

الملخص

تُعدّ السيسمية الانعكاسية من أهم الطرق الجيوفيزيائية المستخدمة في تصوير باطن الأرض، غير أنّ البيانات المسجلة تتدهور بسبب التضاريس السطحية والمنطقة المتجواة (WZ) ، مما يؤدي إلى حدوث انزياحات زمنية. وتعمل التصحيحات الثابتة على تعويض هذه التأخيرات بإرجاع الأزمنة إلى مستوى مرجعي يُسمى datum.

تُقارن هذه الأطروحة بين ثلاث طرق طُبِّقت على بيانات ثنائية الأبعاد ضمن امتياز سعورة (بشار-سعورة، الجزائر) بعد معالجتها باستعمال: SeisSpace

تصحيح الارتفاع: يساهم في تثبيت الآفاق الضحلة المرتبطة بالتضاريس.

طريقة: DRM تحقق ترابطاً أفضل واستمرارية جانبية أكبر للآفاق.

التوموغرافيا: توفر نموذج سرعة أكثر تفصيلاً، لكنها حساسة لعملية التقاط أولى الوافدات وللأوفستات.

النتيجة: تُظهر طريقة DRM أفضل استقرار في المنطقة الضحلة. كما يُوصى باستعمال التوموغرافيا مع التصحيحات المتبقية في البيانات المعقدة. أما التصحيحات غير الصحيحة فتؤدي إلى تدهور عملية الجمع stacking وتشويه التفسير الجيولوجي.

الكلمات المفتاحية: السيسمية الانعكاسية، التصحيحات الثابتة، المنطقة المتجواة، التوموغرافيا، بشار-سعورة، SeisSpace.

Résumé

La sismique réflexion est une méthode géophysique essentielle pour imager le sous-sol, mais les données acquises sont dégradées par la topographie et la zone altérée (WZ), créant des décalages temporels. Les corrections statiques compensent ces retards en ramenant les temps à un plan de référence (datum).

Ce mémoire compare trois méthodes appliquées à des données 2D dans la concession Saoura (Béchar–Saoura, Algérie) traitées avec SeisSpace :

Correction altimétrique : stabilise les horizons superficiels liés à la topographie

DRM : meilleure cohérence et continuité latérale des horizons

Tomographie : modèle de vitesse détaillé, sensible au picking et aux offsets

Conclusion : La méthode DRM offre la meilleure stabilité du shallow. L'approche tomographie + corrections résiduelles est recommandée pour les environnements complexes. Des corrections incorrectes dégradent l'empilement et faussent l'interprétation.

Mots-clés : sismique réflexion, corrections statiques, zone altérée, tomographie, DRM, datum, Béchar–Saoura, SeisSpace.

Summary

Reflection seismics is a key geophysical method for subsurface imaging, but topography and the weathered zone (WZ), creating time shifts, degrade acquired data. Static corrections compensate for these delays by bringing times to a reference plane (datum).

This thesis compares three methods applied to 2D data in the Saoura concession (Béchar–Saoura, Algeria) processed with SeisSpace:

Elevation correction: stabilizes shallow horizons related to topography

DRM: better coherence and lateral continuity of horizons

Tomography: detailed velocity model, sensitive to picking and offsets

Conclusion: DRM offers the best shallow stability. The tomography + residual corrections approach is recommended for complex environments. Incorrect corrections degrade stacking and distort geological interpretation.

Keywords: reflection seismics, static corrections, weathered zone, tomography, DRM, datum, Béchar–Saoura, SeisSpace.

DEDICACES

Au nom d'ALLAH le Miséricordieux.

À moi, bien-aimée, À celle qui a veillé et travaillé sur les chemins de la science. À mon cœur qui est resté lumineux malgré l'obscurité, et à mon esprit qui a cru que la science a deux ailes élevant l'homme vers des horizons plus larges.

À mes chers parents, À mon père, source inépuisable et ombre qui me protège. Qui m'a appris que la science sans compassion est une sécheresse, et que la patience est le chemin de toute réussite. En toi j'ai grandi. Avec toi j'ai poursuivi. À ma mère, Oula, qui m'a portée petite puis m'a poussée grande vers la science. Par vos prières étaient ma force et ma stabilité.

À mes frères et sœurs, À Youssef, Fatima Zahra, Aissa, Abd El-djabar, et Bouchra — qui ont fait de la maison une petite patrie et m'ont partagée les détails de la vie, son doux et son dur. Merci d'être dans ma vie et pour vos prières.

À Mon amie dans le mémoire, À Djoumana Ben Mansour, compagne de chemin dans cette aventure. Nos veillées, nos rires et nos inquiétudes furent une part essentielle de ce travail. Cette mémoire restera éternelle dans mon cœur.

À mes amis, À chaque ami qui m'a accompagnée sur cette route, qui a partagé mon anxiété d'examen et la joie du succès. Merci pour chaque parole de soutien, chaque rire sous la pression, et chaque moment gravé dans mon cœur. Votre présence fut la plus belle chose du voyage.

À mes professeurs, Qui ont planté en moi les graines de la connaissance et les ont arrosées de patience et d'effort. Que Dieu vous récompense du meilleur salaire.

À ma patrie, À ceux qui m'ont donné la confiance quand j'étais faible, et le soutien quand j'ai trébuché. Pour que ce travail soit le témoignage que le succès est le fruit de nombreux cœurs rassemblés autour de moi. Leur amour fut ma force, leur affection ma stabilité, et leur présence mon arrivée.

—————**Chaima Ahmadou**—————

DEDICACES

Au nom d'ALLAH le Miséricordieux

Je dédie humblement ce travail au Tout-Puissant, qui m'a guidé à chaque étape de mon parcours académique. Avec une profonde gratitude, je reconnais les bénédictions, la force et la sagesse dont Il m'a comblé, et qui m'ont permis de mener à bien cette entreprise.

À mes chers parents, vos conseils et votre foi inébranlable en moi ont été le moteur de ma réussite. Votre soutien constant face aux difficultés et votre joie à chaque étape franchie témoignent de votre amour inconditionnel. Je vous serai éternellement reconnaissant pour les sacrifices que vous avez faits afin de m'offrir les opportunités dont j'avais besoin.

À mes merveilleux frères, merci d'avoir rendu mon parcours éducatif plus facile. Votre soutien indéfectible et vos sacrifices ont compté énormément pour moi. Je vous suis éternellement reconnaissant pour votre amour et vos encouragements.

À mes dévoués frères, Abdelkader et Redouane, merci de croire en moi et de tout faire pour soutenir mes études. Votre amour et vos sacrifices me sont très chers. Je vous en suis éternellement reconnaissant.

À ma formidable collègue, amie et partenaire, Chaima Ahmadou, merci pour ta collaboration remarquable et ton dévouement sans faille. Ton soutien a été inestimable. Je t'en suis sincèrement reconnaissante.

À mes chères amies, Hind et Khaira, merci pour votre soutien constant et votre positivité contagieuse. Vos encouragements et votre amitié m'ont été inestimables. Je vous suis sincèrement reconnaissante pour votre présence dans ma vie.

————— **Djoumana Ben Mansour** —————

REMERCIEMENTS

Louange à Allah, Seigneur des univers, qui nous a comblés de Sa miséricorde jusqu'à l'achèvement de ce modeste travail. Nous nous prosternons devant notre Dieu, le Tout-Puissant, le Sage.

Nous saisissons cette occasion pour exprimer notre profonde gratitude aux personnes de bien qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Nous adressons tout d'abord nos plus vifs remerciements à notre encadrant **Pr. DJEDDI Mohammed**, pour ses précieux conseils, sa patience et son soutien constant tout au long de la réalisation de ce travail.

Nous remercions également le personnel de la Division Exploitation Sismique ENAGEO, qui, malgré la charge de leur travail, ont su nous consacrer de leur temps et de leur savoir, et nous ont guidés tout au long de notre stage.

Nous adressons nos sincères remerciements aux honorables membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail en acceptant de l'examiner. Nous sommes particulièrement reconnaissant pour leurs critiques et recommandations.

Nous tenons à remercier tous nos enseignants qui nous ont accompagnés et formés durant tout notre cursus universitaire.

Enfin,

Nous remercions chaleureusement toutes nos amies et tous nos amis de notre promotion pour leur esprit de solidarité et leur soutien. Louange à Allah, Seigneur des univers, qui nous a comblés de Sa miséricorde.

Table des matières :

Titre	page
Résumé	<u>I</u>
Dédicaces	<u>IV</u>
Remerciements	VI
Table des matières	VII
La liste des figures	XI
Liste des abréviations	XIII
Chapitre 1: Généralités sur la sismique réflexion	
1.1 Introduction.	4
1.2 Définition de l'onde sismique	4
1.3 La sismique réflexion	4
1.3.1 Les lois de la réflexion et de la réfraction.	5
1.3.2 Les étapes de la sismique réflexion	7
1.4 Sources d'erreurs sismiques	8
Chapitre 2: Généralités sur les corrections statiques	
2.1 Introduction aux corrections statiques	10
2.2 Le plan de référence (DP - Datum Plane)	10
2.3 La zone altérée (WZ - Weathered Zone)	10
2.4 Calcul des corrections statiques	11
2.5 Les méthodes de correction statique	12

2.6 conclusion	14
Chapitre 3 : Application sur des données réelles des méthodes de correction statique	
3.1 introduction	16
3.2 Géologie de la région	16
3.2.1 situation de la région	16
3.2.2 topographie de région	17
3.2.3 cadre géologique	17
3.3 les paramètres d'acquisition des données	18
3.4 Présentation du logiciel seisspace	20
3.5 application des méthodes corrections statiques	21
3.5.1 Correction Altimétrique	22
3.5.2 Méthode réduction de la matrice résiduelle (DRM)	24
3.5.3 Méthode de la tomographie sismique	26
3.6 Conséquences des mauvaises corrections statiques	30
3.7 conclusion	31
Conclusion générale	32
Bibliographique	33

La liste de figures :

N°du figure	Titre de figure	Page
Chapitre 1: Généralités sur la sismique réflexion		
1.1	Réflexion et réfraction des ondes sismiques	6
1.2	Les principes de la réflexion et de la réfraction	7
Chapitre 2: Généralités sur les corrections statiques		
2.1	Les différents configuration du DP	13
2.2	Principe de Correction Statique	14
2.3	trajet vertical de la rai sismique dans la zone altérée	15
Chapitre 3 : application sur des données réelles sur les méthodes de correction statique		
3.1	Localisation géographique du bassin de Béchar dans le Sud-Ouest algérien.	22
3.2	Carte géologique régionale montrant la position du bassin de Béchar dans le contexte structural du Sahara algérien.	23
3.3	Plan de position de l'étude	25
3.4	carte de profil choisie	25
3.5	pointé des premières arrivées réfractées	28
3.6	Stack sans correction statique	29
3.7	Stack avec la correction altimétrie	29
3.8	Stack sans correction statique	30
3.9	Stack avec la correction statique altimétrie d'élévation	31

3.10	Stack sans correction statique	32
3.11	Stack avec correction statique DRM	32
3.12	Stack avec correction statique DRM	33
3.13	Création du modèle initiale à partir du pic	34
3.14	Modèle initiale de vitesse	34
3.15	Modèle initiale de vitesse smoothed (lissé)	35
3.16	Stack sans correction statique	35
3.17	Stack avec correction statique TOMO	36
3.18	Stack avec correction statique	36
3.19	Courbe de l'élévation (bleu) et solution statique DRM (rouge) Receiver	37
3.20	Courbe de l'élévation (bleu) et solution statique TOMO (violet) Receiver	38
3.21	Courbe de l'élévation (bleu) et solution statique DRM (rouge) Shot/Source	38
3.22	Courbe de l'élévation (bleu) et solution statique TOMO (violet)Shot/Source	39

Liste des abréviations

Abréviation	Signification
2D	Deux dimensions
3D	Trois dimensions
AVO	Amplitude Versus Offset
CMP	Common Mid Point
DP	Datum Plane
DRM	Réduction de la Matrice Résiduelle
ENAGEO	Entreprise Nationale de Géophysique
GLI	Generalized Linear Inversion
GRM	Generalized Reciprocal Method
Hz	Hertz
m	Mètre
m/s	Mètre par seconde
ms	Milliseconde
NMO	Normal Moveout
Offset	Distance entre la source et le récepteur
Receiver	Récepteur
SEG	Society of Exploration Geophysicists

SEG Y	Format standard des données sismiques
SeisSpace	Logiciel de traitement sismique de Halliburton
Shot	Tir sismique
S/N	Signal/Bruit
SP	Shot Point
Stack	Empilement
Sweep	Balayage de la source vibratoire
SR	Sismique réflexion
TOMO	Tomographie
Vibrioses	Source sismique vibratoire
WZ	Weathered Zone

INTRODUCTION

La sismique réflexion constitue aujourd'hui l'une des méthodes géophysiques les plus performantes et les plus utilisées pour l'exploration du sous-sol. Basée sur la propagation des ondes élastiques et leur réflexion sur les interfaces géologiques présentant des contrastes d'impédance acoustique, cette méthode permet d'obtenir une image détaillée des structures profondes. Elle est largement employée dans les domaines de l'exploration pétrolière, gazière, minière ainsi que dans les études géotechniques et hydrogéologiques. Grâce aux progrès technologiques réalisés au niveau de l'acquisition, du traitement et de l'interprétation des données, la sismique réflexion offre aujourd'hui une résolution et une précision remarquables dans la caractérisation du sous-sol.

Cependant, les données sismiques acquises sur le terrain sont souvent affectées par plusieurs facteurs perturbateurs liés aux conditions topographiques, aux variations latérales des vitesses dans la zone altérée, ainsi qu'aux irrégularités proches de la surface. Ces effets introduisent des décalages temporels qui dégradent la qualité des sections sismiques et compliquent l'interprétation géologique. Pour remédier à ces problèmes, un traitement rigoureux des données devient indispensable avant toute interprétation finale.

Le traitement sismique comprend plusieurs étapes essentielles visant à améliorer le rapport signal/bruit et à restituer une image fidèle du sous-sol. Parmi ces étapes figurent notamment l'édition des données, le filtrage, les corrections géométriques, les corrections statiques, les corrections dynamiques (NMO), l'empilement et la migration. Chaque étape joue un rôle fondamental dans l'amélioration progressive de la qualité des données sismiques.

Parmi l'ensemble de ces traitements, les corrections statiques occupent une place particulièrement importante. Elles consistent à corriger les retards temporels provoqués principalement par les variations d'épaisseur et de vitesse dans la couche altérée ainsi que par les variations topographiques. Ces corrections permettent de repositionner correctement les événements sismiques afin d'assurer la cohérence des réflecteurs et d'améliorer considérablement la qualité des sections empilées. Les corrections statiques peuvent être subdivisées en corrections statiques d'altitude, corrections de la zone altérée et corrections statiques résiduelles.

Le présent travail a pour objectif de présenter l'importance des corrections statiques dans le traitement des données de sismique réflexion. Dans un premier temps, un aperçu général de la

méthode de sismique réflexion sera exposé, suivi d'une présentation des principales étapes du traitement sismique. Ensuite, une attention particulière sera portée aux corrections statiques, à leurs principes théoriques, leurs méthodes de calcul ainsi qu'à leur rôle dans l'amélioration des données sismiques. Enfin, une application pratique sera présentée afin d'illustrer l'impact des corrections statiques sur la qualité des sections sismiques, avant de conclure sur l'importance de cette étape dans l'interprétation géophysique et géologique.

Chapitre 1:
Généralités sur la sismique
réflexion

1. Généralités sur la sismique réflexion

1.1 Introduction

La prospection sismique est une méthode géophysique qui consiste à étudier la structure du sous-sol en analysant la propagation d'ondes sismiques générées par une source sismique. Le principe repose sur la création d'une perturbation (explosion, vibration, etc.) à la surface du sol, qui génère des ondes sismiques se propageant dans le sous-sol.

Ces ondes se réfléchissent et se réfractent conformément aux lois de Snell Descartes aux interfaces entre les différentes couches géologiques, en fonction de leurs propriétés physiques (densité, vitesse de propagation). Les ondes réfléchies et réfractées sont ensuite enregistrées en surface par des récepteurs (géophones ou hydrophones) qui enregistrent leur temps de parcours (aller - retour).

On distingue deux principales méthodes de prospection sismique :

- La sismique réflexion : La sismique réflexion vise à reconstruire une image détaillée de la structure du sous-sol en analysant les ondes réfléchies aux interfaces géologiques
- La sismique réfraction : La sismique réfraction permet également d'imager le sous-sol moyennant l'étude des ondes réfractées (coniques). Ces deux techniques sont largement utilisées dans de nombreux domaines, notamment en géologie, en géotechnique et surtout dans l'industrie pétrolière pour la recherche et l'exploitation des gisements d'hydrocarbures.

1.2. Définition de l'onde sismique

C'est la perturbation provoquée du milieu qui se propage à partir de la source d'excitation et qui s'étale de proche en proche à travers les couches géologiques à une vitesse qui dépend de leur nature. [1]

1.3. La sismique réflexion

La sismique réflexion est une méthode géophysique qui consiste à étudier la structure du sous-sol en analysant les ondes sismiques réfléchies aux interfaces entre différentes couches géologiques. Le principe repose sur la génération d'ondes sismiques artificielles, qui se propagent dans le sous-

sol et qui se réfléchissent lorsqu'elles rencontrent des discontinuités séparant des milieux géologiques de différentes propriétés physiques (densité, vitesse de propagation).

Les ondes réfléchies sont ensuite captées en surface par des récepteurs appelés géophones. L'analyse des temps de parcours et des amplitudes de ces ondes réfléchies permet de reconstruire une image détaillée de la structure du sous-sol, en déterminant la profondeur, l'épaisseur et les caractéristiques des différentes couches géologiques.

La sismique réflexion est largement utilisée dans de nombreux domaines, notamment en géologie, en géotechnique et surtout dans l'industrie pétrolière pour la recherche et l'exploitation des gisements d'hydrocarbures.

1.3.1 Les lois de la réflexion et de la réfraction.

Considérons deux milieux **I** et **II**. Tout rai sismique arrivant à la vitesse **$V1$** à l'interface des deux milieux **I** et **II** de propriétés élastiques différentes sous un angle d'incidence **i** donne lieu à :

- Deux rayons réfléchis émergents, l'un longitudinal, l'autre transversal.
- Deux rayons réfractés transmis dans le milieu inférieur, véhiculant, l'un des mouvements de compression, l'autre de cisaillement. Car chaque point de la surface de séparation devient le centre d'une onde élastique hémisphérique qui se propage dans le milieu **II** avec une vitesse **$V2$** . (**Figure 1.1**)

La construction géométrique de ces rais sismiques est obtenue simplement par l'application des lois de Snell-Descartes :

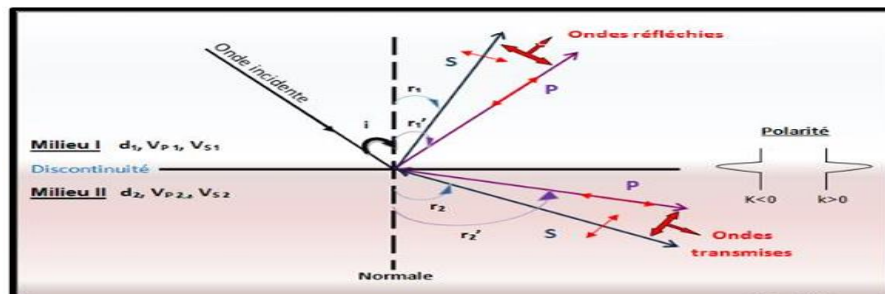


Figure 1.1: Réflexion et réfraction des ondes sismiques [1]

Lorsque l'angle de réfraction r'_2 atteint 90° , le rayon transmis est horizontal, il va glisser le long de la discontinuité avec une vitesse V_2 et crée tout le long de son trajet des rayons sismiques sortant avec un angle ici (**Figure 1.2**). Ce type d'onde sortant et appelé onde conique

Chaque point de l'interface se comporte alors comme une nouvelle source se déplaçant à une vitesse V_{p2} dans le second milieu **II**. Le nouveau front d'onde ainsi créé se propage avec une vitesse supérieure à celle du front d'onde incident.

Cette différence de vitesse de propagation des ondes crée dans le milieu **I** une onde dont le front d'onde possède la forme d'un tronc de cône. C'est grâce à ce phénomène d'onde conique que des ondes réfractées à l'interface de deux milieux peuvent être captées en surface.

La sismique réflexion s'intéresse donc aux ondes émises sous un angle incident égal à l'angle critique. Si l'angle d'incidence continue à croître jusqu'à atteindre une valeur supérieure à celle de l'angle critique i_{Cr} , il se produit alors le phénomène de réflexion totale. Là, plus rien ne traverse l'interface entre les deux milieux **I** et **II** et l'onde est réfléchiée dans sa totalité. Le double phénomène réfraction- réflexion lié aux discontinuités entre deux milieux **I – II** géologiques fournira la base de deux méthodes de sismiques bien différentes, la sismique réflexion et la sismique réfraction.

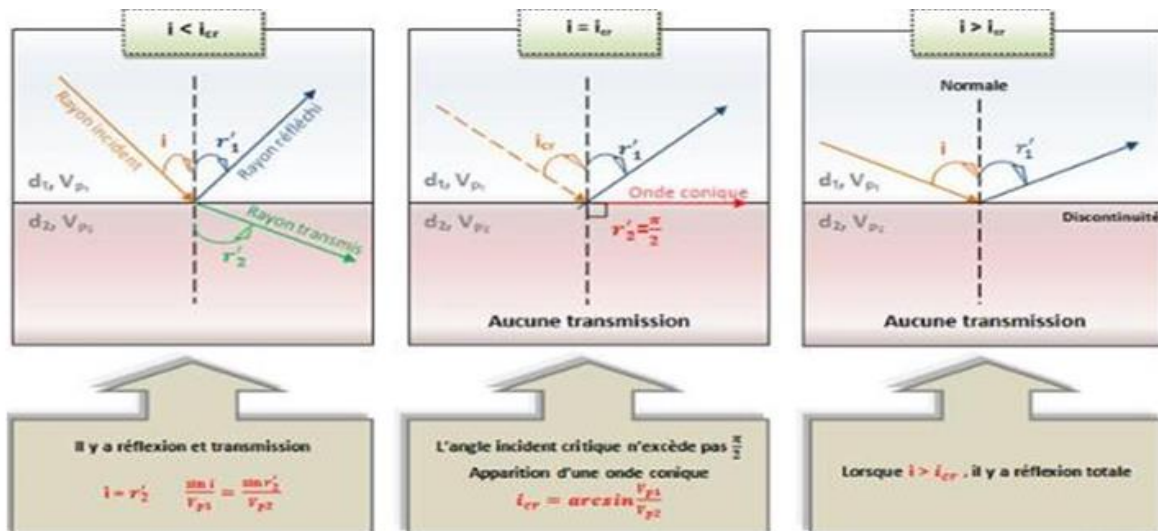


Figure 1.2: Les principes de la réflexion et de la réfraction [1]

Il est à noter qu'en sismique réflexion on ne s'intéresse qu'aux ondes P (ondes longitudinales) arrivant en premier. Les ondes S (transversales) sont enregistrées pour d'autres besoins spécifiques tels que la sismique de puits.

1.3.2 Les étapes de la sismique réflexion

La sismique réflexion est la méthode géophysique offrant la meilleure résolution pour l'imagerie du sous-sol. Elle comprend trois étapes principales : l'acquisition, le traitement et l'interprétation des données sismiques.

a. Acquisition des données sismiques

L'acquisition consiste à générer des ondes sismiques en surface puis à enregistrer leurs réflexions sur les interfaces géologiques grâce à des géophones. Cette étape permet d'obtenir des informations sur la structure interne du sous-sol, notamment dans l'exploration pétrolière.

Les principales sources sismiques utilisées sont :

- la dynamite, aujourd'hui peu utilisée en raison des contraintes de sécurité et environnementales
- le marteau ou chute de poids, adapté aux faibles profondeurs
- le camion-vibreux (Vibrioses), largement employé en sismique profonde grâce à sa bonne maîtrise du signal émis.

Les données enregistrées sont numérisées avec un pas d'échantillonnage généralement de 2 ms. Une couverture multiple élevée améliore le rapport signal/bruit et la continuité des réflecteurs.

b. Traitement sismique

Le traitement sismique regroupe un ensemble d'opérations destinées à améliorer la qualité des données et à produire des sections sismiques interprétables. Les principales étapes sont :

- le reformatage et le démultiplexage des données
- l'édition et le rééchantillonnage
- la récupération du gain et la correction des atténuations
- la mise en collection CMP
- les corrections statiques et dynamiques (NMO)

- l'analyse de vitesses
- la deconvolution, le filtrage et le mute
- l'addition des traces (stack)
- la migration.

c. Interprétation sismique

L'interprétation constitue l'étape finale. Elle permet d'identifier les réflecteurs sismiques et de relier les horizons observés aux structures géologiques du sous-sol. En exploration pétrolière, l'objectif principal est la mise en évidence des structures favorables à l'accumulation des hydrocarbures.

Les méthodes modernes permettent également une interprétation quantitative visant l'estimation des propriétés pétrophysiques des réservoirs, telles que la porosité ou la perméabilité.

1.4. Sources d'erreurs en sismique

Plusieurs facteurs peuvent altérer la qualité des données et fausser l'image sismique

- La topographie irrégulière: les variations d'altitude entre la source et les récepteurs provoquent des décalages artificiels des temps d'arrivée.
- La couche altérée (weathering layer) zone superficielle à faible vitesse (200 à 800 m/s) et d'épaisseur variable, responsable de retards importants et irréguliers.
- Le bruit sismique bruit de surface (ondes de Rayleigh, ondes de Love), bruit culturel (machines, circulation), bruit atmosphérique.
- Les erreurs d'acquisition: mauvais positionnement des géophones, mauvais couplage, mauvais enregistrement.
- Les approximations lors du traitement mauvaise estimation des vitesses, corrections insuffisantes, migration non adaptée
- La maîtrise de ces erreurs et leur correction sont indispensables pour obtenir une image fiable et permettre une interprétation géologique correcte. [9]

Chapitre 02:
Généralités sur les corrections statiques

2. Généralités sur les corrections statiques

2.1. Introduction sur corrections statiques

Les corrections statiques constituent une étape fondamentale du traitement des données en sismique réflexion terrestre. Elles ont pour objectif de corriger les variations artificielles des temps de parcours des ondes sismiques causées par la topographie, ainsi que par les hétérogénéités de la zone superficielle altérée appelée Weathered Zone (WZ). Ces anomalies peuvent dégrader la qualité des sections sismiques et fausser l'image réelle des structures géologiques du sous-sol.

2.2. Le plan de référence (DP - Datum Plane)

La correction statique consiste à ramener les temps enregistrés à ceux qui seraient obtenus si les sources sismiques et les récepteurs étaient placés sur un même plan de référence (DatumPlane ou DP). Ce plan peut être horizontal, incliné ou en escalier selon la configuration topographique de la zone étudiée (**figure 2.1**).

En général, il est choisi légèrement au-dessous de la base de la zone altérée afin de limiter les erreurs liées à la propagation des ondes.

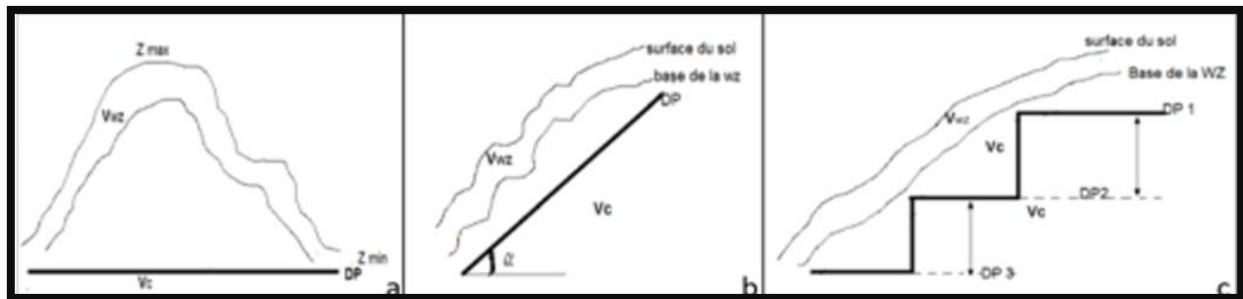


Figure 2.1: Les différentes configurations du DP [3]

2.3. La zone altérée (WZ - Weathered Zone)

La zone altérée correspond à la partie superficielle du sous-sol affectée par les phénomènes atmosphériques, chimiques et biologiques. Elle se caractérise par une faible vitesse de propagation des ondes sismiques, une forte hétérogénéité latérale et verticale, ainsi qu'un important pouvoir d'atténuation de l'énergie sismique. Les variations d'épaisseur et de vitesse dans cette zone introduisent des retards temporels variables le long des profils sismiques. [9]

2.4. Calcul des corrections statiques

Les corrections statiques comportent principalement deux composantes :

- Les corrections d'altimétrie, qui compensent les différences d'altitude des points de tir et des géophones ;
- Les corrections liées à la zone altérée, qui corrigent les retards dus aux variations de vitesse et d'épaisseur de la WZ.

Le calcul de ces corrections nécessite la connaissance de plusieurs paramètres, notamment les altitudes des sources et des récepteurs, les vitesses sismiques de la zone altérée et du substratum sain, l'épaisseur de la WZ ainsi que la position du plan de référence. Ces informations sont généralement obtenues à partir des levés topographiques et des études de sismique réfraction.

En se référant à la **figure 2.2**, les corrections statiques peuvent être exprimées par la relation (1).

$$t_0 = t_{ob} - \left[\frac{h_a^G}{V_1^G} + \frac{h_a^S}{V_1^S} + \frac{h_r^G}{V_2^S} + \frac{h_r^S}{V_2^S} \right] \quad (1)$$

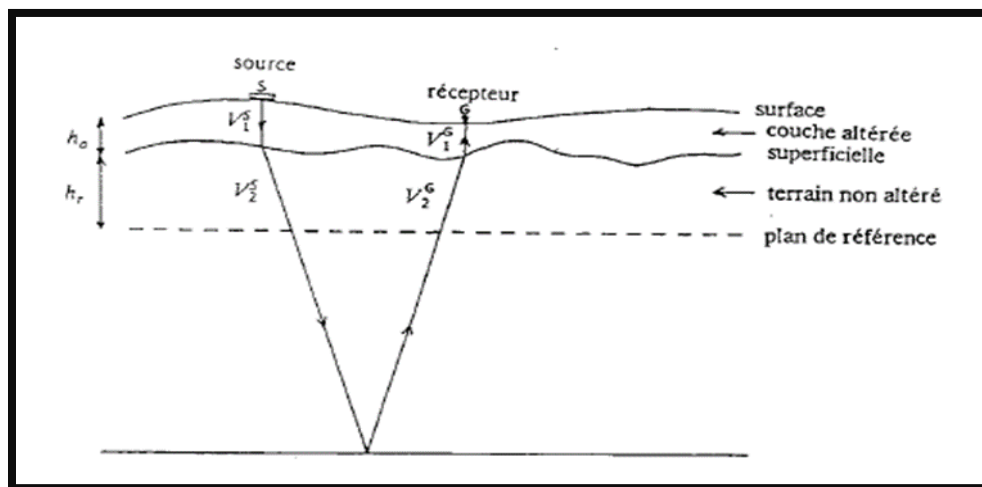


Figure 2.2 : Principe de Correction Statique

Dans cette relation, t_{obs} représente le temps de parcours observé, tandis que t_0 correspond au temps corrigé après application des corrections statiques.

Dans l'approche classique, les corrections statiques reposent sur l'hypothèse d'une propagation verticale des ondes dans la zone superficielle (**Figure2.3**).

Toutefois, lorsque les variations topographiques deviennent importantes, cette approximation peut introduire des erreurs significatives. Dans ce cas, des méthodes plus avancées, basées sur l'équation d'onde, peuvent être utilisées afin d'améliorer la précision des corrections [2].

Ainsi, l'application correcte des corrections statiques permet d'améliorer considérablement la continuité des réflecteurs sismiques, la qualité des sections finales et la fiabilité de l'interprétation géologique et structurale du sous-sol.

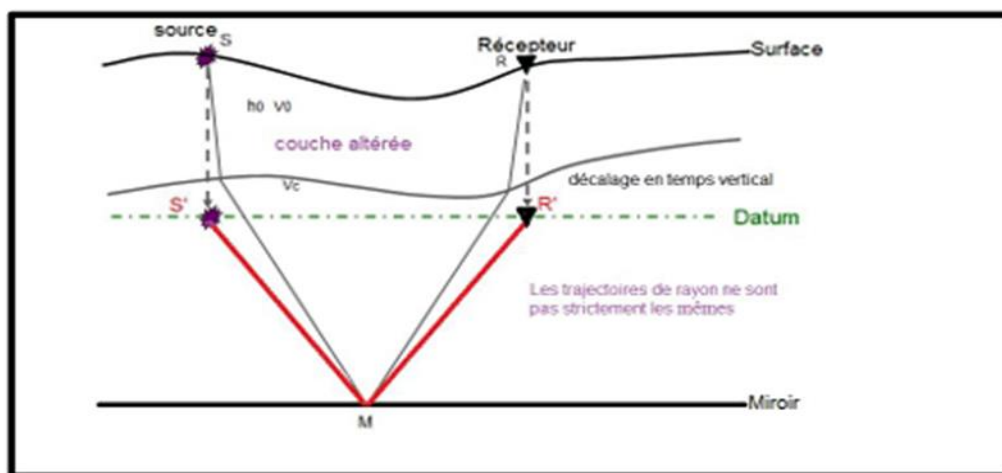


Figure 2.3 : trajet vertical de la rai sismique dans la zone altérée

2.5. Les différentes méthodes correction statique :

L'évolution des méthodes de corrections statiques montre une progression des approches géométriques simples vers les techniques d'inversion et de tomographie. En traitement sismique moderne terrestre, l'association de la tomographie proche surface et des corrections statiques résiduelles surface-consistantes constitue aujourd'hui l'approche la plus performante. [4].

Néanmoins il existe différentes autres méthodes que nous exposons ci-dessous. [14] :

a. Méthode des Upholes

Cette méthode repose sur des forages peu profonds permettant de déterminer l'épaisseur et la vitesse de la zone altérée ainsi que la vitesse du substratum. Les corrections sont calculées directement à partir des temps mesurés. Bien que très précise, cette technique demeure coûteuse et sert souvent de référence terrain. [12]

b. Méthode des temps de retard (Delay-Time Method)

Méthode classique basée sur l'analyse des premières arrivées réfractées. Le temps observé est décomposé entre le trajet dans la couche altérée et celui dans le réfracteur. Cette approche a joué un rôle majeur dans le développement des corrections statiques de réfraction. [6]

c. Méthode Plus-Minus de Hagedoorn

Cette technique utilise les tirs directs et inverses afin d'estimer la profondeur du réfracteur et les corrections statiques associées. Elle a été largement employée avant l'essor des méthodes tomographiques. [7]

d. Méthode GRM (Generalized Reciprocal Method)

Extension améliorée des méthodes de réfraction conventionnelles, la GRM offre une meilleure stabilité dans les environnements géologiques complexes, notamment lorsque la profondeur du substratum varie rapidement. [10]

e. GLI (Generalized Linear Inversion)

Cette méthode d'inversion linéaire des premières arrivées permet d'estimer les vitesses proches de la surface et de calculer les corrections statiques tout en construisant un modèle de vitesse cohérent. Elle est intégrée dans de nombreux logiciels modernes de traitement sismique. [15]

f. Tomographie des premières arrivées

Actuellement très utilisée, cette approche consiste à inverser les temps des premières arrivées afin de reconstruire un modèle de vitesse 2D ou 3D du proche sous-sol. Elle offre une excellente résolution et s'adapte efficacement aux structures géologiques complexes. [11]

g. Corrections statiques résiduelles

Après l'application des corrections de réfraction, des erreurs locales de courte longueur d'onde peuvent subsister, notamment en raison d'imperfections du modèle de vitesse ou des corrections NMO. Les corrections statiques résiduelles, généralement appliquées après le NMO, visent à améliorer la continuité et la cohérence des réflecteurs. [13]

2.6 Conclusion

Les corrections statiques sont une étape fondamentale en sismique réflexion terrestre pour corriger les variations artificielles des temps de parcours causées par la topographie et la zone altérée (WZ). Ce chapitre a présenté :

Le plan de référence (DP) comme repère fictif pour uniformiser les altitudes

La zone altérée (WZ) comme source principale des anomalies temporelles

Les deux composantes des corrections : altimétrie et WZ

L'amélioration significative de la qualité des sections sismiques après application

Les méthodes de correction ont évolué des approches géométriques simples vers les techniques modernes d'inversion et de tomographie. Les méthodes classiques (upholes, temps de retard, Hagedoorn, GRM) ont été complétées par des méthodes avancées (GLI, tomographie des premières arrivées) offrant meilleure résolution dans les environnements complexes.

Le choix de la méthode dépend de la complexité géologique, de la qualité des données, et des contraintes de temps/budget. L'approche moderne associant tomographie proche surface et corrections résiduelles représente la méthode la plus performante actuelle.

Chapitre 03 :
Application sur des données réelles sur les
méthodes de correction statique

3.Application sur des données réelles sur les méthodes de correction statique

3.1 introduction

Dans ce chapitre, nous présentons le calcul et l'application des corrections statiques obtenues par trois méthodes : Correction d'élévation, DRM et tomographie, appliquées aux données d'une étude 2D située dans la région Béchar–Saoura qui est une étude d'acquisition sismique réflexion 2D composée de 55 profils. Notre travail a porté sur un profil de l'étude, le profil (50) réalisée dans la concession SAOURA, périmètre de Béchar (blocs 309, 310, 311, 316 et 319). Le travail a été réalisé au Centre de l'Entreprise Nationale de Géophysique (ENAGEO) Hassi Massoud à Ouargla, en utilisant le logiciel **SeisSpace**.

L'objectif de cette application est d'extraire des informations sur les structures afférentes aux couches superficielles, en mettant l'accent sur l'amélioration de l'imagerie sismique. Les horizons de subsurface dans cette région sont souvent non consolidés et caractérisés par des couches à faible vitesse susceptibles d'entraîner des retards temporels des ondes sismiques. Ces variations de vitesse peuvent dégrader la qualité de l'image sismique en introduisant des erreurs de corrections statiques.

Pour pallier ces effets, nous avons calculé et appliqué les corrections statiques issues des méthodes d'élévation, de DRM et de tomographie, puis comparé leurs performances afin d'évaluer leur efficacité et leur pertinence dans ce contexte local.

Les résultats de cette analyse comparative seront présentés, puis discutés quant à leur impact sur l'amélioration de la qualité des images sismiques dans la zone étudiée

3.2 Géologie de la région d'étude

3.2.1 Situation de la région

La région de Béchar-Saoura se situe dans le sud-ouest de l'Algérie, couvrant les wilayas de Béchar et Béné Abbès, avec une superficie totale d'environ 20 000 km² pour le bassin principal.

Elle est délimitée au nord par l'accident sud-atlasique, au sud par les failles NE-SW (ex. Ben Zireg), à l'ouest par la plateforme saharienne et à l'est par les extensions vers le Gourara. Carte régionale montrant la position de Béchar-Saoura dans le bassin pré-saharien.

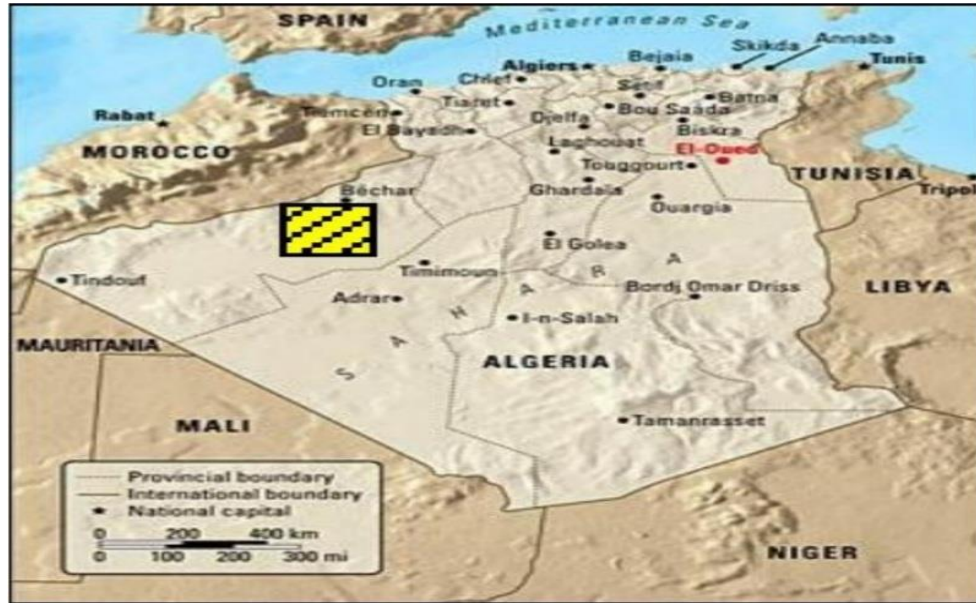


Figure 3.1 : Localisation géographique du bassin de Béchar dans le Sud-Ouest algérien. [8]

3.2.2 Topographie de la région

La zone d'étude se situe dans un domaine caractérisé par un plateau saharien à faible relief (300-600 m), avec des plaines arides, des regs, des dunes et des wadis intermittents (Saoura, Zousfana). Elle est limitée au nord par les escarpements sud-atlasiques et au sud par des buttes isolées comme Djebel Béchar (~900 m). L'altitude varie entre 300 m et 900 m, favorisant les acquisitions sismiques 2D (55 profils)

3.2.3 Cadre géologique

Le périmètre de Béchar-Saoura couvre les blocs 309, 310, 311, 316, 319 définis par l'étude sismique. Le périmètre de prospection de Béchar-Saoura se propage sur un domaine géologique complexe du bassin pré-saharien nord-ouest. [8]

Il contient trois domaines principaux : paléozoïque hercynien (Carbonifère), mésozoïque salifère (Trias-Jurassique) et cénozoïque subsident (Sénonien-Tertiaire). Ce bassin salifère est caractérisé

par une sédimentation mixte carbonatée, gréseuse et évaporitique, avec des séries d'âges du Protérozoïque au Quaternaire.

La région d'étude est située dans la partie occidentale du domaine pétrolier saharien algérien. Au nord, le domaine sud-atlasique avec des structures inversées carbonatées ; ces terrains sont représentés par des plissements hercyniens surmontés par les séries salifères triasiques et les marnes crétacées. Au sud, le domaine peu déformé de la plateforme saharienne, caractérisé par des anticlinaux hercyniens de grande dimension (orientation ENE-WSW) et des intrusions salifères triasiques sous forme de diapirs ou de semelles. [5]

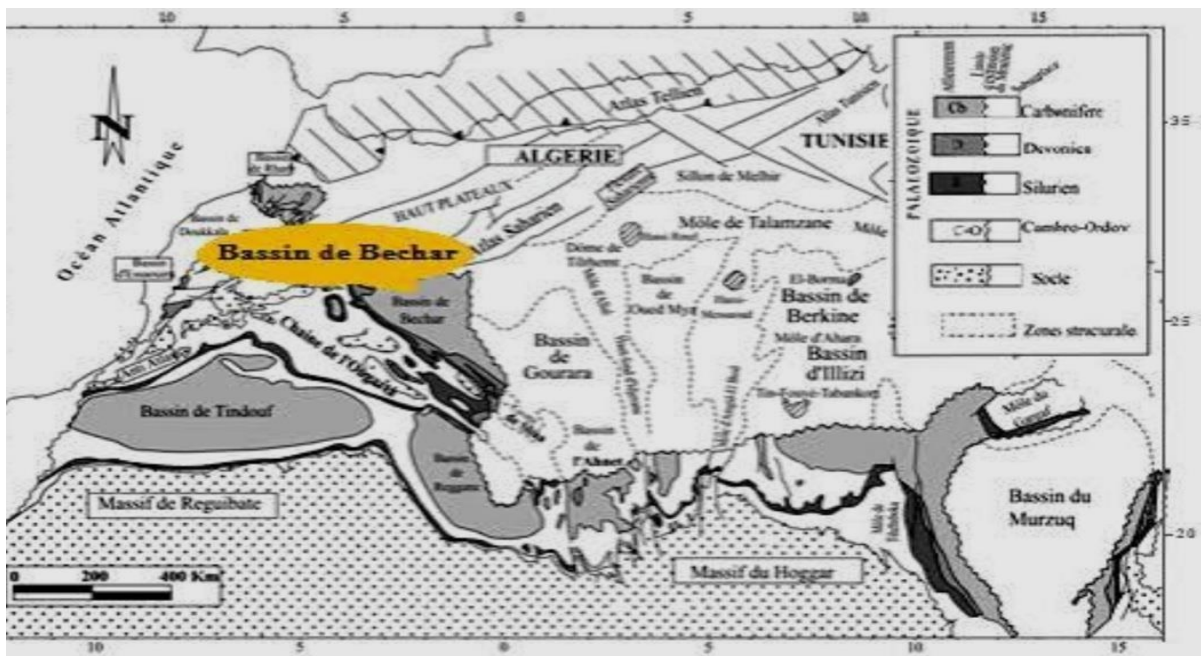


Figure 3.2 : Carte géologique régionale montrant la position du bassin de Béchar dans le contexte structural du Sahara algérien. [5]

3.3 Les paramètres d'acquisition des données

Pour cette prospection l'entreprise a effectué une 'acquisition sismique réflexion 2D composé de **55 profils** Concession SAOURA Périmètre de **BECHAR, blocs 309,310,311,316,319**, qui s'étale sur deux wilayas, la Wilaya de BECHAR & de BENI ABBAS (géologie de la région, bassin sédimentaire etc)



Figure 3.3: Plan de position de l'étude

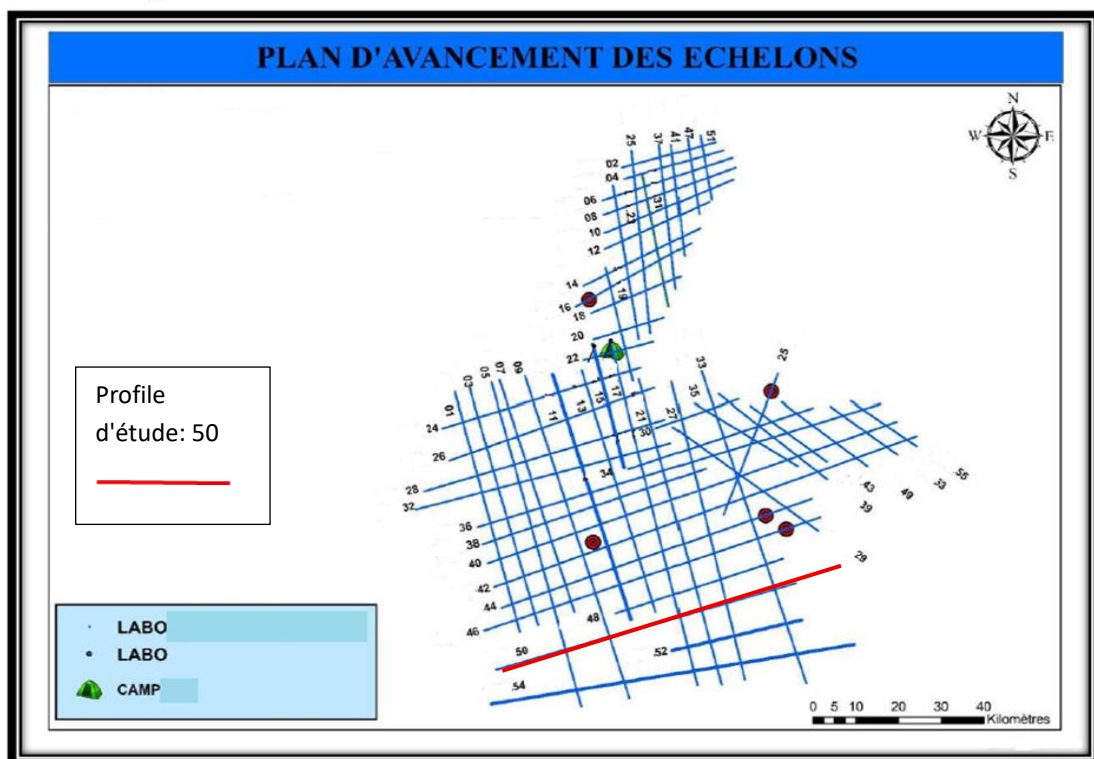


Figure 3.4 : carte du profil choisi

Paramètres acquisition de l'étude:

Bande fréquentielle	Longueur de sweep	Type de sweep	Peak force	Taper	Inter vibor	Nombre de vibors
6-80 Hz	16 secondes	Linéaire	75	300 ms	15 m	2

Nombre de canaux = 360

Inter source = inter receiver = 25 m

Offsetmin = 62.5 m

Offsetmax = 4537.5 m

Fold (couverture) = 180

3.4 Présentation du logiciel SeisSpace

Description des fenêtres principales de SeisSpace

a) Présentation du module SeisSpace

SeisSpace est une suite intégrée de traitement sismique développée par Haliburton (Landmark) pour le traitement et l'analyse des données sismiques 2D, 3D et 4D. Elle permet de construire des chaînes de traitement (flow) complètes, depuis la préparation des données jusqu'à la migration et l'imagerie en temps ou en profondeur, en passant par les corrections statiques, le filtrage, la suppression des multiples et l'analyse AVO.

Pour le lancement de l'application SeisSpace, cliquez une fois sur l'icône SeisSpace pour ouvrir la session. L'interface principale s'affiche alors, composée de plusieurs fenêtres : le Navigator (gestion des projets), le FlowBuilder (construction des workflows), le Job Viewer (suivi des jobs) et les modules de visualisation (coupes 2D/3D, spectres, diagrammes FK/kx-ky, etc.).

b) L'utilisation de l'application SeisSpace

Par l'application Seisspace, on peut :

Créer et gérer un projet de traitement sismique (chargement des données brutes SEG-Y ou Jacassais, définition de la géométrie source/récepteur et des paramètres de base).

Construire interactivement des flows de traitement en assemblant des modules (filtrage, statiques, déconvolution, NMO, migration, suppression des multiples, AVO, etc.).

Soumettre et suivre l'exécution des jobs de traitement en parallèle sur un cluster ou une station de travail, avec un suivi en temps réel des erreurs et des ressources utilisées.

Visualiser interactivement les données sismiques (avant, pendant et après traitement) pour effectuer le contrôle qualité (QC) et ajuster les paramètres des modules.

Exporter les données traitées (stacks, volumes migrés, modèles de vitesse, etc.) dans différents formats pour leur utilisation ultérieure dans des logiciels d'interprétation (Pétrel, DecisionSpace, etc.).

3.5 Application les méthodes des corrections statiques sur des données réelles

Nous avons fait une étude comparative sur les trois méthodes de correction statique à savoir : altimétrie, DRM et tomographie, ces méthodes se basent sur le pointé des premières arrivées réfractées.

Les critères utilisés lors de l'interprétation sismique sont :

- Le critère de continuité et énergie.
- Le critère de cohérence.
- Le critère de caractère.

Le pointage des premières arrivées constitue une étape cruciale pour la construction des modèles de vitesse utilisés dans le calcul des corrections statiques et pour la détermination des paramètres de la couche altérée (épaisseur et vitesse). Cette opération dépend fortement de l'utilisateur et nécessite un bon rapport signal/bruit pour garantir des mesures fiables. Dans ce travail, nous avons adopté deux approches complémentaires, basées respectivement sur les logiciels SeisSpace, afin d'assurer la meilleure qualité possible du pointage.

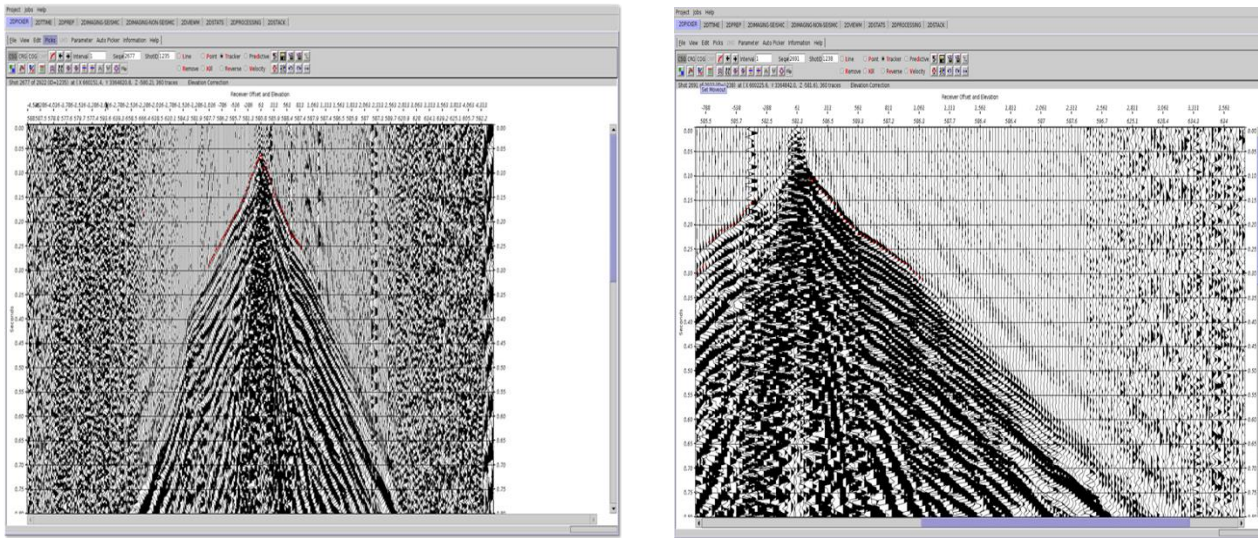


Figure 3.5: pointé des premières arrivées réfractées

3.5.1 Correction Altimétrique

Le logiciel SeisSpace contient des modules de corrections statiques altimétriques en introduisant la valeur du DP =700 m et la vitesse de comblement 2200 m/s tel que le module Datum statique calculation, ainsi on a obtenu le résultat suivant:

Avant correction

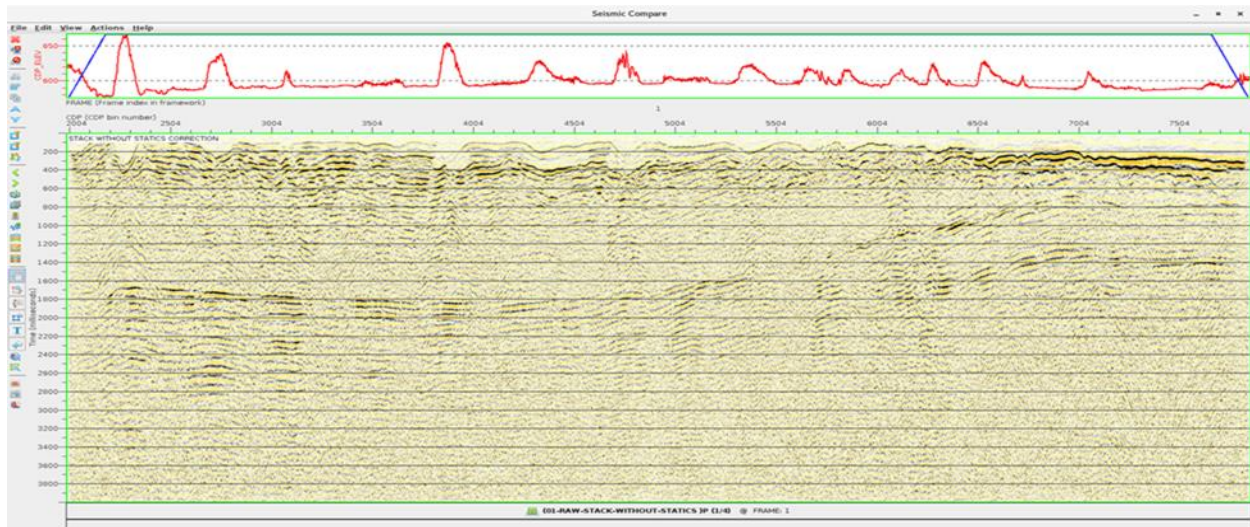


Figure 3.6: Stack sans correction statique

Après correction

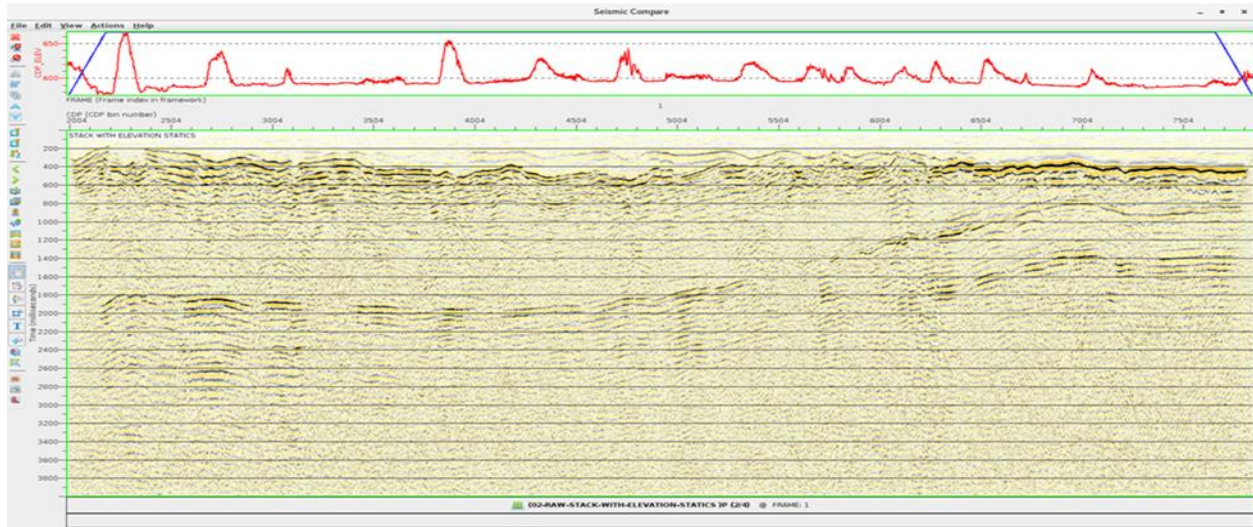


Figure 3.7: Stack avec la correction altimétrie

Analyse et Interprétation

Avant correction

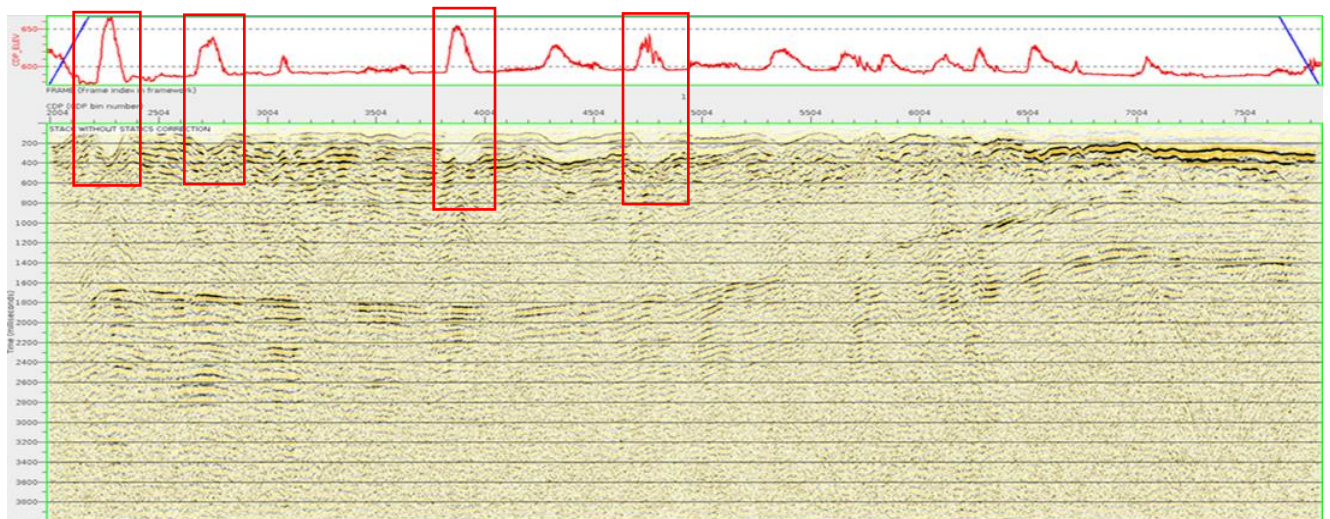


Figure 3.8 : Stack sans correction statique

On peut remarquer que certaines structures apparaissent inversées par rapport à l'élévation. La correction statique d'élévation réduit les ondulations causées par ces variations topographiques. Elle est plus visible dans le Shallow

Après correction

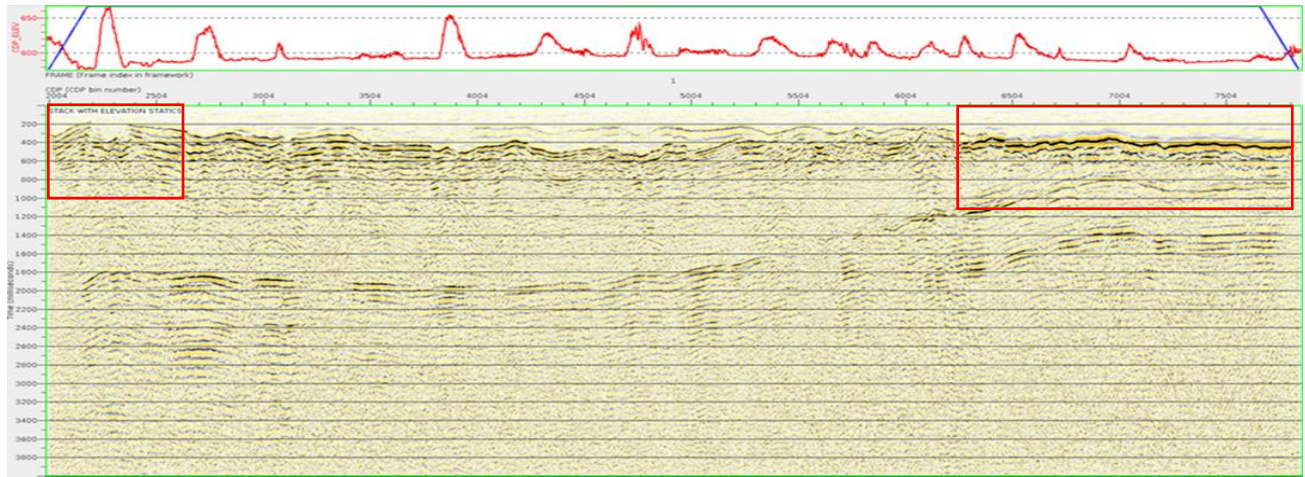


Figure 3.9 : Stack avec correction statique altimétrie élévation

Après application de la correction statique d'élévation, les horizons superficiels apparaissent plus stables. Cependant, des améliorations restent possibles.

3.5.2 Méthode réduction de la matrice résiduelle (DRM)

La méthode se base sur le pointé du réfracteur qui est juste sous la WZ dans une plage d'offset de 100-1000 m et avec une vitesse apparente de 2200 m/s, l'application de la méthode DRM nous a donné le résultat suivant.

Avant correction

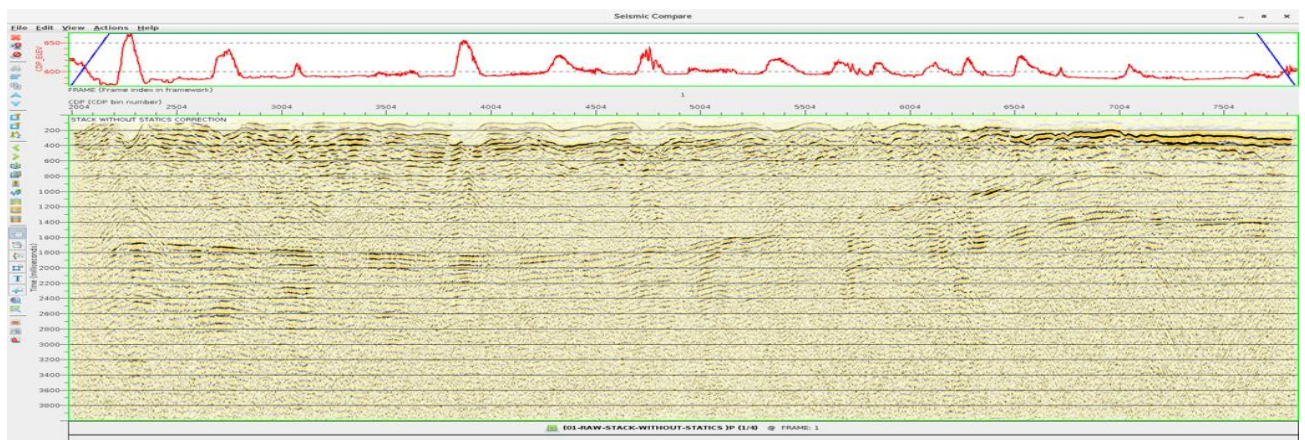


Figure 3.10: Stack sans correction statique

Après correction

Section sismique obtenue par l'application des corrections statiques DRM; l'effet de correction est apparent dans le chalon de la section. La section montre clairement la complexité géologique de la région d'étude

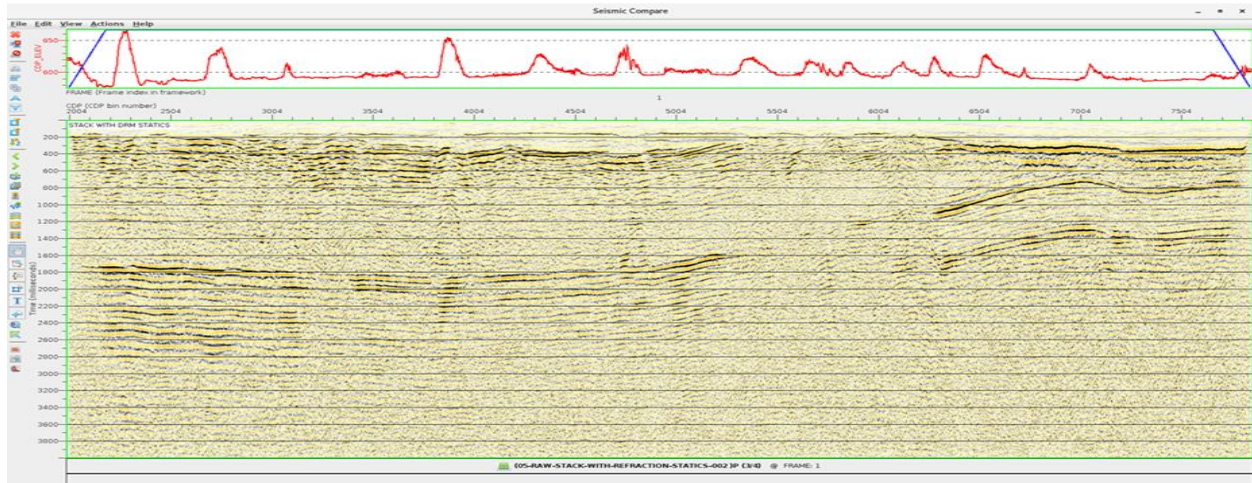


Figure 3.11: Stack avec la correction DRM

Analyse et Interprétation

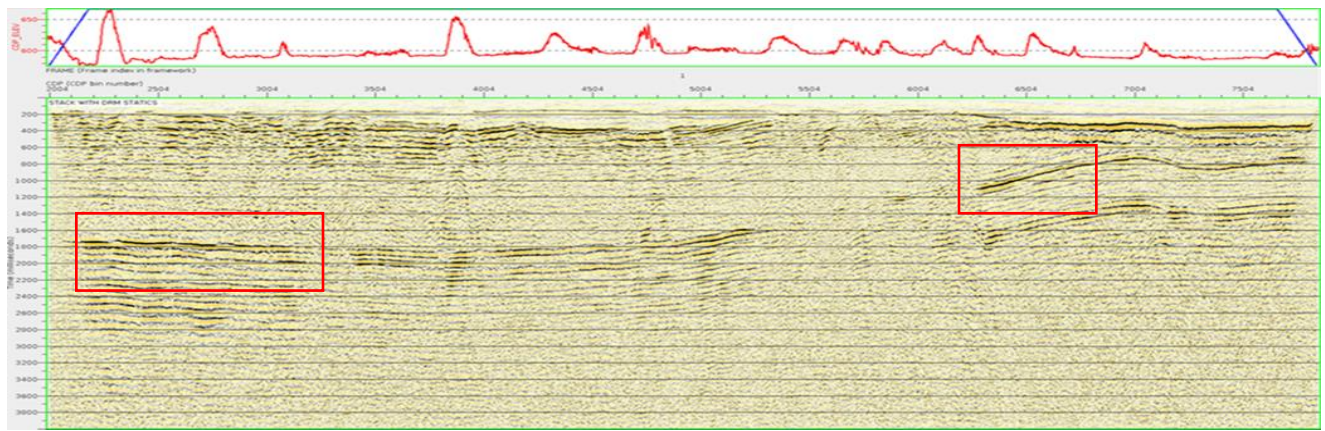


Figure 3.12 : Stack avec correction statique DRM

Comparée aux autres solutions, La correction statique DRM produit un shallow plus stable et une meilleure cohérence des événements sismiques sur l'ensemble de la ligne, Elle présente une meilleure continuité latérale des horizons

3.5.3 Méthode de la tomographie sismique :

Nous avons fait le picking de trois réfracteurs dans une plage d'offset de (100 -1000) m, et avec des tests sur le nombre d'itérations pour minimiser l'erreur entre le modèle calculé et le modèle initial, le nombre d'itération qui nous a donné une erreur minimum est de l'ordre 10 itérations.

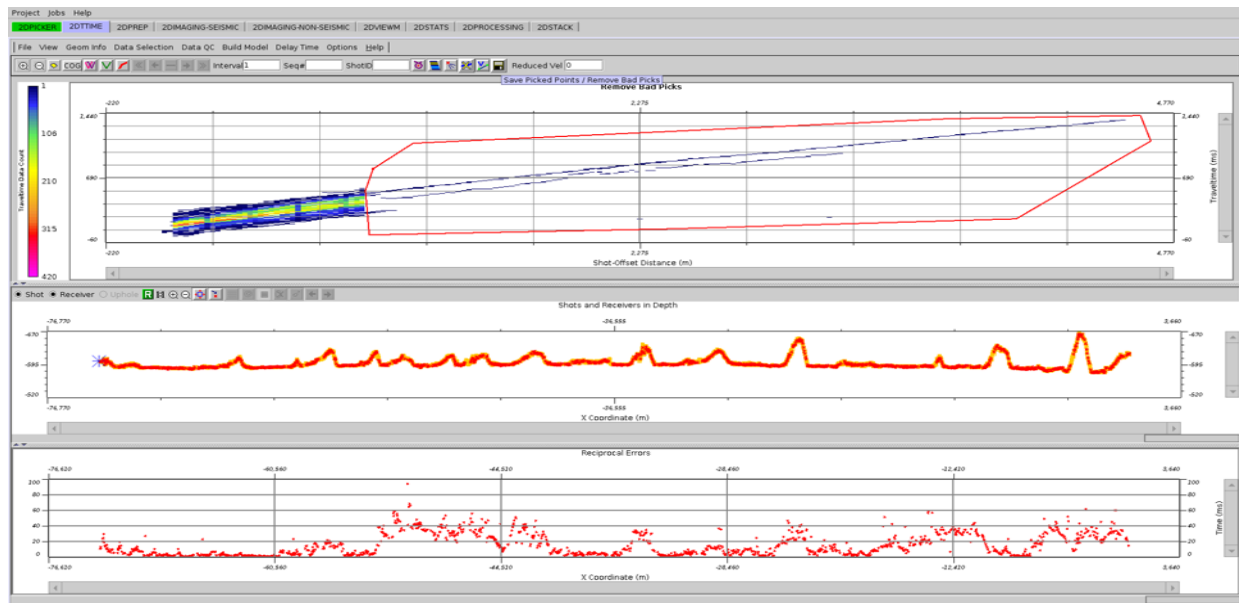


Figure 3.13: Création du modèle initiale à partir du pic

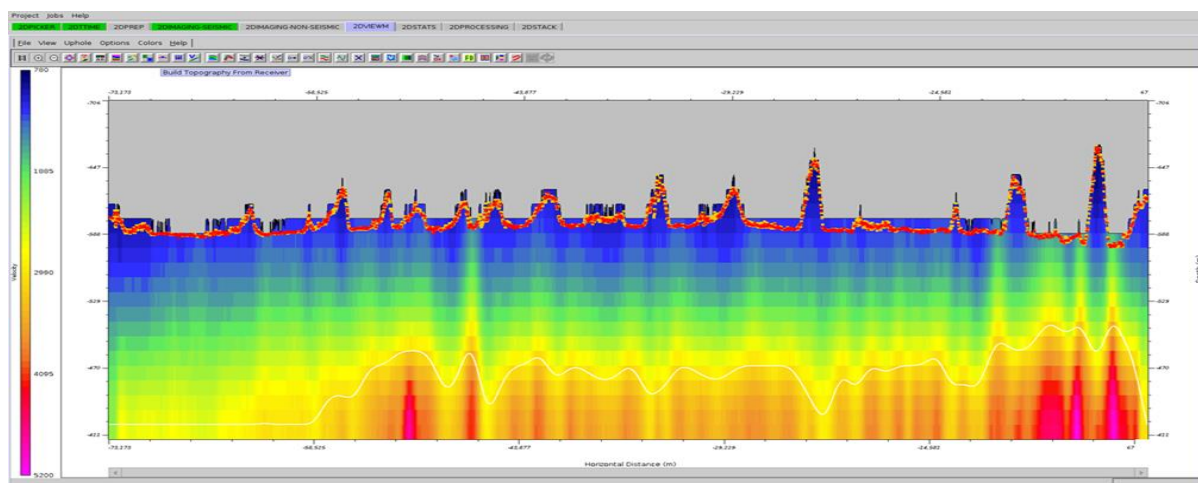


Figure 3.14: Modèle initiale de vitesse

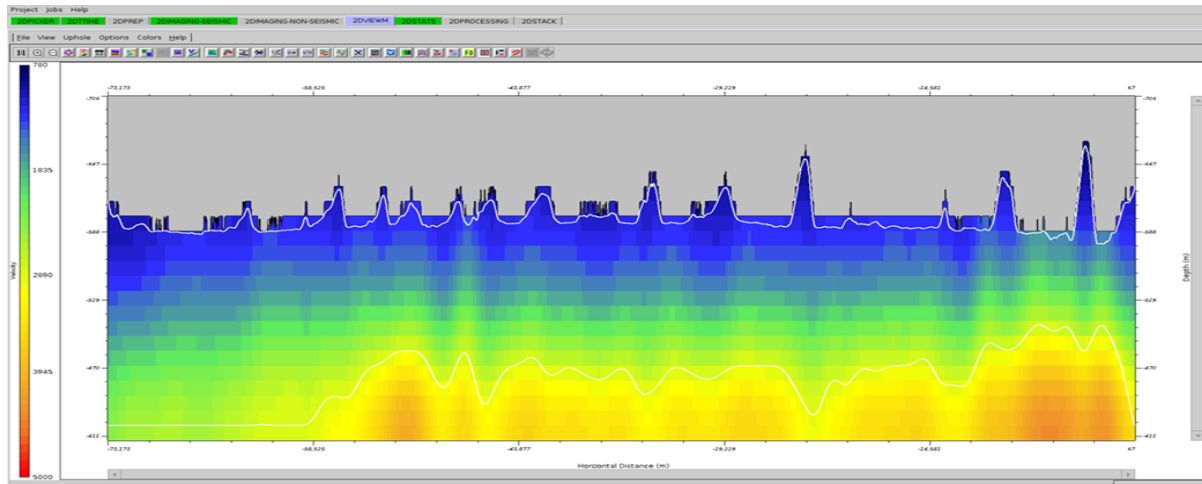


Figure3.15 : Modèle initiale de vitesse smoothed (lissé)

Avant correction

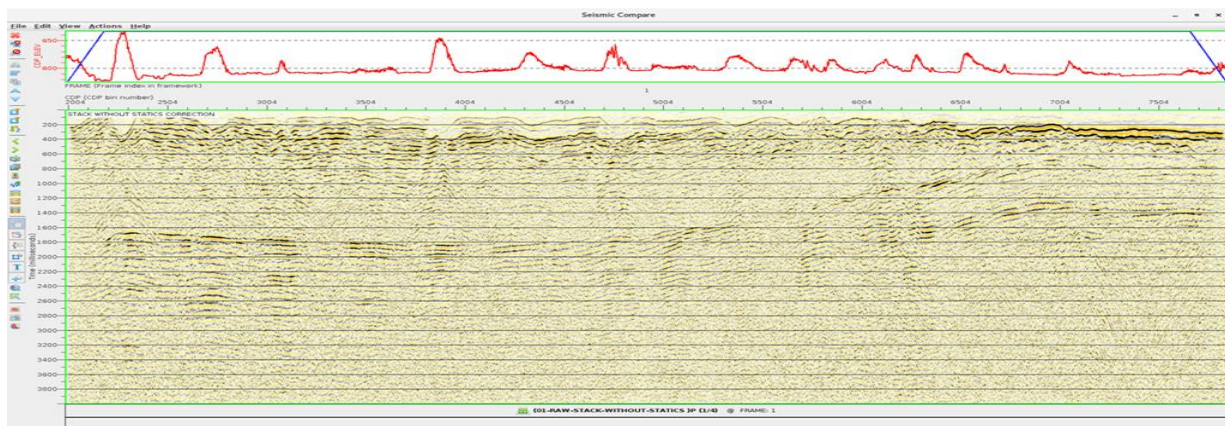


Figure3.16 : Stack sans correction statique

Après correction

L'application des corrections Tomo à apporter un shift différent relativement aux corrections DRM et ALTI Cette déference peut s'expliquer par l'effet des offsets lointaines ou bien les réfracteurs profonds (géologie complexe)

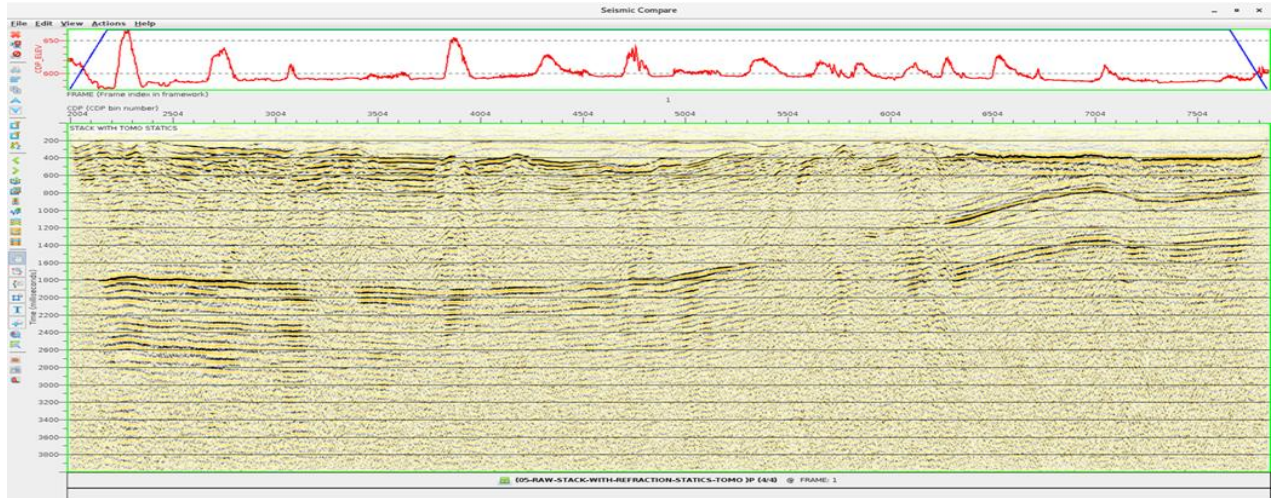


Figure 3.17 : Stack avec correction statique TOMO

Analyse et Interprétation

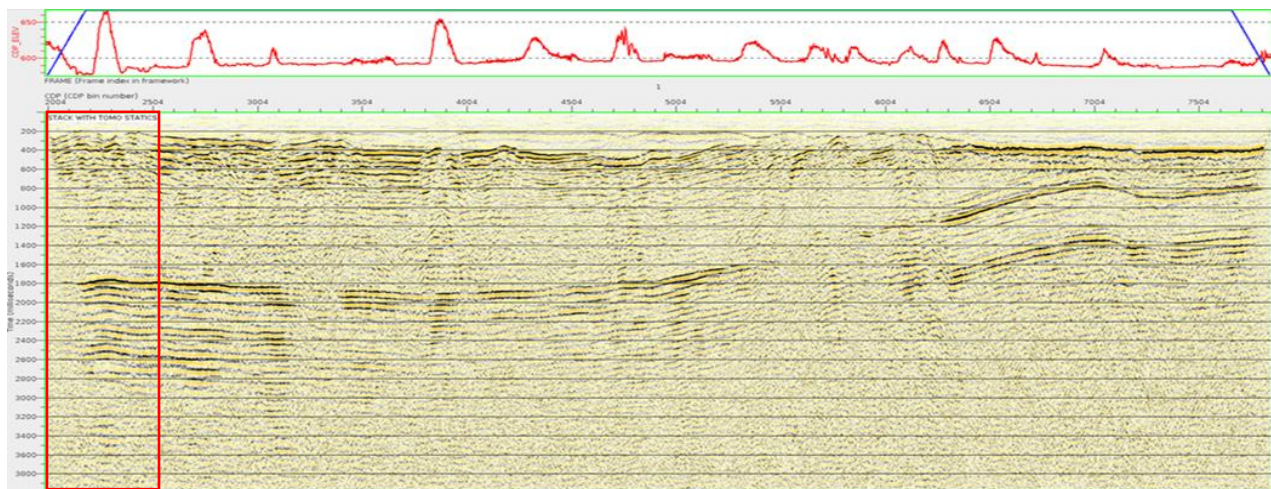


Figure 3.18 : Stack avec correction statique

Malgré l'amélioration apportée par cette solution statique, certaines anomalies résiduelles et variations temporelles persistent, suggérant que la modélisation de la proche surface peut encore être optimisée. Cela est principalement lié au choix de la gamme d'offset utilisée pour le picking (100–1000 m).

Le picking devrait également être ajusté dans la zone encadrée, la TOMO étant plus sensible aux erreurs de picking que la solution DRM.

➤ La comparaison entre les trois méthodes

Les quatre figures comparent la courbe d'élévation topographique avec les solutions de corrections statiques obtenues par les méthodes DRM et Tomographie, pour les récepteurs et les sources.

Ces visualisations permettent d'évaluer la précision de chaque méthode dans la correction des effets d'altitude et de zone altérée, en montrant comment DRM et TOMO s'ajustent à la topographie réelle pour les récepteurs (Receiver) et les points de tir (Shot/Source).

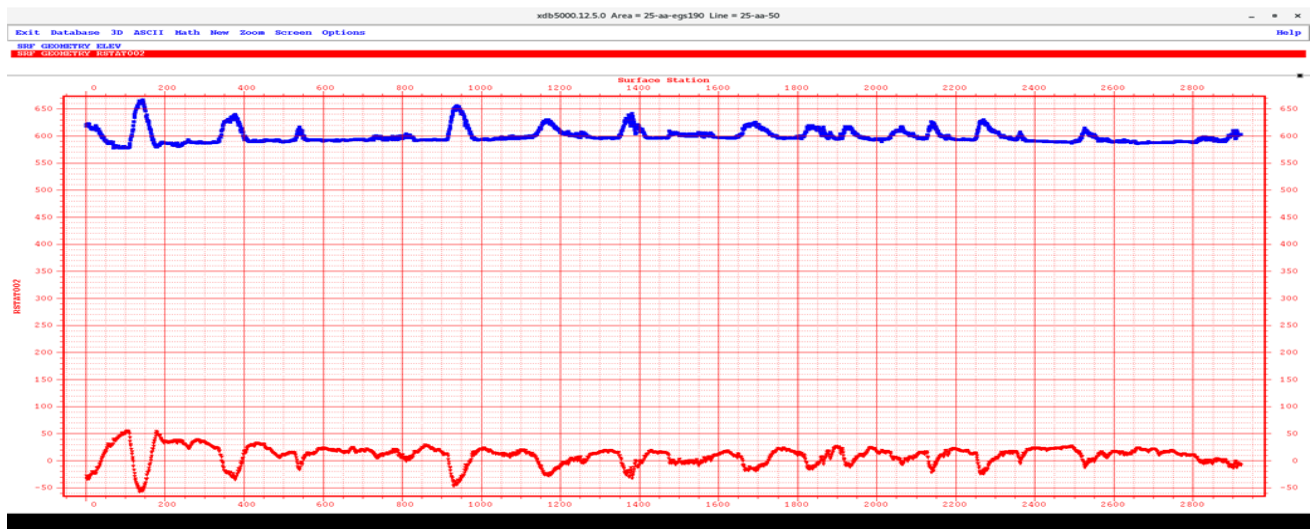


Figure 3.19: Courbe de l'élévation (bleu) et solution statique DRM (rouge) Receiver

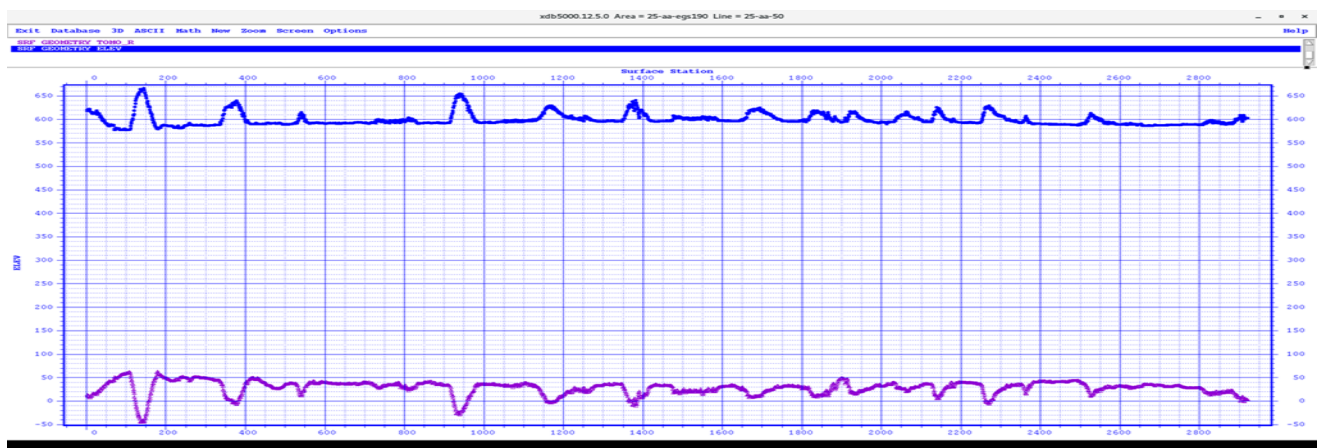


Figure 3.20: Courbe de l'élévation (bleu) et solution statique TOMO (violet) Receiver

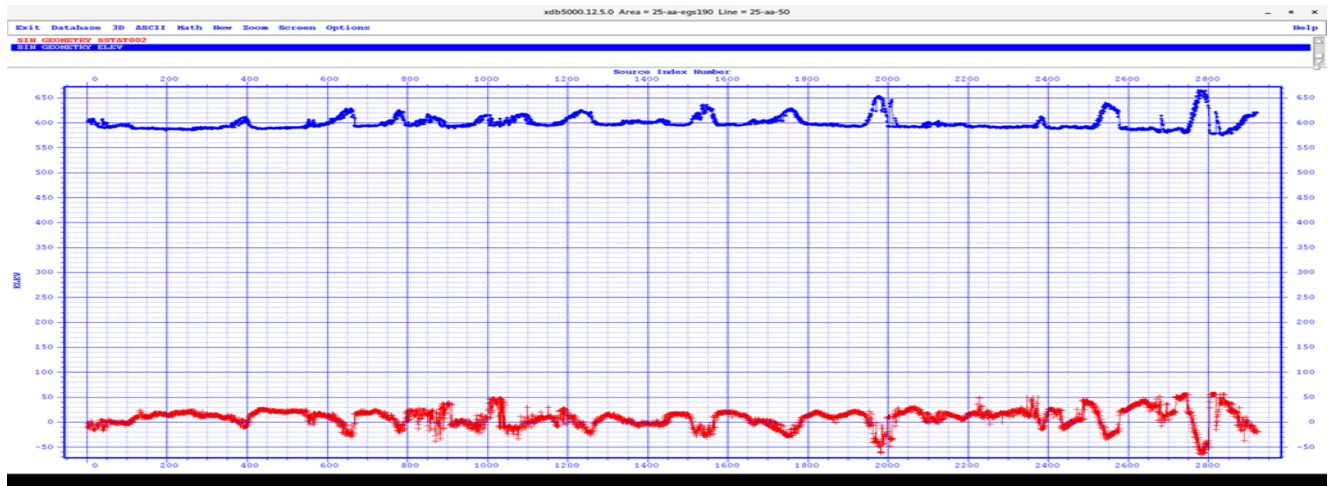


Figure 3.21 : Courbe de l'élévation (bleu) et solution statique DRM (rouge) Shot/Source

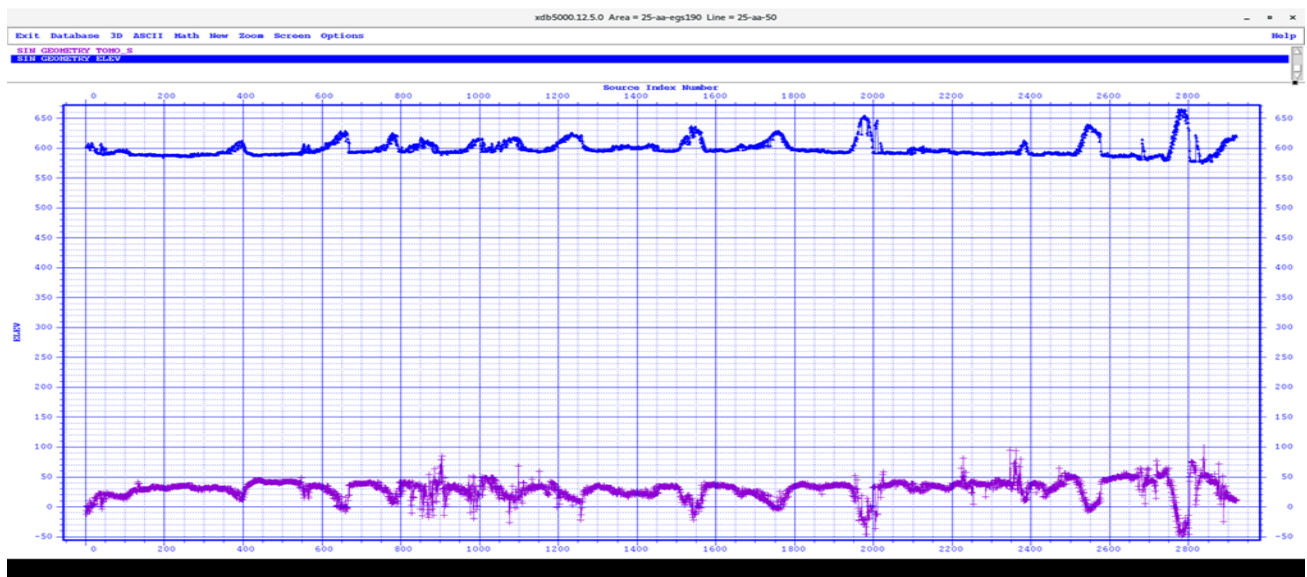


Figure 3.22: Courbe de l'élévation (bleu) et solution statique TOMO (violet) Shot/Source

3.6 Conséquences des mauvaises corrections statiques :

Des corrections statiques mal déterminées entraînent un désalignement des traces sismiques correspondant au même point miroir. Les traces ne sont plus en phase, ce qui dégrade la qualité de leur sommation et altère l'image sismique finale.

Ces erreurs génèrent des distorsions majeures sur la section sismique, notamment :

- Déformation du signal dans la trace somme : Le signal sismique se déforme, rompant la continuité des horizons et compliquant l'interprétation des données.
- Image erronée de la subsurface : Des fausses anomalies structurales apparaissent, faussant la compréhension de la géologie sous-jacente.
- Analyses des vitesses inopérantes : Les estimations des vitesses sismiques deviennent inutilisables, empêchant une caractérisation précise des propriétés du sous-sol.

3.7 Conclusion

Les résultats de cette étude comparative confirment que la méthode DRM est la plus performante pour la région de Béchar-Saoura, avec un shallow plus stable et une meilleure continuité latérale des horizons. La correction altimétrique réduit les effets topographiques mais reste insuffisante seule car elle ne corrige pas la zone altérée. La tomographie offre un modèle de vitesse détaillé mais reste sensible aux erreurs de picking et laisse persister des anomalies résiduelles.

L'approche moderne recommandée associe tomographie proche-surface et corrections statiques résiduelles surface-consistantes pour les environnements géologiques complexes.

Les corrections statiques mal déterminées entraînent désalignement des traces, déformation du signal, fausses anomalies structurales et erreurs d'interprétation. Un contrôle qualité rigoureux est donc indispensable pour garantir une imagerie fiable du sous-sol et une exploration pétrolière, gazière et minière efficace.

En définitive, les corrections statiques ne sont pas une simple étape technique mais un pilier fondamental de la fiabilité géologique dans l'exploration du sous-sol.

Conclusion général

- Ce travail présente l'importance des corrections statiques dans le traitement des données de sismique réflexion, méthode géophysique essentielle pour l'exploration du sous-sol (pétrole, gaz, minier, géotechnique). La sismique réflexion exploite la réflexion des ondes élastiques aux interfaces géologiques, permettant d'obtenir une image détaillée des structures profondes grâce à trois étapes : acquisition, traitement et interprétation.
- Les données acquises sont souvent dégradées par la topographie irrégulière et les variations de la zone altérée (WZ), qui introduisent des retards temporels. Les corrections statiques corrigent ces effets en ramenant tous les temps de parcours à un plan de référence commun (Datum Plane), compensant les différences d'altitude et les variations d'épaisseur et de vitesse de la WZ.
- Une étude comparative sur des données 2D de la concession Saoura (Béchar–Saoura, Algérie) a évalué trois méthodes :
 - ✓ **Correction altimétrique** : stabilise les horizons superficiels mais ne corrige pas la WZ
 - ✓ **DRM** : meilleure continuité latérale et cohérence globale des réflecteurs
 - ✓ **Tomographie** : modèle de vitesse 2D/3D détaillé, mais sensible aux erreurs de picking
- La conclusion démontre que l'approche moderne combinant tomographie proche-surface + corrections résiduelles surface-consistantes est la plus performante. Des corrections statiques mal déterminées entraînent désalignement des traces, perte de qualité, fausses anomalies structurales et erreurs d'interprétation. Un contrôle qualité rigoureux est donc indispensable pour une imagerie fiable du sous-sol.

Bibliographies

- [1] Badi, H., 2024. Étude comparative entre les méthodes de corrections statiques (CVT, GLI, tomographie sismique) : application sur des données de sismique réflexion sur le bloc d'El Benoud, Mémoire de Master, Département de Géophysique, Génie parasismique et phénomènes aléatoires, Université M'Hamed Bougara Boumerdes.
- [2] Berryhill, R. T., 1979. Wave equation datuming, *Geophysics*, vol. 44, pp. 1629-1344.
- [3] Bendilmi, M. et Boubryem, A., 2022. Calcul des corrections statiques par la méthode de tomographie des temps des premières arrivées sur une étude sismique 3D : le bassin de El Ouabed, Mémoire de Master non publié, Département de Géophysique, Université M'Hamed Bougara Boumerdes, Boumerdes.
- [4] Cox, M. J., 1999. Static Corrections for Seismic Reflection Surveys, *Society of Exploration Geophysicists (SEG)*.
- [5] Document scientifique de l'Université Batna 2 relatif aux bassins sédimentaires sahariens, consulté en 2026.
- [6] Dobrin, M. B. et Savit, C. H., 1988. *Introduction to Geophysical Prospecting*, 4^e édition, McGraw-Hill.
- [7] Hagedoorn, J. G., 1959. The Plus-Minus Method of Interpreting Seismic Refraction Sections, *Geophysical Prospecting*, vol. 7.
- [8] Merabet, A., 2016. Initiation à l'utilisation du SIG pour la cartographie hydrologique du bassin versant d'Oued Saoura (Wilaya de Béchar), Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie.
- [9] Mechrouk, R. et Boulegane, Ch., 2020. Étude et comparaison des méthodes des corrections statiques : méthode réduction de la matrice résiduelle DRM et tomographie sur des données réelles sismiques 2D, Mémoire de Master, Département de Physique, Université Ferhat Abbas – Sétif 1.

[10] Palmer, D., 1980. The Generalized Reciprocal Method of Seismic Refraction Interpretation, Society of Exploration Geophysicists (SEG Publications).

[11] Schuster, G. T., 1996. Seismic Tomography, Society of Exploration Geophysicists (SEG Publications).

[12] Sheriff, R. E. et Geldart, L. P., 1995. Exploration Seismology (2^e édition révisée), Cambridge University Press.

[13] Taner, M. T. et Koehler, F., 1969. Velocity Spectra—Digital Computer Derivation and Applications of Velocity Functions, Geophysics, vol. 34.

[14] Yilmaz, Ö., 2001. Seismic Data Analysis, 2 tomes, Society of Exploration Geophysicists (SEG).

[15] Zhou, H.-W., 2014. Practical Seismic Data Analysis (1^{re} édition), Cambridge University Press.