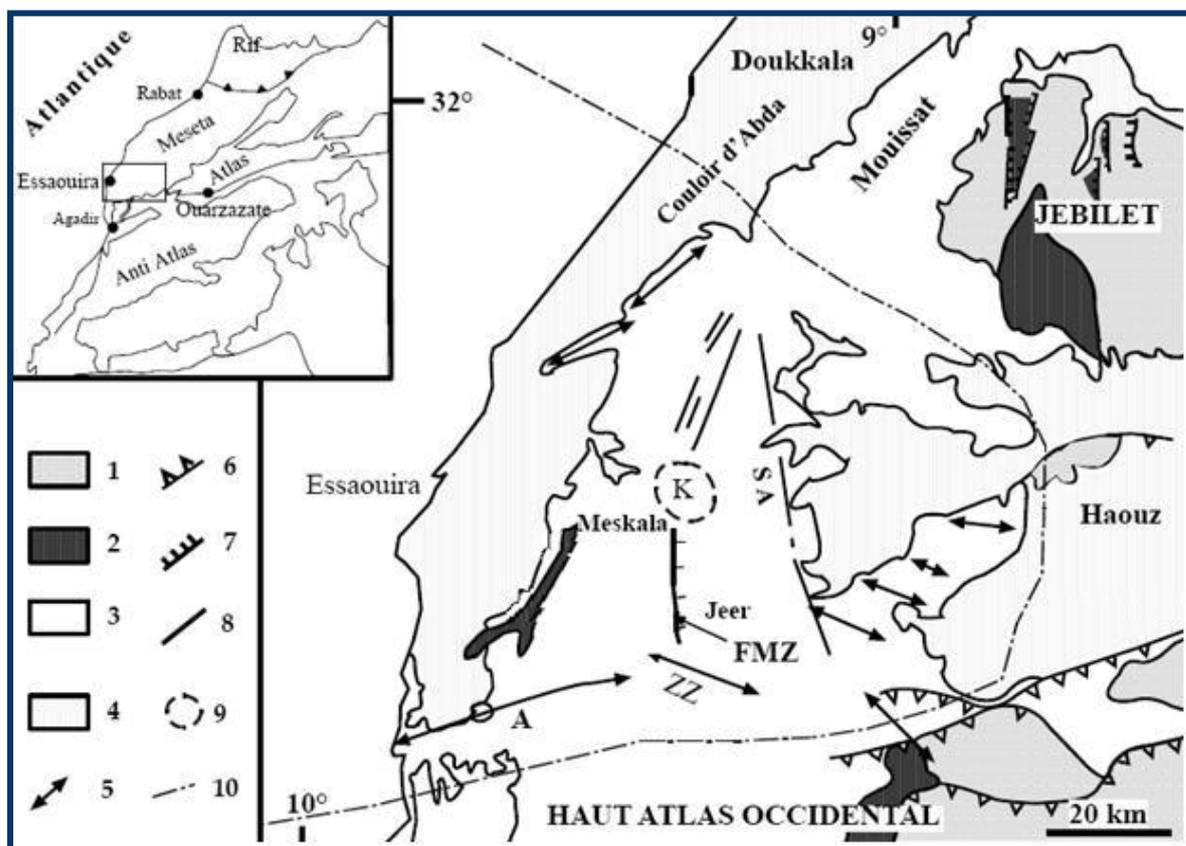
Le bassin d'Essaouira est actuellement un large synclinorium, se prolongeant dans le domaine offshore, dans lequel les formations mésozoïques et cénozoïques sont modérément déformées par la tectonique compressive tertiaire et l'halocinèse méso-cénozoïque. Les principales structures sont des diapirs circulaires, des plis de direction NE-SW à WNW-ESE, et des failles décrochantes de direction NNW-SSE à ENE-WSW (Fig. 5) (R. Bouatmani et al. – Subsidence et évolution thermique du bassin d'Essaouira, 2007, p: 17 et 18).

La séquence syn-rift est affectée de failles normales de direction N-S et E-W. Deux grandes zones peuvent être différenciées de part et d'autre du horst de Meskala – Zelten: la zone de Jeer à l'Est, caractérisée par des failles héritées de direction N-S et à pendage vers l'Est ; et la zone d'Essaouira à l'Ouest, caractérisée par des failles néoformées à pendage prédominant vers l'ouest.

La séquence post-rift montre une structure plus simple en anticlinaux et synclinaux de direction variable WNW-ESE ou NNE-SSW, développés parfois sur des coussins diapiriques

avec parfois des failles normales synsédimentaires comme celles de Tarhzout–Ihchech, de direction ENE-WSW.

Dans la partie offshore du bassin, la structure est beaucoup plus complexe en raison de la tectonique salifère.



**Figure 5: Carte structurale simplifiée du bassin d'Essaouira. 1, socle paléozoïque ; 2, Permien terminal et Trias ; 3, Jurassique et Crétacé ; 4, Pliocène et Quaternaire ; 5, axe anticlinal; 6, faille inverse; 7, faille normale; 8, décrochement/faille indéterminée ; 9, diapir; 10, limite du bassin d'ESSAOUIRA. FMZ, faille de Meskala-Zelten.**

- **Evolution tectono-sédimentaire du bassin**

Le bassin a été édifié au Trias, à l'occasion du rift atlantique, sur le domaine structural hercynien de la meseta côtière, qui était le domaine de plateforme du bassin épicontinental au Paléozoïque anté Dévonien Supérieur, puis l'avant pays de la chaîne plissée hercynienne au Dévonien Supérieur et au Carbonifère (R. Bouatmani et al. –Subsidence et évolution thermique du bassin d'Essaouira, 2007, P: 18, modifié).

Il a constitué pendant le Cénozoïque le bassin d'avant fausse du versant nord de la chaîne plissée du Haut Atlas occidental.

Les séries sédimentaires ont enregistré les événements géologiques qui sont dans l'ordre chronologique:

- ❖ La distension au Paléozoïque inférieur.
- ❖ La subsidence de la marge passive au Paléozoïque anté Dévonien Supérieur.
- ❖ La compression hercynienne.
- ❖ la distension atlantique au Trias et Lias Inférieur.
- ❖ La subsidence de la marge passive atlantique au Mésozoïque.
- ❖ La tectonique salifère.
- ❖ La compression atlasique au Cénozoïque.

Les pièges structuraux (structures anticlinales, faille en horst et en graben...) et la lithostratigraphie (calcaire du Dévonien, grès de trias, formation gréseuse post doléritique, dolomie du Jurassique supérieur), caractérisant le bassin d'Essaouira, peuvent être considérés comme étant les principaux métallotectes de prospection des hydrocarbures.

#### **II-4. La genèse des hydrocarbures**

La formation des hydrocarbures est un phénomène tout à fait exceptionnel. Les réserves actuelles sont le résultat d'une série de longs processus successifs : accumulation de matière organique, préservation, enfouissement et sédimentation, puis formation de pétrole ou de gaz et migration (Fig.6).

- **Matière organique :**

La matière organique est composée de minuscules fragments d'animaux, plantes et limon qui se mêlent aux sédiments. Pour que la roche en vienne à produire du pétrole, la sédimentation doit être riche en matière organique et soumise à des conditions rapides d'enfouissement pour éviter toute oxydation.

- **Enfouissement :**

Les sédiments (matières organiques) se transforment en gaz, en huile ou en pétrole durant l'enfouissement. Le produit transformé diffère selon la profondeur, la durée du séjour et la température à laquelle la matière organique aura été soumise.

Le tableau suivant montre les différentes transformations de la matière organique selon la profondeur :

|  |   |
|--|---|
| Premiers 1000 mètres   | Formation de gaz naturel biogénique (méthane) issu de la décomposition.             |
| 2000 – 3000 mètres<br>Transformation thermogénique maturation thermique                | La matière organique est transformée en huile (pétrole) avec un peu de gaz naturel. |
| 3000 – 4000 mètres<br>Transformation sous l'action de l'augmentation de la température | On y retrouve du gaz naturel et du condensat.                                       |
| 4000 mètres et plus  | Gaz naturel sec (le plus recherché).  |

- **Roche-mère :**

Riche en matière organique, la roche-mère transforme les sédiments en hydrocarbures. Par ailleurs, à cause de leur faible capacité de rétention, les hydrocarbures cherchent à migrer.

- **Migration :**

L'association du mouvement des sols et de la circulation des fluides dans la roche entraîne une migration des hydrocarbures. Des zones fracturées et perméables ainsi que la présence de failles sont des éléments favorables à la circulation des hydrocarbures vers des roches réservoirs.

- **Piégeage :**

Une fois que les fluides sont concentrés dans un espace, une roche couverture imperméable doit bloquer la migration ascendante du pétrole ou du gaz. Les pièges (charnières d'anticlinaux, dômes de sel, les failles...) conservent les hydrocarbures, où alors les fluides se répartissent verticalement en fonction de leur densité : gaz naturel au sommet suivi de l'huile, puis de l'eau salée à la base.

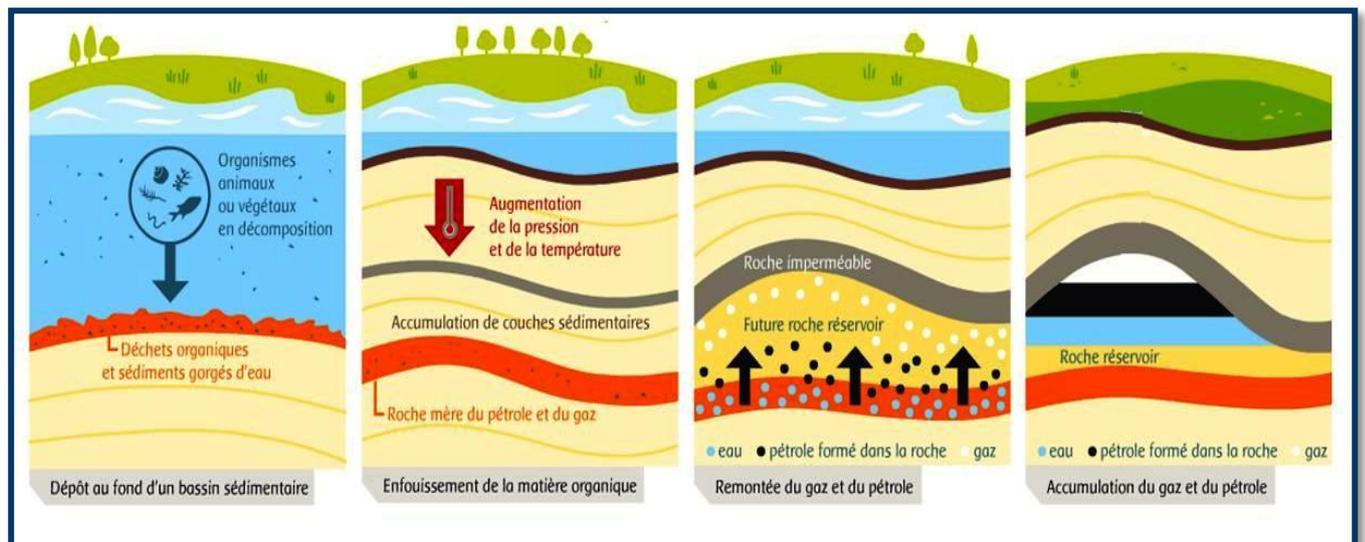


Figure 6: Processus de formation des hydrocarbures (www.marees-noires.com).

### III-Prospection des hydrocarbures

La prospection des hydrocarbures s'appuie sur l'emploi des méthodes sismiques; il s'agit d'un procédé d'investigation du sous-sol fondé sur l'analyse du retour à la surface du sol d'ondes élastiques, émises ou provoquées en un ou plusieurs points de cette surface. L'objectif étant d'identifier les zones de piégeage où s'accumulent les hydrocarbures.

#### III-1.Les ondes sismiques

Les ondes sismiques sont des ondes élastiques qui peuvent traverser un milieu sans le modifier (LAVERGNE M. (1986)). Il s'agit de deux types :

**Les ondes de volume:** elles se propagent à l'intérieur du sol. Leur vitesse de propagation dépend du matériau traversé et augmente généralement avec la profondeur car le matériau traversé devient 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 volumes peuvent être déviées (réfléchies ou réfractées) à chaque changement de milieu, en accord avec la loi de Snell/Descartes (Fig.7):

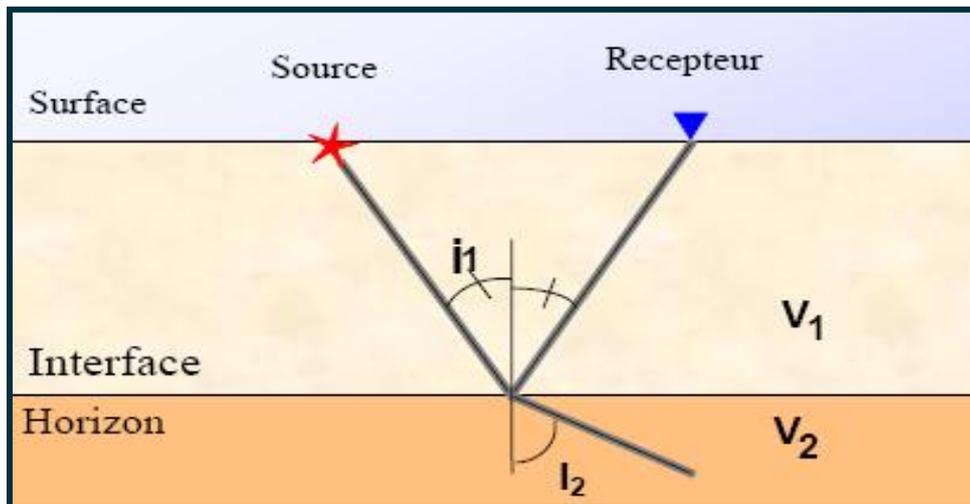
$$\frac{\sin i_2}{V_2} = \frac{\sin i_1}{V_1}$$

Avec:  $V_1$  : Vitesse dans le premier milieu.

$V_2$ : Vitesse dans le second milieu.

$i_1$ : Angle d'incidence.

$i_2$ : Angle de transmission.



**Figure 7: Propagation d'onde sismique suivant la loi d'optique de Snell/Descartes.**

**Les ondes de surface (ondes lentes):** Elles 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.

## III-2.Sismique réflexion

### III-2-1. Principe

Elle consiste à générer une onde acoustique à la surface du sol et d'en mesurer numériquement l'écho à partir d'une série de capteurs sismiques disposés également en

surface. Les réflexions détectées seront causées par des changements de densités et de vitesses de propagation des ondes dans le milieu investigué (LAVERGNE 11-12-13).

### III-2-2. 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( LAVERGNE 25-27). 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 :

$$Z = \rho V$$

Avec :  $\rho$ : la masse volumique du milieu exprimée en Kg/m<sup>3</sup>.

V : vitesse du milieu exprimé en Kg/ m<sup>2</sup> S.

### III-2-3. Coefficient de réflexion :CR

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

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

Avec : CR : coefficient de réflexion.

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

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

### III-2-4. 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.

### III-2-5. Les bruits

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

- ❖ **Les bruits naturels et industriels :** Ils 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.

### III-2-6. 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 (Fig8).

- ❖ **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 milieu 1-milieu 2. Elle est représentée par une droite de pente  $1/V_2$ :

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

Avec : T : Temps de parcours.

p : Profondeur de l'interface.

$V_1$  : Vitesse du milieu 1.

$i_c$  : Angle critique

X : Distance émetteur-récepteur.

$V_2$  : Vitesse du milieu 2.

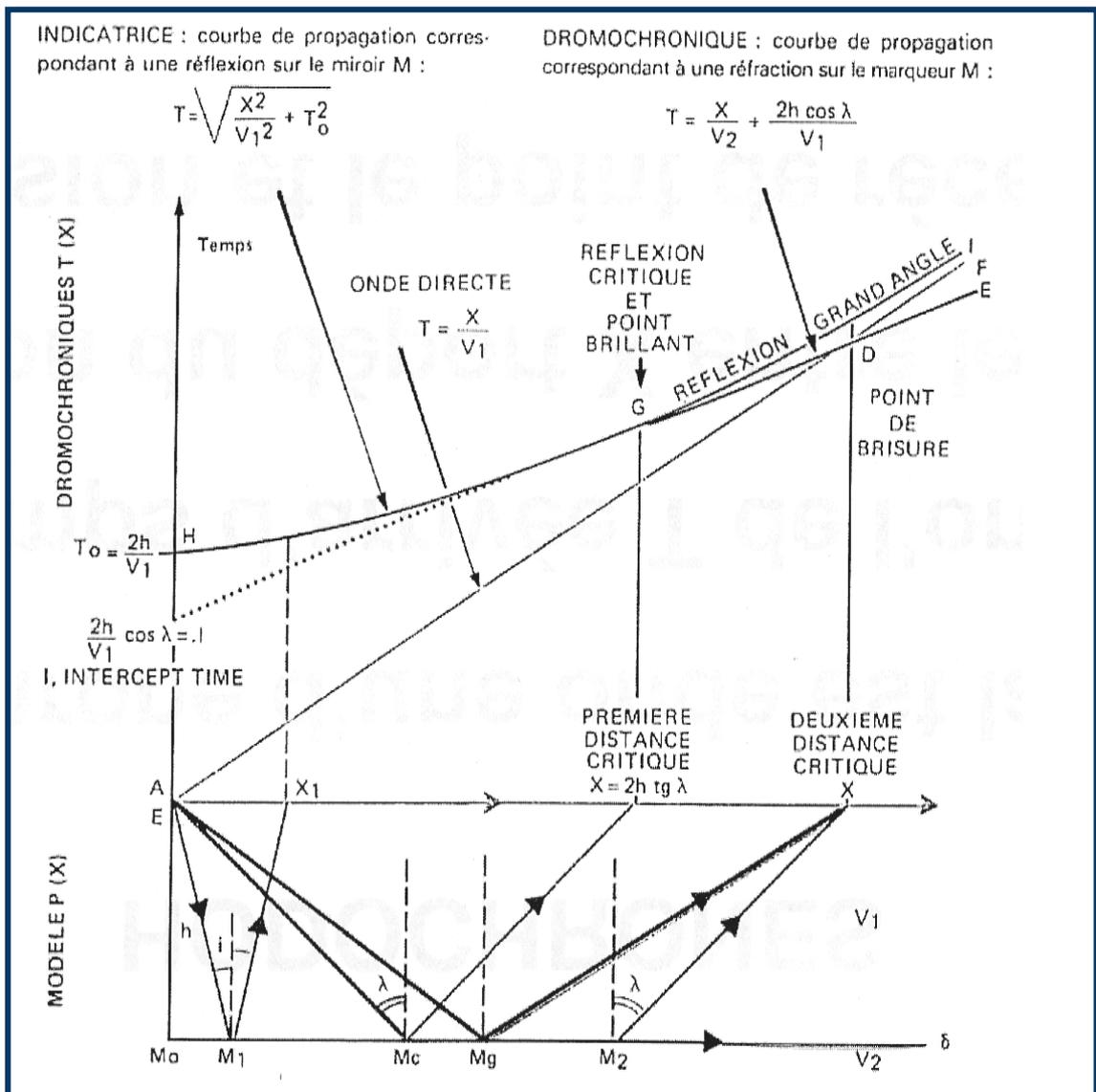


Figure 8: les différents hodochrones.

### III-3. Sismique réfraction

La sismique réfraction sert à explorer les structures superficielles du sous-sol sur une distance moyenne (quelques km). Les résultats obtenus sont complémentaires de ceux de la sismique réflexion.

La sismique réfraction présente plusieurs avantages par rapport à la sismique réflexion : la pénétration est souvent supérieure et on mesure de façon forte précise certaines des vitesses de propagation.

En revanche, elle présente des inconvénients assez importants : le nombre d'interfaces que l'on peut détecter est toujours beaucoup plus faible qu'en sismique réflexion. En plus, il faut souvent des charges assez fortes pour fournir au sol l'énergie suffisante pour une réception correcte des ondes après un parcours de plusieurs dizaines de kilomètres.

## IV- Acquisition sismique

### IV-1. Système d'acquisition

Il comprend essentiellement un dispositif d'émission, un dispositif de détection et un appareillage d'enregistrement numérique. Il diffère selon qu'on pratique une sismique terrestre ou une sismique marine( LAVERGNE 83-89 et LAVERGNE 163-164).

#### IV-1-1. Les Sources sismiques

Il existe plusieurs sortes d'émission des ondes sismiques quelque soit le milieu à explorer (onshore ou offshore).

- **En onshore**, on distingue :
  - ❖ **Source explosive** (appelée aussi source conventionnelle): comme étant une source énergétique: dynamite.
  - ❖ **Source non explosive**: L'utilisation de la source vibratoire (camion vibreur) est devenue aujourd'hui une pratique courante sur les missions (Fig.9).
- **En offshore**:

L'Airgun ou canon à air est la source la plus utilisée. Cet engin envoie de l'air dans l'eau à très haute pression atteignant 70 MPa, mais des pressions de 14 MPa sont très courantes (Fig.10).



**Figure 9: Camion vibreur**



**Figure 10: Airgun ou canon à air.**

#### **IV-1-2. Les détecteurs sismiques**

L'onde de choc ainsi créée se propage dans le sous-sol et subit une réflexion vers le haut quand elle rencontre une interface séparant deux milieux de propriétés élastiques différentes. Elle remonte alors vers la surface et elle est enregistrée :

- ❖ **En milieu terrestre** par l'intermédiaire de géophone(ou sismo) (Fig.11).
- ❖ **En milieu aquatique**, les hydrophones permettent de capter les ondes sismiques et transformer la variation de pression en une tension électrique (Fig.12).



**Figure 11: Géophone.**



**Figure 12: Hydrophone.**

L'ensemble des géophones (ou hydrophones) constitue le dispositif d'enregistrement. Ce dispositif est relié par un câble au laboratoire d'enregistrement.

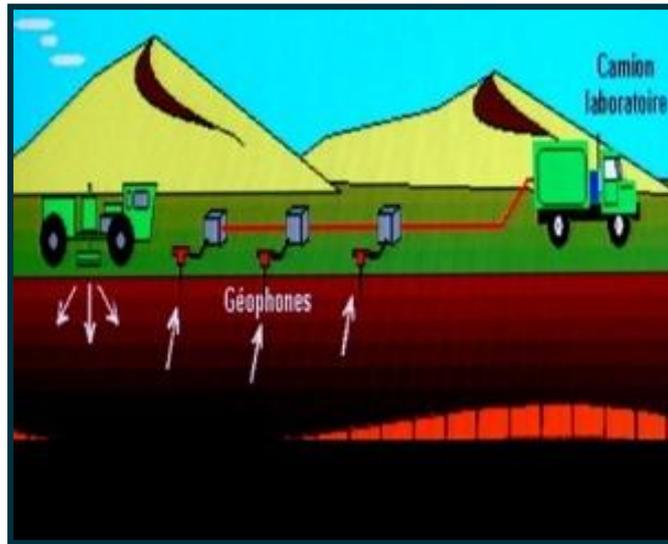


Figure 13: Dispositif d'acquisition en sismique marine.

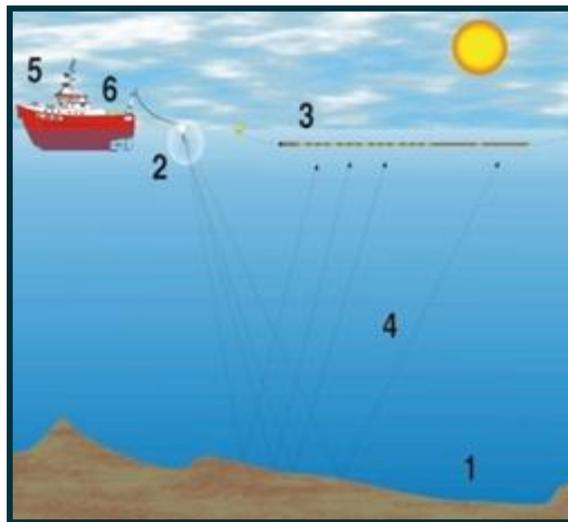


Figure 14: Dispositif d'acquisition en sismique terrestre.

#### IV-1-3. Notion de CDP et de couverture

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

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. 15).

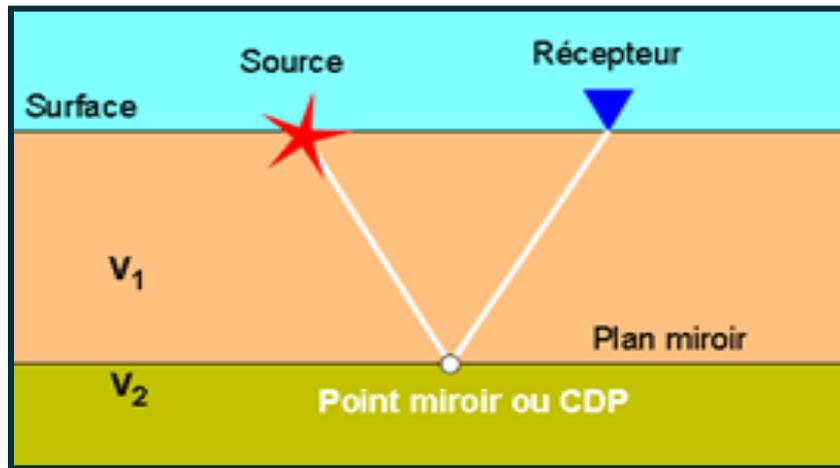


Figure 15: le plan miroir et CDP.

**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.16).

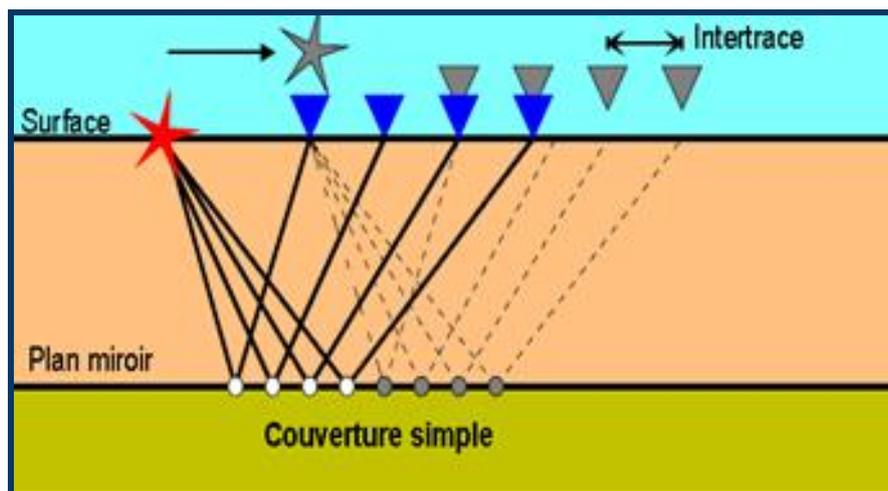


Figure 16: Couverture simple.

**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. 17).

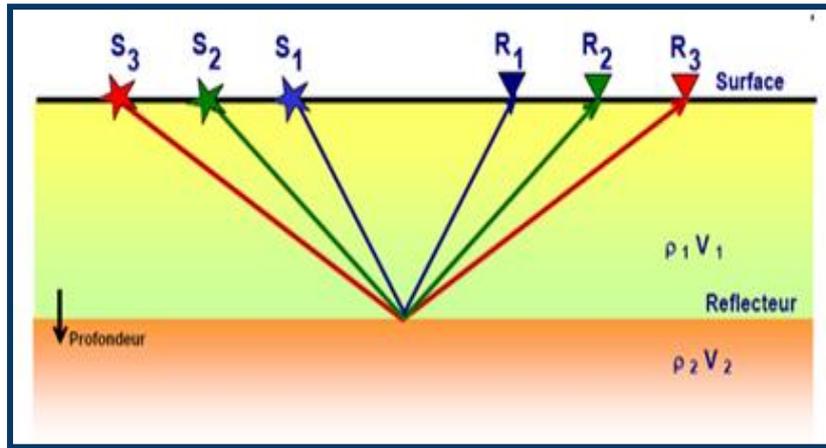


Figure 17: Couverture multiple.

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.

#### IV-1-4. Dispositifs d'enregistrement

Le point de tir est placé le long d'un profil sismique rectiligne. Il peut être situé soit au centre soit au bout du dispositif.

- ❖ **Tir au bout** : la source est placée au bout du dispositif.



- ❖ **Tir au centre** : la source est placée au milieu du dispositif (tir symétrique lorsqu'il y a le même nombre de traces de part et d'autre du dispositif, tir asymétrique dans le cas contraire).



- ❖ **Fenêtre** : les traces proches de la source seront fortement bruitées et donc inexploitables. Il est souvent nécessaire de déterminer une zone proche du point de tir dans laquelle les traces ne seront pas enregistrées.



## IV-2. Les types d'acquisition sismique (GEOSCIENCE TRAINING CENTER (CGG))

### IV-2-1. Acquisition de la sismique 2D

Elle consiste à placer le long d'une même ligne de mesure (généralement rectiligne) le dispositif d'enregistrement et le dispositif d'émission.

En 2D, les signaux sont recueillis par des détecteurs généralement constitués par des groupes de géophones ou d'hydrophones, connectés sur une même voie sismique, les événements provenant hors du plan d'acquisition sont interprétés comme du bruit (échos latéraux) (Fig.18).

Lorsque l'acquisition concerne une étude de reconnaissance ou une étude à caractère régional, le maillage serait plutôt large. Cependant lors d'une étude plus localisée et plus détaillée la maille doit être serrée.

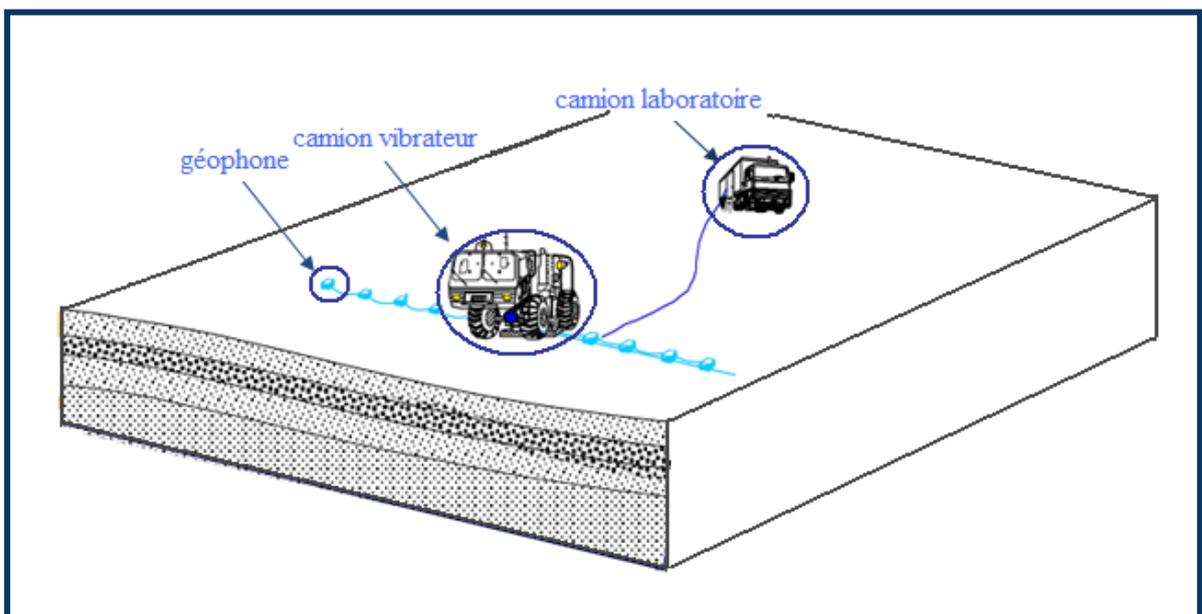


Figure 18: Acquisition sismique terrestre 2D.

#### IV-2-2. Acquisition de la sismique 3D

La sismique à 2D ne donne d'informations qu'à la verticale des lignes, ce qui se passe entre les lignes est inconnu. Le résultat de cette technique n'est strictement correct que lorsque les structures du sous-sol sont à 2 dimensions, monoclinales, anticlinales ou synclinales à axes allongés, failles et flexures admettant un plan vertical de symétrie. Lorsque l'on désire des informations détaillées sur des structures qui n'admettent pas de plan de symétrie, il faut procéder à une mise en œuvre à 3 dimensions.

En sismique 3D les récepteurs actifs sont répartis sur plusieurs lignes. Le point de tir est situé entre les lignes réceptrices (Fig.19).

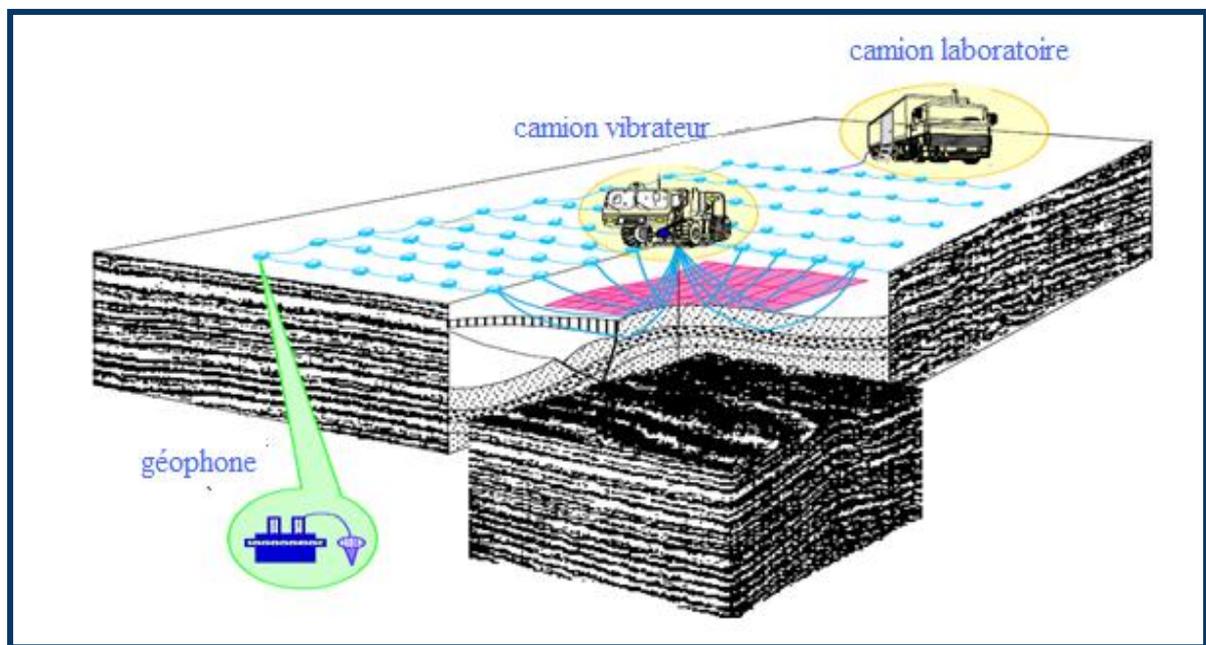


Figure 19: Acquisition sismique terrestre 3D.

La technique 3D permet d'obtenir non plus une coupe à la verticale d'un profil (2D), 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.

Les signaux provenant hors du plan d'acquisition peuvent être focalisés et contribuent ainsi à améliorer la résolution des images sismiques.

## **V- Traitement**

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. Le logiciel dont dispose l'ONHYM pour le traitement sismique est le software FOCUS.

Les grandes étapes d'une séquence typique de traitement sismique sont (MARI J.L., GLANGEAUD F. et COPPENS F. (2004)) et (FLECHE JC. (1992)) :

### **V-1. Traitement sur point de tir**

#### **❖ Lecture des données :**

Elle consiste à lire les données sous un format approprié, SEGD pour les données de terrain sur des bandes magnétiques ou par disque, ou sous un format SEG Y pour les sections sismiques.

#### **❖ Application de la géométrie :**

Elle consiste à donner pour chaque point de tir, la forme propre du dispositif adopté sur réalité. Les obstacles naturels doivent être pris en considération lors de la définition de la géométrie au système.

#### **❖ Démultiplexage:**

Il consiste à réarranger les échantillons des signaux de manière à rassembler séquentiellement la suite des échantillons correspondant à chaque trace.

#### **❖ Edition des traces :**

Cette tâche consiste à analyser chaque tir sismique de façon à éliminer toutes les traces bruitées pour augmenter le rapport signal/bruit (Fig.20).

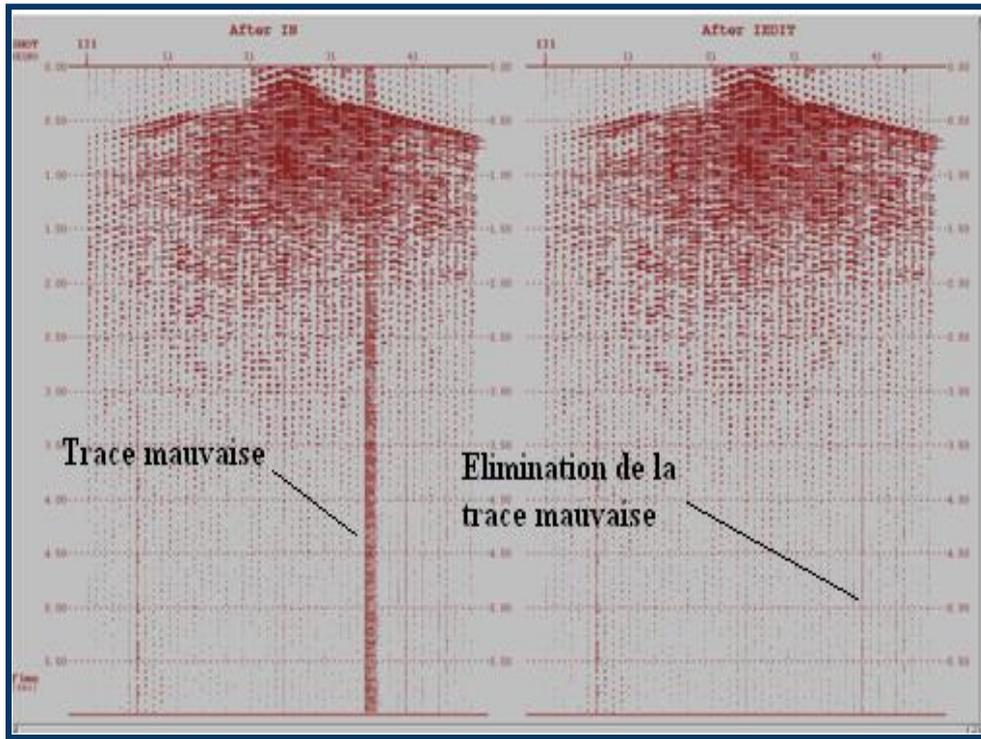


Figure 20: Point shot après édition d'une trace mauvaise.

❖ Application du gain et récupération des amplitudes :

Elle sert à compenser l'atténuation des amplitudes des signaux due à la divergence sphérique et l'absorption (Fig.21).

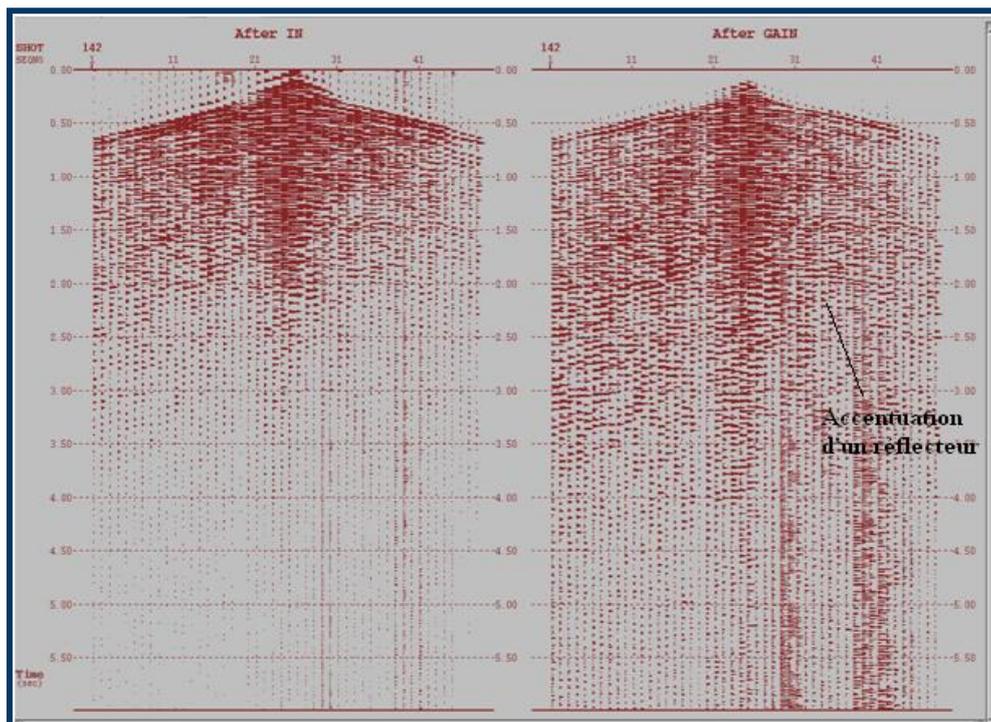


Figure 21: Application du GAIN sur le point shot.

### ❖ Mise en collection des points CDP:

Elle consiste à rassembler les traces par CDP, autrement dit c'est le regroupement des traces possédant le même centre source-récepteur.

## V-2. Traitement sur points CDP : Il se subdivise en deux phases :

### V-2-1. Traitement pré-Stack : (traitement multiple sur PRST-CDP avant sommation):

#### ❖ Déconvolution :

Le traitement de déconvolution cherche, à partir de la trace sismique enregistrée, à retrouver la réponse impulsionnelle. La déconvolution élimine l'effet source dans les données. Elle permet d'améliorer la résolution temporelle des données (Fig.22).

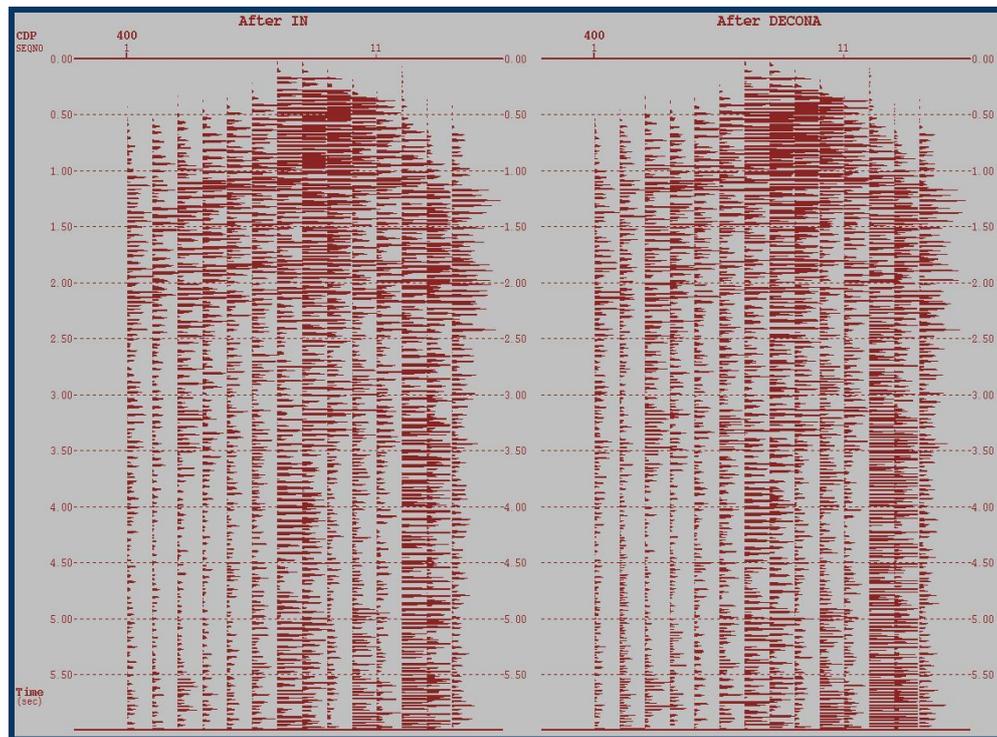


Figure 22: Déconvolution.

#### ❖ Corrections statiques :

Elles permettent de corriger l'effet de la topographie et l'effet des couches superficielles du sous-sol, souvent très hétérogènes et appelées zone altérée, elles s'appliquent donc essentiellement au cas de la sismique terrestre.

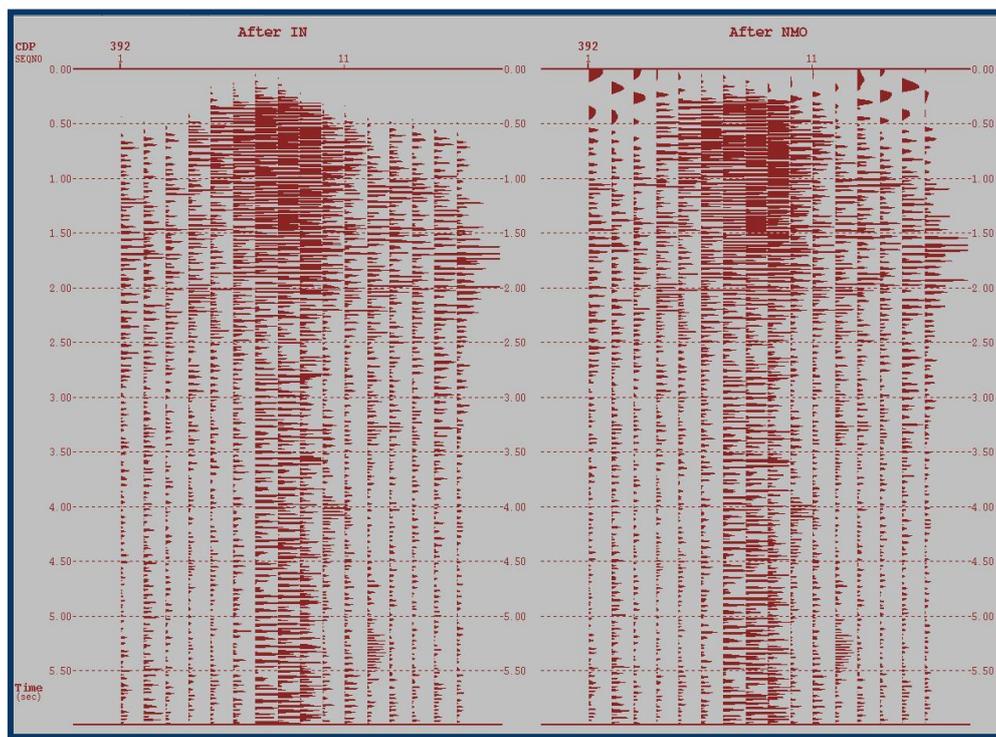
Au stade de l'étude dans la région de Meskala (notre zone d'étude) le principe de ces corrections sera détaillé.

❖ **Analyse de vitesse :**

Elle consiste à rechercher, dans une collection de plusieurs CDP; selon quelles vitesses on obtient la meilleure correction.

❖ **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.23).



**Figure 23: Tir avant et après l'application de NMO.**

❖ **Application de mute :**

Le mute est la remise à zéro avant sommation des portions de traces où le signal risque de subir des déformations trop grande par la correction NMO. Après avoir redresser les hyperboles, on coupe la partie en haut où l'onde est déformée. il s'agit d'un étirement de l'onde, appelé « stretchings » (Fig.24).

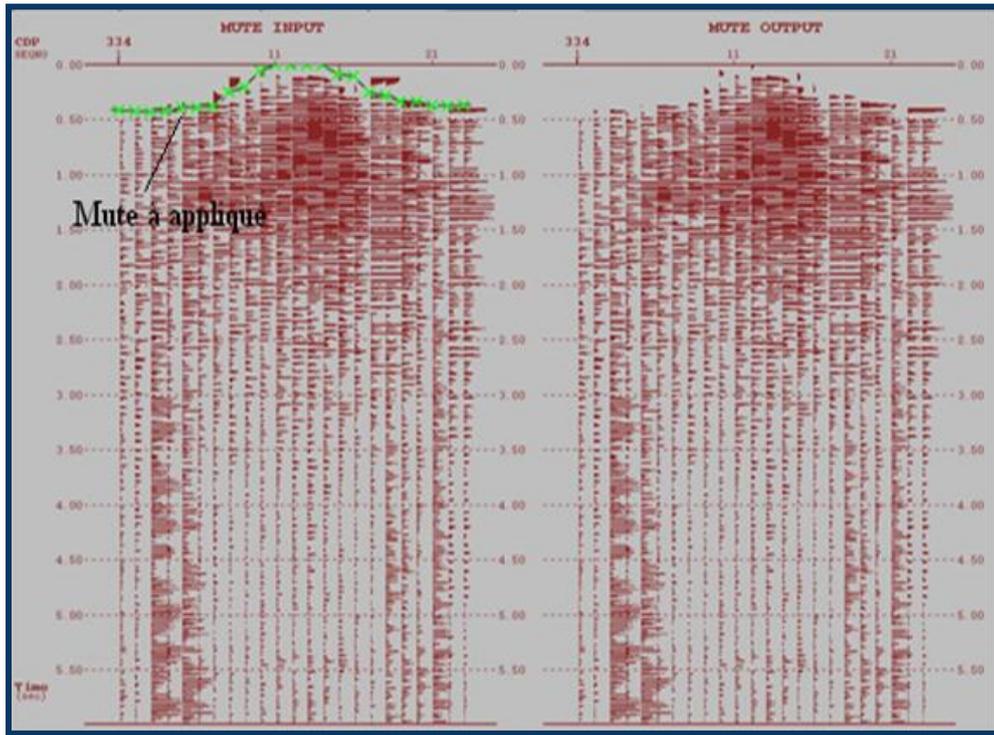


Figure 24: Application du MUTE après NMO et élimination de l'effet stretching.

❖ Stack (sommation) :

Il 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.25).

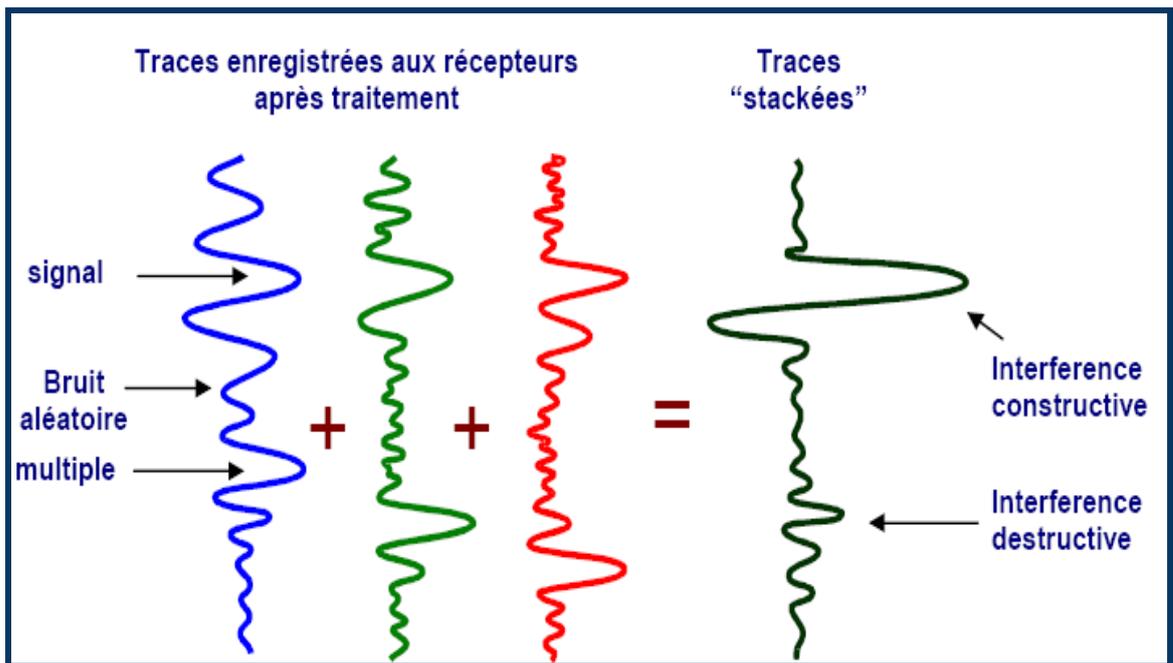


Figure 25: Atténuation des réflexions multiples.

## **V-2-2. Traitement post-stack : (traitement sur des sections)**

### **❖ Déconvolution après Stack :**

Elle a pour but d'éliminer les multiples moyennes périodes encore présentes sur la section.

### **❖ Migration avant Stack-DMO (Dip Move Out):**

Elle consiste à transformer les données à offset non nul à offset nul. En outre, elle corrige l'effet de dispersion des CDP entraînés par la présence de réflecteurs pentés. On obtient ainsi une meilleure estimation de la vitesse indépendamment du pendage, une augmentation de la résolution latérale, une atténuation des bruits organisés.

### **❖ Analyse de vitesse après DMO :**

Après l'application des corrections DMO, une deuxième analyse de vitesse est faite. Cette fois-ci, l'analyse est effectuée sur les CDPs corrigés de DMO.

### **❖ Migration après stack :**

Une section stackée est équivalente à une section à déport nul ; dans laquelle les événements pentés ne sont pas à leur place correcte ; ils sont déplacés à l'aval pendage, étirés et leur pendage atténué.

La migration est le traitement qui consiste à repositionner correctement les événements pentés et à localiser les hyperboles de diffraction.

Si le résultat est une section dont l'axe verticale représente la profondeur, on parle de migration profondeur, si le résultat est encore une section en temps, on parle de migration temps. Actuellement, c'est cette dernière qui est effectuée en routine car elle permet une focalisation correcte de l'énergie, tout en se satisfaisant d'un modèle de vitesse assez grossier.

## **Deuxième partie :**

**Etude de la zone altérée en utilisant  
les méthodes de carottage sismique  
(Upholes) et de la petite réfraction**

## **I- Introduction**

Les différentes actions climatiques (érosion éolienne, érosion due à la circulation d'eau, etc.) aboutissent à l'altération des couches superficielles (zone altérée). L'intensification du degré d'altération conduit à l'augmentation de la porosité, ce qui engendre une diminution des vitesses de propagation des ondes et par conséquent un retard des arrivées réfléchies.

En sismique terrestre, les traces sont corrigées de l'effet de ce retard lié à la présence de la zone altérée par application d'un décalage temporel calculé à partir des paramètres (épaisseur et vitesse) de la zone altérée. La détermination des paramètres de la zone altérée et l'application du décalage temporel sont réalisés dans une phase importante du traitement appelée « corrections statiques ». Les corrections sont dites statiques car elles sont constantes en fonction du temps pour chaque trace, elles compensent à la fois les effets de zone altérée et de topographie.

## **II- Etude de la couche altérée**

Elle consiste à déterminer les paramètres caractérisant la Weathered Zone (WZ) à savoir : la vitesse et l'épaisseur. Ces derniers sont nécessaires aux calculs des corrections statiques que ce soit par la méthode des Upholes ou bien par la technique de la petite réfraction.

### **II-1. La méthode du carottage « Uphole »**

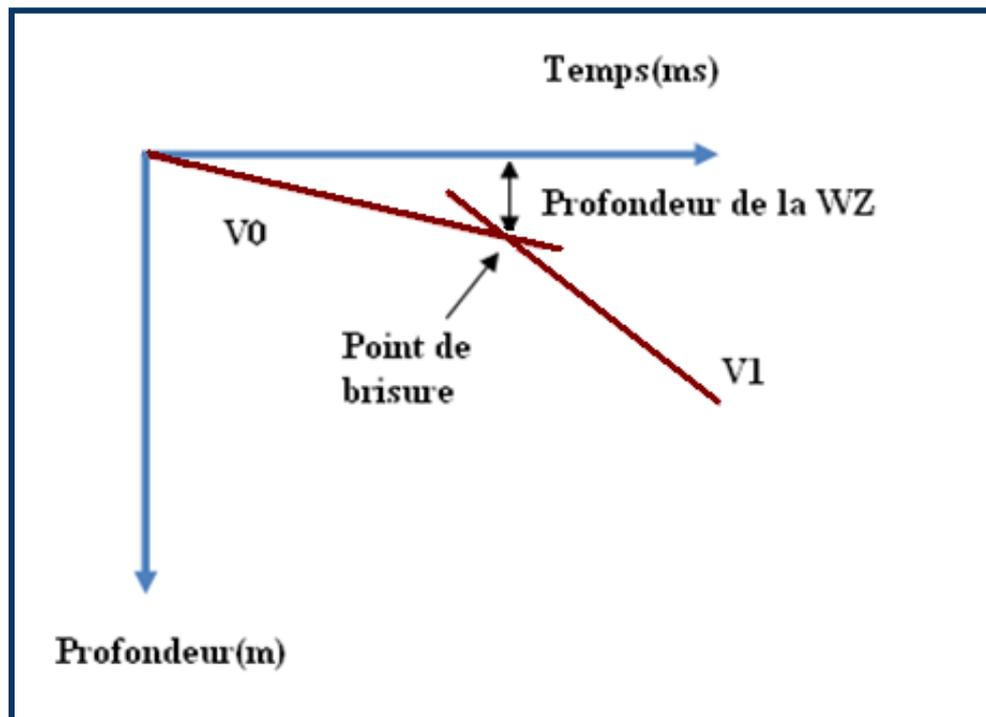
Cette méthode consiste à faire enregistrer les temps d'arrivée dans un trou dont la profondeur est choisie soigneusement.

En fait, le mode d'exécution peut se faire de deux façons :

- ❖ La première méthode du carottage consiste à introduire dans un trou de forage une quantité d'explosifs, exécuter des tirs à différentes profondeurs et enregistrer le signal sismique à l'aide de géophones placés en surface.
- ❖ La deuxième méthode du carottage la plus utilisée, consiste à faire descendre un détecteur dans le trou et déclencher une source en surface (non explosive de préférence), ce qui permet de capter les ondes d'arrivées le long du trou.

La méthode du carottage a pour but d'enregistrer des temps avec un dispositif quasi vertical afin de calculer des vitesses des différentes tranches de la WZ, et d'en déduire la vitesse de comblement ou de correction  $V$ .

Pour chaque charge 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.26).



**Figure 26: Dromochronique d'un carottage sismique (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.

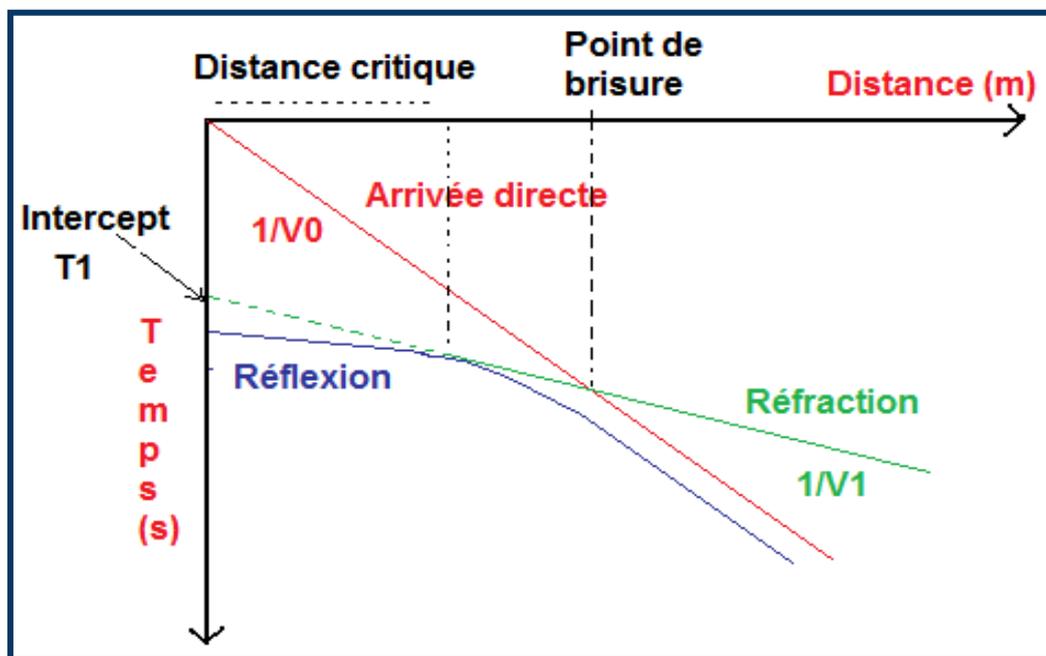
Cette méthode nécessite une WZ pas trop épaisse (ou des forages profonds) et elle nécessite de disposer d'un nombre important de forages car chaque carottage sismique ne fournit qu'une information ponctuelle sur la vitesse et l'épaisseur de la couche altérée. Entre deux carottages voisins, on doit interpoler ces valeurs.

## **II-2. La méthode de la petite réfraction**

Elle sert à étudier la propagation des rayons réfractés dans les premières couches du terrain. Il s'agit d'enregistrer le temps de parcours depuis une source jusqu'à un détecteur dont le déport est bien défini. Les temps des premières arrivées sont déterminés sur les enregistrements et reportés en fonction de la distance source-détecteurs (offset) sous forme d'une dromochronique.

En général, on réalise deux tirs, l'un direct et l'autre inverse pour avoir plus d'informations sur la forme et la position du réflecteur. Ceci nous permet d'avoir deux dromochroniques à partir desquelles on déduit les vitesses des premières couches qui correspondent à l'inverse de la pente de la droite passant par l'origine (Pente=1/Vitesse) (Fig. 27). Les premières arrivées sur une collection point de tir sont constituées des arrivées directes, puis, à partir d'une distance appelée distance critique, des arrivées réfractées sur la base de la zone altérée.

La principale différence entre les dispositifs de réfraction et ceux de réflexion est la grande distance source-récepteur. Il en résulte que l'énergie émise par la source doit être beaucoup plus grande.



**Figure 27: Dromochronique en sismique réfraction.**

Les interfaces susceptibles de constituer des marqueurs en sismique-réfraction sont celles qui séparent un milieu supérieur de vitesse  $V_1$  et un milieu inférieur de vitesse  $V_2$  plus grande que  $V_1$ . Pour qu'il y ait émergence d'ondes réfractées vers le récepteur (R) situé à la surface du sol, il faut que la distance source-récepteur SR dépasse une certaine valeur appelée distance critique, qui dépend de la profondeur  $H$  du réfracteur et de la loi de vitesse des milieux situés au-dessus de ce réfracteur.

Lorsque l'angle d'incidence atteint une certaine valeur dit angle critique  $\theta_c$  l'onde n'est plus transmise mais elle se propage le long de l'interface avec la vitesse du milieu inférieur avant de remonter à la surface avec le même angle critique. C'est le phénomène de réfraction.

L'angle d'incidence critique peut être déterminé par la relation suivante:

$$\Theta_c = \text{Arc sin } V_1/V_2$$

Pour les courtes distances c'est l'arrivée directe qui constitue le premier événement. A partir du point de brisure, la réfraction dépasse l'arrivée directe pour devenir la première arrivée.

La figure (21) précédente montre que l'arrivée directe se propage (de la source vers le sismographe) à la vitesse  $V_0$ . Celle-ci peut être obtenue à partir de la droite :  $X = 1/V_0 t$

$$\text{Pente (Arrivée directe)} = 1/V_0$$

De la même façon, l'arrivée de la réfraction donne la vitesse du milieu sous la WZ:  $V_1$

$$\text{Pente (Réfraction)} = 1/V_1$$

L'ordonnée à l'origine  $T_1 = 2h/V_1 \cos \theta_c$  s'appelle l'intercept, permet de calculer l'épaisseur  $h_0$  de la WZ à partir de la formule suivante :

$$H_0 = \frac{T_1 V_0}{2 \cos \theta_c}$$

En cas d'un pendage  $\alpha$  du réfracteur sous la WZ, les pentes sont:

$$\text{Pente (avale)} = \frac{1}{V_0} \sin (\theta_c - \alpha)$$

$$\text{Pente (avale)} = \frac{1}{V_0} \sin (\theta_c + \alpha)$$

La vitesse de réfracteur est:

$$\frac{1}{V_0} \sin (\Theta_c - \alpha) + \frac{1}{V_0} \sin (\Theta_c + \alpha) \simeq \frac{1}{V_1}$$

### II-3. Mode de calcul de la correction statique

Le calcul des corrections statiques, suppose que l'angle d'émergence est très petit c'est-à-dire que les trajets dans la WZ seront verticaux autrement dit l'effet du déport est annulé. Donc, pour une trace donnée, la correction statique totale à appliquer est en fait la somme d'une correction statique au point d'émission (CS-E) et une correction statique au point de réception (CS-R) :

$$CS = CS (E) + CS (R)$$

C'est aussi la somme d'une CS d'altimétrie et d'une CS de WZ :

$$CS = CS (altimétrie) + CS (wz)$$

$$CS = \frac{A_S - P_S}{V_2} + \frac{A_R - E_R}{V_2} + \frac{E_R}{V_1}$$

1

$$CS = \frac{A_S - P_S}{V_2} + \frac{A_R}{V_2} + E_R \left( \frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right)$$

2

Avec :  $V_1$  : Vitesse dans la zone altérée.

$V_2$  : Vitesse du substratum.

$P_S$  : Profondeur de la charge.

$A_S$  : Altitude de la source par rapport au datum plane.

$A_R$  : Altitude du récepteur par rapport au datum plane.

$E_R$  : Epaisseur de la zone altérée à l'aplomb du récepteur.

$E_S$  : Epaisseur de la zone altérée à l'aplomb de la source.

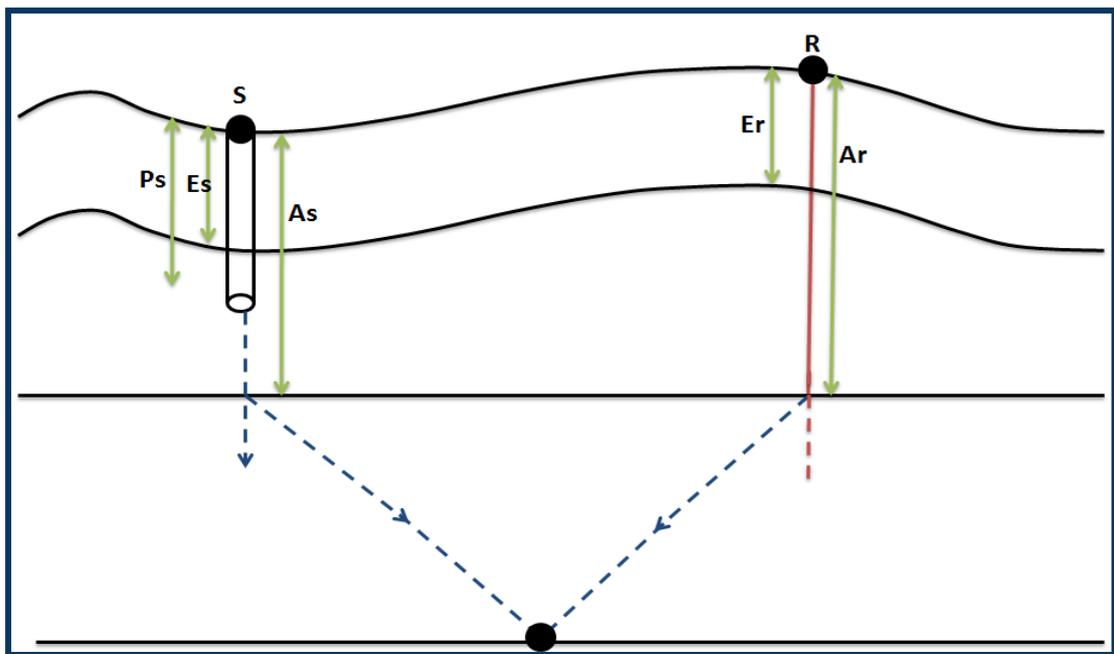
On remarque bien que l'équation 1 est la somme d'une correction statique au point d'émission et d'une correction statique au point de réception, où :

$$\text{Correction au point de réception} = \frac{A_R - E_R}{V_2} + \frac{E_R}{V_1}$$

L'équation 2 peut à son tour s'écrire sous la forme de somme d'une correction statique d'altimétrie et d'une correction statique de zone altérée, où :

$$\text{Correction d'altimétrie} = \frac{A_S - P_S}{V_2} + \frac{A_R}{V_2}$$

$$\text{Correction de zone altérée} = E_R \left( \frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right)$$



**Figure 28: Paramètres nécessaires à connaître pour le calcul de la correction statique totale à appliquer pour une trace donnée.**

### III- Application de la correction statique par « Upholes » et sismique réfraction à la région de Meskala (Bassin d'Essaouira)

#### III-1. Situation géographique de la zone d'étude

La zone d'étude fait partie du bassin d'Essaouira, elle se situe à proximité de la localité de Meskala à 46 Km environ au Sud-Est de la ville d'Essaouira (Fig.29). La région de Meskala est connue par une structuration superficielle très complexe, marquée par une topographie très ondulée qui possède d'énormes impacts sur le temps et l'énergie de propagation des ondes sismiques dans le sous sol.

En raison de son potentiel en hydrocarbures, la région de Maskala a fait l'objet de nombreuses reconnaissances sismiques. Dans le cadre du présent stage de fin d'étude, l'ONHYM a aimablement mis à notre disposition des données de carottages sismiques et de sismique réfraction, relatives à cette zone, afin de nous permettre de nous initier à l'opération de la correction statique qu'on pratique en sismique réflexion.

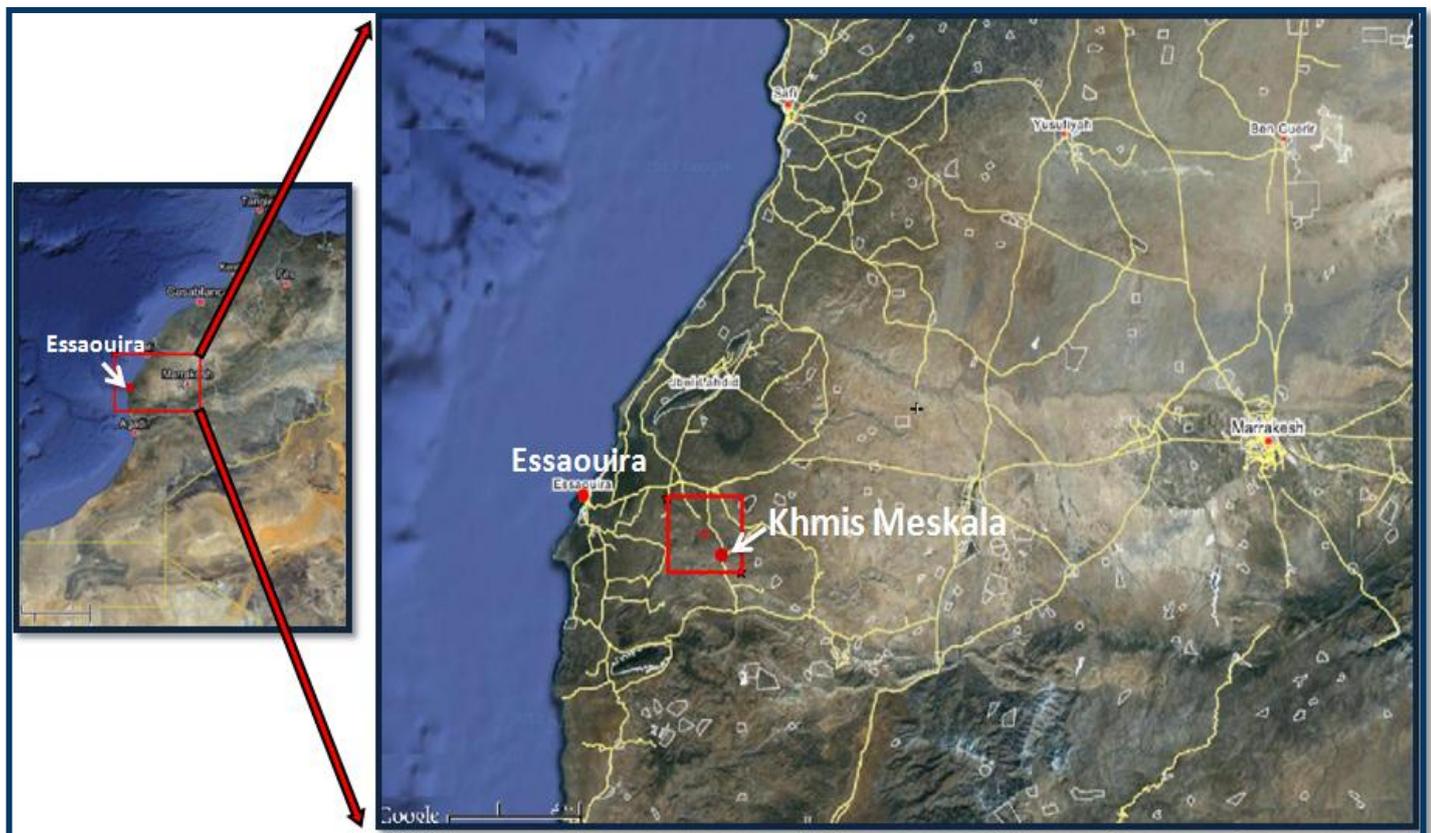


Figure 29: Situation géographique de la zone d'étude.

## **III-2. La méthode du carottage sismique «Upholes »**

### **III-2-1. Mise en œuvre sur le terrain**

Les données que nous avons utilisées ont été recueillies lors d'une campagne sismique baptisée « Meskala 3D » menée en 2007, au cours de laquelle, 50 carottages sismiques ont été réalisés aux croisements de certaines lignes source et récepteur (Fig.30). Les forages ont été effectués par une sondeuse " Fraste FS 300" (Fig.31). Cette machine est équipée d'un outil qui permet de réaliser des trous avec un diamètre de 165mm. Les intervalles d'enregistrement étaient de 2.5 m.

La source est constituée d'une plaque en métal posée à terre que l'on frappe au marteau, ce dernier utilisé pour les carottages car il est suffisant pour les besoins en énergie dans ce type d'application. La sonde qui constitue le dispositif de réception comprend trois géophones. L'enregistrement des données s'est fait par l'intermédiaire d'un minilabo, la 'Géode'. Par ailleurs, la lithologie a été prélevée pour chaque carottage, afin d'aider à l'interprétation.

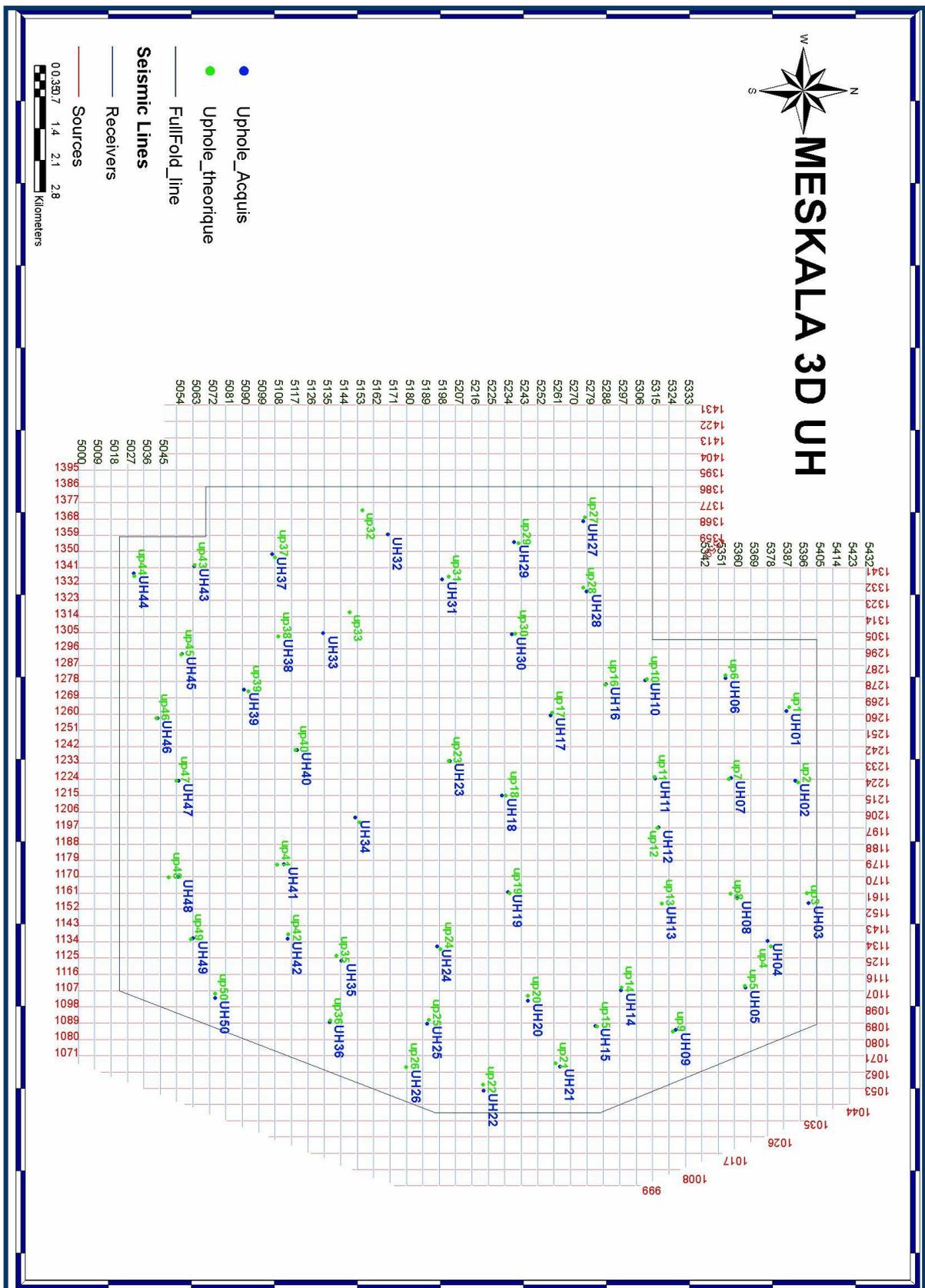


Figure 30: Carte de localisation des carottages sismiques.



**Figure 31: Dispositif de mise en œuvre d'un carottage sismique.**

### **III-2-2. Analyse des données de carottage sismique**

Les résultats des Upholes sont reportés sur des graphes temps- profondeur : ( $T = f(P)$ ) puis analysées afin de déterminer les vitesses et les épaisseurs des différentes couches (Fig.32). Le tableau ci-dessous récapitule les résultats obtenus pour les 50 Upholes réalisés à Meskala. Ces résultats montrent que la vitesse sismique de la couche altérée varie de 381.68 (m/s) à 2272.52 (m/s).

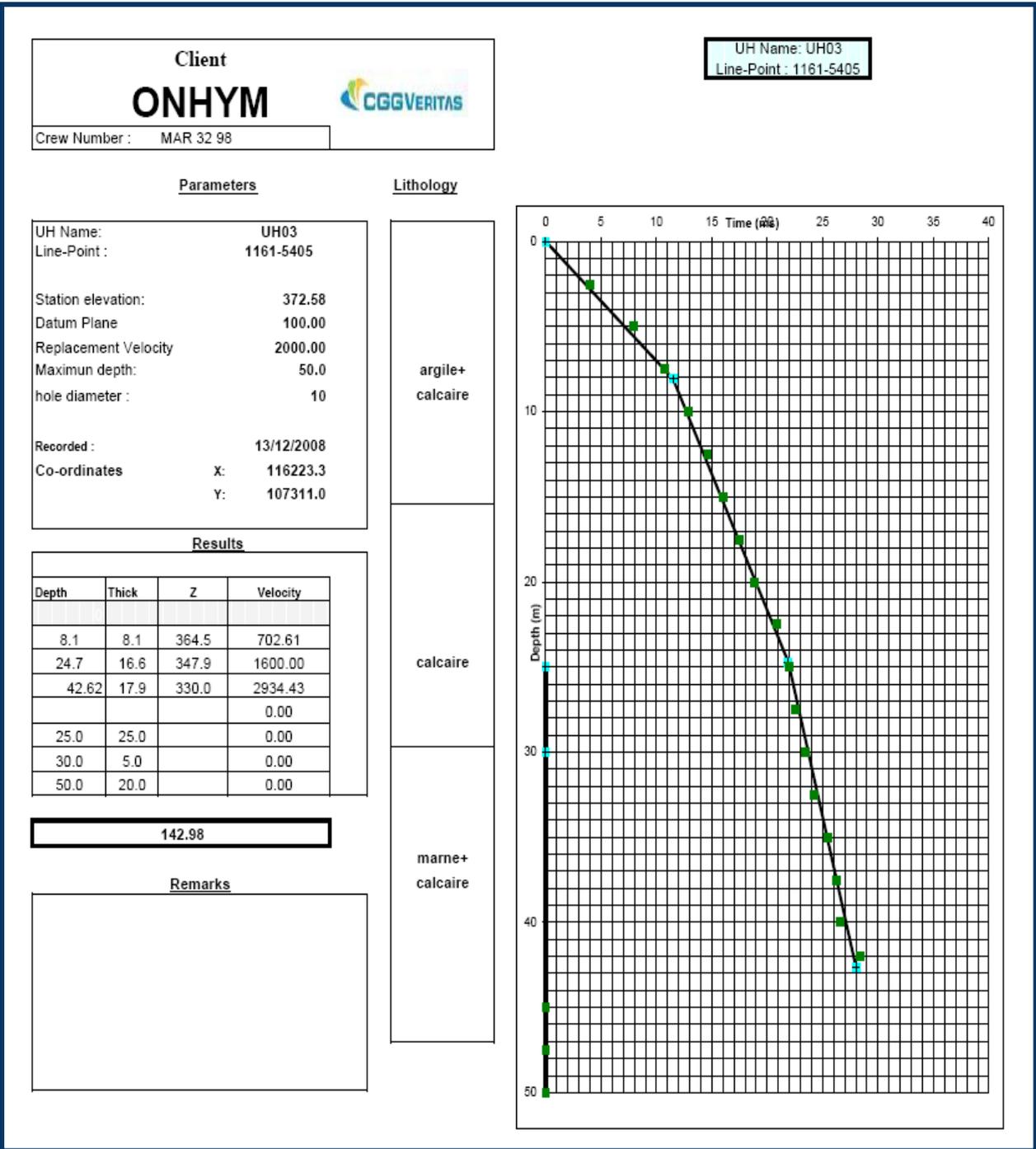


Figure 32:Graphe temps-profondeur du carottage UH03.

| UH    | couche1 |          | couche 2 |          | couche3 |          |
|-------|---------|----------|----------|----------|---------|----------|
|       | h1 (m)  | v1 (m/s) | h2 (m)   | v2 (m/s) | h3 (m)  | v3 (m/s) |
| UH 1  | 15,5    | 1154,48  | 35,1     | 2719,38  |         |          |
| UH 2  | 5       | 1086,96  | 46,2     | 2346,7   |         |          |
| UH 3  | 8,1     | 702,61   | 16,6     | 1600     | 17,9    | 2934,43  |
| UH 4  | 10,3    | 732,14   | 42       | 2011,48  |         |          |
| UH 5  | 8,3     | 852,58   | 37,9     | 1887,56  |         |          |
| UH 6  | 5,5     | 648,81   | 19,1     | 1214,65  | 25,2    | 2593,81  |
| UH 7  | 24,8    | 1889,31  | 26,6     | 2858,06  |         |          |
| UH 8  | 7,5     | 992,11   | 45       | 2214,29  |         |          |
| UH 9  | 5,7     | 984,48   | 33,6     | 1920     | 10,8    | 3359,38  |
| UH 10 | 8,9     | 1111,25  | 40,8     | 3289,52  |         |          |
| UH 11 | 8,8     | 698,41   | 41,4     | 2224,19  |         |          |
| UH 12 | 25,8    | 1817,61  | 25,8     | 2745,74  |         |          |
| UH 13 | 18,1    | 1351,49  | 31,7     | 2904,59  |         |          |
| UH 14 | 50,5    | 2272,52  |          |          |         |          |
| UH 15 | 10,3    | 1775,86  | 33,9     | 2777,87  |         |          |
| UH 16 | 7,5     | 1370,91  | 42,7     | 3164,44  |         |          |
| UH 17 | 7,8     | 500      | 22,2     | 1245,51  | 17,7    | 2858,06  |
| UH 18 | 8,2     | 575,52   | 9,6      | 1065,56  | 32,5    | 2502,31  |
| UH 19 | 4,7     | 639,73   | 8,2      | 1220,9   | 28,7    | 2495,65  |
| UH 20 | 10,1    | 778,46   | 9,8      | 1436,76  | 27,7    | 2498,2   |
| UH 21 | 7,5     | 745      | 14,9     | 1933,77  | 20,3    | 2704     |
| UH 22 | 20,1    | 619,44   | 22,7     | 1268,72  |         |          |
| UH 23 | 7,3     | 625,86   | 44,3     | 1932,31  |         |          |
| UH 24 | 10,2    | 491,3    | 40,2     | 2219,89  |         |          |
| UH 25 | 6,8     | 633,64   | 41,4     | 1116,98  |         |          |
| UH 26 | 5       | 400      | 22,3     | 1260,45  | 23,1    | 2084,68  |
| UH 27 | 5,3     | 416,41   | 39,5     | 1490,57  |         |          |
| UH 28 | 4,5     | 494,44   | 45,6     | 2695,27  |         |          |
| UH 29 | 4,7     | 438,89   | 46,3     | 2182,08  |         |          |
| UH 30 | 7,1     | 561,11   | 18,6     | 1441,09  | 24,8    | 2454,46  |
| UH 31 | 9,9     | 650      | 41,3     | 2259,02  |         |          |
| UH 32 | 7,5     | 544,53   | 44,3     | 2418,03  |         |          |
| UH 33 | 8,5     | 532,5    | 40,9     | 2245,05  |         |          |
| UH 34 | 7,2     | 474,83   | 43,5     | 1788,89  |         |          |
| UH 35 | 7,6     | 421,79   | 22,3     | 981,06   | 20,2    | 2146,81  |
| UH 36 | 5,1     | 423,97   | 14,8     | 1335,14  | 30,2    | 2237,78  |
| UH 37 | 35,2    | 938,13   | 15,6     | 2162,5   |         |          |
| UH 38 | 35,4    | 934,3    | 6,6      | 2272,41  |         |          |
| UH 39 | 11,3    | 670,41   | 30,1     | 1954,55  |         |          |
| UH 40 | 9,2     | 758,68   | 40       | 2714,57  |         |          |
| UH 41 | 5       | 381,68   | 45,3     | 1414,38  |         |          |
| UH 42 | 8,6     | 593,1    | 17,3     | 1944,94  | 24,1    | 2902,41  |
| UH 43 | 9,8     | 897,25   | 38,3     | 1350     |         |          |
| UH 44 | 8,7     | 777,68   | 15,3     | 1717,98  | 27,4    | 2247,54  |
| UH 45 | 17,8    | 947,87   | 17,6     | 4292,68  |         |          |
| UH 46 | 36,9    | 1117,88  | 13       | 2449,06  |         |          |
| UH 47 | 18      | 612,24   | 32,1     | 1943,03  |         |          |
| UH 48 | 11,2    | 838,06   | 38,6     | 2664,83  |         |          |
| UH 49 | 11,9    | 1544,16  | 39,2     | 2294,74  |         |          |
| UH 50 | 8,7     | 713,93   | 16,6     | 1283,72  | 18,5    | 2288,89  |

### III-2-3. Interprétation des cartes d'iso-vitesses

L'analyse des dromochroniques des différents sondages, permet d'avoir des informations ponctuelles sur les vitesses et les épaisseurs des couches en présence. Afin d'illustrer les variations dans l'espace de ces deux paramètres, on peut les représenter sous forme de cartes de contours. Ce type de carte a été produit pour chacune des trois couches mises en évidence dans le cadre de la présente étude (Fig. 33, 34 et 35).

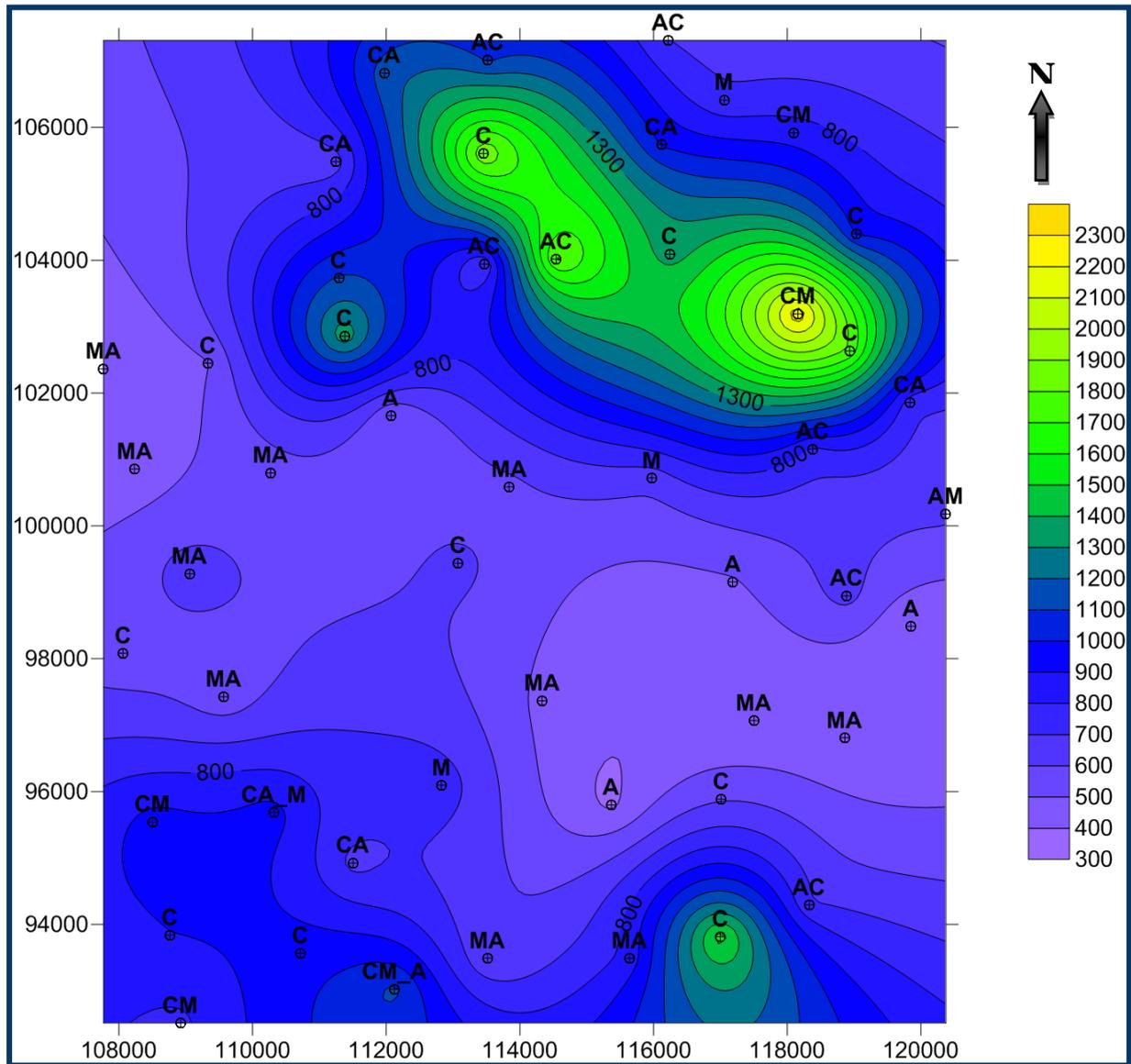


Figure 33: Carte d'iso-vitesses de la couche 1 (m/s).

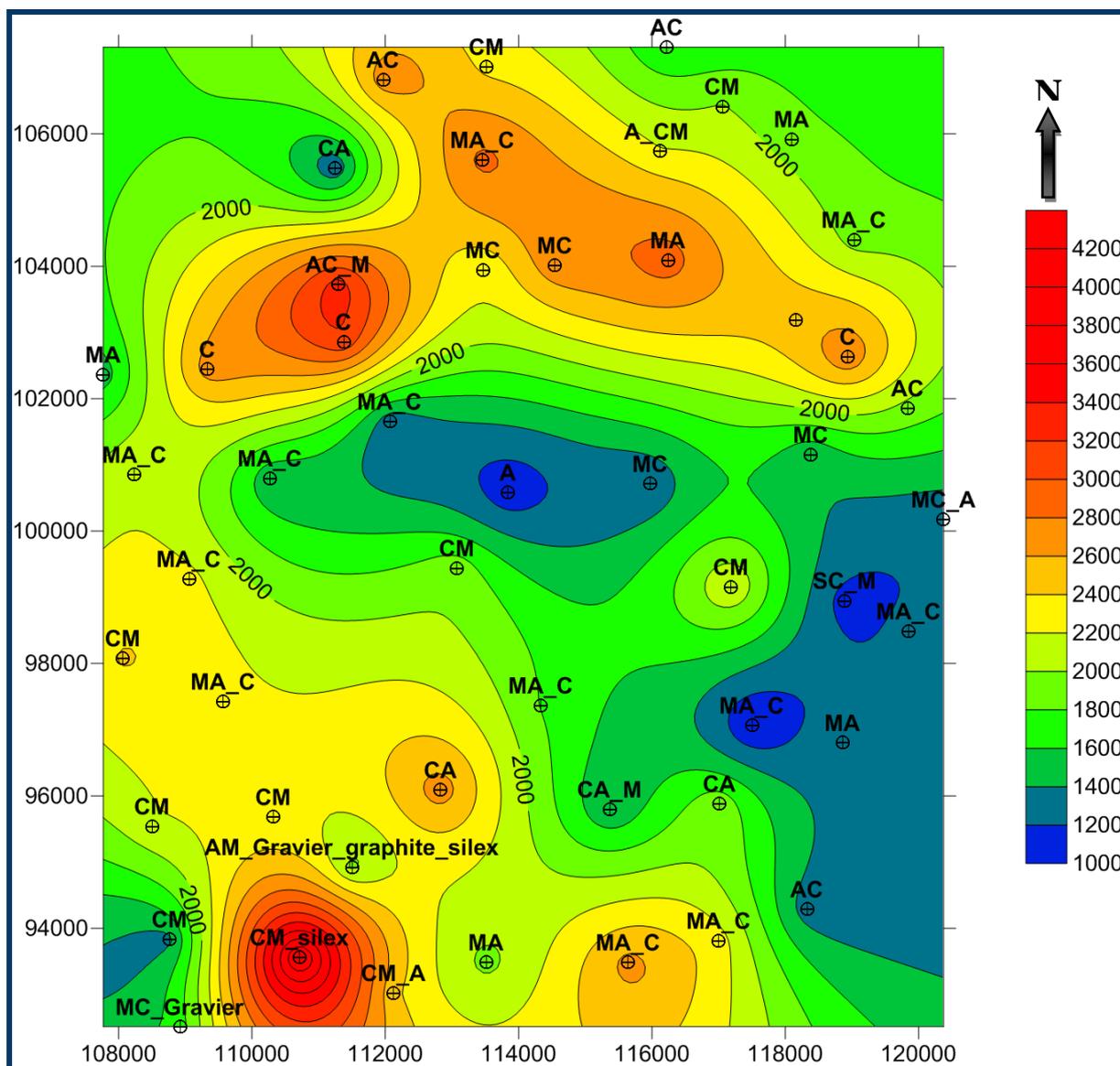
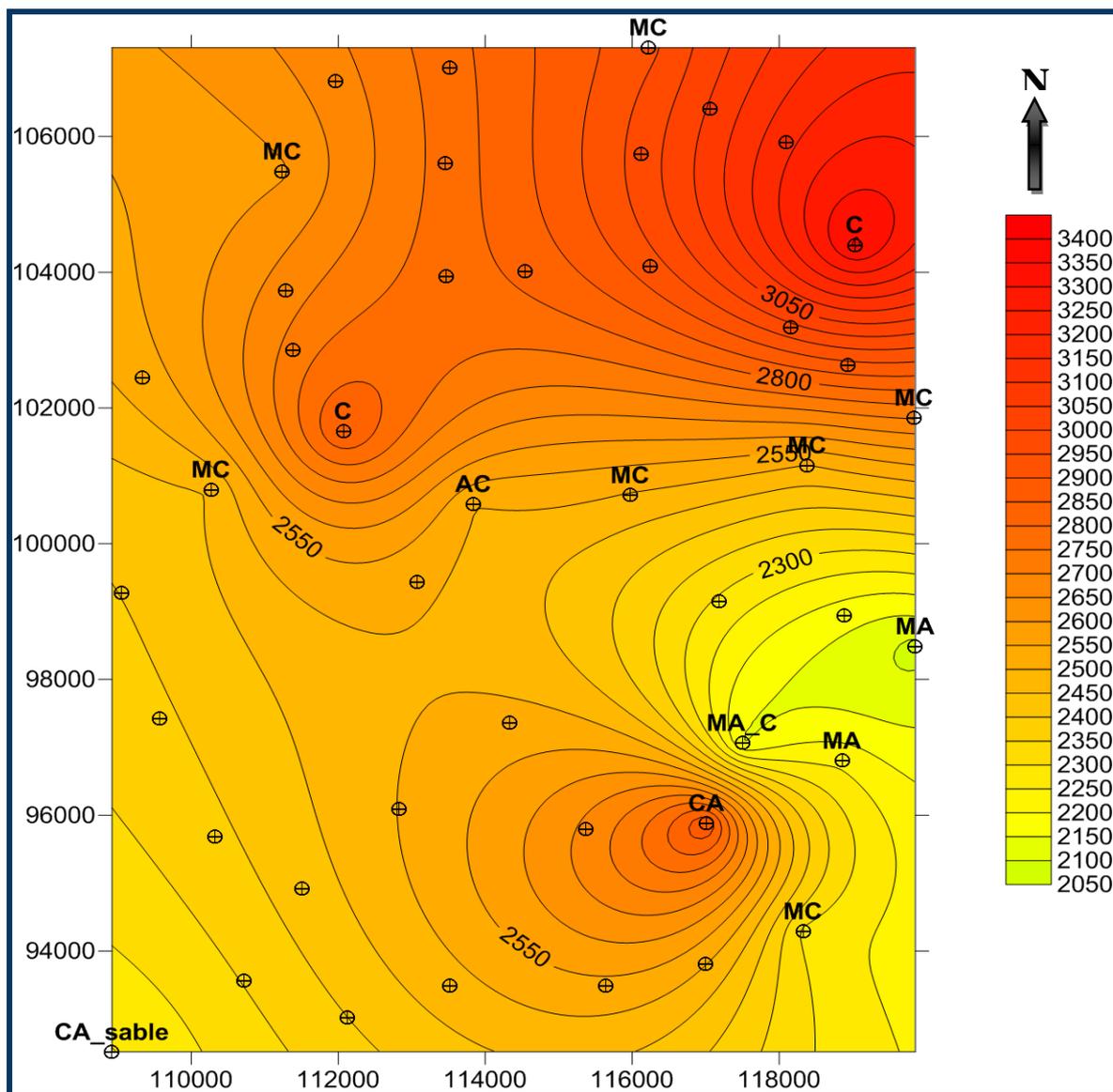


Figure 34: Carte d'iso-vitesses de la couche 2 (m/s).



**Figure 35: Carte d'iso-vitesses de la couche 3 (m/s).**

Les logs de forage fournis avec les dromochroniques des différents carottages sismiques permettent de corréler les variations de vitesse au sein de la zone altérée avec les formations géologiques de sub-surface recoupées par les forages. Les faciès observés au niveau des trois couches, symbolisés par leurs « lettres initiales », ont été projetés sur les cartes de vitesse correspondantes. Cette représentation nous permet de constater que les faciès calcaires marneux prédominent au Nord et au Sud de la zone d'étude, tandis que dans la partie centrale on retrouve essentiellement des marnes argileuses. Ces observations permettent d'expliquer les variations de la vitesse sismique en particulier au niveau de la première couche où les

fortes valeurs se superposent aux calcaires marneux plus compactes et les plus faibles coïncident avec les marnes argileuses.

Par ailleurs, la représentation des trois cartes de vitesse avec une même palette de couleur permet d'illustrer les variations verticales du phénomène d'altération. L'augmentation de la vitesse avec la profondeur matérialisée par la prédominance de la couleur bleue au niveau de la couche 1 et de la couleur rouge pour la couche 3 s'explique par l'existence de roches de moins en moins altérées au fur et à mesure que la profondeur augmente.

- **Principales caractéristiques de la zone altérée du secteur étudiée**

L'analyse des résultats de cinquante carottages sismiques traités permet de s'apercevoir qu'à l'échelle du secteur étudié, la zone altérée est composée de trois couches dont les caractéristiques sont les suivantes :

- ❖ Une première couche d'épaisseur  $H_0$  allant de 4.5 à 50 m et d'une vitesse  $V_0$  qui varie de 381,68 à 2272,52 m/s.
- ❖ Une deuxième couche d'une épaisseur moyenne  $H_1$  allant de 6.6 à 46.3m avec une vitesse  $V_1$  entre 981,06 à 4292,68 m/s.
- ❖ Une troisième couche d'épaisseur  $H_2$  oscillant de 10,8 à 32.5m et d'une vitesse  $V_2$  qui varie de 2084.68 à 3359,38m/s.

#### III-2-4. Calcul des corrections statiques :

Le modèle de corrections statiques adopté est celui de la correction par altitude simple et calage aux carottages sismiques. La vitesse de remplacement choisie est  $V_c=2000$  m/s et le plan de référence (datum) est fixé à  $Ed = +100$  m sur toute la zone.

La formule de correction statique est :

$$CS = \sum_i \frac{h_i}{v_i} - \frac{Ed - Es + \sum h_i}{V_c}$$

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

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

**Remarque :**

Les valeurs de la correction statique peuvent être positives ou négatives 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. Rappelons que pour celui-ci, une correction statique négative augmente le temps, une correction positive le diminue.

|                            |      |
|----------------------------|------|
| Datum Plane (m)            | 100  |
| Replacement Velocity (m/s) | 2000 |

| UH    | couche1 |         | couche 2 |         | couche3 |         | Z      | $\sum h/v$ | $\sum h$ (m) | Cs (ms) |
|-------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|--------|------------|--------------|---------|
|       | h1      | v1      | h2       | v2      | h3      | v3      |        |            |              |         |
| UH 1  | 15,5    | 1154,48 | 35,1     | 2719,38 |         |         | 377,85 | 0,026      | 50,6         | -139,96 |
| UH 2  | 5       | 1086,96 | 46,2     | 2346,7  |         |         | 350,86 | 0,024      | 51,2         | -124,12 |
| UH 3  | 8,1     | 702,61  | 16,6     | 1600    | 17,9    | 2934,43 | 372,58 | 0,028      | 42,6         | -142,99 |
| UH 4  | 10,3    | 732,14  | 42       | 2011,48 |         |         | 413,06 | 0,035      | 52,3         | -165,33 |
| UH 5  | 8,3     | 852,58  | 37,9     | 1887,56 |         |         | 457,89 | 0,030      | 46,2         | -185,66 |
| UH 6  | 5,5     | 648,81  | 19,1     | 1214,65 | 25,2    | 2593,81 | 358,91 | 0,034      | 49,8         | -138,47 |
| UH 7  | 24,8    | 1889,31 | 26,6     | 2858,06 |         |         | 375,58 | 0,022      | 51,4         | -134,52 |
| UH 8  | 7,5     | 992,11  | 45       | 2214,29 |         |         | 374,53 | 0,028      | 52,5         | -138,90 |
| UH 9  | 5,7     | 984,48  | 33,6     | 1920    | 10,8    | 3359,38 | 462,34 | 0,027      | 50,1         | -182,62 |
| UH 10 | 8,9     | 1111,25 | 40,8     | 3289,52 |         |         | 373,21 | 0,020      | 49,7         | -132,17 |
| UH 11 | 8,8     | 698,41  | 41,4     | 2224,19 |         |         | 408,53 | 0,031      | 50,2         | -160,38 |
| UH 12 | 25,8    | 1817,61 | 25,8     | 2745,74 |         |         | 386,6  | 0,024      | 51,6         | -141,09 |
| UH 13 | 18,1    | 1351,49 | 31,7     | 2904,59 |         |         | 404,31 | 0,024      | 49,8         | -151,56 |
| UH 14 | 50,5    | 2272,52 |          |         |         |         | 450,2  | 0,022      | 50,5         | -172,07 |
| UH 15 | 10,3    | 1775,86 | 33,9     | 2777,87 |         |         | 467,25 | 0,018      | 44,2         | -179,53 |
| UH 16 | 7,5     | 1370,91 | 42,7     | 3164,44 |         |         | 378,97 | 0,019      | 50,2         | -133,35 |
| UH 17 | 7,8     | 500     | 22,2     | 1245,51 | 17,7    | 2858,06 | 378,19 | 0,040      | 47,7         | -154,86 |
| UH 18 | 8,2     | 575,52  | 9,6      | 1065,56 | 32,5    | 2502,31 | 437,99 | 0,036      | 50,3         | -180,09 |
| UH 19 | 4,7     | 639,73  | 8,2      | 1220,9  | 28,7    | 2495,65 | 458,98 | 0,026      | 41,6         | -184,25 |
| UH 20 | 10,1    | 778,46  | 9,8      | 1436,76 | 27,7    | 2498,2  | 470,86 | 0,031      | 47,6         | -192,51 |
| UH 21 | 7,5     | 745     | 14,9     | 1933,77 | 20,3    | 2704    | 478,82 | 0,025      | 42,7         | -193,34 |
| UH 22 | 20,1    | 619,44  | 22,7     | 1268,72 |         |         | 436,46 | 0,050      | 42,8         | -197,17 |
| UH 23 | 7,3     | 625,86  | 44,3     | 1932,31 |         |         | 432,61 | 0,035      | 51,6         | -175,09 |
| UH 24 | 10,2    | 491,3   | 40,2     | 2219,89 |         |         | 471,88 | 0,039      | 50,4         | -199,61 |
| UH 25 | 6,8     | 633,64  | 41,4     | 1116,98 |         |         | 439,24 | 0,048      | 48,2         | -193,32 |
| UH 26 | 5       | 400     | 22,3     | 1260,45 | 23,1    | 2084,68 | 415,13 | 0,041      | 50,4         | -173,64 |
| UH 27 | 5,3     | 416,41  | 39,5     | 1490,57 |         |         | 294,84 | 0,039      | 44,8         | -114,25 |
| UH 28 | 4,5     | 494,44  | 45,6     | 2695,27 |         |         | 272,39 | 0,026      | 50,1         | -87,16  |
| UH 29 | 4,7     | 438,89  | 46,3     | 2182,08 |         |         | 325,16 | 0,032      | 51           | -119,01 |
| UH 30 | 7,1     | 561,11  | 18,6     | 1441,09 | 24,8    | 2454,46 | 312,15 | 0,036      | 50,5         | -116,49 |
| UH 31 | 9,9     | 650     | 41,3     | 2259,02 |         |         | 429,34 | 0,034      | 51,2         | -172,58 |
| UH 32 | 7,5     | 544,53  | 44,3     | 2418,03 |         |         | 482,34 | 0,032      | 51,8         | -197,36 |
| UH 33 | 8,5     | 532,5   | 40,9     | 2245,05 |         |         | 410,23 | 0,034      | 49,4         | -164,60 |
| UH 34 | 7,2     | 474,83  | 43,5     | 1788,89 |         |         | 412,99 | 0,039      | 50,7         | -170,63 |
| UH 35 | 7,6     | 421,79  | 22,3     | 981,06  | 20,2    | 2146,81 | 448,2  | 0,050      | 50,1         | -199,21 |
| UH 36 | 5,1     | 423,97  | 14,8     | 1335,14 | 30,2    | 2237,78 | 405,07 | 0,037      | 50,1         | -164,09 |
| UH 37 | 35,2    | 938,13  | 15,6     | 2162,5  |         |         | 330,63 | 0,045      | 50,8         | -134,65 |
| UH 38 | 35,4    | 934,3   | 6,6      | 2272,41 |         |         | 350,1  | 0,041      | 42           | -144,84 |
| UH 39 | 11,3    | 670,41  | 30,1     | 1954,55 |         |         | 334,22 | 0,032      | 41,4         | -128,67 |
| UH 40 | 9,2     | 758,68  | 40       | 2714,57 |         |         | 357,65 | 0,027      | 49,2         | -131,09 |
| UH 41 | 5       | 381,68  | 45,3     | 1414,38 |         |         | 388,2  | 0,045      | 50,3         | -164,08 |
| UH 42 | 8,6     | 593,1   | 17,3     | 1944,94 | 24,1    | 2902,41 | 418,16 | 0,032      | 50           | -165,78 |
| UH 43 | 9,8     | 897,25  | 38,3     | 1350    |         |         | 339,22 | 0,039      | 48,1         | -134,85 |
| UH 44 | 8,7     | 777,68  | 15,3     | 1717,98 | 27,4    | 2247,54 | 299,11 | 0,032      | 51,4         | -106,14 |
| UH 45 | 17,8    | 947,87  | 17,6     | 4292,68 |         |         | 329,98 | 0,023      | 35,4         | -120,17 |
| UH 46 | 36,9    | 1117,88 | 13       | 2449,06 |         |         | 339,56 | 0,038      | 49,9         | -133,15 |
| UH 47 | 18      | 612,24  | 32,1     | 1943,03 |         |         | 357,1  | 0,046      | 50,1         | -149,42 |
| UH 48 | 11,2    | 838,06  | 38,6     | 2664,83 |         |         | 402,78 | 0,028      | 49,8         | -154,34 |
| UH 49 | 11,9    | 1544,16 | 39,2     | 2294,74 |         |         | 393,5  | 0,025      | 51,1         | -145,99 |
| UH 50 | 8,7     | 713,93  | 16,6     | 1283,72 | 18,5    | 2288,89 | 419,62 | 0,033      | 43,8         | -171,11 |

Afin de mieux illustrer les variations et l'importance de la zone altérée, on propose d'en représenter le toit et le mur sous forme d'une surface 3D (perspective).

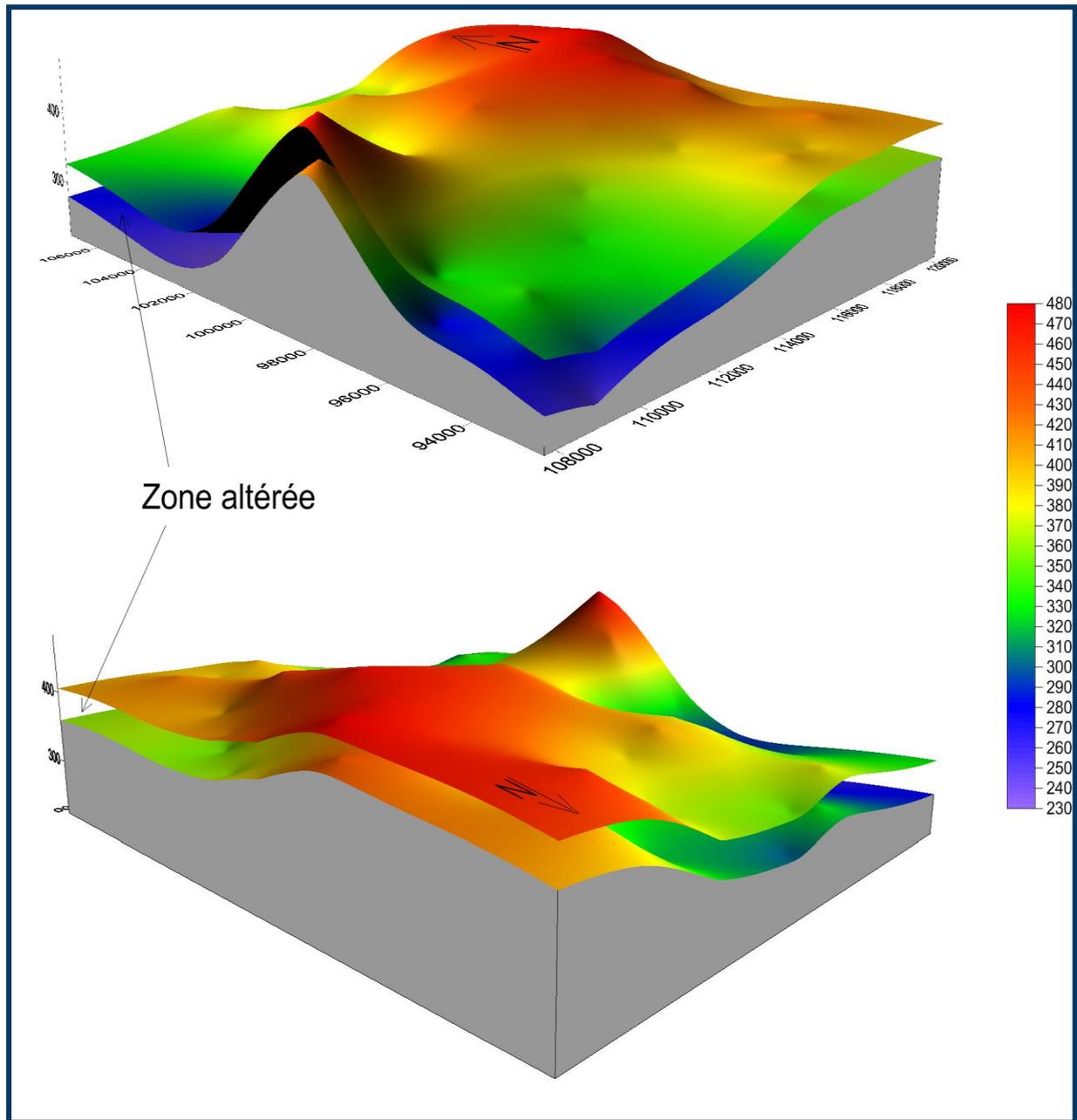


Figure 36: Représentation 3D de la zone altérée.

### III-3. Méthode de la petite réfraction :

Dans le cadre des reconnaissances géophysiques entreprises par l'ONHYM dans la région de Meskala, une campagne d'acquisition sismique 2D a été menée en 1984 (mission 120.84.06) par la société CGG, elle consistait à mettre en œuvre cinq profils sismiques (ES 362-363-364-365 et 366) (Fig. 37).

Durant cette campagne, l'évaluation des caractéristiques de la couche altérée dans la région d'étude a été basée sur l'utilisation de la petite sismique réfraction.

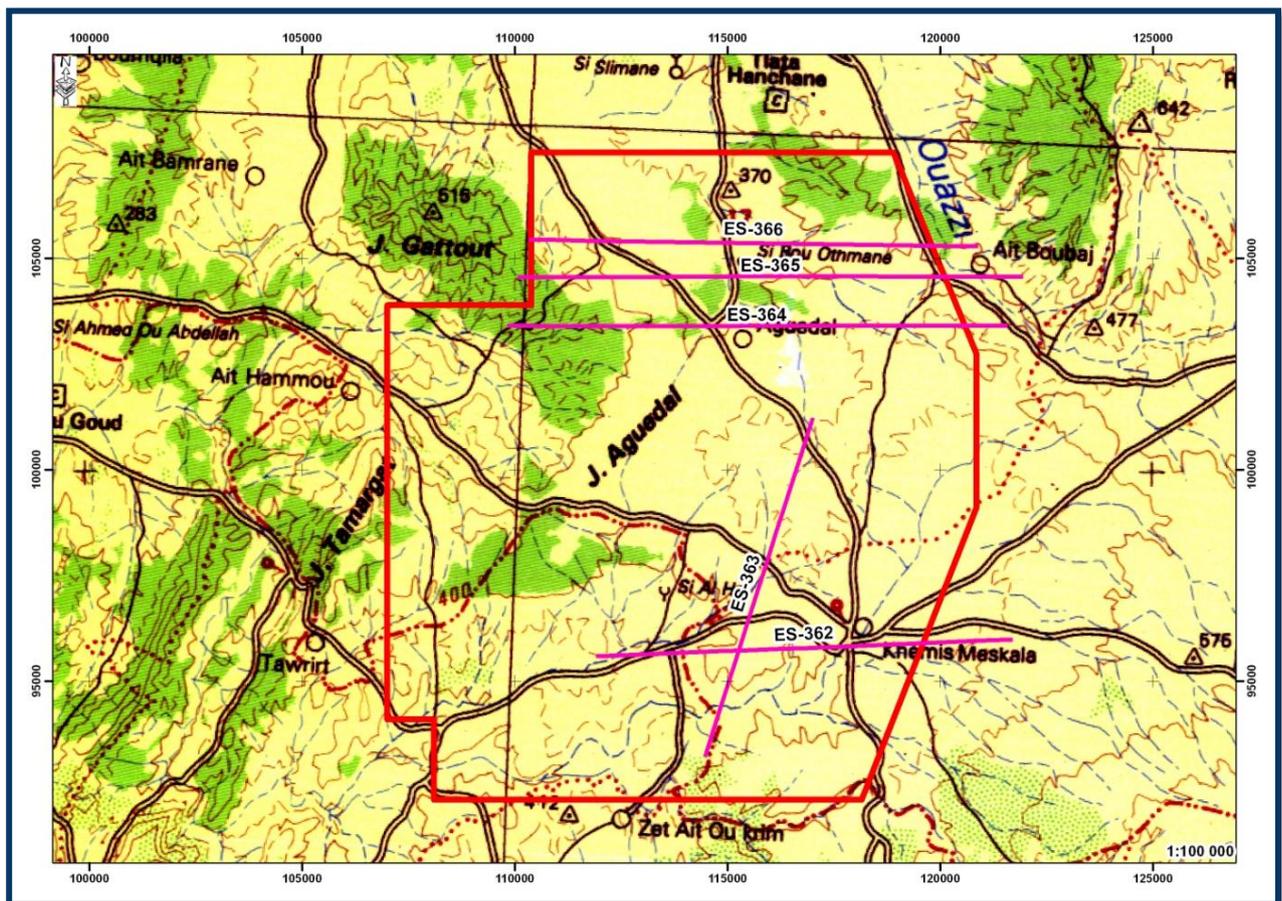
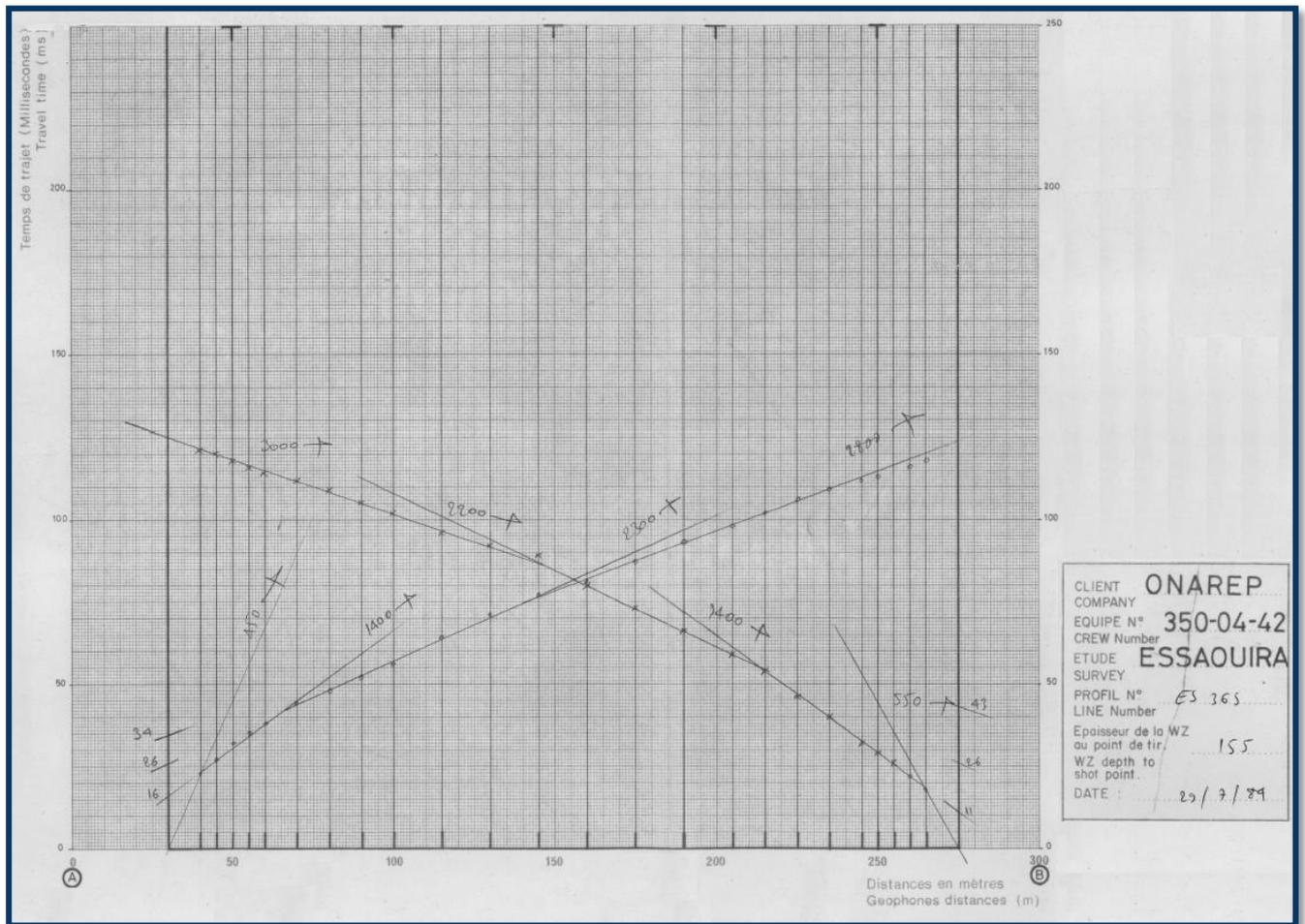


Figure 37: Carte du programme sismique 3D (2007) et des profils sismiques 2D (1984).

#### III-3-1. Analyse des dromochroniques de la petite réfraction

Les données de sismique réfraction enregistrées lors de la campagne précitée, ont permis d'établir 28 dromochroniques sur lesquels sont reportés les temps d'arrivées des ondes réfractées en fonction de la position des géophones pour le tir direct et pour le tir indirect (Fig.38). Les sources d'énergie utilisées sont des explosifs avec une charge allant de 0.70 Kg à 1.20 Kg et qui sont tirés entre 0,40 et 0,90 mètre de profondeur.



**Figure 38: Dromochronique de la sismique réfraction obtenue pour le profil ES365 au point de tir 155.**

L'analyse de l'ensemble des dromochroniques révèle l'existence de quatre vitesses différentes ( $V_0$ ,  $V_1$ ,  $V_2$  et  $V_3$ ) représentées par quatre droites de pentes distinctes identifiées sur ces diagrammes. On est donc en présence d'une superposition de quatre terrains ayant les caractéristiques suivantes:

- ❖  $V_0$  La vitesse du matériau constituant la couche superficielle.
- ❖  $V_1$  La vitesse de la couche altérée (WZ) d'épaisseur  $h$ .
- ❖  $V_2$  la vitesse de la couche sous-jacente de WZ d'épaisseur  $h_2$ .

Les épaisseurs sont calculées à partir de la formule suivante :

$$h_k = \frac{t_k}{2} \frac{V_k V_{k+1}}{\sqrt{V_{k+1}^2 - V_k^2}} - \sum_{j=k-1}^1 h_j \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{v_j}{V_{k+1}}\right)^2}{\left(\frac{v_j}{V_k}\right)^2 - \left(\frac{v_j}{V_{k+1}}\right)^2}}$$

Avec :

$h_k$  et  $h_j$ : Epaisseurs des couches.

$t_k$  : L'ordonnée à l'origine de la droite représentant la vitesse de la couche.

$V_{k+1}$ ,  $V_k$  et  $V_j$  : Vitesses de propagation des ondes dans les couches  $k$ ,  $k + 1$  et  $j$

**\*Remarque :**

Pour  $k=0$ , la formule est comme suit :

$$h_0 = \frac{t_0 V_0 V_1}{2 \sqrt{V_1^2 - V_0^2}}$$

Les corrections statiques sont calculées à partir de la formule de correction statique (voir page 56), La vitesse de correction choisie est  $V_c = 3000$  m/s et le plan de référence (Datum plane) est fixé à  $E_d = + 400$  m sur toute la zone.

Le tableau suivant présente les résultats de l'analyse des données de sismique réfraction ainsi que la correction statique déduite de ces données.

|                      |      |
|----------------------|------|
| Datum Plane          | 400  |
| Replacement Velocity | 3000 |

|              | WZ  | N° de pt de tir | Epaisseurs (m) |      |      | Vitesses (m/s) |      |      |      | Z   | $\Sigma h/v$ | $\Sigma h(m)$ | Cs (ms) |
|--------------|-----|-----------------|----------------|------|------|----------------|------|------|------|-----|--------------|---------------|---------|
|              |     |                 | h0             | h1   | h2   | v0             | v1   | v2   | v3   |     |              |               |         |
| ligne ES-362 | WZ1 | 103             | 6              | 20.5 | 27.5 | 600            | 1200 | 2650 | 4150 | 458 | 0.037        | 54            | -38.79  |
|              | WZ2 | 141             | 4              | 5    | 36   | 900            | 1500 | 1950 | 2650 | 408 | 0.026        | 45            | -13.91  |
|              | WZ3 | 174             | 4              | 23   |      | 500            | 2300 | 3500 |      | 393 | 0.018        | 27            | -6.67   |
|              | WZ4 | 216             | 3              | 24   | 20   | 800            | 1300 | 2300 | 3400 | 366 | 0.031        | 47            | -3.91   |
| ligne ES-363 | WZ1 | 101             | 4.5            | 14   | 40   | 800            | 1250 | 2050 | 3500 | 387 | 0.036        | 58.5          | -12.5   |
|              | WZ2 | 157             | 7              | 13   | 48.5 | 700            | 1250 | 2650 | 4700 | 402 | 0.039        | 68.5          | -16.54  |
|              | WZ3 | 203             | 4.5            | 8    | 27.5 | 500            | 1500 | 2050 | 2600 | 462 | 0.028        | 40            | -35.08  |
| ligne ES-364 | WZ1 | 101             | 5.5            | 45.5 |      | 700            | 2700 | 3250 |      | 307 | 0.025        | 51            | 23.29   |
|              | WZ2 | 141             | 6              | 17.5 | 51   | 500            | 1350 | 2200 | 3200 | 381 | 0.048        | 74.5          | -16.98  |
|              | WZ3 | 158             | 3              | 19   |      | 700            | 1050 | 2550 |      | 414 | 0.022        | 22            | -19.71  |
|              | WZ4 | 206             | 4.5            |      |      | 1400           | 2800 |      |      | 429 | 0.003        | 4.5           | -11.38  |
|              | WZ5 | 231             | 5              | 9.5  | 42   | 450            | 1500 | 2650 | 3650 | 430 | 0.033        | 56.5          | -24.46  |
|              | WZ6 | 250             | 3              | 22   | 58   | 700            | 1250 | 1950 | 3950 | 483 | 0.052        | 83            | -51.63  |
|              | WZ7 | 269             | 4              | 16.5 | 37   | 350            | 750  | 2000 | 3000 | 425 | 0.052        | 57.5          | -41.1   |
| ligne ES-365 | WZ1 | 105             | 3              | 12   | 19   | 1000           | 1900 | 2750 | 3300 | 425 | 0.016        | 34            | -13.22  |
|              | WZ2 | 123             | 6.5            | 9    |      | 700            | 1750 | 3000 |      | 369 | 0.014        | 15.5          | 1.07    |
|              | WZ3 | 155             | 4              | 11   | 19.5 | 500            | 1400 | 2250 | 2900 | 432 | 0.025        | 34.5          | -23.69  |
|              | WZ4 | 183             | 2.5            | 12.5 | 29   | 900            | 1400 | 1950 | 2800 | 402 | 0.027        | 44            | -12.58  |
|              | WZ5 | 214             | 3              | 25   |      | 1250           | 2350 | 3450 |      | 385 | 0.013        | 28            | 1.3     |
|              | WZ6 | 238             | 4.5            | 12   | 39   | 500            | 1550 | 2150 | 3350 | 411 | 0.035        | 55.5          | -20.05  |
|              | WZ7 | 254             | 3.5            | 7.5  | 30   | 550            | 1500 | 2450 | 3900 | 352 | 0.024        | 41            | 6.06    |
| ligne ES-366 | WZ1 | 108             | 3.5            | 11   |      | 1000           | 2150 | 3900 |      | 349 | 0.009        | 14.5          | 13.22   |
|              | WZ2 | 138             | 4              | 16.5 |      | 600            | 1650 | 2500 |      | 384 | 0.017        | 20.5          | -4.5    |
|              | WZ3 | 161             | 3.5            |      |      | 1050           | 2700 |      |      | 368 | 0.003        | 3.5           | 8.5     |
|              | WZ4 | 203             | 5              | 17.5 | 37   | 600            | 1150 | 2200 | 3400 | 430 | 0.04         | 59.5          | -30.54  |
|              | WZ5 | 235             | 2.5            | 23   |      | 600            | 950  | 2800 |      | 384 | 0.028        | 25.5          | -14.54  |
|              | WZ6 | 235 bis         | 4              | 10.5 | 39.5 | 400            | 1000 | 1900 | 3400 | 384 | 0.041        | 54            | -17.96  |
|              | WZ7 | 252             | 3              | 7.5  | 38.5 | 850            | 1950 | 2600 | 3600 | 411 | 0.022        | 49            | -9.52   |

### III-3-2. Présentation des résultats sous forme de cartes iso-vitesses

Les résultats de l'analyse des données de la sismique réfraction sont présentés sous forme de cartes d'isocontours de vitesse (Fig. 39, 40 et 41). Ces cartes permettent de mieux visualiser les variations de vitesse à l'échelle du secteur étudié pour chacune des trois couches mises en évidence. Leur examen permet de dégager les principales caractéristiques de la zone altérée dans ce secteur. En effet, d'après les données de la sismique réfraction « WZ » est constituée de la superposition de trois couches :

- ❖ Une première couche d'épaisseur  $h_0$  allant de 2 à 11 m et de vitesse  $V_0$  variant de 400 à 1500 m/s.
- ❖ Une deuxième couche d'épaisseur  $h_1$  oscillant entre 6 à 51,5 m avec une vitesse  $V_1$  allant de 750 et 3800 m/s.
- ❖ Une troisième couche d'épaisseur  $h_2$  de 18 à 51m et de vitesse  $V_2$  qui varie de 1900 à 3800 m/s.

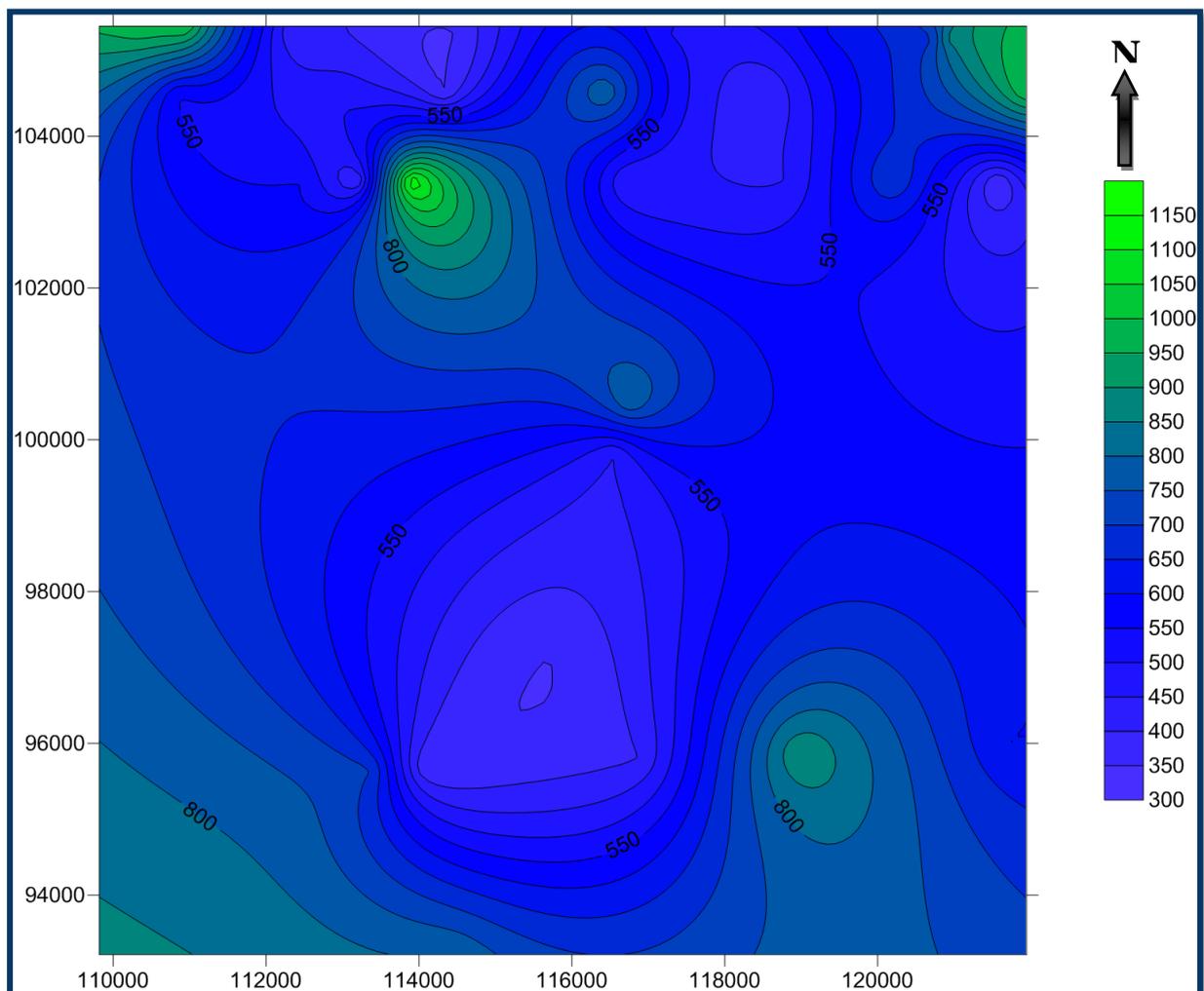
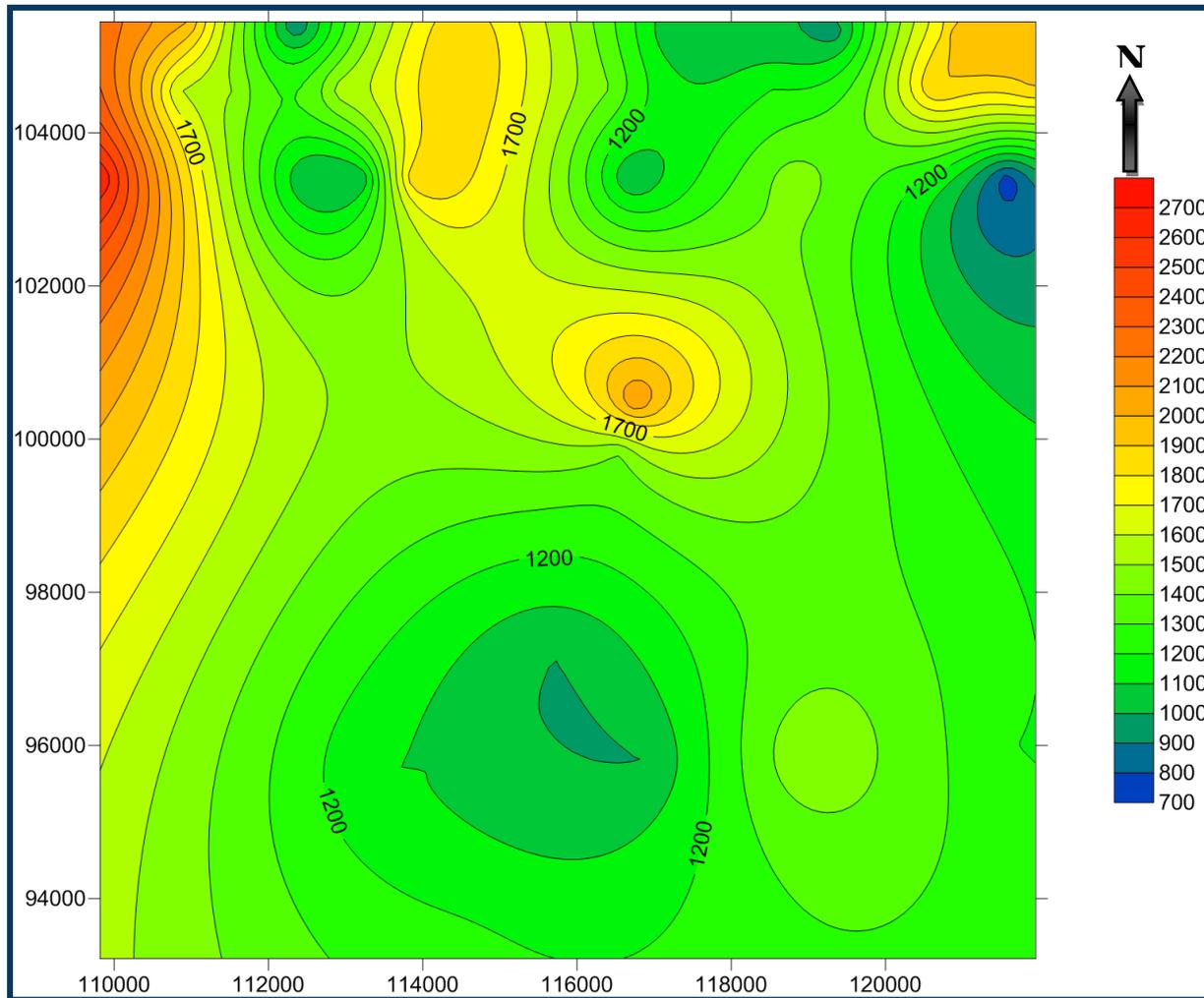
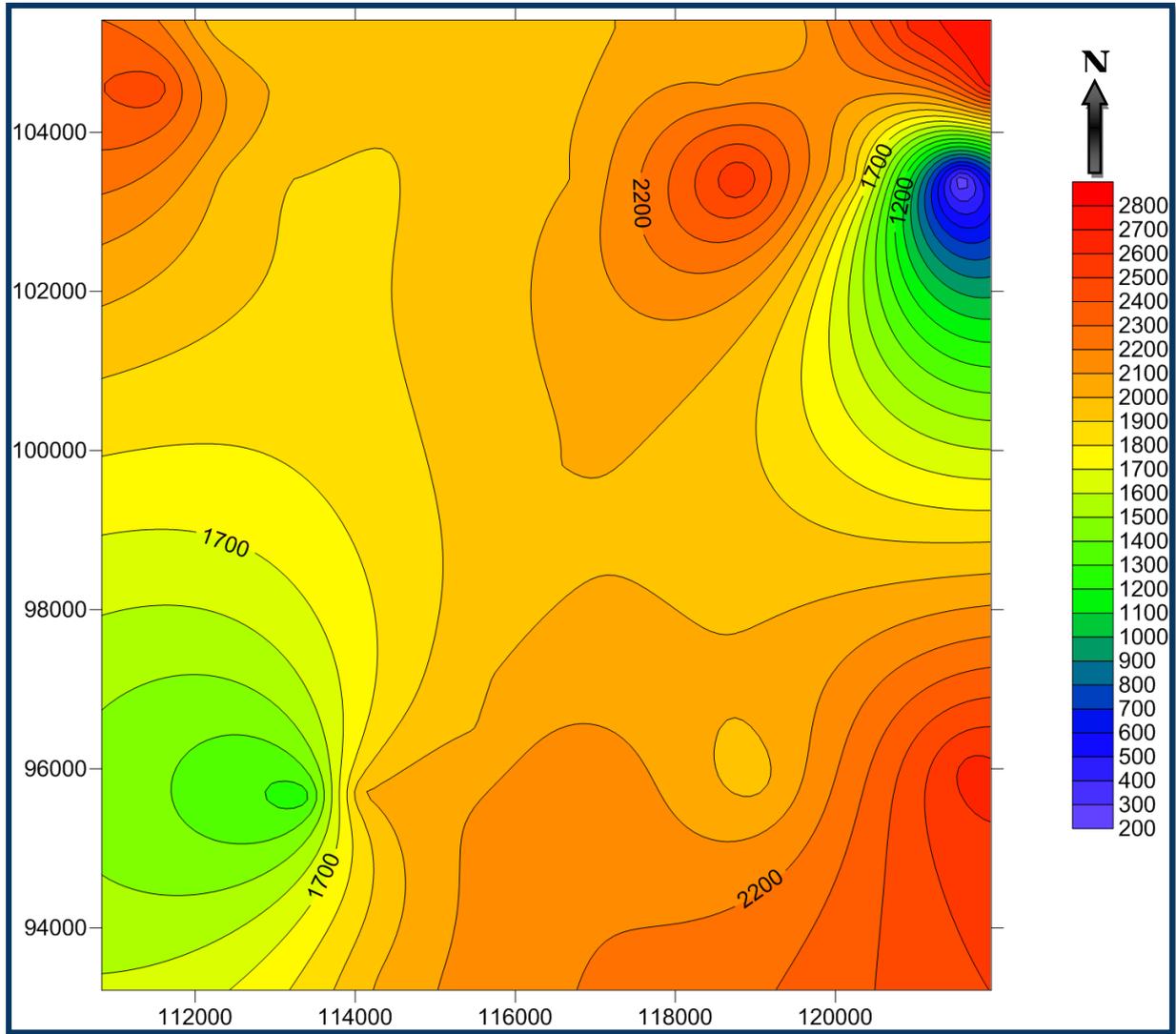


Figure 39: Carte d'iso-vitesses de la couche 1.



**Figure 40: Carte d'iso-vitesses de la couche 2.**



**Figure 41: Carte d'iso-vitesses de la couche 3.**

Les géométries 3D des surfaces matérialisant le toit et le mur de la couche altérée sont représentées sur la figure 42 ci-dessous.

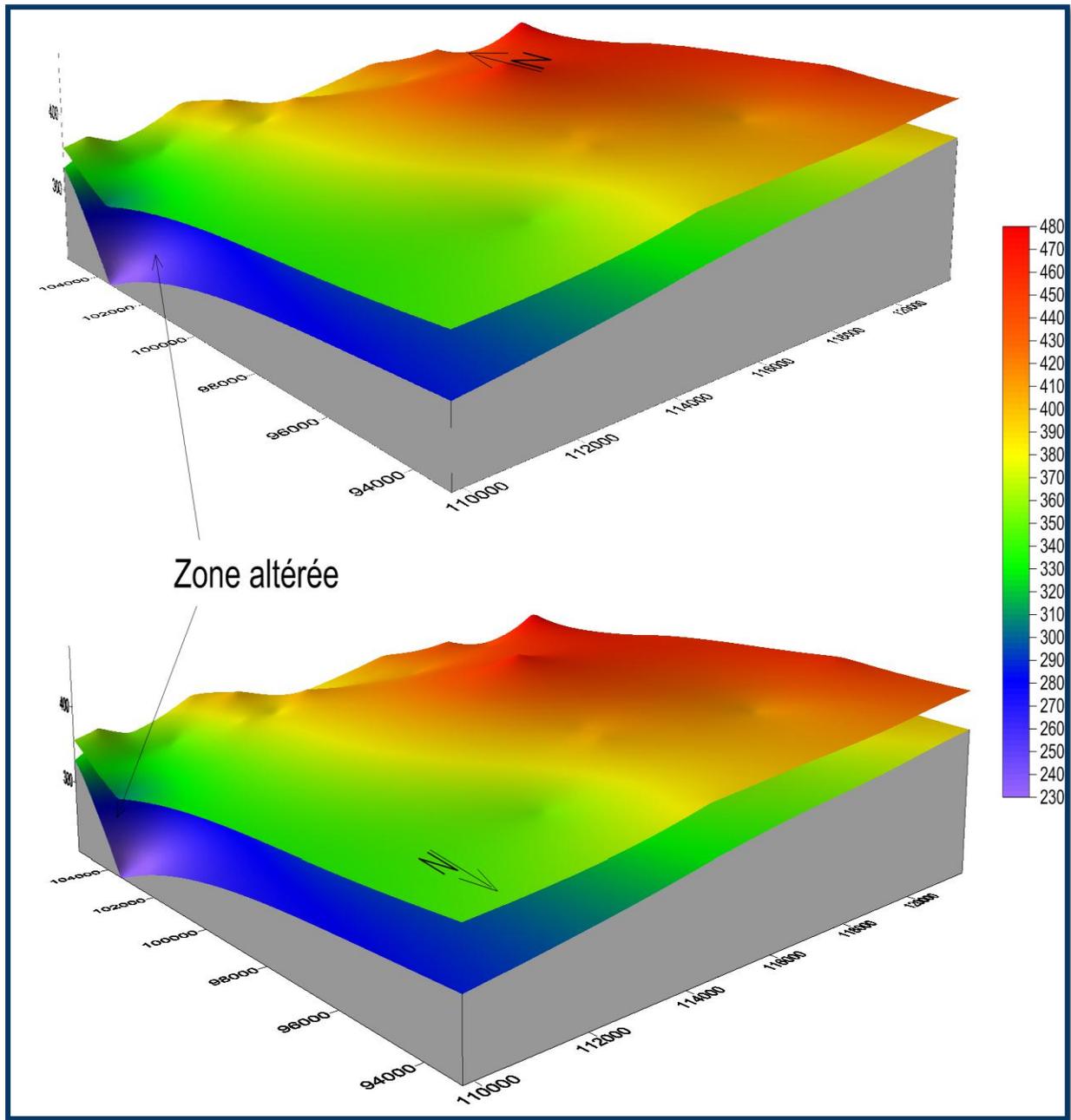


Figure 42: Représentation 3D de la zone altérée.

### **III-4. Comparaison des résultats des corrections statiques des deux méthodes :**

Au terme de la présente étude, nous avons calculé les valeurs de la correction statique en utilisant deux approches différentes, celle issue des Upholes de l'étude 3D de 2007 et celle aboutie par l'emploi de la petite réfraction sur des profils d'une campagne sismique 2D mise en œuvre en 1984.

En effet, nous ne pouvons pas se prononcer sur une vraie comparaison des valeurs de calcul des deux méthodes sans tenir compte de l'écart considérable des deux techniques, qui est présenté par un mode d'emploi différent, par l'introduction de paramètres différents aux formules de correction, sans oublier de signaler l'important écart entre les deux périodes d'exécution des deux méthodes dans la même zone.

Au cours de nos calculs de ces corrections, nous avons constaté que les valeurs obtenues avec la méthode des carottages sismiques sont nettement plus élevées que celles fournies par la sismique réfraction. Ceci est dû, comme a été précédemment cité à :

- ❖ L'utilisation de vitesses de correction distinctes pour les deux méthodes. La vitesse de correction employée pour la petite réfraction est 3000 m/s et celle utilisée pour les corrections d'Upholes est de 2000 m/s. Ceci est dû à la manière dont les vitesses de la zone altérée sont appréciées par chacune des deux méthodes ;
- ❖ Le niveau du plan de référence (datum plane) choisi est également différent. Il a été fixé à 100m pour la méthode de carottage sismique « Uphole » et à 400m pour celle de la petite réfraction ;
- ❖ Le carottage sismique utilise un dispositif et une technologie plus modernes.

### **III-5. Application des corrections statiques sur les données sismiques :**

L'objectif ultime de notre étude est d'aboutir à une caractérisation de la zone altérée qui permettra de déterminer la correction statique à appliquer aux données de la sismique réflexion.

L'importance de cette correction est illustrée sur les figures 43 et 44 qui présentent respectivement une même section sismique avant et après correction statique. 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

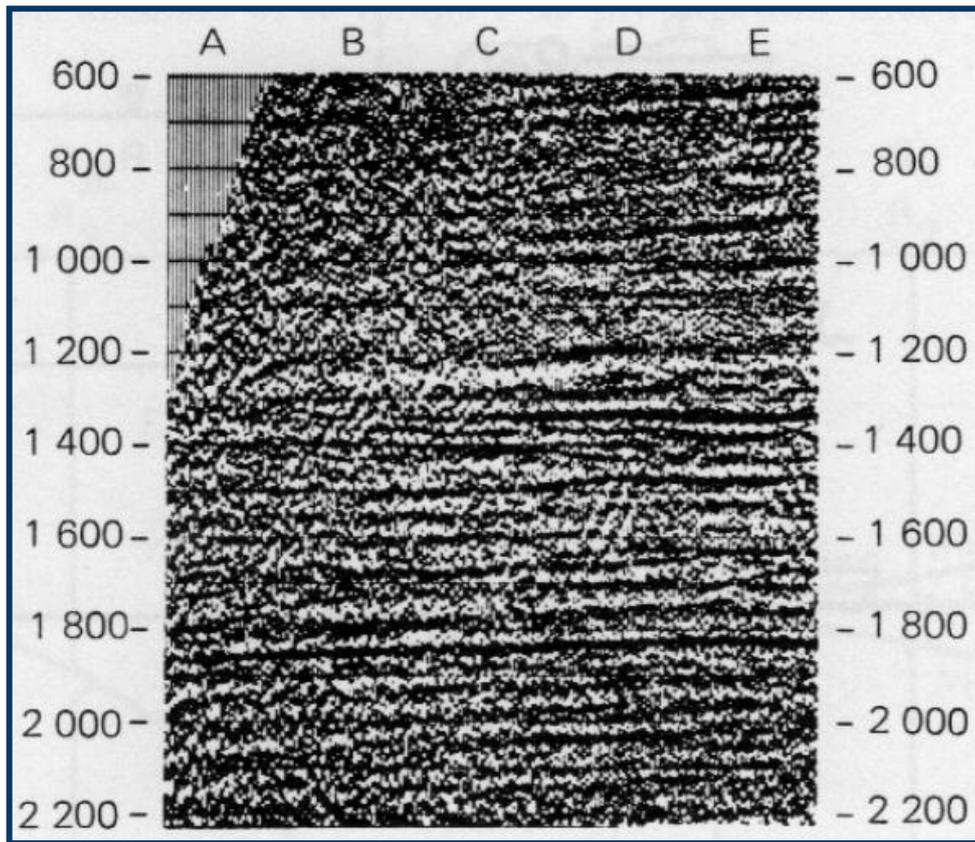


Figure 43: La section sismique avant les corrections statiques.

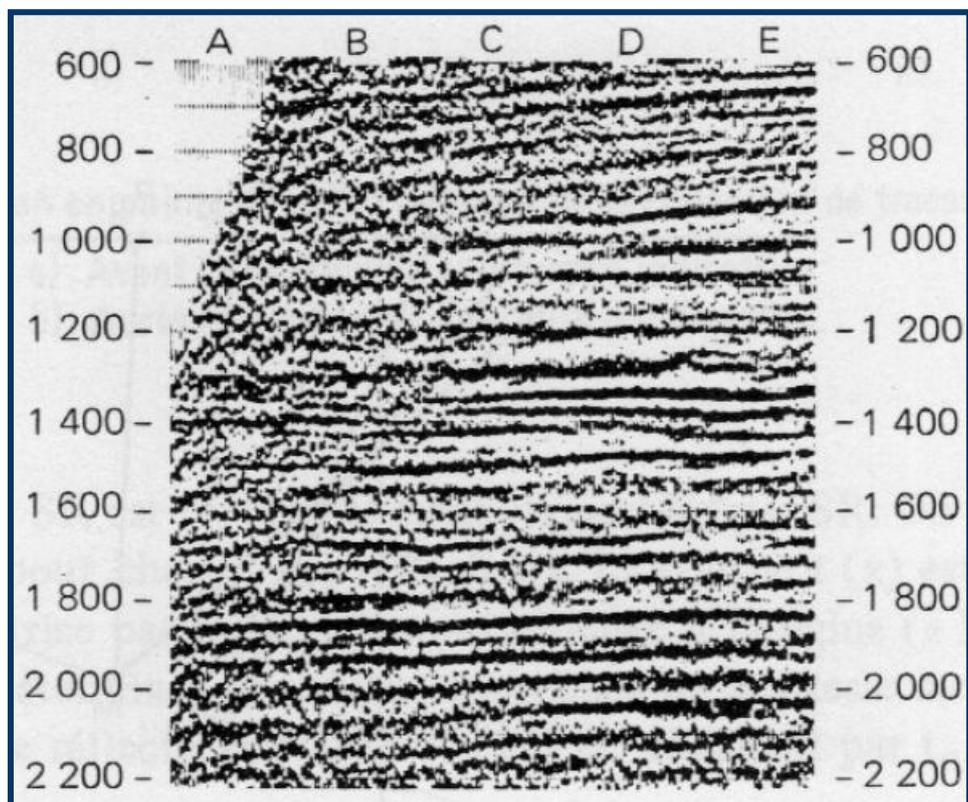


Figure 44: La section sismique après les corrections statiques.

## Conclusion

La sismique réflexion est une méthode géophysique qui permet de fournir des images précises de la structure du sous-sol jusqu'à de grandes profondeurs. Elle est très utilisée en exploration pétrolière où l'on exploite ces images pour l'identification de pièges d'hydrocarbures. La sismique réflexion demeure très compétitive par la précision de son diagnostic et la finesse de ses informations. La prospection par sismique réflexion dans le domaine pétrolier est menée en trois phases principales :

- ❖ La phase d'acquisition durant laquelle se déroulent les opérations de terrain qui font appel à des équipements lourds ;
- ❖ La phase de traitement des données à l'aide de logiciels très spécialisés;
- ❖ La phase d'interprétation géologique et d'identification des zones d'intérêt pour l'exploration pétrolière ;

Les différences d'altimétrie des points sources et récepteurs et les variations latérales de vitesse dans les couches superficielles ont d'énormes impacts sur le temps et l'énergie de propagation des ondes sismiques dans le sous-sol. Ils engendrent souvent des retards sur les temps d'arrivée des ondes. Ces retards peuvent être corrigés lors de la séquence de traitement des données de sismique réflexion, c'est ce qu'on appelle la correction statique. Cette correction est nécessaire et doit être menée correctement afin de contribuer à l'amélioration de la qualité de la section sismique finale. Son application avec succès passe nécessairement par une bonne caractérisation de la zone altérée, basée sur la détermination aussi précise que possible des variations de la vitesse et de l'épaisseur de celle-ci à l'échelle de la zone d'étude.

Au cours de la présente étude, nous avons procédé à l'étude de la couche altérée de la zone de Meskala, située dans le bassin d'Essaouira par deux méthodes distinctes. En regard des objectifs de cette étude, on peut retenir les résultats suivants :

- La méthode des carottages sismiques, datée de 2007, révèle l'existence d'une couche superficielle dont l'épaisseur varie de 35,4 à 52,5 mètres.
- La méthode de la sismique réfraction, datée de 1984, met en évidence une zone altérée dont l'épaisseur varie entre 20 et 67 mètres d'épaisseur.

Les différences des valeurs des corrections statiques obtenues par les deux méthodes sont vraisemblablement liées au choix des valeurs distinctes du plan de référence et de la vitesse de correction. La méthode des carottages sismiques est une technique moderne qui fournit des informations précises et fiables sur la zone altérée. Par ailleurs, les données sur la zone altérée ne deviennent significatives que si l'on dispose d'un grand nombre de carottages sismiques.

En ce qui concerne la méthode de la sismique réfraction, elle est spécialement efficace dans le cas d'une grande variation latérale de la vitesse et de l'épaisseur de la zone altérée.

En général, il n'y a pas une méthode universelle pour le calcul des corrections, chaque type de configuration de surface et de sub-surface représente un cas particulier. La combinaison entre deux méthodes est parfois utilisée pour affiner les résultats.

## **Bibliographie**

**LAVERGNE M. (1986):** Méthodes sismiques. Ed. Technip, France. 169 pages, P: 11-13, 25-27, 83-89, 163, 164, 177.

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

**DUBOIS J. & DIAMENT M. (1997).** Géophysique, Masson, France.

**CHAPEL P.** Géophysique appliquée, 1980, Masson, France.

**MARI J.L., GLANGEAUD F. et COPPENS F. (2004) :** Traitement du signal pour géologues et géophysiciens. Editions TECHNIP, 1997 - 460 pages. P : 60-167.

**FLECHE JC.** Traitement Sismique, 1992, Ecole nationale supérieure du pétrole et des moteurs, France.

**ESSALLOUMI N.** Retraitement sismique sur la région d'ESSAOUIRA avec essai d'application de DMO (Dip Move Out) **rapport de stage de titularisation à l'ONHYM.**

**BOUATMANI R., CHAKOR ALAMI A. et MEDINA F. :** « subsidence, évolution thermique et maturation des hydrocarbures dans le bassin d'Essaouira (Maroc) : apport de la modélisation », **bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section sciences de la terre, 2007.**

**[www.marees-noires.com](http://www.marees-noires.com)**