



# Détection et reconnaissance de l'état des cavités souterraines par sismique réflexion haute résolution (SHR)

Lynda Driad, Bogdan Piwakowski

## ► To cite this version:

Lynda Driad, Bogdan Piwakowski. Détection et reconnaissance de l'état des cavités souterraines par sismique réflexion haute résolution (SHR). Journée AGAP "Géophysique appliquée aux besoins du génie civil et de l'environnement", Nov 2002, Nantes, France. <ineris-00972392>

**HAL Id: ineris-00972392**

**<https://hal-ineris.ccsd.cnrs.fr/ineris-00972392>**

Submitted on 3 Apr 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Détection et reconnaissance de l'état des cavités souterraines par sismique réflexion haute résolution (SHR)

**Lynda Driad\***, **Bodgan Piwakowski\*\***

\* INERIS, Ecole des Mines de Nancy, Parc de Saurupt 54042 Cedex

Email : [lynda.driad@mines.u-nancy.fr](mailto:lynda.driad@mines.u-nancy.fr)

\*\* Groupe Electronique et Acoustique, IEMN DOAE UMR CNRS 8520, Ecole Centrale de Lille, France. Email: [bogdan.piwakowski@ec-lille.fr](mailto:bogdan.piwakowski@ec-lille.fr)

## INTRODUCTION

L'évaluation du risque d'effondrement dans les zones contenant des cavités naturelles (dissolution de gypse, calcaire) ou anthropiques (carrière et mines exploitées) est complexe. La connaissance des caractéristiques et le comportement à long terme des cavités souterraines représentent une information importante pour le contrôle de ces phénomènes d'effondrements. Les recherches portant sur les techniques géophysiques visant à détecter les cavités souterraines sont toujours d'actualité. Parmi ces techniques, la sismique réflexion haute résolution a fait l'objet, ces dernières années, d'un large champ d'application pour l'imagerie du sous-sol proche (domaine des hautes fréquences). L'étude présentée ici s'inscrit dans le cadre d'un programme de recherche sur l'analyse, la prévention et la maîtrise des mouvements de terrains liés à la présence de cavités souterraines, financé par le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Une démarche d'évaluation précise de la technique SHR a été conduite. Elle est basée sur une expérimentation d'un site sous-miné et inaccessible, mais pour lequel des informations liées à l'exploitation minière et à la géologie étaient disponibles. Le site sous-miné sélectionné est situé en Provence près de la commune de Gréasque (Figure 1). Dans cette région, des travaux souterrains ont été entrepris ces deux derniers siècles pour l'exploitation du charbon et des pierres à ciment (calcaires marneux). De manière générale, le contexte géologique est caractérisé par des formations de calcaire massif du crétacé supérieur et des couches de charbon d'épaisseur variable.

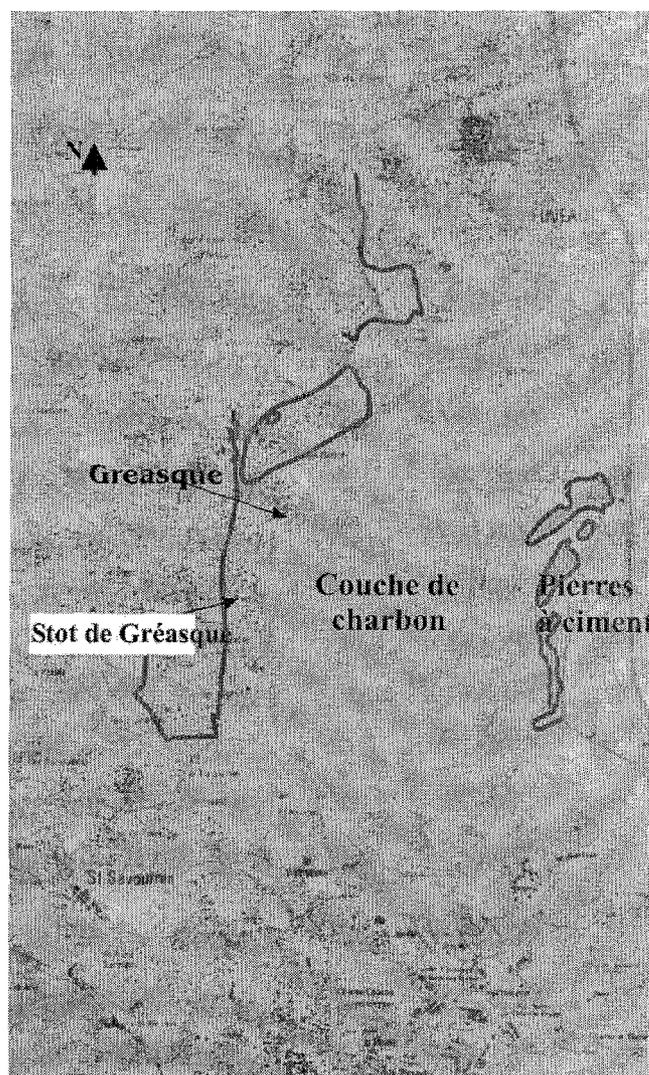


Figure 1: Localisation du site minier sélectionné

Cette étude traite particulièrement le problème des cavités dans les formations calcaires situées entre 7 et 20 m de profondeur dans une carrière de pierre à ciment. Plus aucun accès n'est possible sur cette zone hormis le long de deux descenderies répertoriées par les services de l'Unité de Gestion des Sites Arrêtés des Houillères de Bassin du Centre et du Midi. Une reconnaissance le long de ces galeries a montré que les ouvrages étaient fortement dégradés avec des débuts de cloches d'effondrement et notre progression a été rendue impossible par l'effondrement des galeries au bout de 40 m.

## EXPERIMENTATION SHR

L'acquisition des données SHR a été effectuée en utilisant une station d'enregistrement Geometrics Strata View, des récepteurs type géophones 100 Hz et une source silencieuse « fusil Betsy » [1]. Trois profils A, B et C ont été réalisés en surface et à l'aplomb de la carrière (Figure 2). La ligne C, placée intentionnellement dans une zone vierge (partie non exploitée) de la carrière, est considérée comme une référence et permet d'imager la structure géologique naturelle. Les informations tirées de cette ligne sismique sont utilisées pour interpréter sans ambiguïtés les anomalies induites par les cavités. En plus, ce profil croise deux galeries distinctes permettant ainsi de vérifier la résolution latérale obtenue.

Le profil B est positionné à la fois sur des zones exploitées et des zones vierges. La ligne A traverse la surface totale de la carrière dans la direction de NS, mais sa résolution en CMP (Point Milieu Commun) est deux fois plus petite, ce qui implique une moins bonne qualité de l'image sismique.

Le traitement et l'analyse des données, basés sur la méthode de la mise en Point Milieu Commun (CMP, Common Middle Point), a permis d'obtenir des images SHR des structures souterraines avec un bon rapport signal/bruit. Les paramètres d'acquisition des trois profils choisis suivant des objectifs spécifiques de l'étude et des résolutions attendues sont résumés dans le tableau 1.

Table 1 : Paramètres d'acquisition des profils SHR réalisés sur la carrière des pierres à ciment

	Longueur (m)	Espacement géophones (m)	Espacement CMP (m)	Fréquences exploitées (Hz)	Résolution latérale à 7 m (m)	Résolution en profondeur ( $\lambda/4$ ) (m)
<b>Profil A</b>	335	2	1	80-180		5.8
<b>Profil B</b>	105	1	0.5	250-400	3.15	2.3
<b>Profil C</b>	60	1	0.5	250-400	3.15	2.3

## ANALYSE ET INTERPRETATION DES DONNEES SHR

La détection des cavités souterraines à partir des sections sismiques est basée sur l'analyse des perturbations des signaux induites par le passage de l'onde dans les cavités. La propagation de l'onde dans les cavités ouvertes implique des retards et des effets de masquage des réflecteurs profonds [2], [3]. Dans le cas où les cavités sont effondrées, la réponse sismique met en évidence une perte de corrélation des signaux et un affaiblissement important des amplitudes.

Sur les trois sections des profils A, B, C illustrées par la figure 2, nous observons clairement deux caractères sismiques principaux. Les réponses sismiques de la carrière souterraine et des zones vierges (structures géologiques naturelles). L'image SHR des structures vierges apparaît comme une succession de couches de calcaire, de charbon et de pierre à ciment (ZV). La partie exploitée est caractérisée par une disparition brutale des réflecteurs profonds (effet de masquage) et par des perturbations des réflexions provenant de la couche supérieure des pierres à ciment (ZCA). Toutes les

failles géologiques rencontrées lors des exploitations ont été observées sur les sections SHR. Les failles principales détectées dans les parties nord et sud de la carrière (failles F1 et F4) sont probablement la cause de la limitation des travaux souterrains dans cette direction. Le profil C met en évidence des zones essentiellement vierges représentées par des interfaces géologiques des couches de pierre à ciment, de charbon et de calcaire (C, CH, CA). Dans la partie centrale de la section, la faille observée (F3) expliquerait l'existence du stot de protection (pas de couche exploitée)

Les profils sismiques A et B offrent une image de plusieurs effets de la présence de cavités, dans certaines parties des sections, la perte quasi totale du signal suggère que les cavités sont effondrées (CE) La profondeur du toit de ces cavités est estimée à 15 m.

L'anomalie " ZE " identifiée sur les deux profils A et B est interprétée comme étant une zone effondrée. Cette interprétation est validée par les observations en surface de la trace de l'effondrement (cuvette d'effondrement, affaissement des terrains). Une autre anomalie intéressante concerne l'image SHR d'un gros pilier d'environ 15 m de large (visible sur le plan de la carrière) observée sur le profil A. Ce résultat permet de valider la bonne résolution latérale de la SHR suivant la géométrie et les paramètres d'acquisition choisis.

## CONCLUSION

La technique de la sismique réflexion haute résolution a été appliquée au site sous-miné de Gréasque (Provence) pour la localisation et la reconnaissance de l'état des cavités souterraines. Les images SHR obtenues ont fait l'objet de traitements et d'analyses spécifiques qui ont permis d'identifier les structures traversées avec une bonne résolution à des profondeurs allant de 7 à 20 mètres. L'analyse des sections sismiques a montré différentes anomalies liées à l'effet de cavités et aux structures géologiques. Dans la zone de carrière, l'effondrement observé en surface a été clairement identifié sur les sections de SHR. D'autre part, la réponse sismique des piliers et des failles géologiques est cohérente par rapport à leur position sur la carte des exploitations souterraines de la carrière.

Les résultats de cette expérimentation montrent que la technique SHR est un moyen intéressant et efficace pour détecter la présence de cavités et pour identifier leur état (effondré ou stable). Cependant, il serait d'un grand intérêt de confirmer cette observation par la réalisation d'un forage et par la modélisation numérique afin d'affiner les résultats d'interprétations et de répondre aux objectifs de façon plus précise.

Le retour d'expérience des investigations SHR dans le cadre de la détection et de la caractérisation des cavités souterraines confirme l'importance de l'apport de cette technique pour l'évaluation du risque d'effondrement. Actuellement, l'INERIS s'implique étroitement dans des programmes de recherche visant à développer une procédure basée sur des travaux intégrés de données de géologie, d'exploitations minières et de géophysique afin de mettre oeuvre une méthodologie élaborée de gestion du risque.

## REFERENCES

- [1] B.Piwakowski, J.M.Watelet, D.Moreaux, " (1997) High resolution seismic prospection of old gypsum mines - Evaluation of detection possibilities", *European Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, vol 2 (2). 1997.
- [2] . B.Piwakowski, J.C. Tricot, C.Leonard, N.Ouarradi, B.Delanoy, "Underground tunnels detection and location by high resolution seismic reflection" *Proceedings of 3rd Congress of European Section Environmental & Engineering Geophysical Society*, Aarhus, Danmark, september 8-11,1997, (91-94).
- [3] B.Piwakowski, I.Shahrouh (1998) " Imagerie du proche sous sol par sismique haute résolution: Application à la détection des cavités" , *Bull. lab. Ponts et Chaussées* vol 214 Mars-Avril pp 19-29

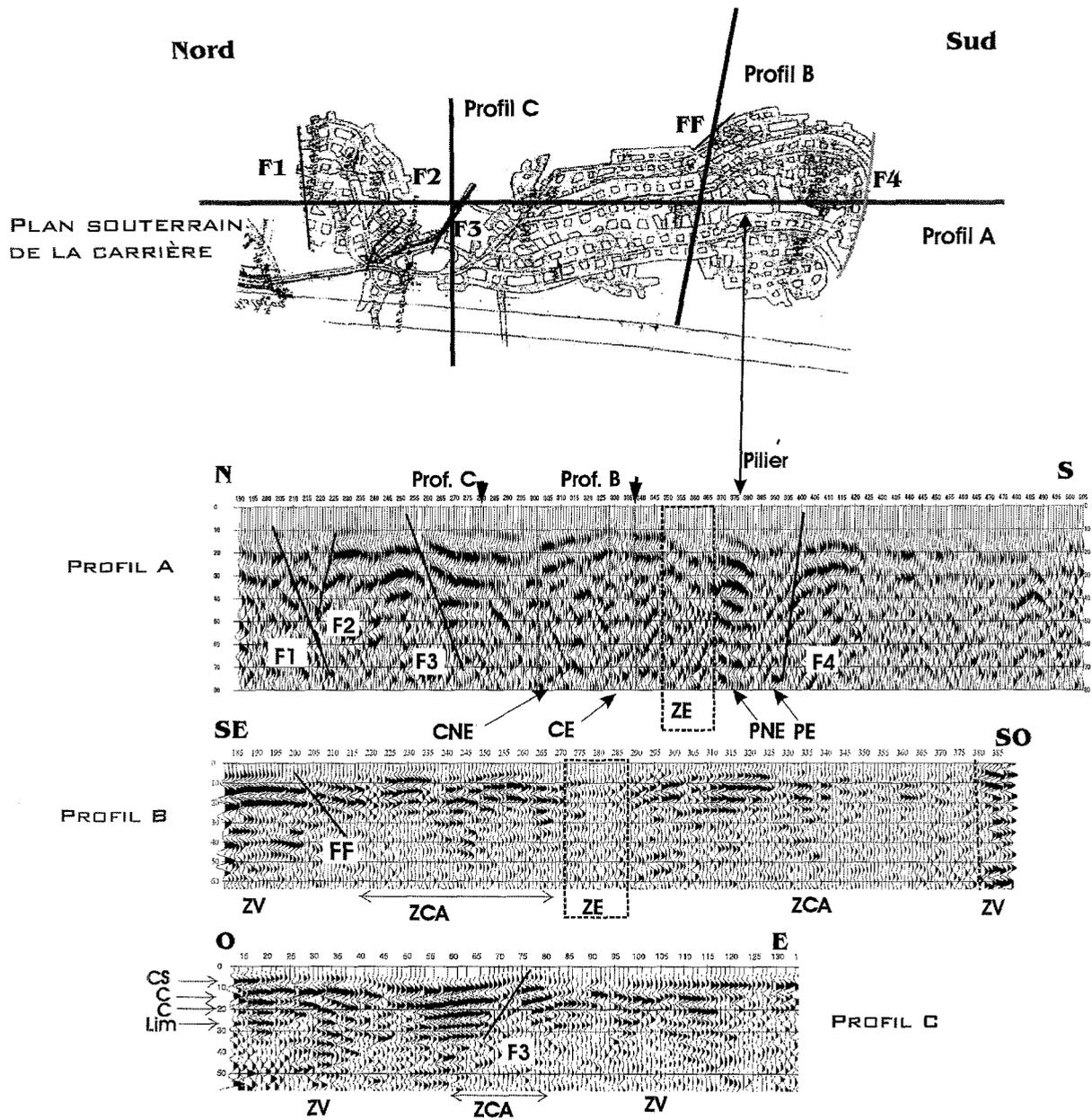


Figure 2: Interprétation des sections SHR

- ZCA:** zone de carrière
- ZV :** zone vierge
- ZE :** zone d'effondrement
- CNE :** cavité non effondrée
- CE :** cavité effondrée
- PNE :** pilier non effondré
- PE :** pilier effondré
- C :** couche ciment
- CH :** couche de charbon
- CA :** couche de calcaire
- FF :** faille non identifiée lors des travaux