

Sismostratigraphie

Introduction

La sismostratigraphie est une discipline scientifique interdisciplinaire qui combine la sismique et la stratigraphie pour l'étude des couches géologiques enfouies. Elle est principalement utilisée pour l'analyse des strates sous la surface terrestre grâce à des techniques de prospection sismique, principalement en exploration géophysique pour les ressources naturelles comme le pétrole, le gaz ou l'eau, ainsi que pour des études géologiques plus fondamentales.

Principe Fondamental :

La sismostratigraphie repose sur l'étude de la propagation des ondes sismiques à travers les couches de la Terre, dont la vitesse varie selon les propriétés des roches. Lorsqu'une onde rencontre une interface entre deux couches ayant des caractéristiques élastiques différentes, elle est partiellement réfléchiée et partiellement transmise. En mesurant le temps que met l'onde réfléchiée pour revenir à la surface, les géophysiciens peuvent déterminer la profondeur et la position des interfaces géologiques.

Les données sismiques sont généralement collectées à l'aide de profils sismiques, où une source d'énergie, comme un explosif ou un marteau génère les ondes sismiques, et des récepteurs (géophones) enregistrent leur retour. L'analyse de ces données permet de cartographier la sub-surface.

Les ondes sismiques et leur interaction avec les couches géologiques :

Les ondes sismiques : Ce sont des énergies provoquées par la rupture soudaine de roches dans la terre.

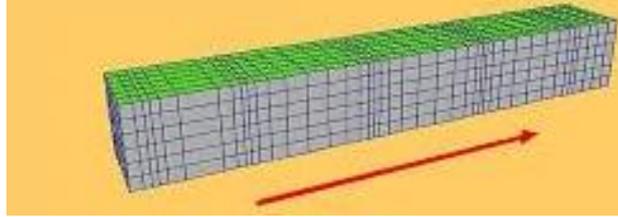
Les ondes sismiques ont deux types principaux :

1- Ondes P (ondes de compression) :

Les ondes P sont des ondes de compression longitudinales qui se propagent dans la même direction que la vibration. Elles peuvent se propager à travers les milieux solides, liquides et gazeux.

Dans les couches géologiques, les ondes **P** provoquent des compressions et des dilatations successives des particules du matériau. Elles sont donc capables de se propager à travers des couches variées, y compris les roches sédimentaires, métamorphiques et ignées.

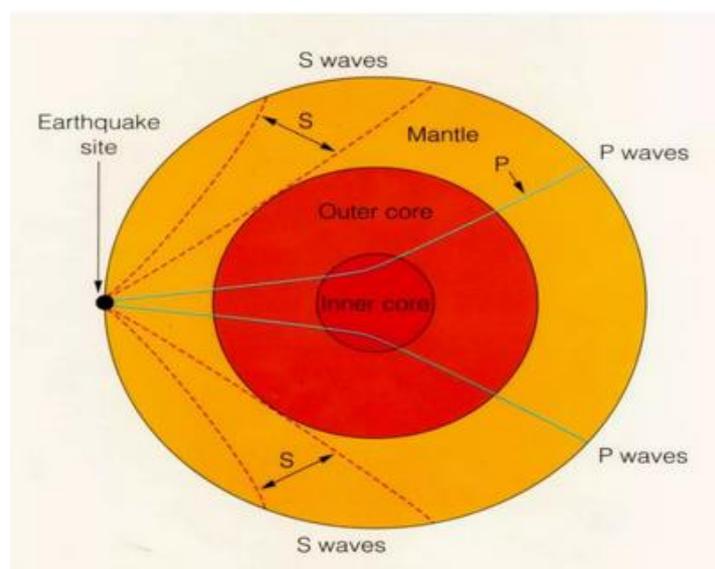
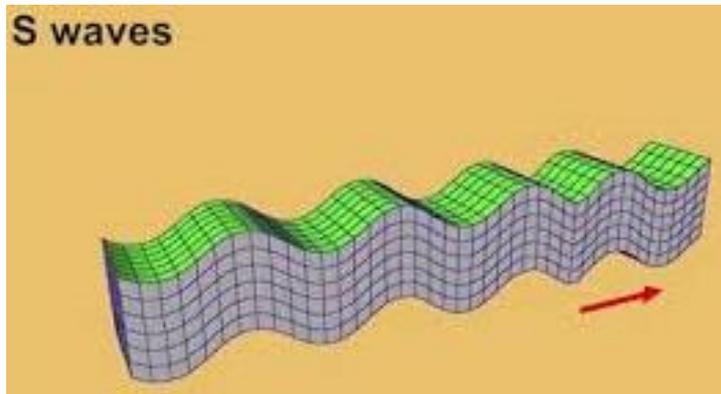
P waves



2. Ondes S (ondes de cisaillement) :

Les ondes **S** sont des ondes de cisaillement transversales qui se propagent perpendiculairement à la direction de la vibration. Elles ne peuvent se propager que dans des milieux solides, car elles nécessitent une résistance au cisaillement.

Les ondes **S** provoquent des mouvements de cisaillement perpendiculaires à la direction de propagation, ce qui peut être bloqué ou réfléchi par des interfaces rocheuses.



Interaction avec les Couches Géologiques :

Lorsque ces ondes sismiques traversent les différentes couches géologiques, plusieurs phénomènes d'interaction se produisent, permettant aux géophysiciens d'obtenir des informations sur la sub-surface :

A. Réfraction des Ondes Sismiques :

La réfraction se produit lorsque les ondes sismiques passent à travers une couche ayant une vitesse d'onde différente. Cela peut se produire lorsque les ondes sismiques pénètrent dans des couches géologiques avec des propriétés élastiques différentes.

La loi de Snell-Descartes décrit la relation entre les angles d'incidence et de réfraction dans le processus de réfraction sismique.

La réfraction peut être utilisée pour déterminer l'épaisseur des couches géologiques et pour estimer les propriétés élastiques des matériaux.

- **Méthode sismique de réfraction**

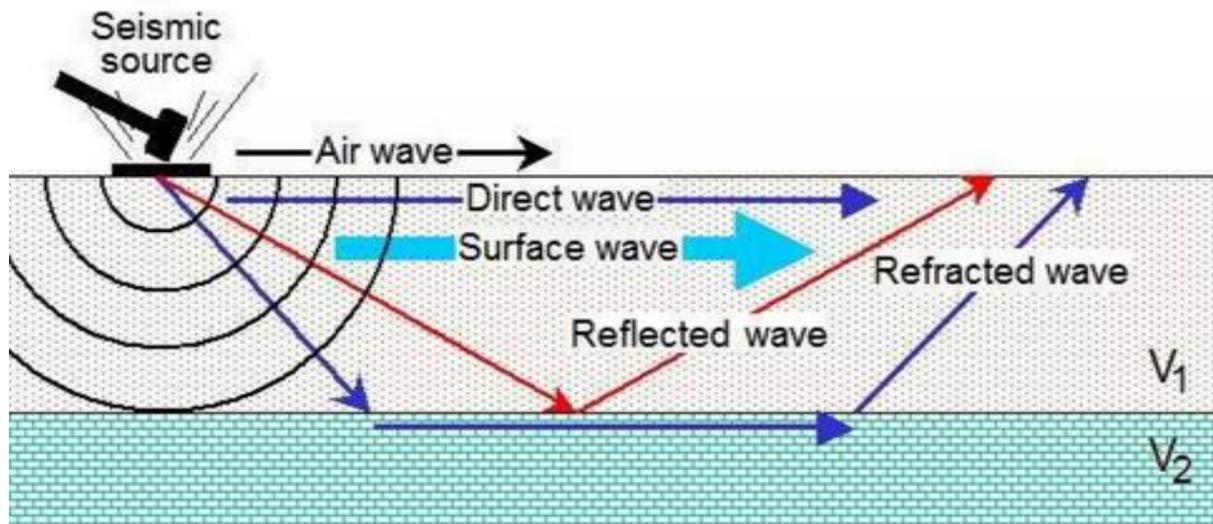
Méthode sismique de réfraction pour déterminer la structure des formations sous-superficielles

- **Principe :**

Les ondes sismiques artificielles sont réfractées pour être courbées à la surface de discontinuité alors qu'elles se déplacent vers le bas sous la surface

- **Processus**

- Lorsque les ondes rencontrent une discontinuité à un angle critique (angle d'incidence pour lequel l'angle de réflexion est de 90°), certaines des ondes sont réfractées ou courbées
- Les ondes réfractées se déplaceront le long du haut de la couche sous-jacente à la surface de discontinuité avec une vitesse plus grande que celle à laquelle elles ont traversé la couche supérieure parce que la vitesse des ondes sismiques augmente avec la profondeur



b. Réflexion des Ondes Sismiques :

Lorsqu'une onde sismique rencontre une interface entre deux matériaux ayant des propriétés élastiques différentes, une partie de l'onde est réfléchi à la surface.

La loi de réflexion sismique stipule que l'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion, et la proportion d'onde réfléchi dépend des contrastes de propriétés élastiques entre les deux couches.

Les ondes réfléchies sont enregistrées par des récepteurs sismiques (géophones), et leur analyse permet de déterminer la profondeur et la nature des interfaces géologiques.

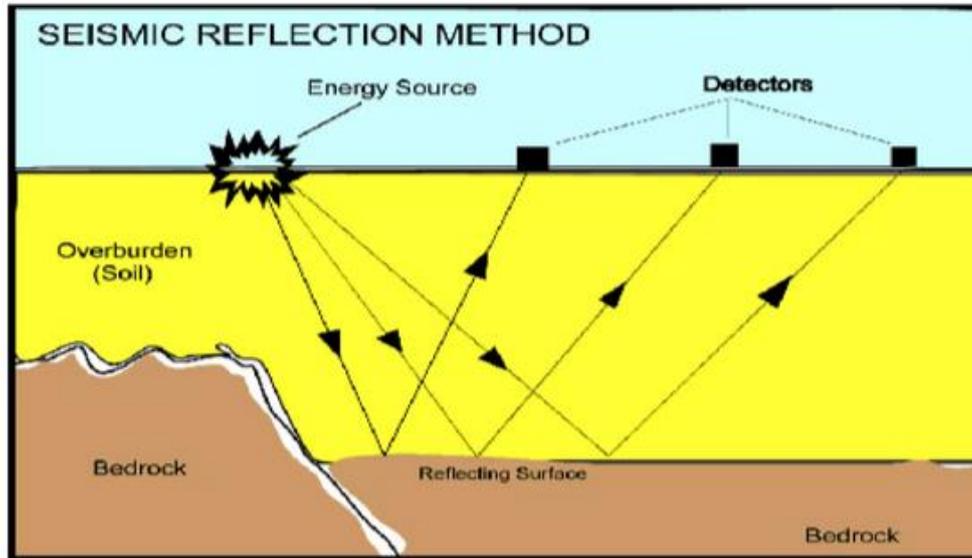
Méthode sismique de réflexion

- La méthode de réfraction ne fonctionnait pas bien pour les structures plus profondes en raison des distances excessives requises entre les points courts (source d'ondes sismiques) et les détecteurs (Géophones)
- Dans la méthode de réflexion, les ondes créées par une explosion ou réfléchies directement à la surface de la roche sous-superficielle sans être réfractées et voyageant le long des surfaces de discontinuité
- Les méthodes de réflexion sont relativement plus que des techniques réfringentes parce que les détecteurs peuvent être situés à des distances relativement courtes de points courts
- Les ondes de réflexion sont également générées mais en raison de la proximité des détecteurs ne sont pas captées

Principe

- Les ondes sismiques se déplacent à des vitesses connues dans les matériaux rocheux, et ces vitesses varient selon le type de roche

- Lorsque la lithologie sous-superficielle est relativement bien connue à partir de l'information sur le forage, il est possible de calculer avec précision le temps nécessaire pour qu'un signal sismique se déplace de la surface à une profondeur donnée et soit ensuite réfléchi vers la surface



Application de la méthode sismique par réflexion

- La science de la stratigraphie sismique a été développée en grande partie par les compagnies pétrolières, en raison de la nécessité pragmatique ((réalisable) de localiser des gisements de pétrole dans des profondeurs
- Il est également utilisé pour étudier les structures profondes et les caractéristiques comme les plis, les failles, etc
- La réflexion sismique est utilisée pour identifier et cartographier les attitudes structurelles des couches sédimentaires sous-marines
- Cette méthode est également utilisée pour trouver la profondeur de l'océan

Paramètres utilisés dans l'interprétation stratigraphique sismique

Les réflexions sismiques sont essentielles à tout le concept de stratigraphie sismique parce qu'elles se produisent en réponse aux changements de densité-vitesse des discontinuités

Les paramètres importants de l'interprétation sismique sont :

1. configuration de la réflexion
2. continuité de la réflexion
3. amplitude de réflexion

4. fréquence de réflexion
5. vitesse d'intervalle

A- Configuration de la réflexion

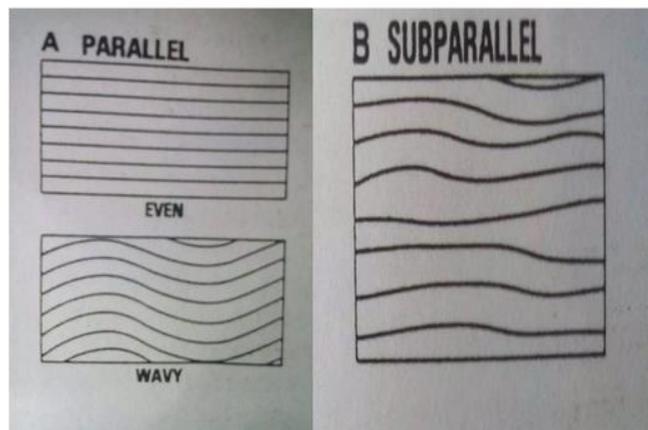
Il correspond au grand modèles de stratification identifiés sur les enregistrements sismiques .

Les types de configuration de la réflexion sont :

- modèles de pabelle
- configurations divergentes
- Configuration de la réflexion progressive
- configuration de la réflexion chaotique

1- des modèles pabelle

Les modèles de Pabelle, y compris les modèles sous-parallèles et ondulés sont générés par des strates qui ont été déposées à des taux uniformes .



2- Configuration divergente

- Ils sont caractérisés par une unité en forme d'angle dans laquelle l'épaississement latéral de l'ensemble est causé par l'épaississement des sous-unités individuelles dans l'unité principale .
- Ils sont étudiés pour signifier la variation des taux de dépôt ou d'inclinaison de la surface sédimentaire pendant le dépôt.



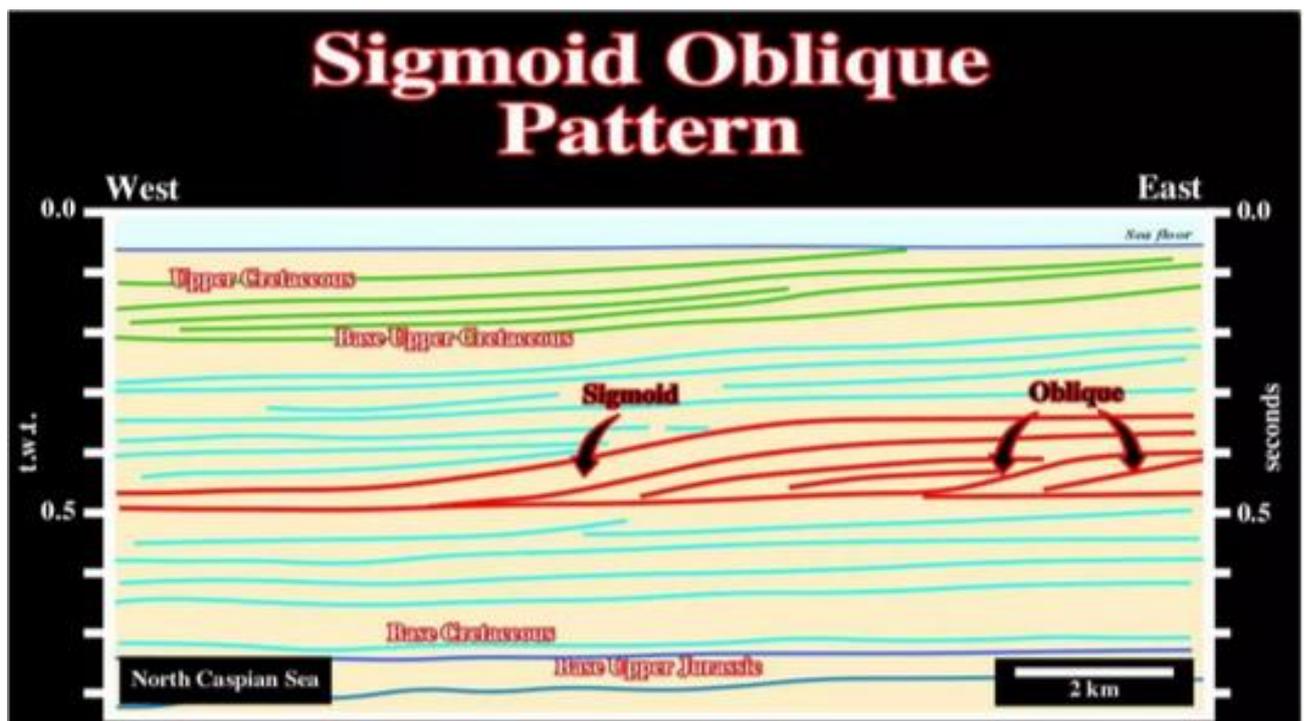
3- Les schémas de réflexion progressive

Ce sont des motifs de réflexion générés par les strates qui ont été déposés par la dépendance latérale

e. g : clinofrom , sigmoïde (réflecteurs superposés en forme de S)

4- Motif de réflexion chaotique

Ils sont la disposition perturbée de la surface de réflexion, montrant une déformation des sédiments mous .



Environnements de dépôt

Il existe trois environnements de dépôt par rapport à la base des vagues :

1- en forme :

- Surface plane au-dessus de la base des vagues où les sédiments sont déplacés par les vagues .

2- Clinofrom:

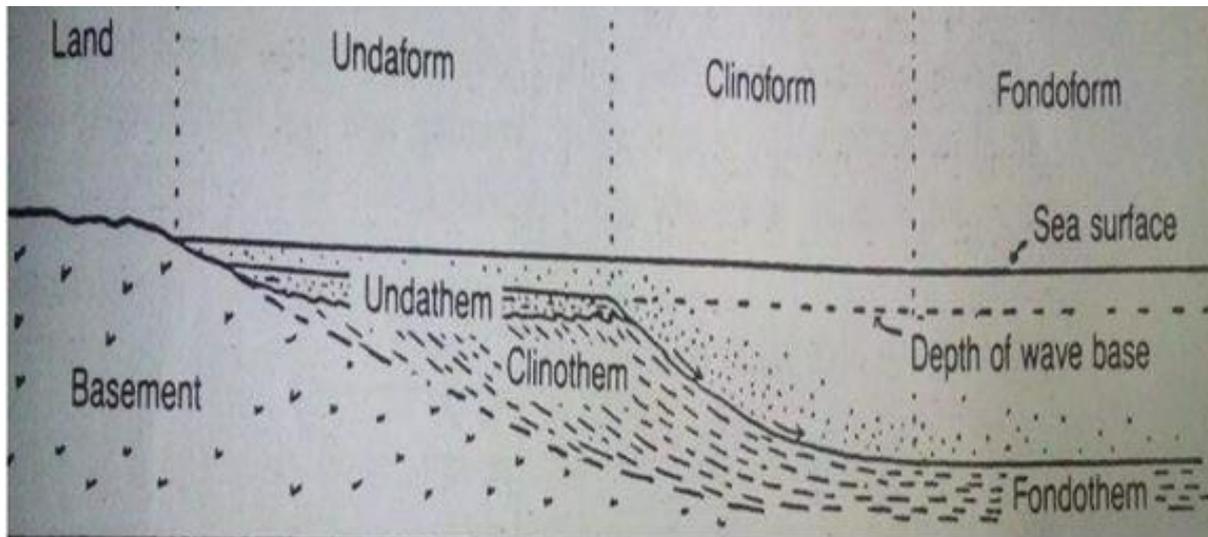
- La surface en pente s'étendant de la base des vagues jusqu'au plancher plat

3- fondoform:

- La surface plane dans la profondeur de la base des vagues

Les unités de roche qui se forment dans chacun de ces milieux sont appelées

UNDATH , CLINOTHEM et FONDOTHEM



B) Continuité de la réflexion

- Cela dépend de la continuité du contraste densité-vitesse le long de la surface de la couche ou des non-conformités
- Il est étroitement associé à la continuité des strates
- Il fournit des informations sur le processus de dépôt et l'environnement

c) Amplitude de réflexion

- Elle est mesurée comme la distance entre la position médiane d'une vague et la position extrême .
- L'amplitude d'une onde sismique représente la hauteur maximale de ses oscillations. Elle est liée à l'énergie de l'onde.
- L'amplitude des ondes sismiques enregistrées dépend de la quantité d'énergie qui est réfléchié ou diffusée par les différentes couches géologiques.

d) Fréquence de réflexion

- Nombre de vibrations d'ondes sismiques par seconde .
- Les ondes sismiques générées par des sources telles que des explosions ou des secousses sismiques naturelles peuvent avoir des gammes de fréquences variées.
- En général, les ondes sismiques de basse fréquence pénètrent plus profondément dans la sub-surface, tandis que les ondes de haute fréquence sont plus sensibles aux détails géologiques fins.

e) Vitesse d'intervalle

- Il s'agit de la vitesse moyenne des ondes sismiques entre les réflecteurs

Applications de la Sismostratigraphie :

- **Exploration pétrolière et gazière** : La sismostratigraphie est primordiale dans l'industrie pétrolière pour la cartographie des réservoirs et des pièges à hydrocarbures. Les données sismiques permettent de décrire l'architecture des couches géologiques, d'estimer les propriétés des roches et d'identifier les structures géologiques favorables à l'accumulation d'hydrocarbures.
- **Cartographie des réservoirs géothermiques** : Les principes de la sismostratigraphie sont également utilisés pour étudier les réservoirs géothermiques, en identifiant les zones où la chaleur terrestre peut être extraite de manière économique.
- **Géotechnique** : L'analyse sismostratigraphique aide à évaluer les propriétés du sous-sol pour les projets d'infrastructure comme les routes, les ponts ou les bâtiments, en identifiant les risques géotechniques et en fournissant des informations sur la stabilité des sols.
- **Gestion des risques naturels** : Dans le cadre de l'étude des risques sismiques, la sismostratigraphie permet d'identifier les zones de failles actives et d'analyser les mouvements tectoniques, contribuant à l'évaluation des risques de séismes et de tsunamis.
- **Recherche en géologie et en paléontologie** : La sismostratigraphie peut être utilisée pour étudier les formations anciennes et les environnements paléogéographiques en combinant des données stratigraphiques et sismiques pour mieux comprendre l'évolution de la Terre au fil des âges géologiques.
- **Études environnementales** : Elle est utilisée pour évaluer les caractéristiques géologiques d'un site avant la réalisation de projets d'aménagement ou d'exploitation, comme dans les études de faisabilité pour les projets d'exploitation minière ou les installations de stockage de déchets.

Limitations de la Sismostratigraphie :

- **Résolution limitée** : La sismostratigraphie est souvent limitée par la résolution des données sismiques disponibles. Les couches géologiques fines peuvent être difficiles à distinguer si elles sont trop proches les unes des autres, surtout à grande profondeur. Les résolutions horizontales et verticales des sismiques sont en général limitées par les fréquences utilisées lors des acquisitions, ce qui empêche de détecter de petites structures ou des stratifications fines.
- **Complexité du signal** : Les données sismiques peuvent être affectées par des interférences dues à la présence de structures géologiques complexes telles que des

failles, des chevauchements, ou des matériaux de type sableux ou argileux qui affectent la propagation des ondes. Cela rend parfois l'interprétation des couches géologiques plus complexe.

- **Profondeur d'investigation** : Les études sismiques ont des limites en termes de profondeur d'investigation. En fonction de la fréquence du signal sismique utilisé, l'onde peut ne pas pénétrer assez profondément pour observer les couches géologiques sous-jacentes ou l'analyse peut devenir trop imprécise à des profondeurs très élevées.
- **Interpretation subjective** : L'analyse des données sismiques peut être sujette à une certaine subjectivité. Différents géologues peuvent interpréter les mêmes données de manière différente, et l'interprétation peut être influencée par des hypothèses préalables ou des erreurs humaines.
- **Absence d'informations directes sur la lithologie** : La sismostratigraphie permet de caractériser les structures géologiques (épaisseur, profondeur, stratigraphie), mais elle ne donne pas directement d'informations sur la composition lithologique des formations. Pour obtenir des informations plus détaillées sur la composition (type de roche, minéraux présents, porosité), des forages ou d'autres méthodes géophysiques sont nécessaires.
- **Discontinuities and noise** : Les données sismiques peuvent être affectées par des discontinuités ou des anomalies locales telles que des zones d'ombre, des reflets multiples, ou des bruits, rendant parfois difficile l'interprétation des résultats.
- **Saturation des données à haute fréquence** : Les équipements sismiques à haute fréquence peuvent être limités par des réflexions multiples ou des effets de dispersion dans certaines conditions géologiques, affectant la qualité des images obtenues.