Détection des marnières de Haute Normandie par sismique haute résolution

Bogdan Piwakowski, Lynda Driad-Lebeau, Arkadiusz Kosecki, Pawel Safinowski

▶ **To cite this version:**

Bogdan Piwakowski, Lynda Driad-Lebeau, Arkadiusz Kosecki, Pawel Safinowski. Détection des marnières de Haute Normandie par sismique haute résolution. Journées AGAP Qualité - GEOF-CAN "Géophysique appliquée à la reconnaissance des cavités et des structures anthropiques", Nov 2006, Besançon, France. pp.28-31. ineris-00973240

HAL Id: ineris-00973240
https://ineris.hal.science/ineris-00973240

Submitted on 4 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 des marnières de Haute Normandie par sismique haute résolution

PIWAKOVSKI Bogdan [1], DRIAD-LEBEAU Lynda [2], KOSECKI Arkadiusz [1,2] SAFINOWSKI Paweł [1]

[1] Groupe Electronique-Acoustique, Ecole Centrale de Lille (IEMN DOAE UMR 8520 CNRS) 59651 Villeneuve d'Ascq, BP48, Cedex. E-mail : Kosecki.Arkadiusz@ec-lille.fr
[2] Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS), Parc Saurupt 54042 Nancy Cedex, France

Summary

This paper presents examples of application of the high resolution reflection seismics for the detection and localisation of underground voids which are old explorations of marl and chalk in *Upper Normandy* region in France. The voids occur at depths of 35-40 m. The survey is conducted using the classical impulsive down-hole source and the new portable high resolution P wave vibrator. The results show that detection is possible, reliable and precise.

Résumé

Ce papier présente des exemples d'application de la sismique haute résolution à la détection et localisation des cavités souterraines qui résultent d'exploitation de marne et craie dans la région de Haute Normandie. Les vides se trouvent à profondeurs 35 – 40 m. L'investigation est réalisé avec des sources classiques (impulsionnelles) ainsi que avec un nouveau mini–vibrateur de haute résolution à ondes P. Les résultats démontrent que la détection est possible, fiable et précise.

Introduction

L'évaluation de risque d'effondrement dans les zones contenant des cavités naturelles (dissolution de gypse, calcaire) ou anthropiques (carrières et mines exploitées) est complexe. La connaissance des caractéristiques et du comportement des cavités souterraines à long terme représente une information importante pour le contrôle de ces phénomènes d'effondrement. 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 (SHR) a fait l'objet, ces dernières années, d'un large champ d'application pour l'imagerie du sous-sol proche (domaine des hautes fréquences). Le travail présenté ici révèle deux campagnes, la première avait été réalisé en 2002 et la deuxième en 2006. Dans ce papier, sont présentés les résultats des tests effectués sur deux sites : St. Gilles de la Neuville et Goderville (Seine-Maritime, Haute Normandie). Le deuxième site est situé dans une zone pavillonnaire.

L'obtention d'une bonne résolution de l'image sismique nécessite l'exploitation d'ondes les plus courtes possibles correspondant à des fréquences élevées [1]. La source sismique devrait alors fournir un signal avec un spectre suffisamment large et, en même temps, la puissance suffisante afin d'assurer la portée demandée.

Les sources « traditionnelles », basées sur les explosives, sont « destructifs » (abîment le terrain) et bruyantes (nuisance sonore), et ces deux caractéristiques peuvent rendre impossible leur utilisation, dans des zones habités. Les sources vibratoires constituent la solution alternative, (à présent utilisée généralement pour la sismique pétrolière).

Indépendamment des problèmes de base mentionnés avant, la détection des cavités constitue un problème encore plus particulier en raison de leurs tailles limitées et formes irrégulières [2]. Leur dimension est généralement plus faible que la longueur d'onde λ et par conséquent la réflexion géométrique n'existe pratiquement pas et est remplacée par la « diffraction ». En résultat, les réflexions des cavités se trouvent noyées dans le bruit du profil sismique. Pour ces raisons, la détection des cavités souterraines est relativement difficile et chaque cas nécessite un approche individuel.

Vu les problèmes mentionnés avant, la détection des vides se réalise généralement par les méthodes *indirectes*, c'est à dire par la détection des perturbations introduites par une cavité dans l'image de la structure exempte des cavités (qui devrait être disponible). Notre expérience montre que parmi des différents symptômes de présences des cavités, le *masquage* des marqueurs plus profonds est généralement dominant.

Afin de pouvoir estimer la possibilité de détection d'une cavité nous avions introduit [3] le coefficient d'anomalie *AN* (anomaly coefficient) défini comme $AN=S_c/S_f$ qui exprime la taille de la surface de

cavité par rapport à la surface de Fresnel S_C. Notre expérience montre qu'afin de détecter une cavité, son *AN* devrait être supérieur à 0.35–0.5, en fonction des conditions de site.

Dispositif de terrain

L'acquisition des données a été réalisée avec la géométrie « tir au bout » et avec un sismographe Geometrics Strata View (24 bit) à 48 voies. La recherche de la source optimale nous avait conduit à utiliser la source à explosives type Buffalo Gun [4] pendant la campagne en 2002. Afin de faire face aux contraints liés au travail dans la zone habitée de Goderville, ce site avait été prospecté encore une fois en 2006 mais cette fois le nouveau mini - vibrateur portable, développé dans le cadre de BCRD, a été utilisé comme la source (il s'agit de sa première utilisation pratique). Le profil sismique issu du vibrateur est comparé à ceux réalisés à partir de sources impulsionnelles (campagne 2002): afin d'identifier son utilité pour la détection des marnières.
Les caractéristiques techniques du profil figurent dans le tableau 1. Le traitement des données a été réalisé selon la procédure CDP (*common depth point* – point miroir) avec une méthodologie particulière développée par l'Ecole Centrale de Lille [5].

Tableau 1 Caractéristiques des profils

profil	Type de la source	Nombre de points de tir	Nombre de géophones actifs N	Espacement des géophones Δx (m)	Longueur totale du profile (m)	CDP min	CDP max	Résolution en CMP (m)	Type des geophones f_{min} (Hz)
GR	Buffalo	78	48	1	83	4	170	0.5	100 Hz
SGA	Buffalo	86	48	1	92	33	217	0.5	100 Hz
GO-B	Buffalo	80	48	1	90	10	189	0.5	100 Hz
GO-V	Vibro P	80	48	1	90	10	189	0.5	28 Hz

Résultats

Site de St Gilles de la Neuville. Les sondages ont été réalisés sur deux profils : GR and SGA. La figure 1.a montre leur position par rapport au plan de carrières ainsi que le coupé vertical qui résume l'information sur ce site (peu complète). La marnière se trouve à la profondeur de 35 m dans le massif de craie couvert par la couche d'argile.
Le profil GR constitue le profil de référence. Il est situé en grande partie dans une zone exempte de marnières mais il traverse l'extrémité de la marnière dont la largeur est de 7 m (*100 < CDP < 114*). Il devrait fournir une image sismique de la structure exempte des marnières et, en même temps, tester la possibilité de détection de cette marnière dont la taille est relativement faible.
Les résultats obtenus sont présentés sur la figure 1.b. On peut y distinguer nombreux marqueurs *2, 3, 7* dont le *2* représente le début de la craie saine et les autres constituent les interfaces plus profonds dans la craie. La profondeur atteinte est de 120 m, ce qui confirme que la puissance de la source est suffisante. Notons que la structure de ce profil est très variée et comprend de nombreuses failles.
En ce qui concerne la détection de la marnière, les symptômes de masquage du marqueur *3* sont pratiquement invisibles, donc la cavité n'est pas détectée. Ce résultat est prévisible : la longueur d'onde exploitée étant $\lambda = 10\ m$ pour la profondeur $d = 35\ m$, alors que le rayon de Fresnel vaut $R_f = (d\lambda/2)^{0.5} = 13\ m$, d'où le coefficient $AN = 0.34$. La marnière se situe théoriquement en dessous de la limite de sa détectabilité.
Le profil SGA comprend à la fois une zone sans marnière (*CMP < 90* et *CMP > 160*) et une zone avec marnière (*90 < CMP < 160*) dans laquelle une partie de marnière est remplie par l'injection de béton. Les résultats sismiques obtenus sont présentés sur la figure 1.c. Sur ce profil nous distinguons deux zones « saines » (*CDP < 75* et *CDP > 190*) dans quelles le sismogramme révèle une structure observée déjà sur le profil GR_C (ces zones sont très courtes en raison de limitation de la longueur du profil). La présence de la marnière se manifeste par les phénomènes suivants :

- La zone (*75 < CDP < 120 & 150 < CDP < 185*) révèle un masquage du marqueur *3* qui se situe en dessous de la marnière et l'absence presque totale des marqueurs *4, 5, 6, 7*.
- La partie remplie (qui laisse passer des ondes) se trouve à *75 < CDP < 135* et se manifeste par l'apparition du signal *S* (transmission des ondes à travers la marnière remplie) et par la diffraction *D*.
- Indépendamment, les perturbations du marqueur *2* dans la zone (*150 < CDP < 185*) peuvent témoigner l'approchement de la voute au marqueur *2* (monté de voute) et/ou l'effondrement de la marnière [5].

Site de Goderville. Le profil GO_B avait été réalisé avec la source Buffalo et le profil GO_V avec le vibrateur. La figure 2.a montre les positions de ces deux profils par rapport au plan de la carrière ainsi que le coupé vertical du site. La marnière se trouve à la profondeur de 45 m.

Le profil GO_B comprend à la fois deux zone sans marnière (*CMP < 106* et *CMP > 174*) qui constitue le profil de référence, et une zone avec la marnière (*106 < CMP < 174*). Les résultats obtenus sont présentés sur la figure 2.b. La présence de la marnière se manifeste de manière très claire par les perturbations pour *CDP > 105* du marqueur *3* (qui se situe au niveau de la marnière) et le masquage des marqueurs plus profonds *4, 5, 6, 7.* La précision de localisation de la carrière est ici excellente.
Le profil GO_V traversé les jardins particulaires (grâce au caractère non destructif du vibrateur). La marnière se trouve précisément au milieu du profil inspecté (*250 < CMP < 330*) et est entourée symétriquement par les zones saines (*CMP < 250* et *CMP > 330*). Comme sur la section présidente, la zone du masquage observée sur l'image sismique est très claire et corrèle très bien avec la position de la marnière (Fig.2.d). Notons que le masquage est moins prononcé parce que le profil est proche des bords de la marnière ce qui permet de « voir » partiellement aussi le terrain sain. Passage par le terrain sain sur CDP=290 est également détecté (réapparition des marqueurs) ce qui témoigne la bonne résolution. Les zones saines qui se trouvent symétriquement sur les deux extrémités du profile révèlent les mêmes marqueurs de *3* à *7* détectés déjà sur la figure 2.b et en plus le marqueur moins profond *2.*

Conclusion

- La SHR a permis de visualiser les interfaces géologiques jusqu'à la profondeur de 120 m. Les résultats obtenus montrent que la structure géologique en Haute Normandie est très variée et comprend nombreuses anomalies naturelles, ce qui rend plus difficile la détection des marnières.
- Les carrières présentes sur les deux sites ont été détectées et localisées par l'effet de masquage, avec une bonne précision.
- La carrière sur le site de St Gilles pourrait éventuellement révéler des symptômes d'effondrement, celle à Goderville a l'air stable.
- La comparaison effectuée entre le Buffalo et le vibrateur confirme une grande utilité potentielle de ce dernier. Les résultats obtenus sont quasi identiques en ce qui concerne la structuré détecté et la porté obtenue. L'accès dans la zone habitée avait permit de réaliser le profil plus complet avec une marnière localisée au milieu

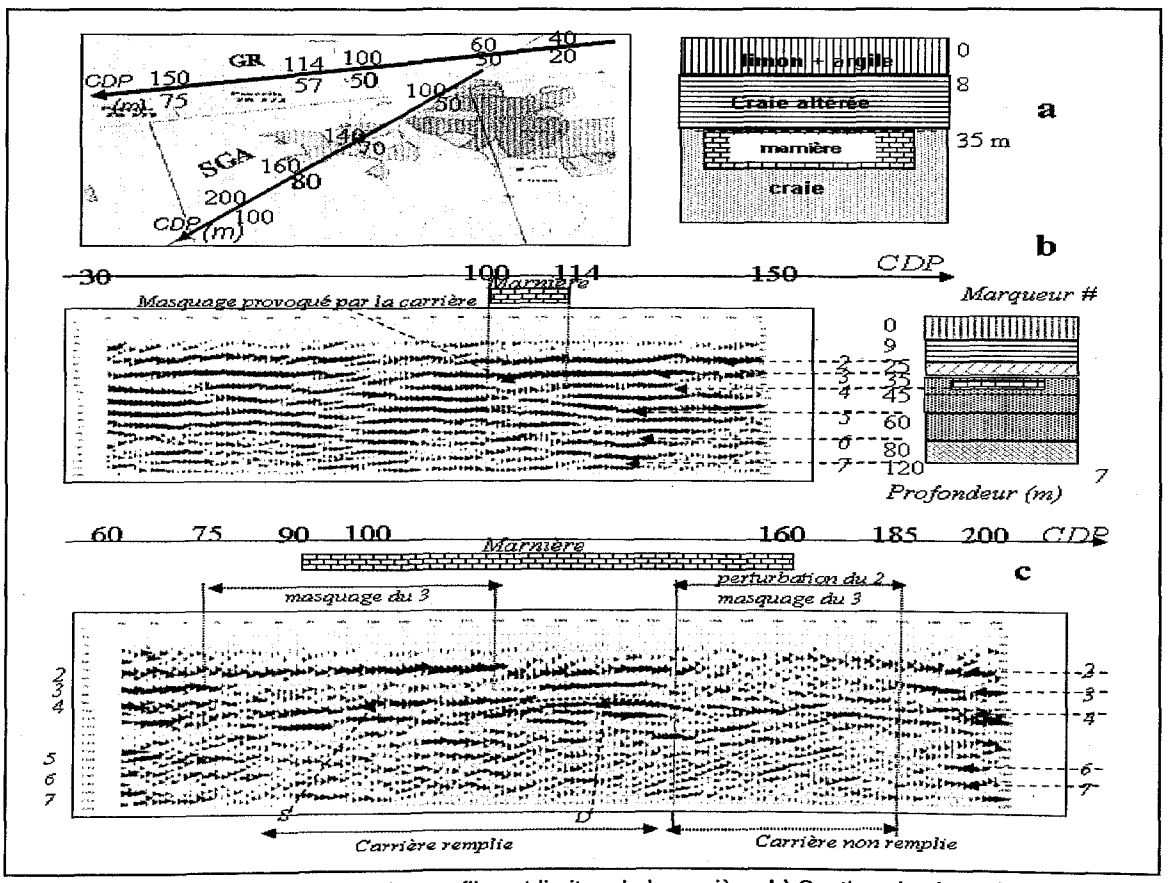

Fig.1.Site St Gille **a)** positions des profiles et limites de la carrière; **b)** Section sismique du profil GR et son interprétation ; **c)** Section sismique du profil SGA et son interprétation.

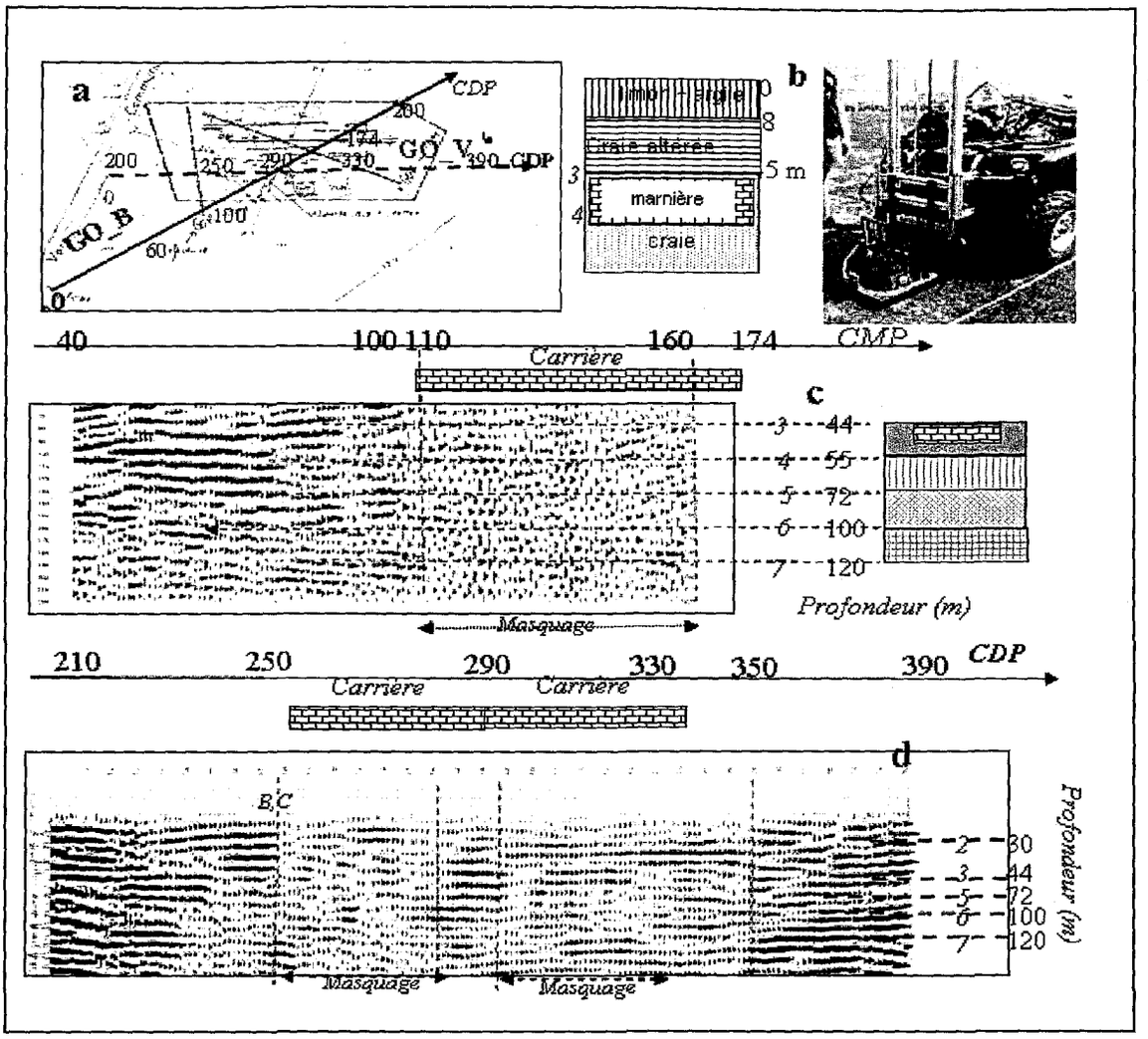

Fig.2.Site de Godedrville **a)** positions des profiles et limites de la carrière; **b)** Le vibrateur utilisé pour le profil GO_V déplacé et appuie à l'aide d'un quad **c)** Section sismique du profil GO_B (source buffalo) et son interprétation : **c)** Section sismique du profil GO_V (source vibrateur) et son interprétation.

Remerciements

Le travail présenté ici révèle deux campagnes proposés par l'INERIS et financés par le Ministère de la Recherche et le Réseau Ferroviaire Français (RFF).dans le cadre d'un programme de recherche BCRD (Budget Civil de Recherche et Développement) intitulé « Reconnaissance du sous-sol par méthodes géophysiques appliquées à la détection et l'auscultation des cavités souterraines ».

Références

[1] Piwakowski,B., "From high resolution land seismic imaging to very high resolution: state of the art, limits and fild examples," (Proceedings EAEG meeting Paris 2004)),

[2] Piwakowski,B., "undreground voids mapping by high resolution seismic reflection: limits, accuracy and assessment of collapse risk (Proceedings EAEG meeting Paris 2004)),

[3] B.PIWAKOWSKI, J.M.WALETET, D.MOREAUX," High resolution seismic prospection of old gypsum mines - evaluation of detection posssibilities", *European Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, vol 2 (2). 1997.

[4] Miller, R.D., Pullan, S.E., Waldner, J.S., & Haeni, F.P., (1986) *Geophysics* 51 (2067-2080)

[5] Mari, J-L., Glangeaud, F.et Coppens, F., (1997b) *Méthodes de géophysique de gisement appliquées au génie civil.* Publications de l'Institut Francais du Petrole, éditions TECHNIP, Paris

[6] Driad,L. and Piwakowski, B. " Detection and characterisa tion of underground cavities using high resolution seismic (hrsr)" 8th*Congress of European Section Environmental & Engineering Geophysical Society*, Vo1, Lisbona 2002

Mot clés : Sismique haute résolution, marnières, cavités, détection, résolution.