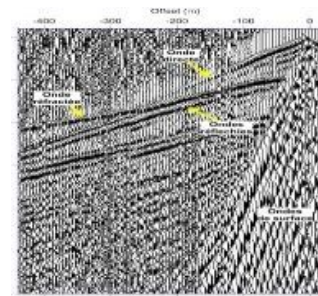


Principe de la méthode

- Le principe des méthodes sismiques consiste à générer un ébranlement à la surface du sol et à analyser la propagation des différents types d'ondes émises, ainsi que la mesure de leur vitesse. Chaque type d'onde est le support d'une méthode particulière.
- La sismique réflexion fait partie des méthodes de propagation d'ondes sismiques au même titre que la sismique réfraction, la sismique par ondes de surface et la sismique en forages.
- La sismique réflexion repose principalement sur l'analyse des **ondes de compression, P**, réfléchies aux interfaces des couches.
- Suivant les objectifs du projet et la restitution souhaitée, La sismique réflexion peut se décliner en « **Conventionnelle** » ou « **Haute Résolution** » voire « **Très Haute Résolution** » en 2 ou 3 voire 4D (il s'agit dans ce dernier cas d'acquisition 3D répétées dans le temps). Mise en œuvre, traitement, interprétation et livrables sont définis ci-dessous.



Tir sismique (Document BRGM)

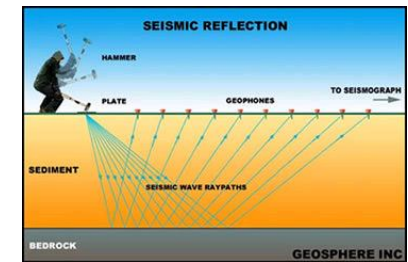


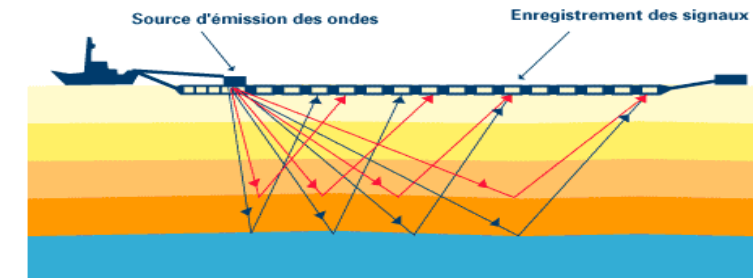
Schéma de principe (USGS, 2002)

Applications

Bien que la méthode soit plus particulièrement adaptée aux milieux sédimentaires, les domaines d'application sont nombreux :

- Domaines d'emploi usuels :
 - Exploration pétrolière onshore et offshore, exploration minière.
 - Etudes de fondations, optimisation d'implantation de structures, préfaisabilité.
 - Hydrogéologie : Position de la nappe, structure du réservoir, limite fracturation / altération.
 - Milieu aquatique : Dragages, ensouillage de câbles/pipelines, fondations, matériaux. La cohérence entre profils terrestres et aquatiques est un avantage de la méthode.
- Profondeur d'investigation : Dépend de la puissance de la source et de la longueur du dispositif, L. En moyenne, entre L/2.
- Résolution : Dépend de la vitesse moyenne du recouvrement, de la fréquence utile au niveau de l'objectif et de l'espacement entre traces (ensemble de capteurs). Résolution verticale moyenne : 10% de la profondeur, résolution latérale moyenne : 1/2 espacement de capteur.

■ Principe de la sismique



Le principe de la sismique est simple : on provoque de légers ébranlements (chute d'un poids, petite explosion...) et on suit les signaux ainsi émis, qui se réfléchissent sur certaines discontinuités géologiques.

Source : Le pétrole au-delà du mythe - X. Boy de la Tour - Ed. Technip

Limitations / Contraintes / Interdits

- Des lithologies différentes peuvent présenter des vitesses identiques ou proches. Un horizon sismique ne correspondra pas nécessairement à une couche géologique.
- L'interprétation en 2D est donnée sous le profil ; Il n'y a pas (ou peu) de vue latérale. En 3D l'interprétation est donnée dans le volume sous la grille d'acquisition
- La réflexion nécessite un calage sur un plan de référence (Datum Plane)
- L'acquisition est perturbée par les vibrations d'origine humaines (industries, routes, bétail) et naturelles (orage, pluie, vent, ruissellement, proximité d'arbres).

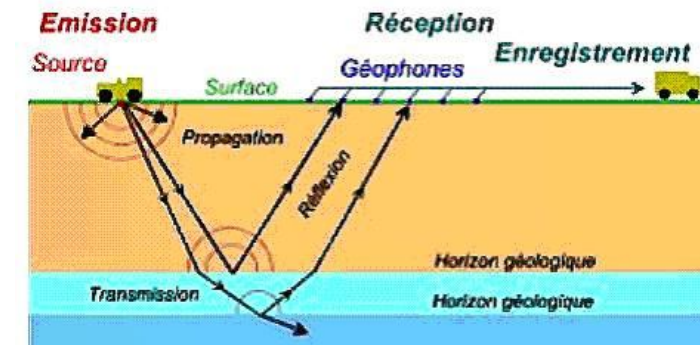


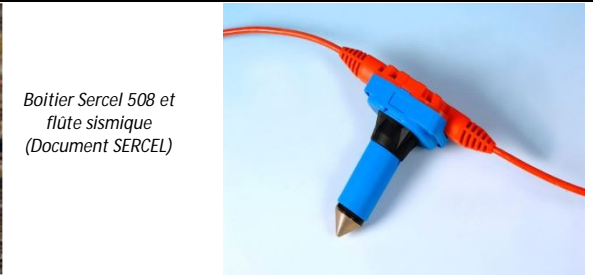
Schéma de principe « Le pétrole au-delà du mythe » de X Boy de la Tour (éditions Technip)

Moyens nécessaires à l'acquisition

- **Equipements** : Capteurs de vibrations (géophones) ou de pression (hydrophones), câbles de connexion (flûtes), enregistreur sismique (amplification du signal, numérisation, visualisation, stockage des données), source sismique impulsionnelle (explosif, masse, fusil sismique, chute de poids, canon à air en marine ou zone de transition) ou vibratoire (camions vibrateurs). Les équipements sont vérifiés (maintenance, étalonnage) périodiquement.
- **Véhicules** : Très dépendants du type de terrain :
En milieu désertique : 5 à 20 camions vibrateurs, flotte de véhicules de transport léger (camionnette, break), de préférence tout-terrains/tout-chemins, permettant le transport du personnel et des équipements, camions ravitailleurs carburant et eau.
En milieu forestier tropical : principalement logistique hélicoptérée de 3 à 5 hélicoptères (type Lama, dauphin ; Bell 212...)
Zone de transition : jusqu'à 70 embarcations (speed boats et air boats)
En zone tempérée : 1 à 5 camions vibrateurs, 1 véhicule d'enregistrement, éventuellement 1 véhicules pour les câbles et géophones, et véhicules de transport du personnel.
- **Personnel et compétences** :
Pour l'équipe d'acquisition : 1 Chef de mission, 1 chef d'équipe topographie (implantation et levé), 1 chef d'équipe forage ou 1 chef terrain (vibrateur), 1 chef d'équipe « labo ». L'équipe sera complétée par des aides non qualifiés selon l'importance et la difficulté du terrain, de 30 à 2500.
En France, selon l'importance du dispositif, l'effectif peut varier de 5 à 50 personnes.



Enregistreur SERCEL CX 508
(Document SERCEL)



Boîtier Sercel 508 et
flûte sismique
(Document SERCEL)

Géophones DSU3 (Document SERCEL)



Camion vibrateur Nomad 90 (Document SERCEL)

Mise en œuvre sur le terrain

- **Dispositif de mesures** : il est dimensionné aux objectifs de l'étude, la profondeur de cible et la résolution. Constitué de N traces en ligne (en 2D), sur plusieurs lignes parallèles (en 3D), chaque ligne comprenant 1, 6, 12, 24, 48 voire 96 géophones. Les barycentres des capteurs sont régulièrement espacés (de 30 à 50m en conventionnel, de 10 à 25 m en HR et inférieur à 10 m en THR). Ainsi, la longueur d'un dispositif standard est de l'ordre de 48 à 480m. La profondeur de pénétration de la méthode est d'environ 1/2 de la longueur du dispositif.
La source sismique doit être dimensionnée pour un rapport Signal/Bruit optimal sur l'ensemble du dispositif et pour un contenu fréquentiel adapté. Exemple de source standard : L'explosif (forte énergie mais nuisances et autorisations contraignantes) et le camion vibrateur qui permet de varier le spectre d'amplitude de l'émission.
- **Travaux préparatoires** :
 - Déclarations administratives et autorisations de travaux dans les propriétés.
 - Piquetage de l'emplacement des capteurs, avec relevé topographique. L'élagage et le débroussaillage ne sont nécessaires que dans un environnement végétal dense.
 - Relevés des singularités du site (remblais, sol décomprimé, fuites, conduites, routes, clôtures, etc.), pouvant influencer sur la qualité des mesures et de l'interprétation, et sur la sécurité du personnel.
- **Installation** : Les capteurs sont fermement plantés dans le sol, le long d'un profil rectiligne. Ils sont connectés sur la flûte et la flûte à l'enregistreur.



Tir sismique à l'explosif (Document AGAP)

- **Tests** : La continuité électrique et la réponse des capteurs sont vérifiées, ainsi que le circuit de « temps zéro » (ou time break, TB). Les bruits électroniques et naturels sont atténués. Les sources d'énergie et les approvisionnements sont contrôlés.
- **Source** : En sismique réflexion « **conventionnelle** » : Explosif ; En vibro-sismique : Camion vibreur
- **Sécurité** : La sécurité du chantier doit être assurée par le Chef de Mission, **en accord avec le Système Qualité du prestataire**. Les accès à la zone de mesures seront sécurisés. L'usage d'explosif doit être réservé aux bouteux professionnels.
- **Contrôle Qualité** : Après chaque tir, l'opérateur contrôle la qualité des enregistrements, le niveau de bruit, le bon état fonctionnel des traces (capteurs + connections). L'enregistrement doit autoriser un dépouillement sans ambiguïtés des mesures. **Le dispositif ne doit pas être démobilisé avant validation du tir.**
- **Production** : Dépend de la difficulté de déplacement sur le terrain et de l'importance de l'équipe. De quelques dizaines à plusieurs centaines de Points de Tir / Points de Vibration par jour.



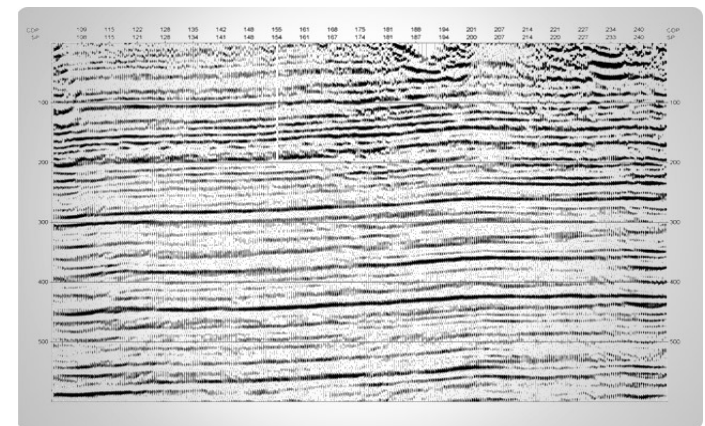
Pattern de vibreurs (document Sonatrach)

Traitement des données

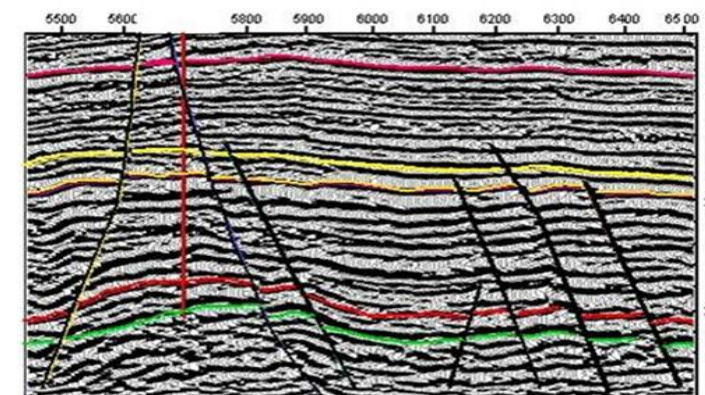
Il s'agit d'un métier à part entière. Le traitement consiste à récupérer l'ensemble des données brutes du terrain et à restituer au client une ou plusieurs images « compréhensibles » et utilisables en vue d'interprétation. Une succession de procédés élémentaires sont appliqués aux data. Ci-dessous **un exemple** de logigramme (flow chart) de traitement sismique en 3D terrestre :

1. Transcription du format terrain en format lisible par le logiciel de traitement).
2. Edition éventuelle de traces erratiques
3. Conversion en phase minimum dans le cas d'une acquisition vibreur
4. Récupération de l'amplitude
5. Compensation de la divergence sphérique
6. Compensation de l'amplitude (sources et récepteurs) en surface consistante
7. Application éventuelle de filtre de réjection (notch) et d'atténuation de bruits
8. Application de corrections statiques pour ramener l'origine de la section au plan de référence (Datum Plane)
9. Déconvolution surface consistante. (Ne dépend que du lieu considéré et non du récepteur ni de la source, est plus robuste et fait usage statistique d'un plus grand nombre de traces, et enfin permet de tenir ainsi un meilleur compte des fonctions de transfert associées aux géophones par exemple)
10. 1^e analyse de vitesses
11. Applications de corrections statiques résiduelles surface consistante
12. 2^e analyse de vitesses
13. Compensation de l'amplitude (sources, récepteurs, offset) en surface consistante
14. Elimination de bruit en plan offset
15. Interpolation et régularisation en plan offset
16. Atténuation de bruit en plan offset
17. 3^e analyse de vitesses
18. Migration en temps avant sommation (PSTM)
19. Application d'un mute (élimination d'une partie des données mesurées inutiles, voire nuisibles)
20. Sommation (Stack)
21. Application des statiques au Datum Plane final

Section sismique
(Document Andra)



Section sismique interprétée
(Document SEREPT))



- 22. Compensation d'atténuation
- 23. Phase conversion en zéro phase
- 24. Atténuation de l'empreinte d'acquisition
- 25. Filtrage bande passante

Résultats et livrables

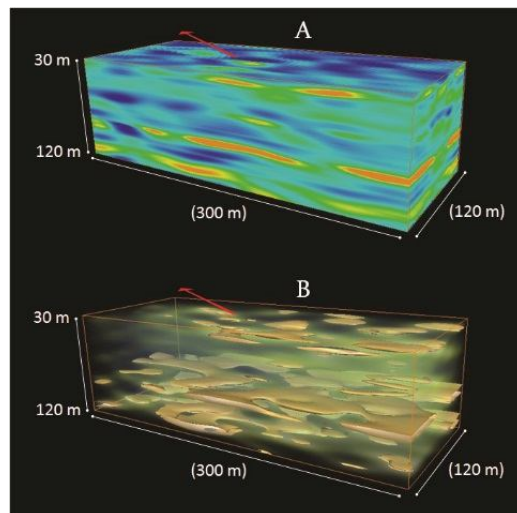
Interprétation par méthode conventionnelle

- Coupe interprétative 2D (distance X-temps T, ou distance X-profondeur Z) ou 3D X,Y,T ou X,Y,Z ou « Time slices »

Interprétation structurale

Inversion acoustique par migration après sommation

Inversion élastique par migration avant sommation permet de retrouver les propriétés pétrophysiques grâce à des calages aux forages



*Bloc sismique 3D interprété
(Document Réseau National Sites
Hydrogéologiques)*

Rapport d'étude

- Le rapport d'étude comporte plusieurs sections, d'autant plus qu'interprétation et traitement sont souvent réalisés par des entreprises différentes de celle de l'acquisition. Un document AGAP spécifiant le plan d'un rapport-type peut être consulté sur le site web (www.agapqualite.org).
- *Section Générale*: Traite des généralités de l'étude, entre autres, localisation, contexte géologique régional, objectifs, mode opératoire, équipement, méthodologie d'interprétation, etc.
- *Section acquisition*: Traite du paramétrage des équipements, de l'équipe du projet, de la localisation et de la topographie détaillées, des observations de terrain et de la qualité des mesures, ainsi que des résultats spécifiques au site (vitesses et épaisseurs, particularités et anomalies géologiques, etc.).
- *Section traitement*: Traite de la séquence de traitement, du choix des paramétrages et des tests utilisés à chaque étape.
- *Section interprétation*: Suivant les objectifs de l'étude, des attentes du client et des termes du contrat, une interprétation avancée (incluant une intégration des résultats avec d'autres méthodes géophysiques et/ou des données géotechniques) pourra être menée. Des conclusions (sur la corrélation entre VP et lithologie), et des recommandations (sur des études complémentaires éventuellement) sont nécessaires.
- Le rapport comporte un volume texte et un volume cartographique, sur papier et/ou en format électronique. Le rendu cartographique est proposé au format CAD et/ou SIG. Les données de terrain sont fournies au format standard SEG2 et les relevés topographiques au format ASCII.

Apport à l'étude géotechnique

- Détermination de la géométrie des couches.
- Intégration géophysique / géotechnique : Profil de compacité, interpolation entre forages
- Intégration géophysique / géologie / gisement : Quantification des paramètres pétrophysiques
- Calcul des modules géotechniques par intégration de la vitesse VP à la vitesse des ondes de cisaillement (VS) après acquisition spécifique des VS.
- Corrélations : (1) entre la vitesse des ondes P et la vitesse des ondes S, (2) entre la vitesse des ondes P et la compacité des sols, (3) entre la vitesse des ondes P et la résistance de pointe du pénétromètre (qc).

Quelques vitesses VP hors nappe

- Air : 300 m/s
- Terre végétale : 100m/s-350m/s
- Sables fins : 300m/s-700m/s
- Graves : 500m/s-900m/s
- Argile : 500m/s-1400m/s
- Marnes : 1800m/s-2100m/s
- Craie fracturée : 800m/s-1500m/s
- Substratum fracturé (calcaire, granite, basalte) : 1000m/s-3000m/s
- Substratum sain (calcaire, granite, basalte) : 3000m/- 6000m/s
- Anhydrite 4800-6000 m/s (avec une densité de 3)
- Nappe d'eau libre, eau de mer : 1450m/s-1500m/s
- Glace : 3200 m/s

Dialogue donneur d'ordre / prestataire

- A la charge du donneur d'ordre
 - Cahier des charges détaillé avec objectifs clairs
 - Plans et documents relatifs à l'ouvrage, à la zone à prospector
 - Informations concernant les accès, la sécurité du site, et les autorisations administratives.
 - Documents relatifs à d'éventuelles investigations antérieures
- A la charge du prestataire
 - Proposition explicite : Justification de la méthode proposée, adaptation à l'objectif, description des avantages et limitations, facteurs d'influence et/ou non maitrisable, précision des mesures et résultats finaux réalistes.
 - Rapport d'étude de qualité professionnelle : Rappel des objectifs, méthodologies appliquées, discussion des résultats, conclusions et recommandations pratiques.

Pour aller plus loin...

- **1976**, Dobrin Milton B., *Introduction to geophysical prospecting*, Mac Graw Hill
- **1982**, Sheriff Robert E., *Exploration seismology*, Cambridge university press
- **1983**, Cordier J.P., *Les vitesses en sismique réflexion*, Edition Lavoisier Tec & Doc
- **1987**, Yilmaz Ozdogan, *Data seismic processing*, SEG edition, SEG Tulsa
- **1990**, Telford W.M., Geldart L.P., Sheriff R.E., *Applied geophysics*, Cambridge university press
- **1991**, Fagin Stuart W., *Seismic modelling of geologic structures*, SEG edition,
- **1992**, Sheriff Robert E. : *Reservoir geophysics*, SEG edition
- **1994**, Henry G., *Géophysique des bassins sédimentaires*, éditions Technip
- **1997**, *Traitement du signal pour géologues et géophysiciens*, éditions Technip
- **1998**, Mari J.L., Arens G., Chapellier D., Gaudiani P., *Géophysique de gisement et de génie civil*, éditions Technip
- **2003**, Bacon M., Simm R., Redshaw T., *3D Seismic interpretation* Cambridge university press

Liens

- www.abemfrance.eu, www.iris-instruments.com, www.sercel.com