

Evaluation du GPR pour la détection de cavités en milieu urbain - Site de Béni Mellal (Maroc)

Fayçal REJIBA¹, Mustafa FILAHI², Abdessamad NAJINE², Abdelkrim ARIOUA²

1 : Université Paris 6 – UMR 7619 Sisyphé

2 : Faculté de Sciences et Techniques de Béni Mellal (Maroc)

Abstract

A wide network of cavities due to hydrous erosion, and human action characterizes Béni Mellal karstic underground. Those cavities have already caused the collapse of many buildings in the inner city. Numbers of geophysical method have been used to map this network (electric, seismic methods) but the ground penetrating radar. In this paper we present the result of a GPR campaign with 225 MHz antennas that validate the GPR method concerning the detection of cavities in urban environment.

Introduction

La médina de Béni Mellal se distingue par l'existence dans son sous-sol proche d'un réseau de cavités. L'érosion hydrique naturelle dans un environnement karstique d'une part et l'action anthropique pour des raisons diverses et variées allant du stockage de nourriture à des voies de secours pour une évacuation rapide en cas de danger ont contribué à l'existence de ces réseaux.

L'existence de ces cavités a d'ors et déjà eu des conséquences dramatiques sur les constructions [1] A ce titre la détermination par des méthodes non destructives reste la seule alternative aux sondages systématiques. Plusieurs méthodes géophysiques ont déjà été utilisées telle la sismique réfraction, les méthodes électriques, d'autres sont en cours d'études tel que la gravimétrie. Dans le cadre de cette mission la méthode géoradar a été expérimentée sur des zones où les cavités sont connues à proximité.

Principes du Géoradar

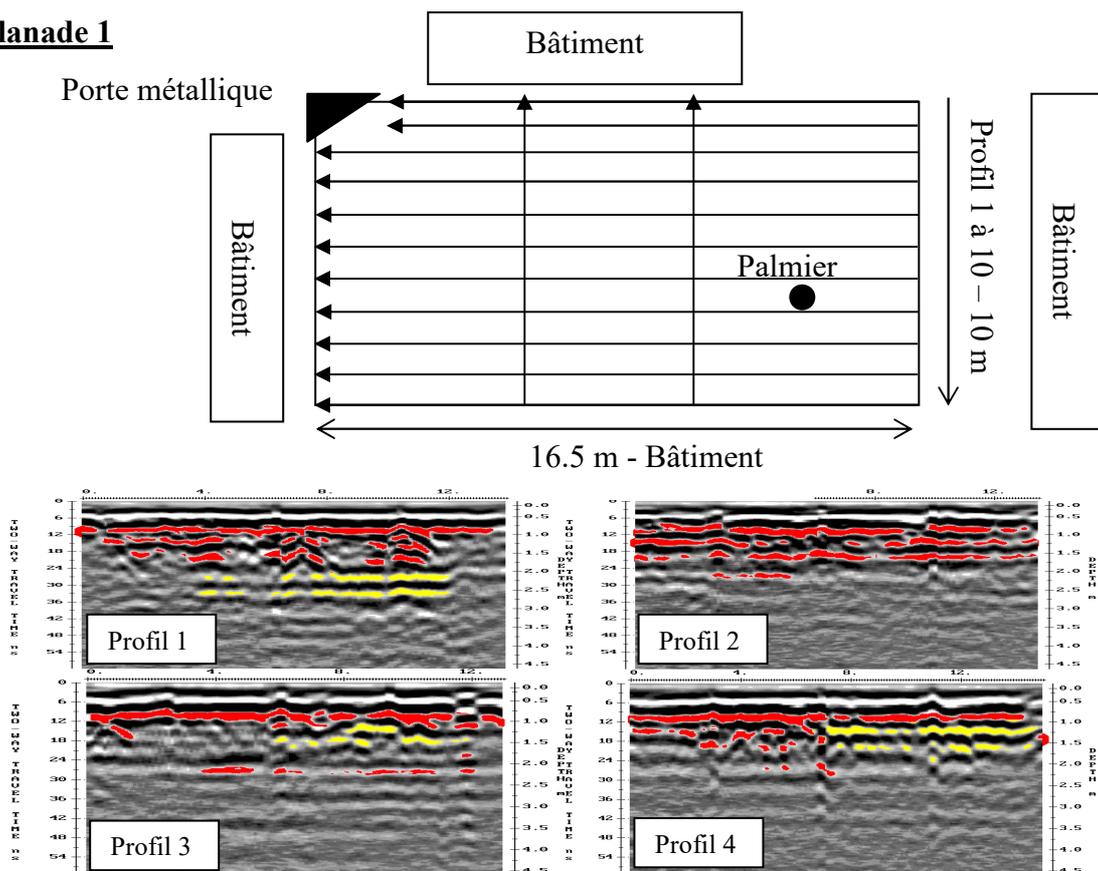
Le géoradar est une méthode d'investigation électromagnétique de la subsurface. Elle consiste à émettre une impulsion électromagnétique à l'aide d'une antenne, et à enregistrer les réflexions issues des interfaces présentes dans le sous-sol à l'aide d'une antenne réceptrice. L'appareillage comprend d'un convertisseur analogique numérique, d'une console d'acquisition (un ordinateur portable) et d'un hodomètre (système de mesure automatique de distance parcourue).

La méthode géoradar très utilisée en surveillance de chaussée, en glaciologie, et géologie à faibles profondeurs se caractérise par une sensibilité aux contrastes de permittivité diélectrique inhérents aux matériaux rencontrés. Elle est cependant contrainte par la conductivité électrique de l'encaissant, conductivité qui a pour conséquence d'atténuer le signal et d'ainsi limiter la profondeur d'investigation. D'une manière générale pour une fréquence caractéristique des antennes et pour un type de milieu, on peut définir une profondeur d'investigation. Plus la fréquence est faible, plus la profondeur d'investigation croît mais plus la résolution spatiale diminue (la taille maximale des anomalies détectables).

Situation des investigations

Les acquisitions se font faites sur 4 sites distincts où des cavités étendues (quelques mètres de dimensions caractéristiques) ont été observées dans un rayon de 2 à 3 m. Deux esplanades d'environ 400 m² chacune (Fig 1, Fig 2) mitoyenne de bâtiments fortement endommagés ou en ruine. Et deux portions de route bitumée (Fig 3, Fig 4) qui ont été le lieu d'investigation avec des profils dont la longueur totale avoisine la centaine de mètres. Au niveau des deux esplanades des profils ont été fait tous les mètres avec des antennes à 225 MHz. Ci dessous sont figurés les schémas d'implantation (pas à l'échelle) des différents profils effectués.

Esplanade 1



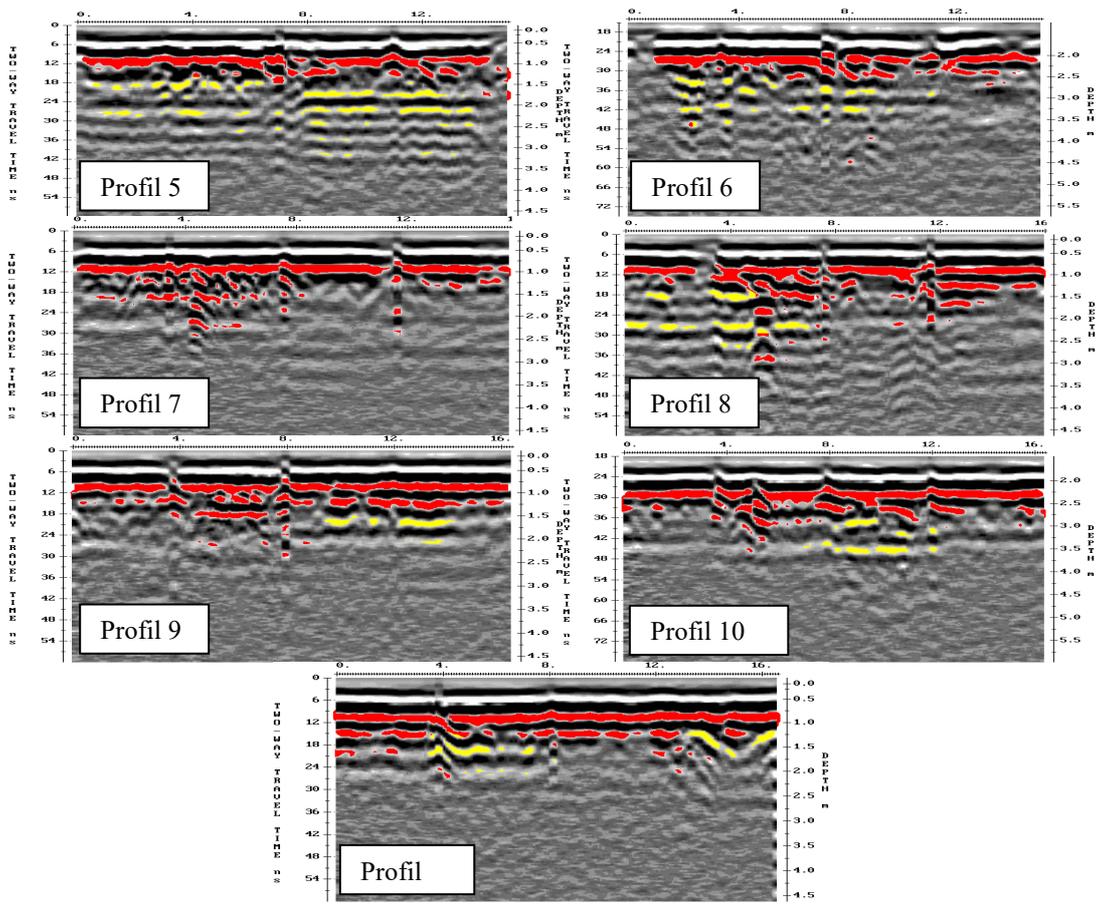
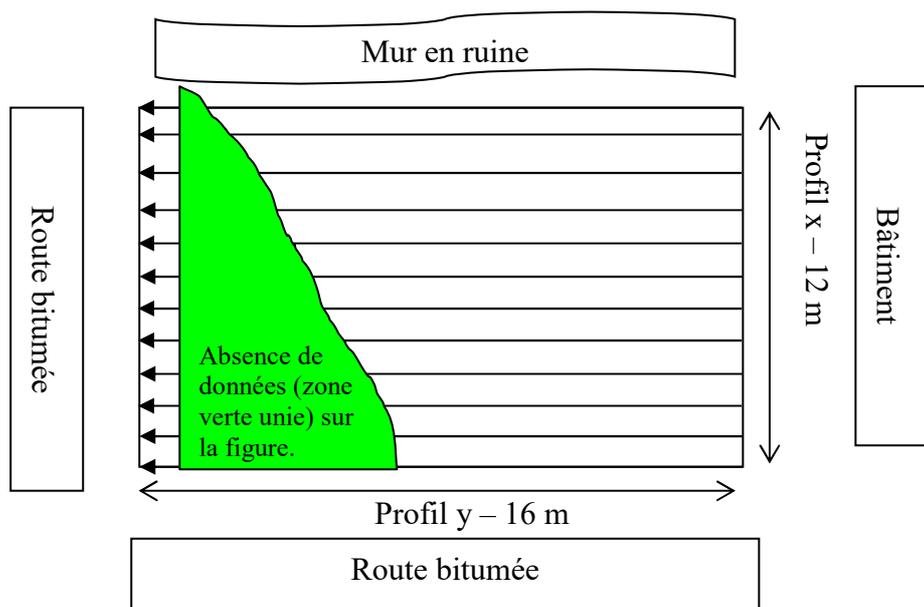


Figure 1 : Radargrammes à 225 MHz (en jaune les toits cavités supposées, en rouges des réflexions stratigraphiques)

Esplanade 2 (espace El Hamra)



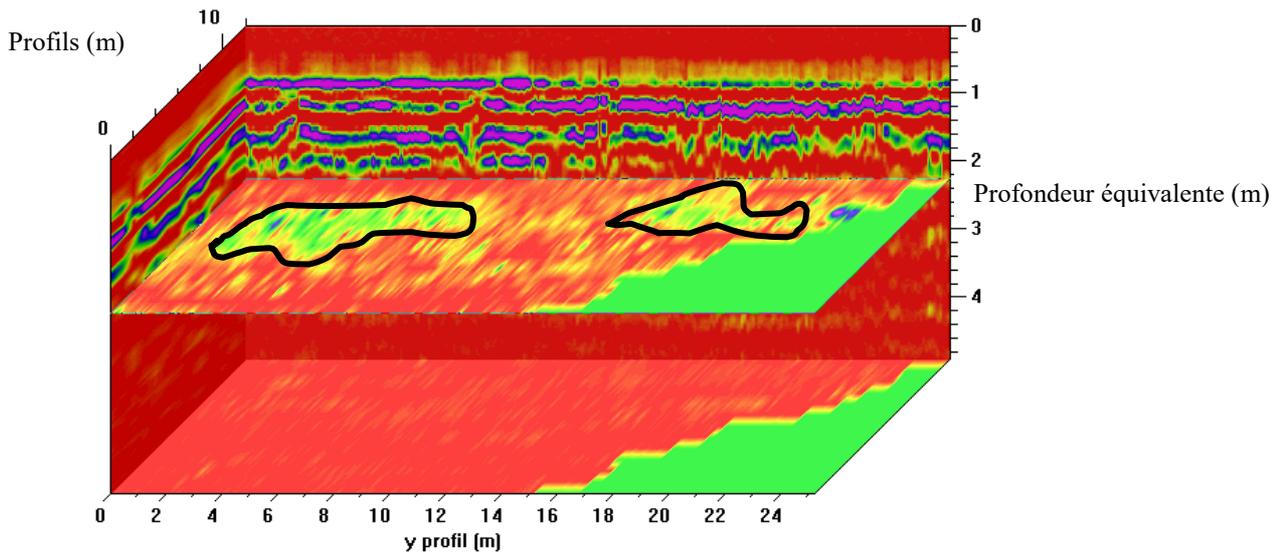


Figure 2 : Volume reconstitué de la réponse radar à 225 MHz (les parties délimitées par un contour noir situent l'emprise des structures interprétées comme des cavités)

Route 1 (route fermé à la circulation, pour cause d'effondrement localisé)

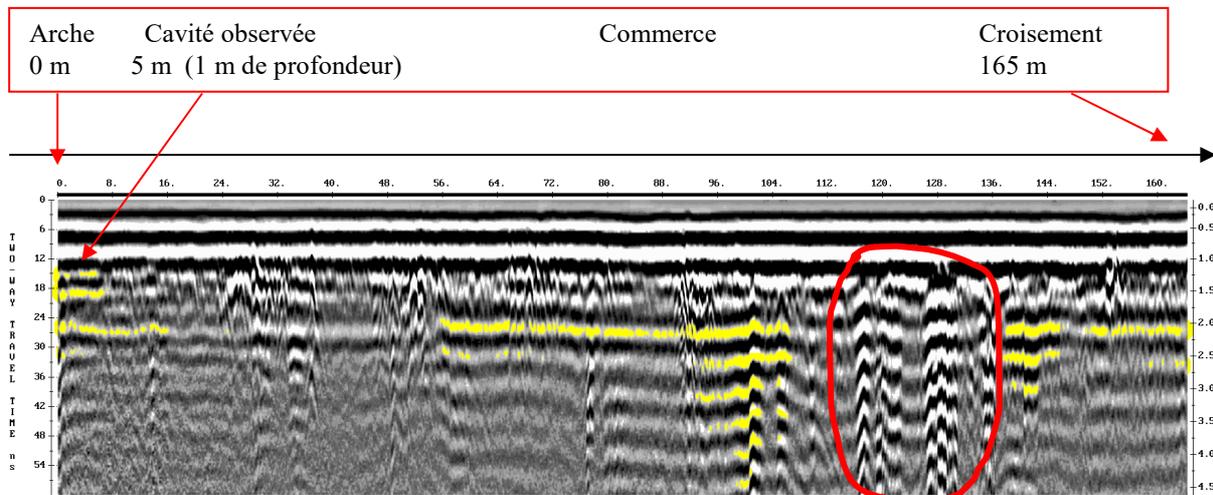


Figure 3 : Profil radar à 225 MHz (en jaune les cavités supposées, le contour rouge situe les réflexions dues aux canalisations et regards)

Route 2 (station des taxis)

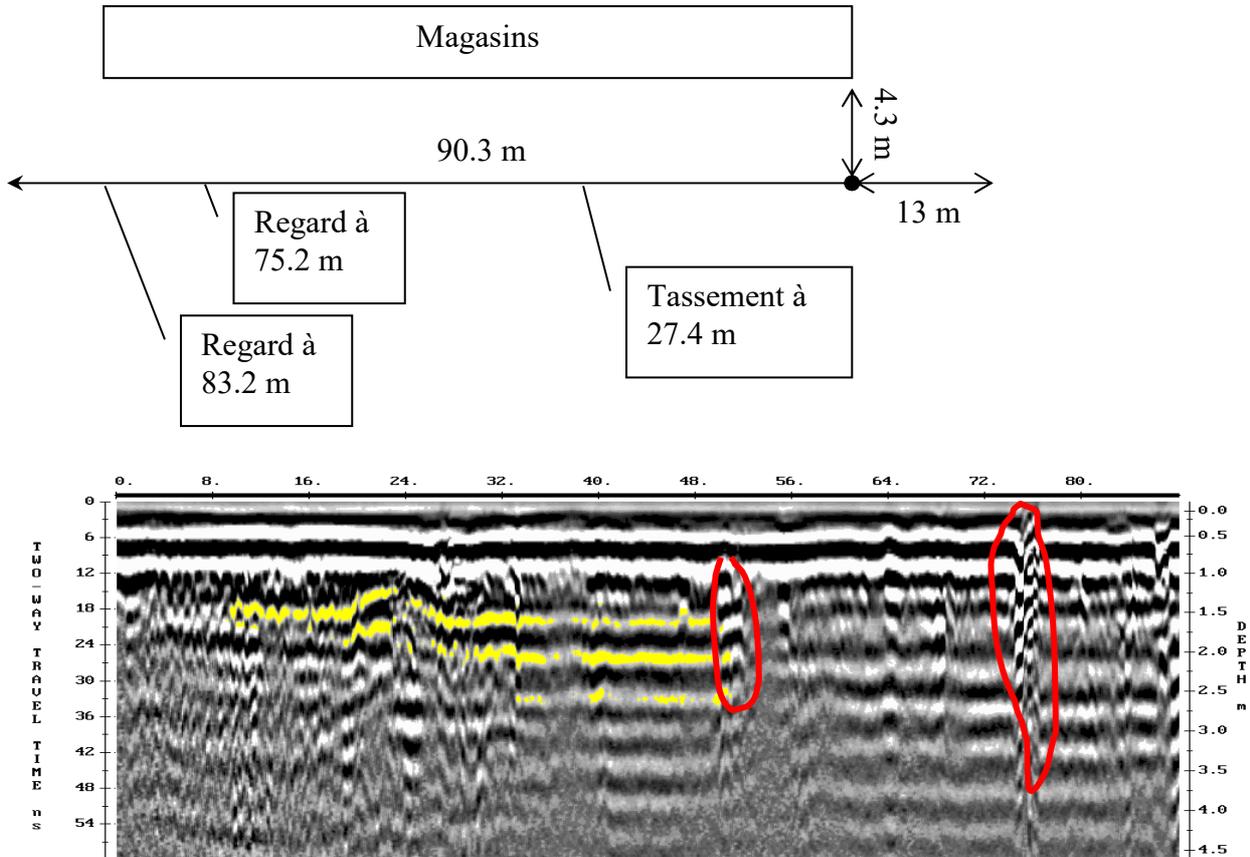


Figure 4 : Profil radar à 225 MHz (en jaune les cavités supposées, le contour rouge situe les réflexions dues aux canalisations et regards)

Interprétations

Les antennes utilisées (225 MHz) permettent d'après les analyses de vitesses d'étudier des profondeurs allant jusqu'à 2.5 m (un peu moins sur les esplanades que sur les routes).

Afin de faciliter la lecture des radargrammes les surlignages rouges et jaunes désignent respectivement des zones de réflexions et de diffractions trop peu étendues ou trop proche de la surface pour être interprétées à priori comme des cavités, et des réflecteurs correspondant probablement à des cavités (esplanade 1). On constate que les cavités potentielles se situent entre 1 et 2 m (les profils 6 et 10 ayant fait l'objet d'un décalage en temps artificiel afin de compenser une émission tardive – les profondeurs sont donc des distances relatives et seront corrigées ultérieurement). Théoriquement, la signature radar d'une cavité vide correspond à l'apparition à partir d'un certain temps (donc d'une certaine profondeur) d'une résonance d'énergie non négligeable équivalente à des réflexions multiples rapides (se propageant dans l'air).

Pour l'esplanade 2 une représentation en 3 dimensions montre des résultats qui permettent de situer des cavités (sous réserve d'une vérification par sondage) à environ 1.2 m de la surface, sachant que la surface libre se situe au niveau de l'onde directe (soit 80 cm en profondeur apparente sur la représentation graphique) Les deux anomalies délimitées par un contour noir

ont une emprise de quelques m² pour une extension en profondeur de l'ordre du mètre et demi (d'après l'analyse des réflexions multiples). Bien entendu, la résolution étant de l'ordre de 30 cm toutes les grandeurs sont données à 30 cm près.

Au niveau des routes aux effondrements constatés en surface correspondent des prolongements sur les radargrammes (la cavité à 5 m dans la route 1, semble se prolongée jusqu'à une quinzaine de mètres ; l'affaissement sur la route 2 remblayé partiellement est en fait la partie apparente d'une cavité qui s'étendrait sur plusieurs dizaines de mètres).

On remarquera par ailleurs l'impact des regards et des canalisations qui provoque des réflexions très énergétiques masquant de fait les éventuels réflecteurs sous-jacents.

Conclusions

La détection de cavité avec le géoradar s'est avéré pertinente en milieu urbain. Par ailleurs les profondeurs d'investigation de l'ordre de 2 m valident le choix des fréquences d'antennes (225 MHz). Cependant le test d'antennes plus basse fréquence (100 MHz) permettrait d'envisager des profondeurs d'investigation plus importantes sans que la perte de résolution soit rédhibitoire (puisque la stratigraphie superficielle n'est d'aucun intérêt à ce niveau).

Les seules limites se restreignant aux possibilités d'accès des zones concernées et à leur étendue.

Référence

[1] Les conditions d'habitat dans la médina de Béni Mellal, Réalités et Perspectives – rapport préliminaire, Agence Urbaine de Béni Mellal, Septembre 2001.