

La voix et l'image

## **La prospection sismique**

# Sommaire

---

|  |   |
|--|---|
| 1. Les ondes sismiques.....                            | 4 |
| 1.1. Différents types d'ondes sismiques .....          | 4 |
| 1.1.1. Les ondes de volume .....                       | 4 |
| 1.1.2. Les ondes de surface .....                      | 5 |
| 1.2. Sources sismiques et traitement des données ..... | 6 |
| 2. La Sismique Réflexion .....                         | 7 |
| 2.1. La Réflexion .....                                | 7 |
| 2.2. Principe .....                                    | 7 |

# Préambule

---

Apparue dans les années 1930, la prospection sismique est une méthode de recherche de pétrole utilisant des ondes sismiques. Ayant beaucoup évolué en même temps que les progrès technologiques, cette méthode de prospection est totalement d'actualité. En effet, les besoins mondiaux en énergie sont constamment croissants, et les sites pétroliers connus risquent de ne plus pouvoir y subvenir.

Pour étudier la prospection sismique, on commencera par rappeler les propriétés des ondes sismiques. Puis, on parlera des deux méthodes de prospection : d'une part, la sismique réflexion ; d'autre part, la sismique réfraction.

## 1. Les ondes sismiques

### 1.1. Différents types d'ondes sismiques

L'ébranlement occasionné par un séisme provoque la diffusion, dans toutes les directions, d'ondes élastiques, dites ondes sismiques. On distingue alors deux types d'ondes : celles qui traversent la Terre, les ondes de volume, et celles qui se diffusent à la surface, les ondes de surface.

#### 1.1.1. Les ondes de volume

Les ondes de volume traversent l'intérieur du matériau. Leur vitesse dépend du matériau qu'elles traversent. De plus, elles obéissent aux mêmes lois que les rayons lumineux : elles peuvent donc être réfléchies et réfractées. Ce sont ces propriétés qui seront utilisées, respectivement en sismique réflexion et en sismique réfraction.

- **Ondes primaires (ondes P)**

Ce sont des ondes longitudinales (le mouvement des particules est donc parallèle à la direction de propagation), qui compressent les matériaux. Les ondes P ont une vitesse avoisinant  $330 \text{ m.s}^{-1}$  dans l'air,  $1450 \text{ m.s}^{-1}$  dans l'eau et  $5000 \text{ m.s}^{-1}$  dans

le granite. D'une manière générale, la vitesse des ondes P est définie par  $v_P = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}$

avec  $K$  module d'incompressibilité,  $\mu$  module de rigidité, et  $\rho$  densité du matériau traversé.

- **Ondes secondaires (ondes S)**

Ce sont des ondes transversales (le mouvement des particules est donc perpendiculaire à la direction de propagation), qui plissent les matériaux.

Généralement, la vitesse des ondes S est  $v_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$ , où  $\mu$  est le module de rigidité du matériau, et  $\rho$  sa densité. Lorsque le matériau est liquide, sa rigidité est quasiment nulle, donc  $\mu \rightarrow 0$ .

Or  $\lim_{\mu \rightarrow 0} \frac{\mu}{\rho} = 0$  et  $\lim_{x \rightarrow 0} \sqrt{x} = 0$

D'où  $\lim_{\mu \rightarrow 0} \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = 0 \Leftrightarrow \lim_{\mu \rightarrow 0} v_S = 0$

On en déduit que les ondes S sont arrêtées par les liquides. Un exemple classique est celui du noyau liquide de la Terre.

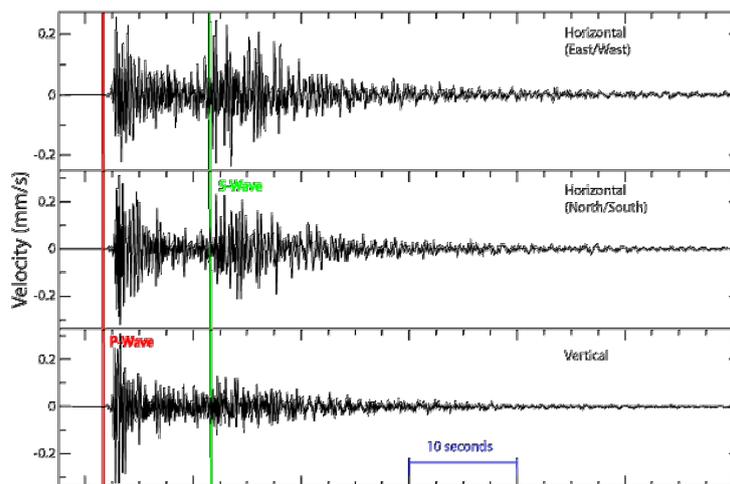
On peut également faire une comparaison des vitesses des ondes P et des ondes S.

On a  $\frac{4}{3}\mu \geq \mu$ , car  $\frac{4}{3} > 1$ , d'où  $K + \frac{4}{3}\mu \geq \mu$ ,  $K$  étant positif

Or  $\rho$  est positif donc  $\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho} \geq \frac{\mu}{\rho}$

Or, la fonction  $f: x \rightarrow \sqrt{x}$  étant croissante sur  $[0; +\infty[$ , on aura  $\sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \geq \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \Leftrightarrow v_P \geq v_S$

La vitesse des ondes P est donc supérieure à celle des ondes S. Les ondes P et S n'allant pas à la même vitesse, elles n'arrivent pas en même temps au même endroit, ce qui permet de localiser par un calcul simple l'endroit d'où elles ont été émises, ou encore d'où elles ont été réfléchies ou réfractées. Le retard des ondes S par rapport aux ondes P est en effet significatif de la distance parcourue par les ondes pour atteindre chacune des stations.



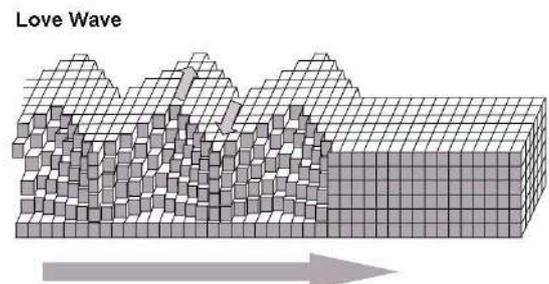
Relevé des ondes sismiques dans trois stations différentes : on remarque le retard des ondes S (en vert) par rapport aux ondes P (en rouge).

### 1.1.2. Les ondes de surface

Ces ondes se propagent à la surface de la Terre. Les ondes de surface ont une forte amplitude mais sont globalement plus lentes que les ondes de volume.

- **Ondes de Love**

Les ondes de Love sont des ondes de cisaillement. Le mouvement des particules est contenu dans un plan horizontal (ondes SH). Les ondes de Love ont une vitesse inférieure à celle des ondes P et des ondes S,

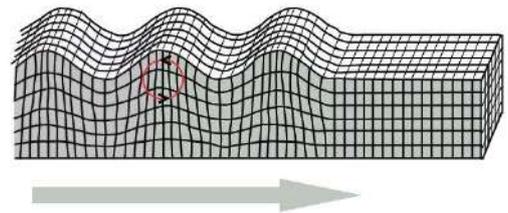


mais cependant supérieure à celle des ondes de Rayleigh : approximativement  $4 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ .

- **Les ondes de Rayleigh**

Formées par l'interaction d'ondes P et S à la surface, les ondes de Rayleigh provoquent un déplacement complexe, à la fois horizontal et vertical, et même des mouvements elliptiques. Leur amplitude décroît exponentiellement à mesure que l'on s'éloigne du point de perturbation. Les ondes de Rayleigh ont une vitesse comprise entre  $2 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$  et  $5 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Rayleigh Wave



## 1.2. Sources sismiques et traitement des données

Il y a plusieurs moyens de créer la perturbation à l'origine de la propagation des ondes. Ces moyens ne sont pas les mêmes lorsque l'on travaille en milieu marin ou terrestre.

En milieu terrestre, la méthode la plus ancienne, qui n'est néanmoins pas la plus précise ni la plus discrète, nécessite l'emploi d'explosifs. Utilisée partout où son usage est possible, cette méthode permet par exemple, en faisant exploser plusieurs sources simultanément et à quelques mètres d'intervalle, d'absorber les ondes de surface. De plus, étant une source énergétique, les explosifs permettront d'émettre une large bande de fréquences sismiques. Une autre méthode est celle de l'émission sismique par vibreur. Le principe est simple : quelques camions vibreurs, d'un poids approximatif de 15 tonnes chacun, reposent chacun sur une plaque vibrante au contact du sol. Plus il y aura de sources, plus les ondes de surface seront absorbées, suivant le même principe qu'avec les explosifs. Cette méthode a l'avantage d'être plus facile et moins coûteuse que les explosifs, car elle ne nécessite aucun forage.



En milieu marin, l'explosif n'est quasiment plus utilisé, de façon à préserver la faune sous-marine. On utilise donc des canons à air, consistant à expulser dans l'eau une poche d'air sous pression, pour émettre une onde de pression.



Pour l'acquisition des données, on utilise, en milieu marin, plusieurs hydrophones. Ces appareils permettent de transformer les oscillations acoustiques en oscillations électriques, qui seront ensuite traitées par des systèmes informatisés, qui sont différents suivant la méthode de prospection utilisée

(sismique réfraction ou sismique réflexion). En milieu terrestre, c'est exactement le même principe avec des géophones.

## 2. La Sismique Réflexion

### 2.1. La Réflexion

Le phénomène de réflexion dans le domaine dans la physique des ondes, est le brusque changement de direction d'une onde à l'interface de deux milieux. Après réflexion l'onde reste dans son milieu de propagation initial. En sismologie le phénomène réflexion est très utilisé.

### 2.2. Principe

Son principe est assez simple :

Tout d'abord, on envoie des ondes dans le sol, provoquées par une explosion ou une masse tombant sur le sol. Ces vibrations (qui sont des ondes) se déplacent dans toutes les directions. Lorsqu'elles rencontrent une couche géologique, une partie des ondes se réfléchissent (comme sur un miroir) et repartent vers la surface, et une autre partie d'entre elles se réfracte, continuant à aller plus profondément. Nous nous intéressons en premier temps aux ondes qui réfléchissent.



Camion vibreur (En Sibérie)

Pour cela, les physiciens et les géologues placent des récepteurs très sensibles (les géophones) à distance de l'émetteur, ce qui leur permettent donc de récupérer et d'enregistrer toute une série complexe d'ondes.

Les premières ondes à arriver sont celles qui se sont déplacées en surface, puis viennent celles qui se sont réfléchies sur la première couche géologique, puis celles réfléchies sur la suivante, et ainsi de suite.

Ensuite, on mesure de la sorte le temps qu'a mis une onde réfléchi sur une couche géologique pour se déplacer de l'émetteur au récepteur. En déplaçant émetteur et récepteur de nombreuses fois, on parvient à construire une image en temps et à deux dimensions (2D) du sous-sol et des couches géologiques.



Un géophone et un boîtier de collecte.

Les physiciens émettent ensuite des hypothèses sur les vitesses de propagation des ondes dans les différentes couches. Celles-ci leur permettent de construire une image en profondeur, qui est plus que primordiale pour les géologues et les foreurs.

A partir de cette image, on réalise une coupe géologique. En utilisant toute la série de ces images 2D en temps et en profondeur, on dresse des cartes du sous-sol pour évaluer les pièges à hydrocarbures (qui permettent quand à eux le forage du pétrole).

### 2.3 Intérêt de la sismique-réflexion

La sismique-réflexion permet donc