

Partie II : Interprétation des données de sismique réflexion

1. Définition et objectif de l'interprétation sismique structurale

L'interprétation des données sismiques a pour but de donner une signification géologique aux données sismique. Elle cherche à construire un modèle géologique raisonnable à partir des données de la sismique. L'interprétation des données sismiques comprend une phase d'interprétation structurale et une phase d'interprétation stratigraphique.

On attend de l'interprétation sismique de construire des cartes en iso-valeurs et de trouver d'éventuels pièges d'hydrocarbures (cas de l'exploration pétrolière). Malheureusement, comme pour toutes les autres méthodes géophysiques, le résultat de l'interprétation n'est pas toujours unique et dépend de plusieurs facteurs, à la fois dépendant et indépendant de notre contrôle, comme l'expérience de l'interpréteur, le traitement, la géologie etc.

2. Documents de référence

Les documents suivants sont indispensables lors de l'interprétation des données sismiques. Certains documents sont incontournables comme la section sismique, d'autres sont facultatifs tels que les well tops ou les carottes.

2.1. Section sismique

La section sismique est le document de base en interprétation sismique structurale. C'est une juxtaposition de traces sismiques représentant des événements en fonction du temps ; c'est une vraie échographie du sous-sol. Néanmoins, il ne faut pas confondre une section sismique avec une coupe géologique. En effet, une section sismique est une représentation en temps du sous sol, tandis que la coupe géologique c'est la représentation d'événements géologiques en profondeur.

2.1.1. Représentations d'une section sismique

2.1.1.1. Représentation à aire variable et galvano

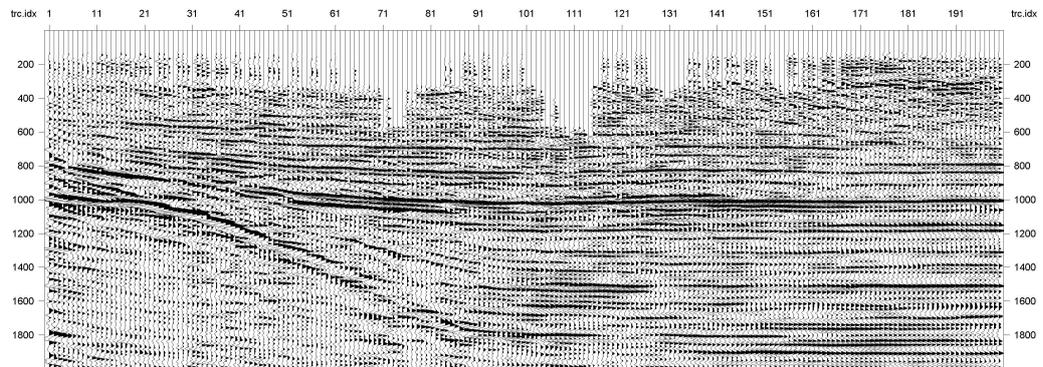


Figure II-1. Exemple d'une section sismique à aire variable et galvano (wiggle en anglais). L'axe vertical représente les temps en millisecondes tandis que sur l'axe horizontal sont représentées les positions des CDP ou des points de tirs (SP).

2.1.1.2. Représentation en niveaux de gris

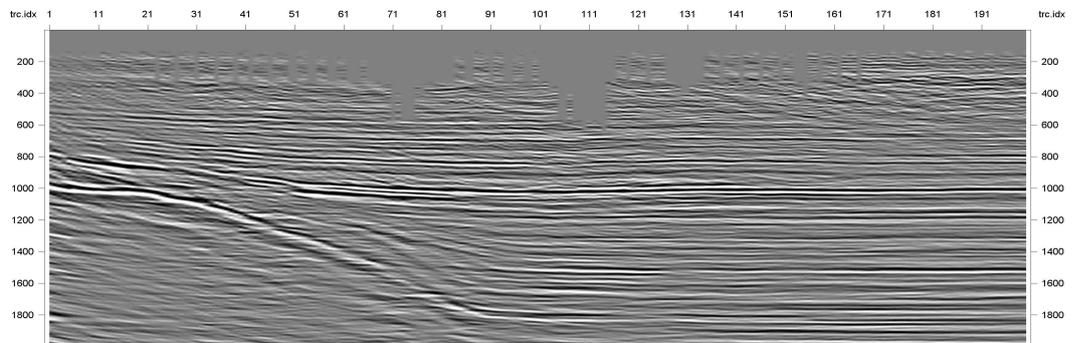


Figure II-2. Représentation en niveaux de gris de la section sismique de la figure II-1.

2.1.1.3. Représentation en couleurs

La même section de la Figure II-1 est représentée en couleurs sur la figure II-3. Selon les conventions, la couleur rouge (blanc en wiggle) représente le creux de la réflexion, ou la valeur positive du coefficient de réflexion, et la couleur bleue (noir en wiggle) représente la crête de la réflexion, ou la valeur négative du coefficient de réflexion, c'est ce qu'on appelle polarité inverse (convention Shell). La convention SEG, quant à elle, représente un coefficient de réflexion positif en couleur rouge (noir en représentation wiggle) et par une couleur bleue pour un coefficient de réflexion négatif (blanc en wiggle), on parle ici d'une polarité normale. Notons, que la convention SEG est utilisée aux USA tandis que la convention Shell est utilisée par les pays européens.

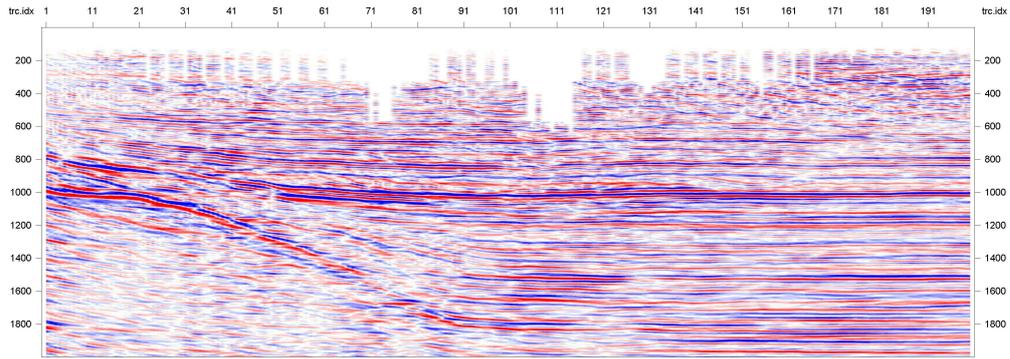


Figure II-3. Représentation couleur de la section sismique de la figure II-1.

2.1.2. Codage des sections sismiques

Il n'est pas rare de trouver dans la même zone d'étude plusieurs campagnes sismiques (donc plusieurs sections sismiques résultantes) qui se superposent. Ceci peut induire l'interpréteur en erreur. Il est d'usage d'utiliser un système de codage des profils sismiques. Pour bien illustrer ce système, considérant le code alpha numérique suivant :

85 TFT 52

Ici, le premier chiffre (85) représente l'année durant laquelle c'es déroulée la campagne sismique, c.-à-d. en 1985.

l'acronyme TFT renvoie à la région d'étude (par exemple ici, c'est la région de Tin Fouyé Tabankort)

le dernier chiffre (52) est le numéro du profil sismique

Ainsi, si dans la même zone, une autre campagne sismique a été programmée dans les années 2019, on notera le profil 19 TFT 52, et là, on ne risque pas de confondre les deux profils, malgré le fait qu'ils portent les mêmes indications (...TFT 52).

2.2. Plan de position

Le plan de position, ou plan de base, est une grille en coordonnées géographiques ou UTM, sur lequel sont indiqués les emplacements des profils sismiques (en sismique 3D, on parle d'inlines et crosslines) et des puits (Figure II-4.). Il n'est pas rare de trouver différentes campagnes sur le même plan. Il est ainsi possible, avec se système, de localiser n'importe quelle information (un CDP ou un SP, par exemple) avec précision. Le plan de position sert de support pour le traçage des cartes. Dans le cas d'études en 2D, le maillage est irrégulier, tandis qu'en étude 3D, le maillage est le plus souvent régulier.

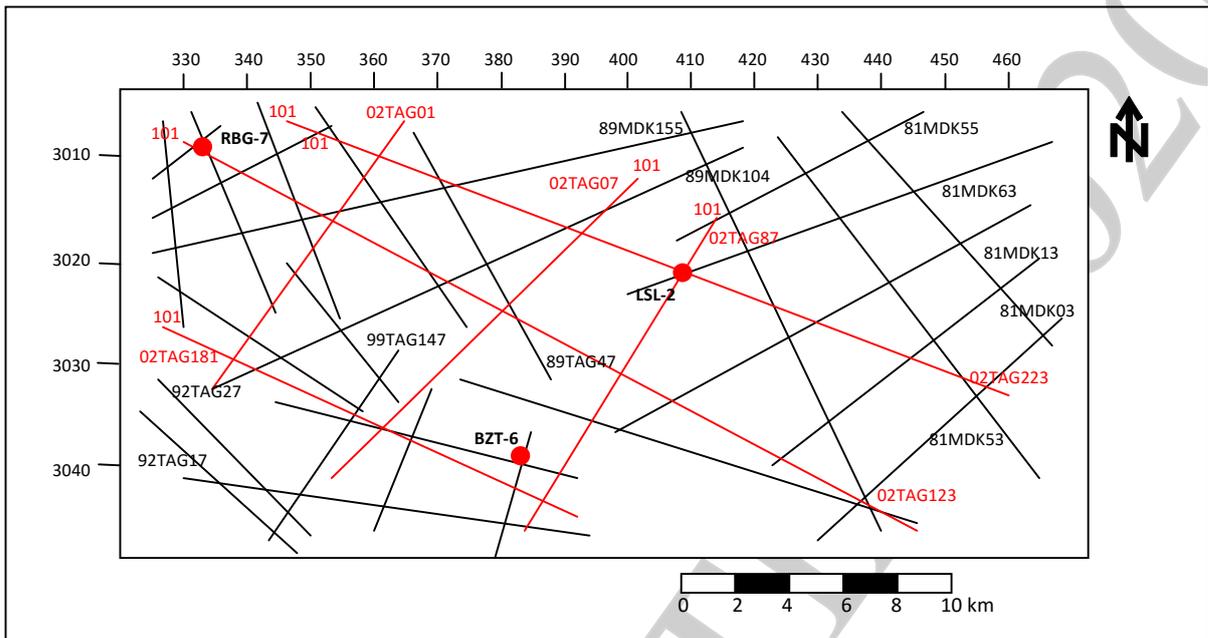


Figure II-4. Plan de position montrant les profils sismiques et les puits (points rouges). La valeur 101 visible sur certains profils indique le sens de l'acquisition (premier point de tirs).

2.3. Données de puits

2.3.1. Fiche stratigraphique

Les fiches stratigraphiques sont établies au niveau de chaque puits grâce aux logs habillés. Elles permettent d'identifier et de localiser, en profondeur, les formations traversées par le forage et de déterminer les horizons à carter (Figure II-5). Les profondeurs des formations sont données par rapport aux différents niveaux, à savoir : niveau de la mer, niveau du sol, la table de rotation ou KB, le DP sismique.

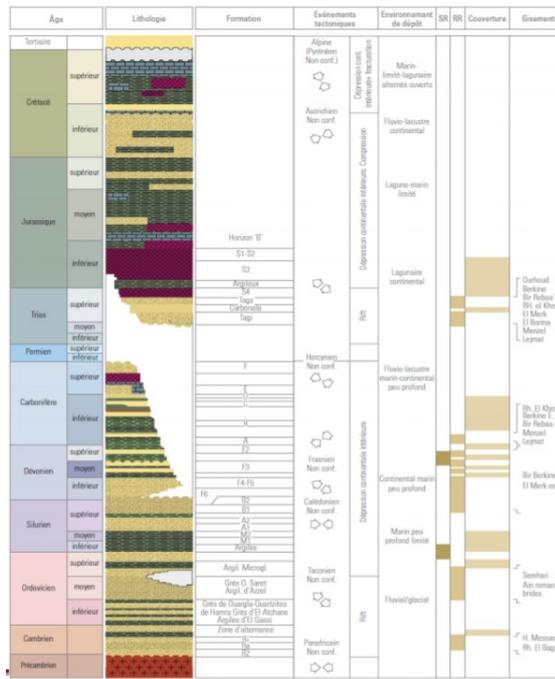


Figure II-5. Fiche, ou colonne, stratigraphique (WEC 2007).

2.3.2. Profil sismique vertical (PSV)

Les données du PSV font partie des données de puits. Le PSV sert principalement au calage des données de la sismique de surface, le calcul de la loi de vitesse et l'identification des multiples. Le PSV offre une représentation haute résolution en 2D et 3D, utile pour des études structurales et stratigraphiques de détail. La Figure II-6 représente un enregistrement PSV traité et horizontalisé. La sommation suivant un couloir de sommation, ou corridor, des traces externes de cet enregistrement servira à produire une trace qu'on appellera « corridor stack ». Cette dernière servira au calage avec la sismique de surface.

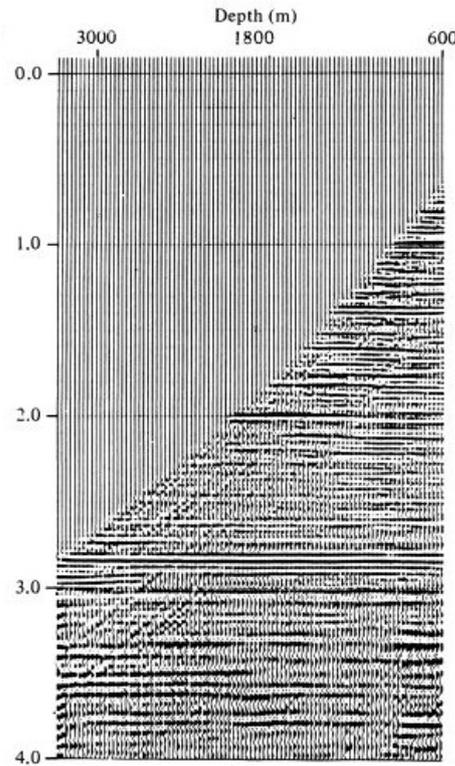


Figure II.6. Exemple d'un enregistrement PSV traité et horizontalisé. L'axe horizontal représente la position des géophones dans le puits (en mètres) ; l'axe vertical représente les temps doubles.

2.3.3. Check shot

Le check shot est une technique utilisée pour l'élaboration d'une loi, ou modèle, de vitesse. La mise en œuvre du check shot est identique dans son principe à celle du PSV : des géophones sont disposés à l'intérieure du puits tandis qu'une source en surface émet un signal. L'espacement entre les géophones est plus importants dans le cas d'un check shot (environ 150m) que dans le cas d'un PSV (environ 30m). Les temps mesurés au niveau des géophones sont représentés en fonction de la profondeur. Une loi temps-profondeur est établie permettant le calcul des vitesses (Figure II-7).

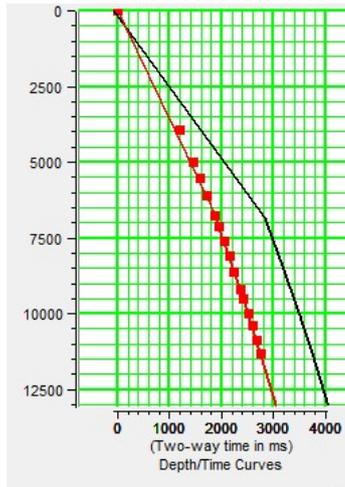


Figure II-7. Courbe temps-profondeur (en rouge) d'un check shot représentée en fonction des temps doubles (axe horizontal) et des profondeurs des géophones (axe vertical).

2.3.4. Diagraphies

On définit les diagraphies comme tout enregistrement d'un paramètre physique en fonction de la profondeur. Ces enregistrements sont appelés communément « log ». On trouve ainsi des enregistrements de la température, de la radioactivité naturelle et provoquée, de la résistivité etc. Les diagraphies jouent un rôle très important en interprétation sismique structurale car elles permettent d'avoir une vue détaillée des milieux traversés, ainsi que les objectifs et leurs propriétés physiques. De plus, le film synthétique, utilisé lors du calage, est basé sur les logs sonique et densité. La Figure II-8 représente des logs, où l'axe vertical représente les profondeurs.

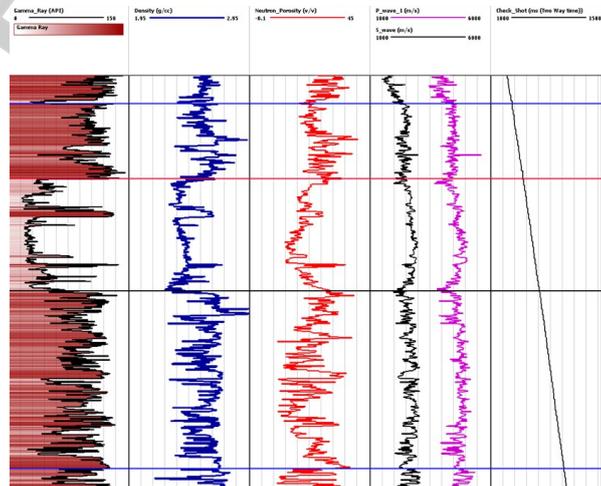


Figure II-8. Enregistrements de diagraphie (logs)

2.3.5. Well-tops

Les well-tops sont des marqueurs qui représentent les horizons d'intérêts (objectifs) à interpréter sur les sections sismiques.



Figure II-9. Représentation des well tops à l'intérieur du puits.

2.3.6. Film synthétique

Pour créer un film synthétique, nous avons besoin d'un log sonique, un log densité et un check shot. La multiplication du log sonique par le log densité produit un log impédance (Z_p), l'indice p représente les ondes de compression. Ainsi, Z_p est l'impédance acoustique des ondes p. De même, Z_s est l'impédance acoustique des ondes de cisaillement, ou onde S. L'impédance acoustique est donnée par la formule suivante :

$$Z_p = V_p \times \rho \quad (\text{II-1})$$

où ρ est la densité en (g/cm^3) et V_p la vitesse des ondes P en (m/s)

de même :

$$Z_s = V_s \times \rho \quad (\text{II-2})$$

En l'absence d'un log densité, ce qui est courant dans les anciens puits, il est possible de créer un log densité à partir d'un log sonique en utilisant, par exemple, la formule de Gardner :

$$\rho = a V_p^b \quad (\text{II-3})$$

où a est un facteur d'échelle b est un facteur exponentiel.

Enfin, le check shot est utilisé pour calibrer le log sonique.

Le log impédance acoustique est utilisé pour le calcul de la série de réflectivité. La formule ci-dessous est généralement utilisée :

$$r_i = \frac{Z_{i+1} - Z_i}{Z_{i+1} + Z_i} \quad (\text{II-4})$$

Où l'indice i représente le numéro de l'interface séparant deux couches géologiques. Notons que la formule II-4 n'est valable que pour l'incidence normale. Dans le cas où l'angle d'incidence est différent de zéro, on fait recours aux équations de Zoeppritz ou à leurs différentes approximations.

La série de réflectivité sera convoluée par un signal, ou ondelette, afin de produire la trace sismique synthétique (Figure II-10). L'ondelette est un facteur important dans le processus de création du film synthétique, c'est d'ailleurs la principale source d'erreur lors de ce processus. Il existe plusieurs façons de choisir l'ondelette :

- Ondelette théorique (Ricker, Ormsby, Chebechev etc.)
- Ondelette statistique
- Ondelette tirée à partir d'une trace sismique réelle.

Le choix de l'ondelette dépend du résultat final de l'interprétation. Le choix le plus simple est l'ondelette théorique, car ne nécessitant que très peu de paramètres et de calculs, cette ondelette permet un visionnage rapide du résultat. D'habitude seule la fréquence centrale de l'ondelette est requise lors du choix d'une ondelette théorique. Mais pour des travaux d'interprétation plus complexes, inversion stratigraphique ou étude AVO par exemple, une ondelette tirée directement d'une trace réelle est le choix le plus judicieux.

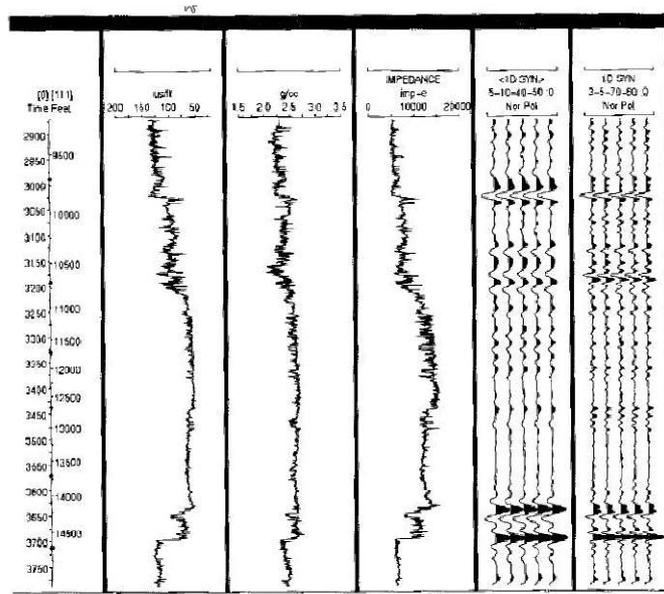


Figure II-10. Génération d'un film synthétique à partir des logs sonique et densité (d'après Bacon, 2003).