

INVESTIGATION DU SOUS-SOL PAR METHODE RADAR

1. Principe

Ce procédé d'auscultation **non destructif** utilise la propagation et **réflexion des ondes électromagnétiques** dans et sur les interfaces des couches ou les hétérogénéités du sous-sol. Une antenne émettrice envoie des impulsions électromagnétiques brèves (quelques nanosecondes) et les ondes rétrodiffusées sont captées par une antenne réceptrice.

La **longueur d'onde** de l'onde électromagnétique se propageant dans le sous-sol est définie par $\lambda = v \times T = \frac{v \times 2\pi}{\omega}$, avec **T** la période, ω la pulsation du signal, v la vitesse de l'onde dans le milieu ausculté.

A basse fréquence (1-200 MHz), la profondeur d'investigation dépend principalement de la **conductivité électrique** et de la **permittivité diélectrique** du milieu traversé.

La conductivité électrique σ (en S.m⁻¹) caractérise le déplacement de charges libres du milieu sous l'influence du champ électrique.

La permittivité diélectrique ϵ (en F.m⁻¹) représente la capacité d'une distribution de charges électriques à se polariser sous l'effet d'un champ électromagnétique externe. La permittivité diélectrique d'une roche relative à celle du vide est généralement comprise entre 3 et 30.

En considérant le milieu comme diélectrique (où $\frac{1}{100} > \frac{\sigma}{\epsilon\omega}$), la vitesse des ondes électromagnétiques dans ce milieu s'écrit $v \approx \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$, où μ est la perméabilité magnétique du milieu ($\mu \approx \mu_0$ avec $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H.m⁻¹, la perméabilité magnétique du vide).

Dans le cas d'un terrain argileux, pour lequel la permittivité diélectrique est de 9, la vitesse est égale à 10 cm/ns.

La **profondeur de pénétration** du signal en mètres est de l'ordre de : $\delta = \frac{\rho}{190 \times \sqrt{\epsilon_r}}$.

Certains facteurs comme le **degré d'hétérogénéité** du milieu, la **divergence géométrique**, ou encore la présence d'argile en surface entraînent une atténuation, plus ou moins forte, des ondes électromagnétiques au fur et à mesure de leur propagation dans le sous-sol.

2. Présentation des équipements

Sur le terrain, nous avons utilisé une antenne basse fréquence (40 MHz) ainsi que quatre antennes haute fréquence (100, 250, 500 et 800 MHz). Les antennes sont reliées à une unité d'acquisition qui assure l'enregistrement de l'amplitude, la polarisation et la phase du signal électrique en fonction du temps.

Le fait de disposer de fréquences d'émission différentes permet d'obtenir des profondeurs d'investigation variées. Une fréquence élevée signifie une bonne résolution verticale mais une profondeur d'investigation faible.



Antenne basse fréquence en mode bistatique



Unité d'acquisition



Antenne 800 MHz en mode monostatique



Unité reliée à un ordinateur

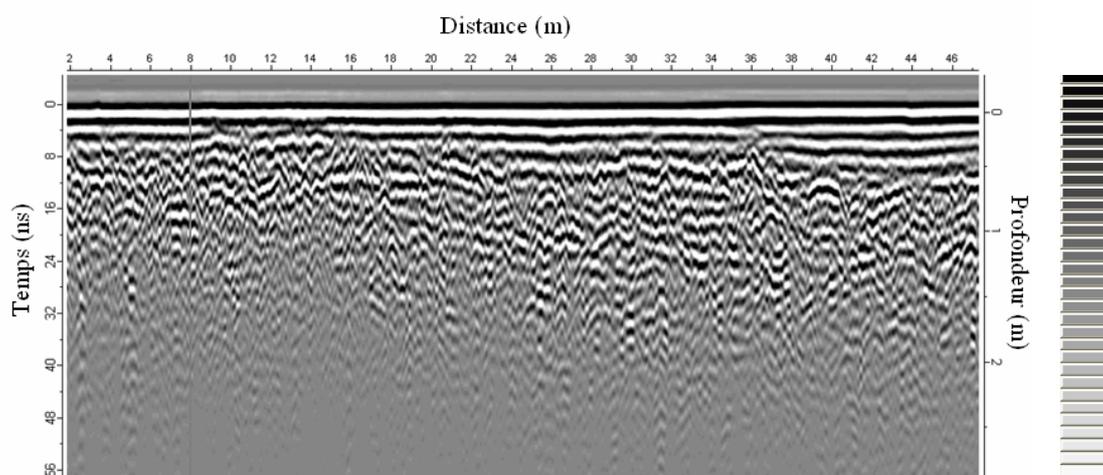
Les antennes haute fréquence sont utilisées en mode **monostatique**, c'est-à-dire que les antennes émettrice et réceptrice sont contenues dans une seule et même unité (contrairement aux antennes basse fréquence en mode **bistatique**).

Le pas d'enregistrement des signaux est réglé grâce à une roue codeuse, qui déclenche une acquisition à un pas de distance donné.

3. Résultats

La visualisation des fichiers radar peut être améliorée en appliquant différents types de **filtres**. Il existe des filtres dits **1D**, agissant dans le domaine temporel sur chaque trace, et **2D**, agissant eux dans le domaine spatial et temporel. Le fait de « **stacker** » les traces lors des mesures permet d'augmenter le rapport **signal/bruit**.

L'amplitude de chaque signal est graduée en niveaux de gris ou de couleurs et les signaux sont juxtaposés en fonction de leur position en surface. L'estimation de la profondeur d'investigation est faite à partir du temps double grâce à la permittivité diélectrique du milieu ausculté.



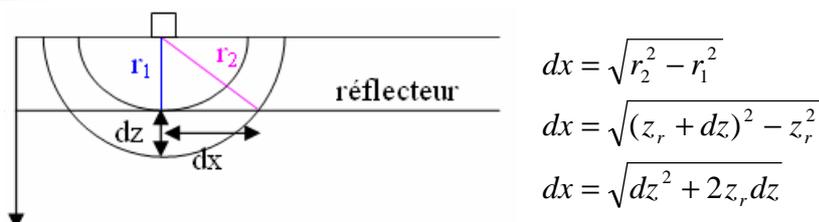
Profil radar avec une antenne 800MHz

Sur ce profil, les amplitudes élevées (du gris foncé au noir) correspondent à des couches fortement réfléchissantes. Les amplitudes moyennes et faibles (du gris clair au blanc) sont synonymes de réflexions moins importantes.

L'interprétation des profils radar exige de connaître l'ordre de grandeur des **résolutions verticale** et **horizontale**.

On considère généralement que la résolution verticale dz est de l'ordre de $\frac{\lambda}{4}$.

La résolution latérale dx est la distance qui sépare deux points distinguables par deux échos réfléchis distincts.



Sur le profil radar ci-dessus, la résolution verticale est égale à 3,1cm (la longueur d'onde est de 12,5cm). La résolution latérale est de 12,8cm au niveau de l'interface située à une profondeur de 0,25m.