



Evaluation des caractéristiques modales d'un bâtiment par des mesures radar et de bruit de fond sismique

Caterina Negulescu * — Michele Crosetto** — Guido Luzi ** — Daniel Raucoules* — Delphine Lequin* — Daniel Monfort* — Thomas Dewez* — Agathe Roullé* — Bastien Colas*** — Lluís Pujades****

* BRGM, service RNSC, avenue Claude Guillemin 45060 Orléans

** IG, Institut de Geomàtica (IG), Avinguda del Canal Olímpic, E-08860 Castelldefels (Barcelona) Spain

*** BRGM, Service Géologique Régional Languedoc-Roussillon, 1039 rue de Pinville 34000 Montpellier

**** UPC, Barcelona.

RÉSUMÉ. La vulnérabilité des structures soumises à des actions dynamiques est un domaine de recherche très actif ces dernières années. Les réseaux d'enregistrement du bruit de fond devraient permettre d'améliorer nos connaissances encore limitées sur le comportement dynamique des structures. Afin d'évaluer les caractéristiques modales (période propre de vibration, amortissement, modes propres de vibration) d'un bâtiment en béton armé, des mesures de vibrations ambiantes du bâtiment ont été réalisées par deux techniques différentes : mesures radar et de bruit de fond sismique.

Le papier présente les schémas d'instrumentation, leurs bases théoriques et les résultats obtenus par les deux techniques. Des comparaisons entre, d'une part, les deux techniques de mesures et, d'autre part, le modèle numérique et les observations réelles, sont présentées.

ABSTRACT. The vulnerability of structures subjected to dynamic actions is a very active field of research these last years. The networks of recording of the ambient noise aim to improve our knowledge still limited on the dynamic behaviour of the structures. In order to evaluate the modal characteristics (fundamental period of vibration, damping, vibration modes) of a reinforced concrete building, measurements of ambient vibrations of the building were carried out by two different techniques: radar measurements and of ambient vibrations measurements.

This paper presents the diagrams of instrumentation, their theoretical bases and the results obtained by the two techniques. Comparisons between, on one hand, the two measurement techniques and, on the other hand, the digital model and the real observations, are presented.

MOTS-CLÉS : vulnérabilité, mesures, bâti existant, radar, mesures de bruit de fond sismique.

KEYWORDS: vulnerability, measures, existing building, radar, ambient vibration.

1. Introduction

L'objectif des mesures du bruit de fond est de comprendre le comportement dynamique des structures bâties afin d'évaluer la vulnérabilité des constructions et, donc, d'expliquer le niveau d'endommagement observé en cas de séismes.

Pour l'analyse des constructions existantes, la période propre de vibration de la structure et l'amortissement sont des paramètres modaux essentiels. Pour évaluer le comportement dynamique et les dommages potentiels des structures sous des actions sismiques, il est indispensable de mesurer et de comprendre les mouvements de la structure même sous sollicitation de très faible amplitude tel que le bruit de fond sismique (l'amplitude des vibrations est alors très faible, de l'ordre de $\sim 10^{-5}g$).

Le principe de ces mesures est d'enregistrer les bruits de fond dans différents endroits bien établis de la construction et, par le biais de calculs simplifiés, d'estimer les caractéristiques dynamiques propres à la structure mesurée. Plusieurs approches peuvent être utilisées pour le traitement des enregistrements (Brincker et al., 2000 ; Zhang et al., 2001, 2005).

2. Description du bâtiment

Le bâtiment mesuré est la tour centrale appartenant au complexe sportif de Font Romeu. Le complexe sportif qui comporte des hébergements, des équipements sportifs couverts et de plein air a été construit en 1966 par architecte français Roger Taillibert. Le bâtiment central (Figure 1) est relié à tous les éléments sportifs du programme. La structure de résistance est en murs en béton armé. Le bâtiment représente une construction massive et a une forme courbée constituée par trois parties non séparées par des joints : la partie centrale dans laquelle se trouve la cage d'escalier principale et les ascenseurs et les deux parties latérales qui ont des dimensions différentes. La structure a 11 niveaux en surface et 2 niveaux semi-enterrés.

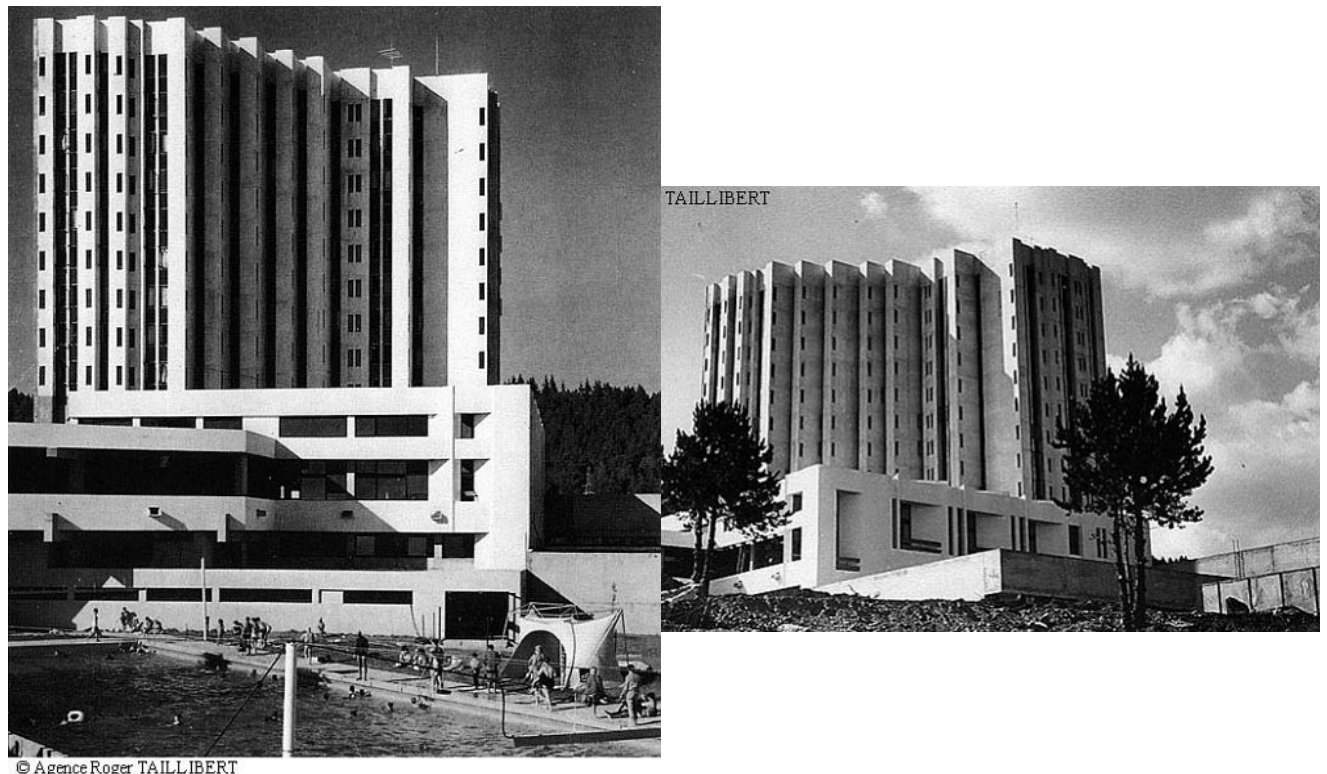


Figure 1. Bâtiment mesuré : la tour centrale appartenant au complexe sportif de Font Romeu

3. Mesures et schémas d'instrumentation

Un set de mesures a été réalisé en utilisant le matériel Güralp destiné à enregistrer de bruit de fond sismique en réseau. 8 stations avec des sismomètres 10s (CMG-6TD) et système WiFi ont été placées en deux configurations différentes dans la structure : une configuration sur le toit du bâtiment (Figure 2) et une configuration avec les capteurs placés sur la hauteur du bâtiment (et un capteur sur le sol) (Figure3). Pour chaque configuration deux mesures de 15 minutes ont été réalisées.

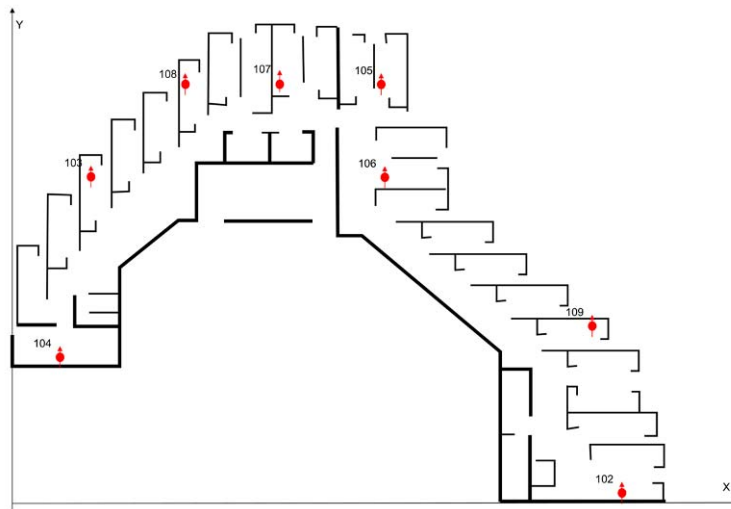


Figure 2. Configuration des capteurs sur le toit du bâtiment

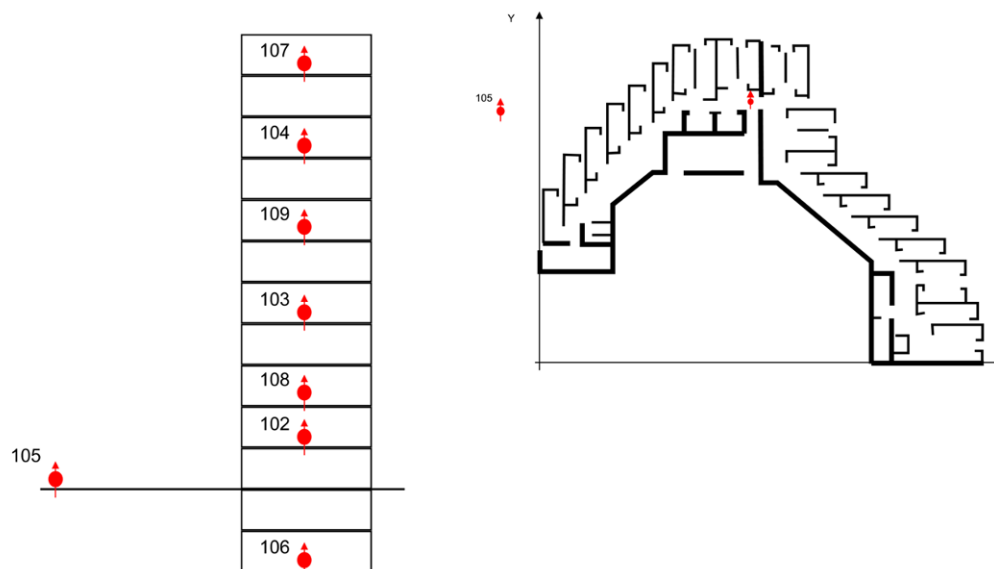


Figure 3. Configuration avec les capteurs placés sur la hauteur du bâtiment (et le capteur 105 sur le sol)

En parallèle, un deuxième set des mesures a été réalisé par la technique interférométrique radar à partir d'un instrument au sol. Le capteur envoie des micro-ondes qui se propagent dans l'atmosphère, interagissent avec des cibles « naturellement » présentes sur la façade et reviennent au même capteur. Le capteur mesure des variations de phases qui sont interprétées comme des déplacements de la cible selon une direction spécifique - la ligne de visée (Line-Of-Sight - LOS) - à une fréquence de 100 mesures/seconde (Pieraccini et al., 2003). 8 sets correspondant à 8 différentes positions du radar ont été enregistrés.

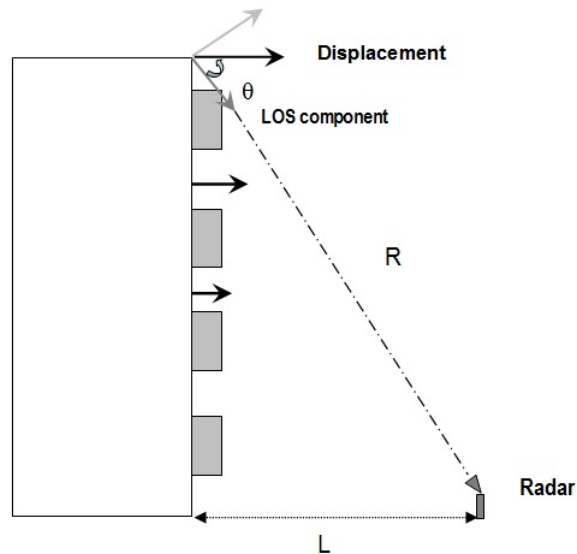


Figure 4. Représentation de la technique interférométrique radar des mesures à partir d'un instrument au sol

4. Résultats et discussions

Les résultats obtenus pour la configuration des capteurs sur le toit du bâtiment sont présentés dans la Figure 5 pour la direction Est et dans la Figure 6 pour la direction Nord. Pour les mesures dans la direction Est on obtient trois fréquences de vibration qui correspondent aux trois corps du bâtiment : 2.71Hz pour la partie centrale du bâtiment, 2.47Hz pour la partie latérale la plus petite (droite) et 2.14Hz pour l'extrémité de la partie latérale la plus longue (gauche). Ces fréquences correspondent bien à la structure du bâtiment, plus rigide dans la partie centrale et plus flexible dans les extrémités. Pour les extrémités de deux parties latérales on observe une fréquence de vibration de 4.05Hz qui pourrait correspondre à la torsion de ces parties de la structure par rapport à la partie centrale. Pour les mesures dans la direction Nord on obtient deux fréquences prédominantes de vibration : 2.14Hz pour la partie centrale et la partie latérale la plus longue et 2.71Hz pour la partie latérale la plus courte.

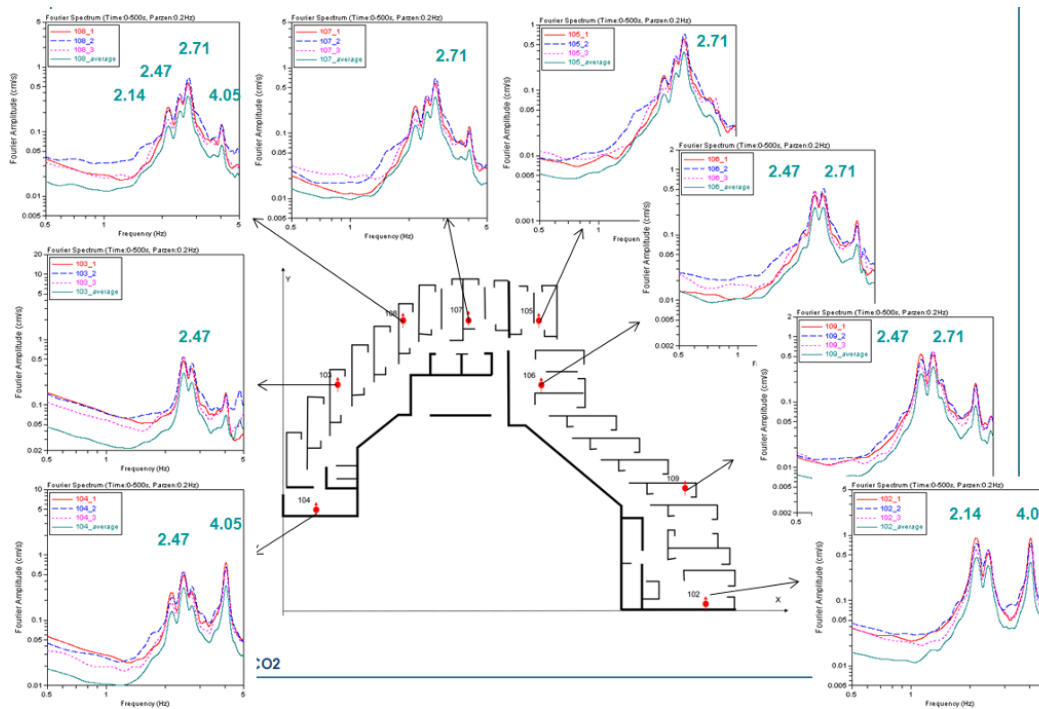


Figure 5. Configuration des capteurs sur le toit du bâtiment – direction Est

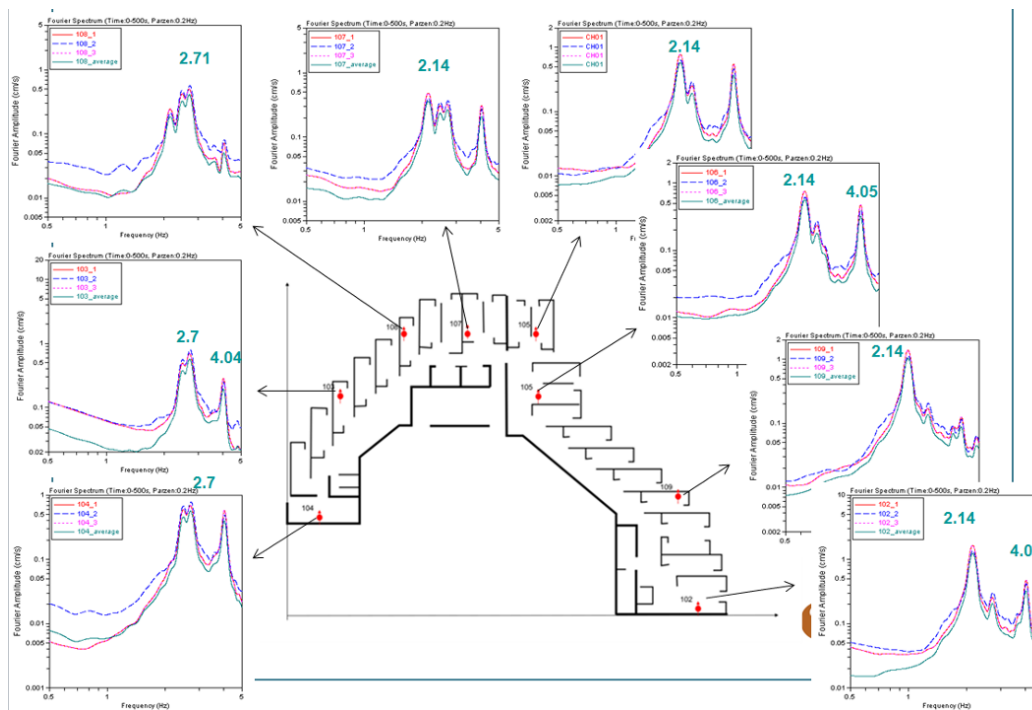


Figure 6. Configuration des capteurs sur le toit du bâtiment – direction Nord

La Figure 7 présente les résultats pour la configuration avec les capteurs placés sur la hauteur du bâtiment et le capteur 105 sur le sol. Les deux figures en haut de l'image correspondent aux mesures dans la direction Nord et celles en bas aux mesures dans la direction Est. Comme les capteurs pour cette configuration sont placés dans la partie centrale, ces résultats confirment les fréquences obtenues dans la première configuration : 2.71Hz dans la direction Est et plusieurs valeurs (2.14Hz et 2.47Hz, 2.71 Hz et 4.05Hz) dans la direction Nord.

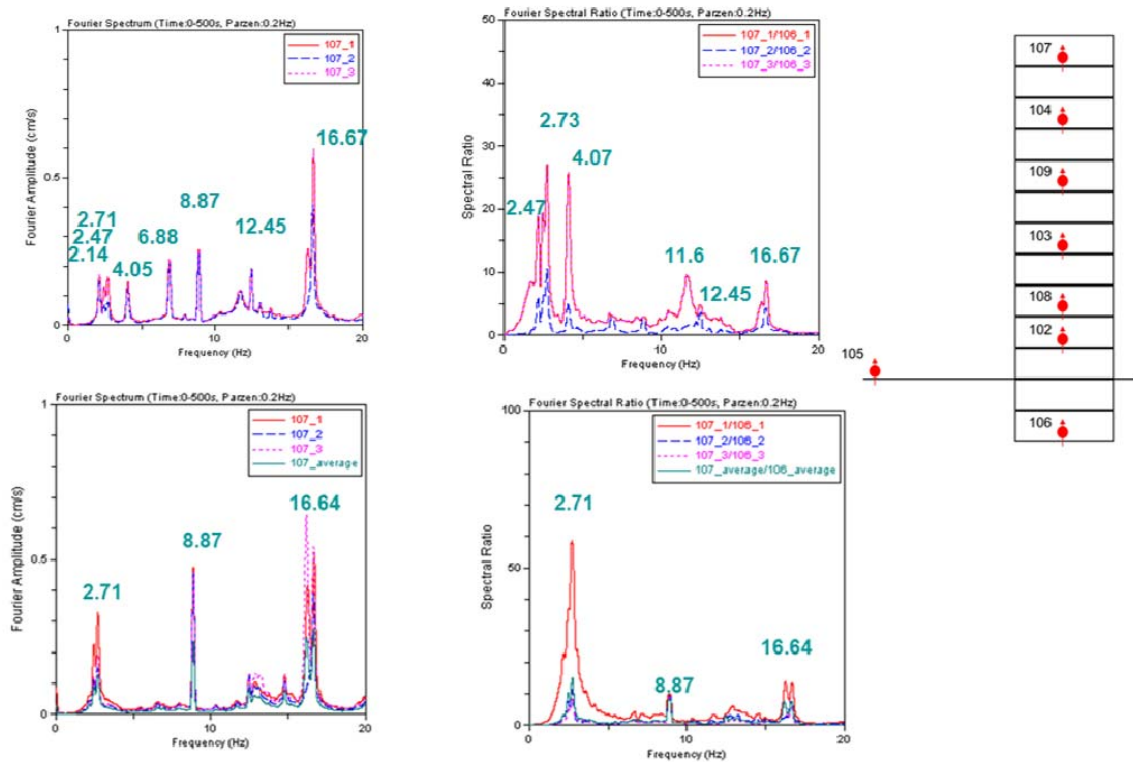


Figure 7. Configuration avec les capteurs placés sur la hauteur du bâtiment – Spectre Fourier (gauche) et Fonction de transfert (droite) - direction Nord (haut) et direction Est (bas)

La Figure 8 présente une comparaison entre les résultats obtenus par les mesures radar et les mesures de bruit de fond. Les deux premières fréquences prédominantes sont identifiées par les deux techniques de mesures (radar et bruit de fond) comme présenté dans le Tableau 1. Par ailleurs le même bâtiment a été modélisé par CSTB (Taillefer N. et Delmotte P., 2006) dans le cadre projet interreg ISARD. Les fréquences prédominantes obtenues par la modélisation numérique sont sensiblement les mêmes que celles obtenues par les deux techniques de mesures.

Méthode	Fréquence 1 (Hz)	Fréquence 2 (Hz)
Bruit de fond	2.136	2.718
Radar	2.14	2.72
Modélisation numérique	2.217	2.76

Tableau 1. Comparaison entre les résultats obtenus par des mesures (radar et les mesures de bruit de fond) et par des modélisations numériques

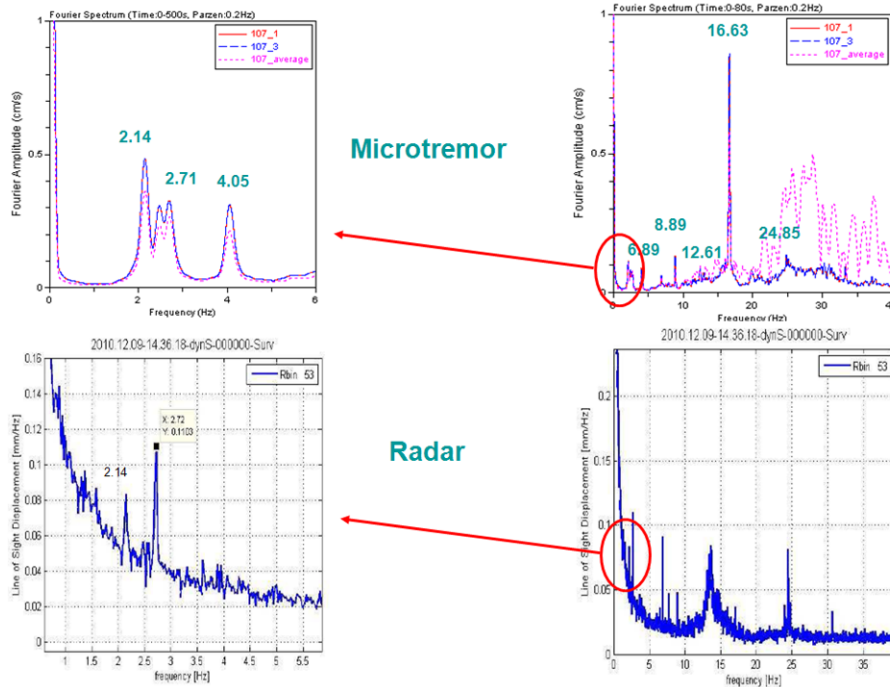


Figure 8. Comparaison entre les mesures radar et les mesures de bruit de fond

5. Conclusion

Les deux premières périodes de vibration de la partie centrale du bâtiment sont sensiblement les mêmes pour les trois méthodes d'analyse : bruit de fond, radar et modélisation numérique : 2.1Hz et 2.7Hz. Les mesures radar identifient, donc, avec une bonne précision les périodes de vibration de la structure. Les mesures effectuées dans la configuration avec les capteurs sur le toit du bâtiment amènent des informations supplémentaires sur le comportement des différentes parties de la structure. Les résultats de cette configuration nous permettent d'identifier un comportement dynamique différent entre les trois parties de la structure indiqué par trois fréquences différentes : 2.71Hz pour la partie centrale de la structure, 2.47Hz pour les deux ailes et 2.14Hz pour la partie extrême du bâtiment. Ce schéma de mesures identifie aussi une fréquence de 4.05Hz qui peut correspondre à un mode combiné de vibration des extrémités des parties latérales : translation - rotation. Des traitements supplémentaires sont en cours de réalisation, surtout en ce qui concerne les comparaisons entre les mesures radar et de bruit de fond.

Remerciements

Ce programme bénéficie du soutien technique et financier d'Union Européenne et de la Région Languedoc-Roussillon au travers du projet SISPYR.

6. Bibliographie

- Brincker, R., Zhang, L.-M. and Anderson, P., « Modal Identification from Ambient Response using Frequency Domain Decomposition », *Proc. of the 18th IMAC*, San Antonio, TX, USA, Feb. 7-10, 2000
- Isard Project, « Automatic regional earthquake damage information », INTERREG III A France-Spain, 2003-2006.
- Pieraccini M., G. Luzi, D. Mecatti, V. Gusella, C. Atzeni, (2003), “Microwave techniques for measurement of large structure vibration”, *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 37, No.3, May 2003, pp. 216-218
- Taillefer N., Delmotte P., « Building Typology and Vulnerability Assessment Level 2 », Rapport de recherche INRIA.CSTB-DSSF/ISTA / ISARD, mars 2006.
- Zhang, L.-M., Brincker, R. and Andersen, P., « Modal Indicators for Operational Modal Identification », *Proc. of the 18th International Modal Analysis Conf.*, Orlando, FL, USA, Feb.5-8, Kissimmee, FL, USA, 2001
- Zhang, L.-M, Brincker, R. And Andersen, P., « An Overview of Operational Modal Analysis: Major Developments and Issues », *Proc. Of the International Operational Modal Analysis Conference*, Copenhagen, Denmark, 26-27, April, 2005