



ETUDE DE FAISABILITE DE LA BUMP TEST POUR L'ÉVALUATION DE DEGRADATION DU BÉTON

FEASIBILITY OF THE BUMP TEST FOR THE EVALUATION OF CONCRETE DEGRADATION

| Angelico Andriamasinady Masa'il ^{1*} | Mamiharijaona Ramaroson ¹ |

¹. Université d'Antsiranana | Ecole Supérieure Polytechnique | Laboratoire de chimie des matériaux | BP : O, 201, Antsiranana | Madagascar |

| Received 06 May 2019 |

| Accepted 19 June 2019 |

| Published 03 July 2019 |

| ID Article | Angelico-Ref.1-ajira130619 |

RESUME

Contexte : Aujourd'hui à Madagascar, nous ne disposons pas encore de procédures fiables faisant appel à des techniques de test non destructif pour la caractérisation et l'évaluation de l'endommagement de l'ouvrage en béton armé. Par conséquent, aucunes structures n'ont fait l'objet d'un suivi par méthodes de test non destructif. Il s'avère intéressant de présenter les techniques d'osculation pour la détection de la corrosion des armatures et l'évaluation de son ampleur. **Objectifs :** Présenter les techniques d'investigation pour la détection de la corrosion des armatures et l'évaluation de son ampleur. **Méthodes :** Analyse du signal temporel et spectre de la vibration après Impact mécanique. Analyse de l'atténuation du signal et le spectre vibratoire sur AMS. Validation du résultat de teste par caméra infrarouge passive. **Résultats :** Analyse du signal temporel et spectre de la vibration après Impact mécanique ont montré que le temps de la vibration diminue avec l'endommagement du béton. Analyse de l'atténuation du signal et le spectre vibratoire sur AMS ont montré que l'atténuation de l'amplitude vibratoire du signal temporel avec le cycle d'endommagement. Les résultats par test d'impact sont en corrélations avec les résultats par infrarouge. **Conclusions :** Cette étude prouve la possibilité de faire le diagnostic d'état de santé du béton armé à partir de suivi du signal temporel qui peut mener à un développement sur la méthode de diagnostic des ouvrages en béton.

Mots-clés : *diagnostic, béton, infrarouge, corrosion dans le béton, corrosion de l'armature*

ABSTRACT

Background: Nowadays in Madagascar, reliable procedures using non-destructive test techniques are not yet available for the characterization and evaluation of the reinforced concrete structure degradation. As a result, few structures have been monitored by non-destructive testing methods. It is interesting to present the investigation techniques for the detection of reinforcement corrosion and the evaluation of its severity. **Objective:** To present the investigation techniques for the detection of reinforcement corrosion and the evaluation of its severity. **Method:** Analysis of the wave form and the spectrum of the vibration after mechanical impact. Analysis of the attenuation of the wave form and the vibration spectrum on AMS. Validation of the test result by passive infrared camera. **Results:** Wave form analysis and spectrum of vibration after mechanical impact showed that vibration time decreased with concrete degradation. Analysis of wave form attenuation and the vibration spectrum on AMS showed that the attenuation of the vibration amplitude of wave form with the cycle of damage. The results by impact test are in correlation with the results by infrared. **Conclusion:** This study proves the possibility of making the diagnosis of health status of the reinforced concrete from follow-up of the wave form can lead to a development on the method of diagnosis of concrete structures.

Keywords: *diagnosis, concrete, infrared, corrosion in concrete, corrosion of reinforcement*

1. INTRODUCTION

Dans la plupart des cas, la détérioration des structures en béton armé est due à la corrosion causée par agents agressifs de l'environnement extérieur tels que le dioxyde de carbone et les ions chlorure. Une des principales causes de la pathologie du béton est la corrosion des armatures, liée en partie aux problèmes environnementaux. Cela représente 55 % des dégradations observées par la British Cement Association [1].

Pour contrôler la durée de vie des structures, il convient de s'efforcer de gérer les risques de corrosion depuis la conception de la structure. C'est un défi économique puisque l'entretien des structures vieillies sont aujourd'hui de plus en plus coûteuses pour les propriétaires. D'un point de vue pratique, lorsque les premiers signes de dégradation sont observés à la surface du béton, il est trop tard et la maintenance doit être effectuée. Ce résultat pourrait être

évitée si la prédiction avait été satisfaisante. Scientifiquement, on parle de thématique de Structural Health Monitoring –SHM.

Le monitoring de la santé des structures (SHM) profite de l'apparition et la maturité des capteurs MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) et l'idée d'associer des capteurs, des algorithmes et méthodes pour analyser et quantifier l'état de « santé » des structures mécaniques ou infrastructures : plateforme pétrolière, viaducs, avions, bateaux[2][3][4]... en résumé tous les systèmes complexes pour lesquels la modélisation du système et de son environnement n'est pas possible compte tenu de la complexité. Worden et Farrar ont proposé une liste des principes généraux issus des nombreuses études publiées dans le domaine de la SHM [5].

- Tous les matériaux ont des défauts et des imperfections.
- L'évaluation de l'endommagement nécessite la comparaison entre deux états du système.
- Déterminer la présence d'un défaut et le localiser peut être réalisé de façon incoordonnée. Par contre, la classification et l'estimation doivent se faire de façon structurée.
- Les capteurs ne peuvent pas mesurer directement les endommagements. Il est nécessaire d'extraire des indicateurs pour l'endommagement par traitement du signal brut des transducteurs et par la classification statistique.

L'analyse des structures peut être considérée comme le besoin de déterminer les conséquences de sa déformée. Une fois que des efforts lui sont appliqués, ses dernières font varier suffisamment et lentement les propriétés initiales de la structure. Les premiers travaux sur l'étude des chocs et des vibrations ont été effectués au début des années 1930 [6] qui se sont basés sur les effets des séismes sur les structures des bâtiments. Pendant la période entre les années 1940 et 1950 ont eu lieu les premiers essais de vibrations sinusoïdales pour rechercher des résonances de structures calées en général sur la fréquence de résonance des spécimens. Entre les sismographes et les données acquises par des systèmes enregistrant des phénomènes vibratoires, un point commun est le caractère non périodique des signaux d'excitation. Ainsi, il est impératif d'opter pour des techniques d'analyses des structures excitées aléatoirement et avec peu d'énergie, en associant capteurs et techniques de traitement de l'information.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1 Matériels : Les matériels utilisés sont énumérés dans le tableau ci-après :

Tableau 1 : Le tableau présente les matériels utilisés.

Matériels	Types	Gamme	Utilisation
Analyseur	CSI2140	10Hz-80Kz	Mesurer la vibration
Marteau	PCB Piezotronic	Modal tuning	Source d'impact
Capteur	A0120LF	500mV/g	Recevoir la vibration
Caméra infrarouge	FLIR E60	-20°C-650°C	Mesurer l'énergie

2.2 Méthodes :

2.2.1 Analyse du signal temporel et spectre de la vibration après Impact mécanique : La méthode par teste d'impact consiste à percuter la masse de béton à l'aide d'un marteau normalisé et à enregistrer sur un capteur piézoélectrique (receveur) les signaux générés par l'impact afin de déterminer la fréquence naturelle du matériau.

Afin d'évaluer le comportement vibratoire d'un ouvrage, il est souvent souhaitable de mesurer les fréquences naturelles « résonances » inhérentes à la structure générale du béton. La façon classique de faire cela est d'appliquer un impact dans la structure avec une instrumentation ou autre exciteur de vibrations, et mesurer la réponse de la structure pendant l'excitation. Les points des mesures sont effectués en L/2 et L/4 avec L=4m. L'idée est de proposer un modèle par l'analyse des fréquences propres du système afin d'observer l'image de la raideur k de notre structure par la mesure de signaux temporels donnés par les transducteurs sur les différentes zones.

2.2.2 La méthode d'auscultation par thermographie infrarouge : Diagnostic par infrarouge constitue une des techniques d'évaluation non destructive les plus attractives. En effet, les mesures sont réalisées de façon rapide, sans contact, avec une durée de mise en œuvre réduite. Généralement, l'appareillage est de faible encombrement et d'une grande maniabilité [7], ce qui facilite son utilisation sur site. De plus, la caméra infrarouge présente l'avantage de proposer une image thermique instantanée de la surface. Un prétraitement des images thermiques, très rapide, peut donc se faire en direct, mais demande néanmoins un technicien qualifié et expérimenté.

Tout matériau absorbe et émet de l'énergie appelée rayonnement thermique dans la gamme spectrale des infrarouges (longueur d'onde de l'infrarouge moyen $\lambda = 2 \text{ à } 12\mu\text{m}$) proportionnelle à sa température de surface [8]. La caméra infrarouge mesure ce rayonnement lié à la luminance de la surface de la scène. L'équation radiométrique [9] permet ensuite le passage de la luminance à la température de surface de la zone d'étude. La caméra, qui reçoit le

rayonnement composé de trois parties (émis par l'objet, réfléchi par l'objet et émis par l'atmosphère entre l'objet et le détecteur), calcule et affiche cette température.

L'influence de la température de l'environnement et les hypothèses faites sur l'homogénéité de l'objet (température et émissivité considérées constantes dans l'espace et dans le temps) rend l'exploitation des valeurs numériques de température très délicate. Toutefois, dans le but d'une démarche quantitative, l'analyse de comportements différentiels ou de contrastes de température est envisageable.

2.2.3 Site d'expérimentation : Le lycée catholique de Vatomandry (Coordonnées : 19° 19' 51" sud, 48° 58' 41" est) au bord de l'Océan Indien, a été créé en 1939 et se situe à 185km de la ville de Toamasina. Il se trouve dans la région Antsinana de la grande île de Madagascar, dont la température moyenne annuelle est de 20°C et l'humidité relative moyenne pendant toute l'année est de 89%. L'atmosphère marine est très agressive. D'où le choix stratégique du site d'investigation.

Un bâtiment du lycée a fait l'objet de cette étude. Des poutres en béton de dimension 0.33X0.33X4m³ ont été caractérisés par la méthode « Bump test » et puis afin scannés par une caméra thermographie infrarouge passive.

Dans la séance d'investigation les mesures ont été prises sur les différents côtés des poutres en béton armé. Les différentes poutres étudiées constituent les poteaux inférieurs qui supportent le balcon du bâtiment de la figure 1 ci-dessous.



Figure 1 : Site expérimental du Lycée Catholique de Vatomandry.

L'auscultation a été effectuée à l'aide d'une caméra infrarouge FLIR Série E60, de sensibilité thermique inférieure à 0.05°C à 30°C, gamme de température -20°C à 650°C et de gamme spectrale de 7.5 à 13micron-mètre. Des images visibles et thermiques de l'ouvrage sont prises avec l'angle de vue perpendiculaire à la surface observée pour limiter les réflexions dues à la rugosité du béton [9].

La distance caméra – ouvrage est de 4 m et l'acquisition des données est faite en deux dimensions. La résolution thermique de la caméra est supérieure à 0,2°C, et la précision de $\pm 2\%$. L'émissivité du béton (sec) est considérée égale à 0,95 et la température ambiante à 20°C.

Deux séances de mesures sont effectuées (une première séance le matin et une deuxième en début d'après-midi) pour mettre en évidence au niveau de défauts des contrastes de température différents selon le moment de la journée, c'est-à-dire en fonction d'inertie thermique de l'ouvrage.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Analyse du signal temporel et spectre de la vibration après Impact mécanique : Synthétisons nos observations : nous avons effectué des mesures de vibration (Bump Test) sur 16 poutres du bâtiment. On observe d'abord, certains exemples des courbes d'évolution temporelle des réponses impulsionnelles (fig. 2)

Avec les signaux temporels nous avons constaté que le signal s'atténue avec le cycle d'endommagement de la poutre en béton armé (fig.3). Plus l'état de la poutre se dégrade plus l'atténuation du signal temporel sera remarquable et nous remarquons aussi que les différents endommagements engendrent une diminution du temps de vibration. Et ces résultats ont déjà été affirmés par Andrés BOLISARIO [10] lors de son étude sur le comportement dynamique de la structure.

Nous comparons quatre cas (fig.4) en précisant leur spectre après la transformation de Fourier et ensuite l'image thermique pour chacun des cas. Chaque poutre ont 4m de hauteur, nous avons divisé en deux parties égaux dont la notation poutre 41 et poutre 42 représentent successivement les deux parties. Nous avons placé le capteur au milieu de chaque partie. Cette notation est valable sur toutes les poutres.

En lisant la figure 4, la courbe se superpose en descendant du meilleur état vers la plus mauvaise, c'est-à-dire la poutre 42 et 52 ne présentent pas assez d'anomalie que les deux autres.

Les plus mauvais ici en termes de degré d'évolution de l'endommagement sont les poutres 41 et 51, cette prédiction a été confirmée par leur spectre vibratoire (fig.5), (fig.6), (fig.7) et (fig.8). Ces constatations seront validées par l'image thermographie (fig.9), (fig.10), (fig.11) et (fig.12) dans le paragraphe 3.2.

On constate la présence d'une fréquence prédominante à 61.30 Hz (fig.5), (fig.6), et cela nous permet de remonter aux coefficients de la poutre 42 résumé dans le tableau 2 ci-dessous. Pour la poutrelle ces valeurs sont résumées dans le tableau 1 suivant.

Tableau 1: Valeurs des caractéristiques physiques du spécimen.

Module de Young	Moment d'Inertie	longueur	Masse
30GPa	0.000988m ⁴	4m	150Kg

Tableau 2: Les coefficients de la poutre calculé à partir de la fréquence naturelle et du spectre temporel.

fn[Hz]	ω_n [rad s ⁻¹]	δ	ζ
61.30	384.96	0.3	0.04

Où f_n : fréquence naturelle, ω_n : pulsation, δ : décrétement logarithmique ζ : taux d'amortissement.

Le calcul du coefficient d'amortissement ζ a été mené à partir de la réponse sous-amortie ($0 < \zeta < 1$). Appliquons la méthode du « décrétement logarithmique » sur les impulsions, défini par :

$$\delta = \ln \frac{A(t_n)}{A(t_{n+1})} \quad (1)$$

Où $A(t_n)$ et $A(t_{n+1})$ représentent les amplitudes des oscillations aux instants t_n et t_{n+1} .

A partir du décrétement logarithmique δ on a identifié le taux d'amortissement ζ pour les cas des systèmes sous-amortis selon la relation :

$$\xi = \frac{\delta}{\sqrt{(2\pi)^2 + \delta^2}} \quad (2)$$

Par contre, le taux d'amortissement qui est lié au matériau, entre 0.02 et 0.15 pour le béton, peut être déduit du décrétement logarithmique. Il est un coefficient égal à 0.04 selon nos calculs.

Résumons maintenant les décrétements et les taux d'amortissement de ces quatre poutres 41, 42, 51, 52.

Tableau 3: Les taux d'amortissements, décrétements, et les fréquences naturelles.

Poutres	fn[Hz]	δ	ζ
41	61.30	0.3	0.04
42	61.30	0.3	0.04
51	59.48	0.295	0.04
52	49.48	0.31	0.04

Le coefficient d'amortissement étant égal à 0.04, car il est propre au béton, il ne change pas dans le cycle de vieillissement, ce que confirme le tableau 3 qui est montré ci-dessus pour chaque réponse libre de la poutre.

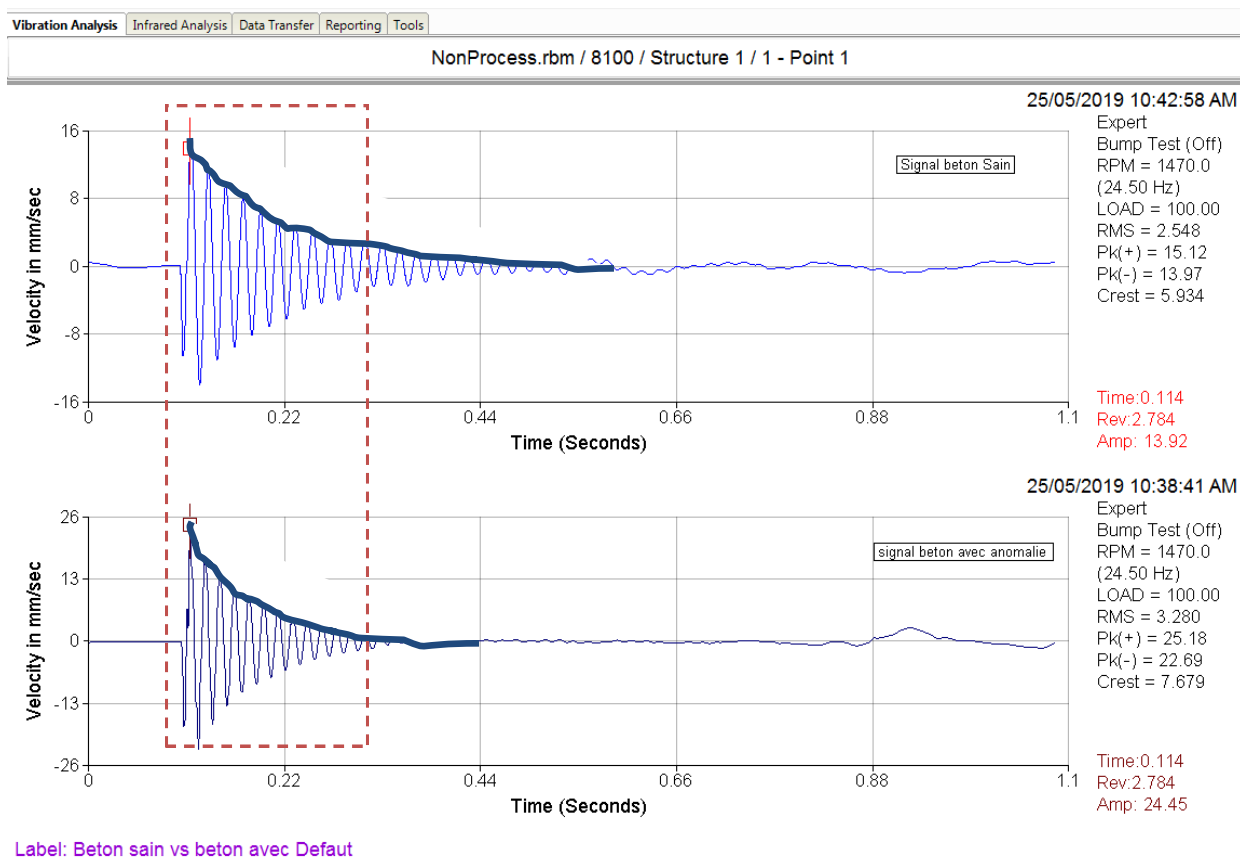


Figure 2 : Signaux temporels.

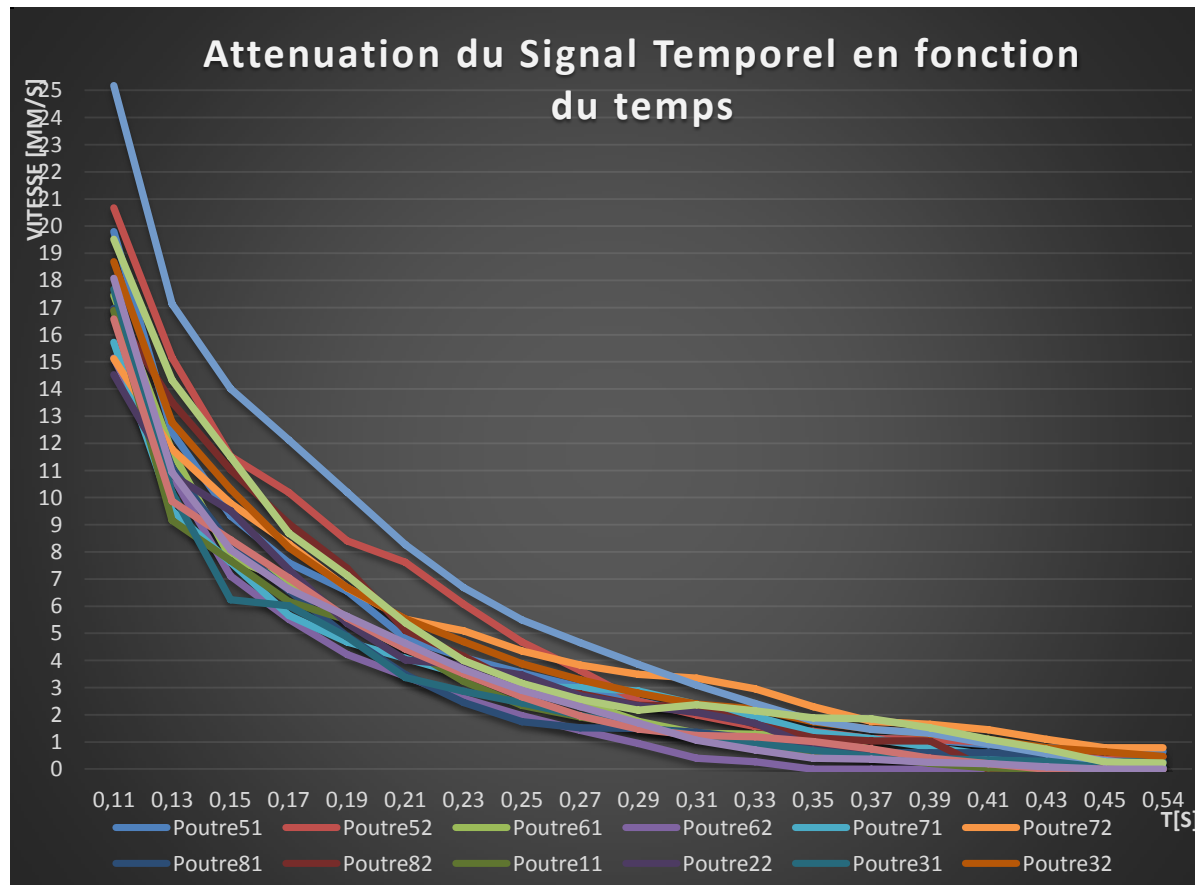


Figure 3. Evolutions de l'atténuation du signal temporel avec l'endommagement de la structure.

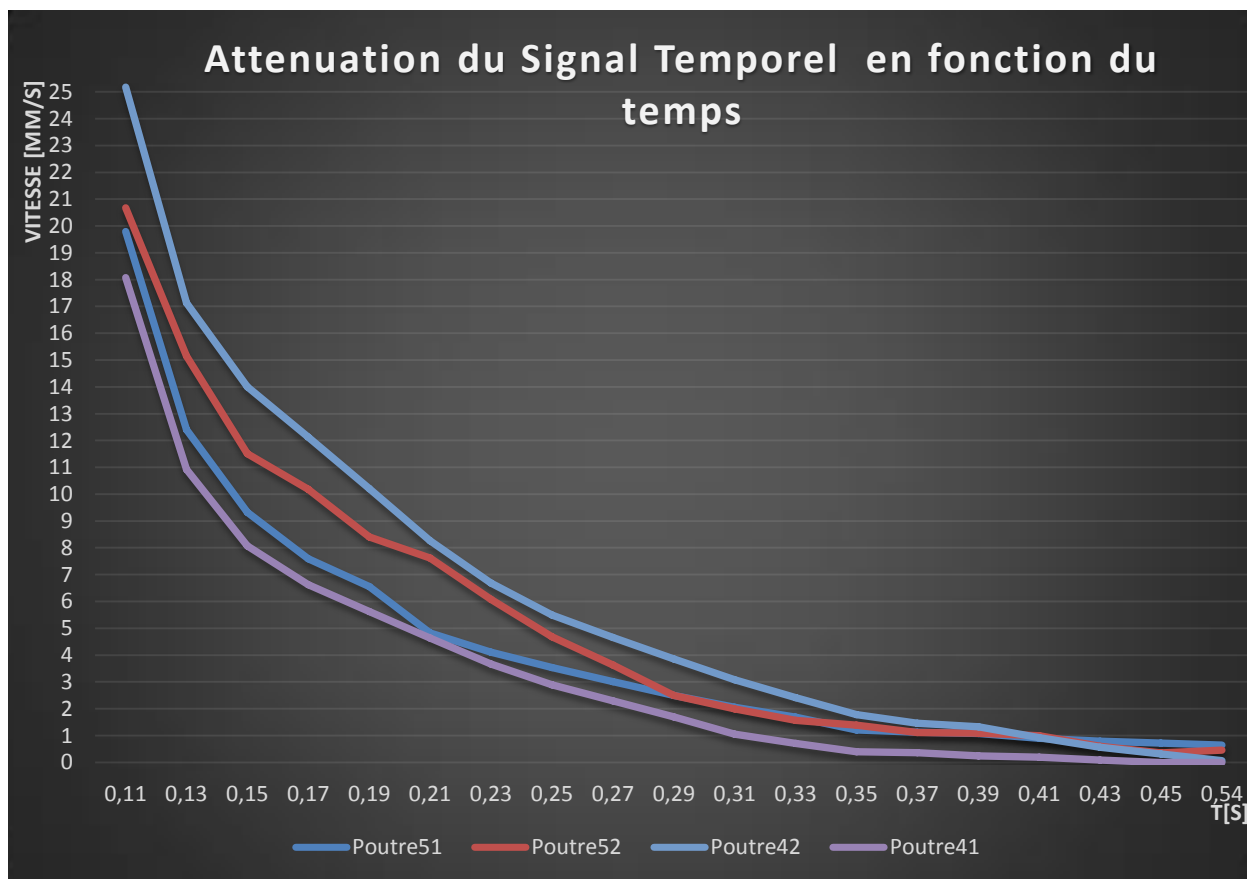


Figure 4. Evolutions de l'atténuation du signal temporel avec l'endommagement de la structure (cas 4 poteaux).

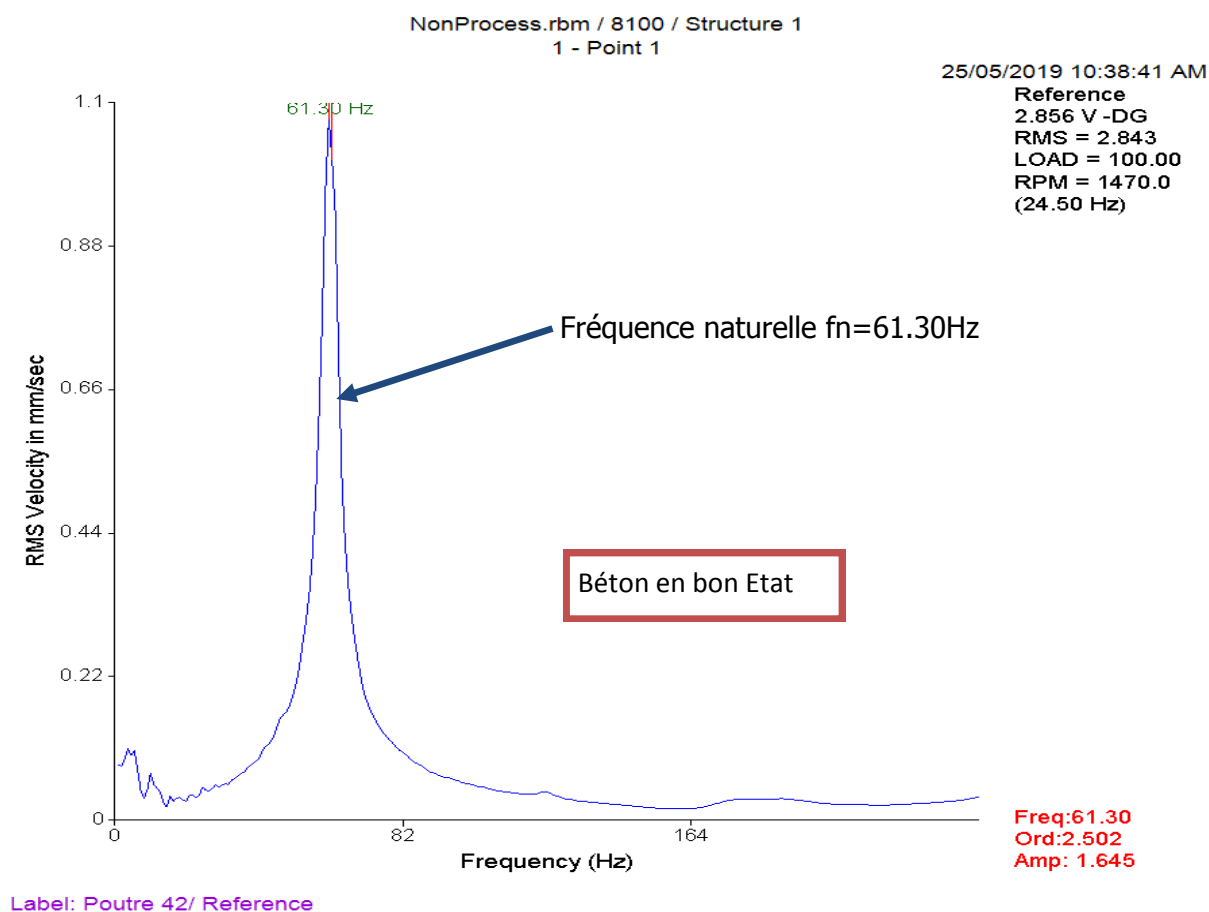


Figure 5. Spectre de la poutre 42.

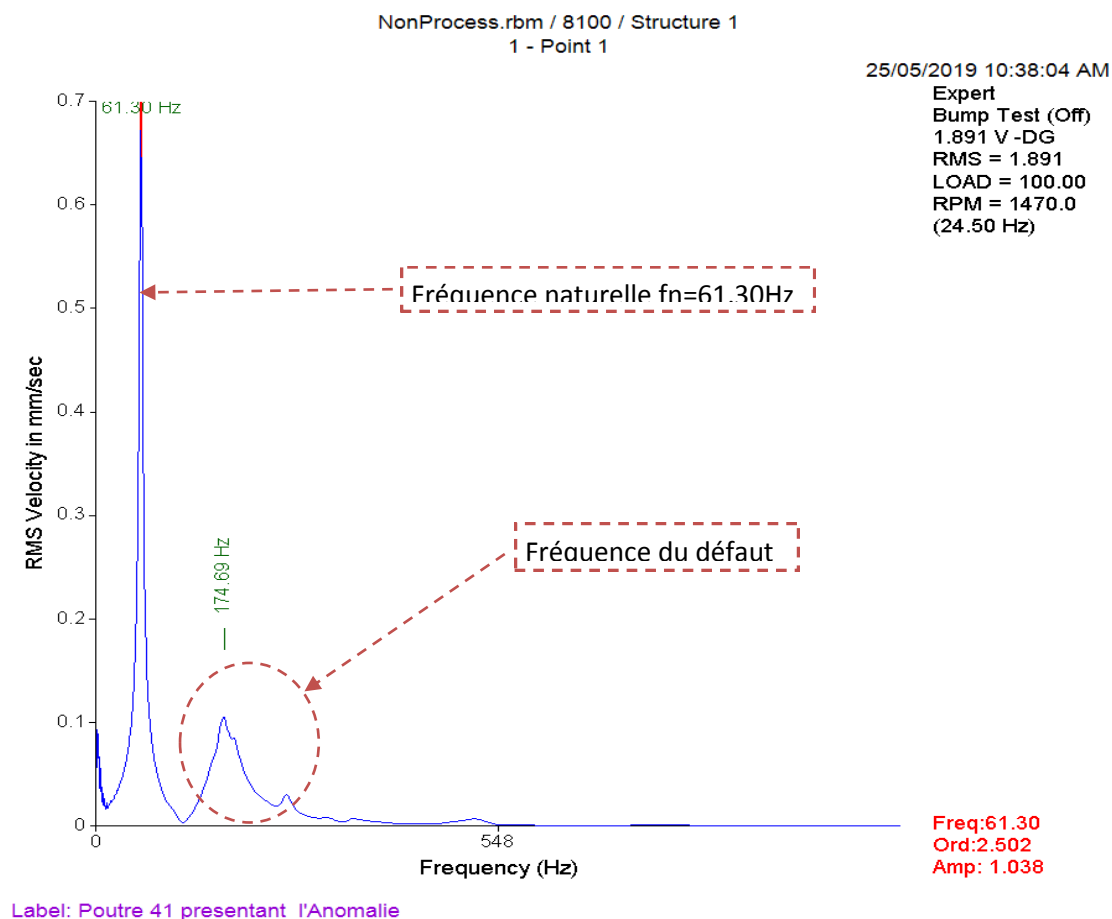


Figure 6. Spectre de la poutre 41 en mauvais état.

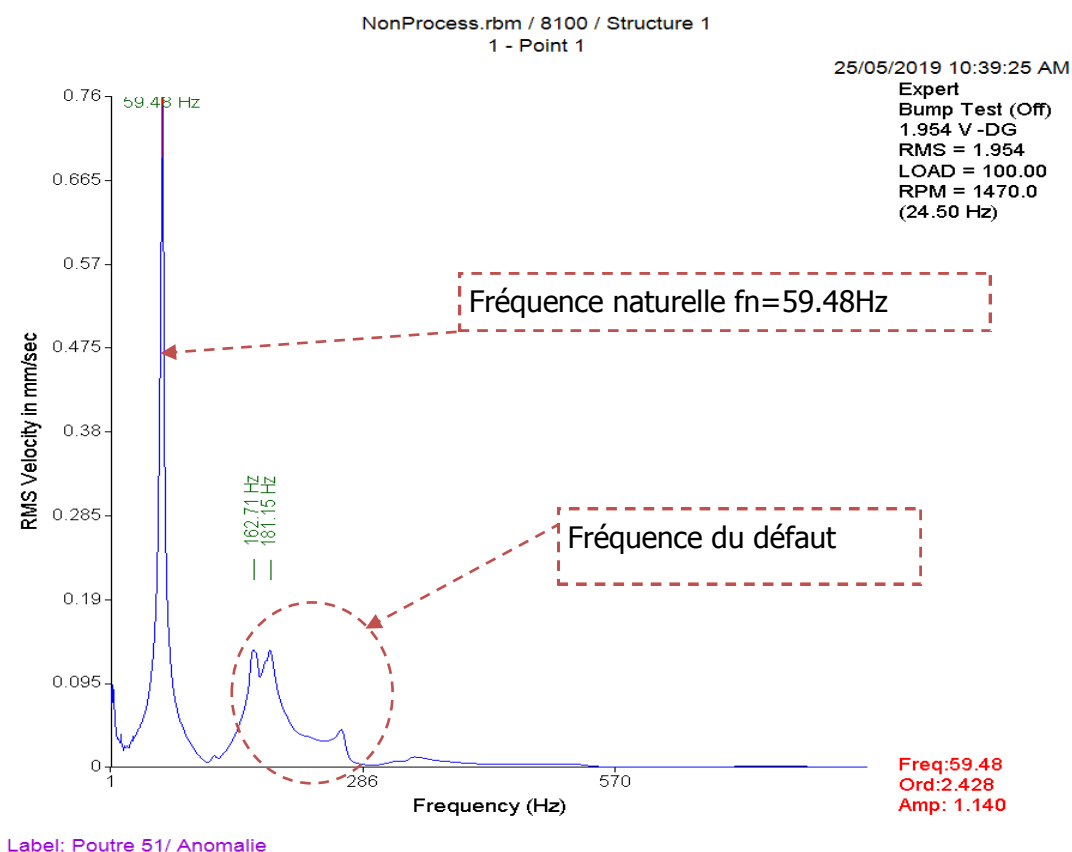


Figure 7. Spectre de la poutre 51 en mauvaise état.

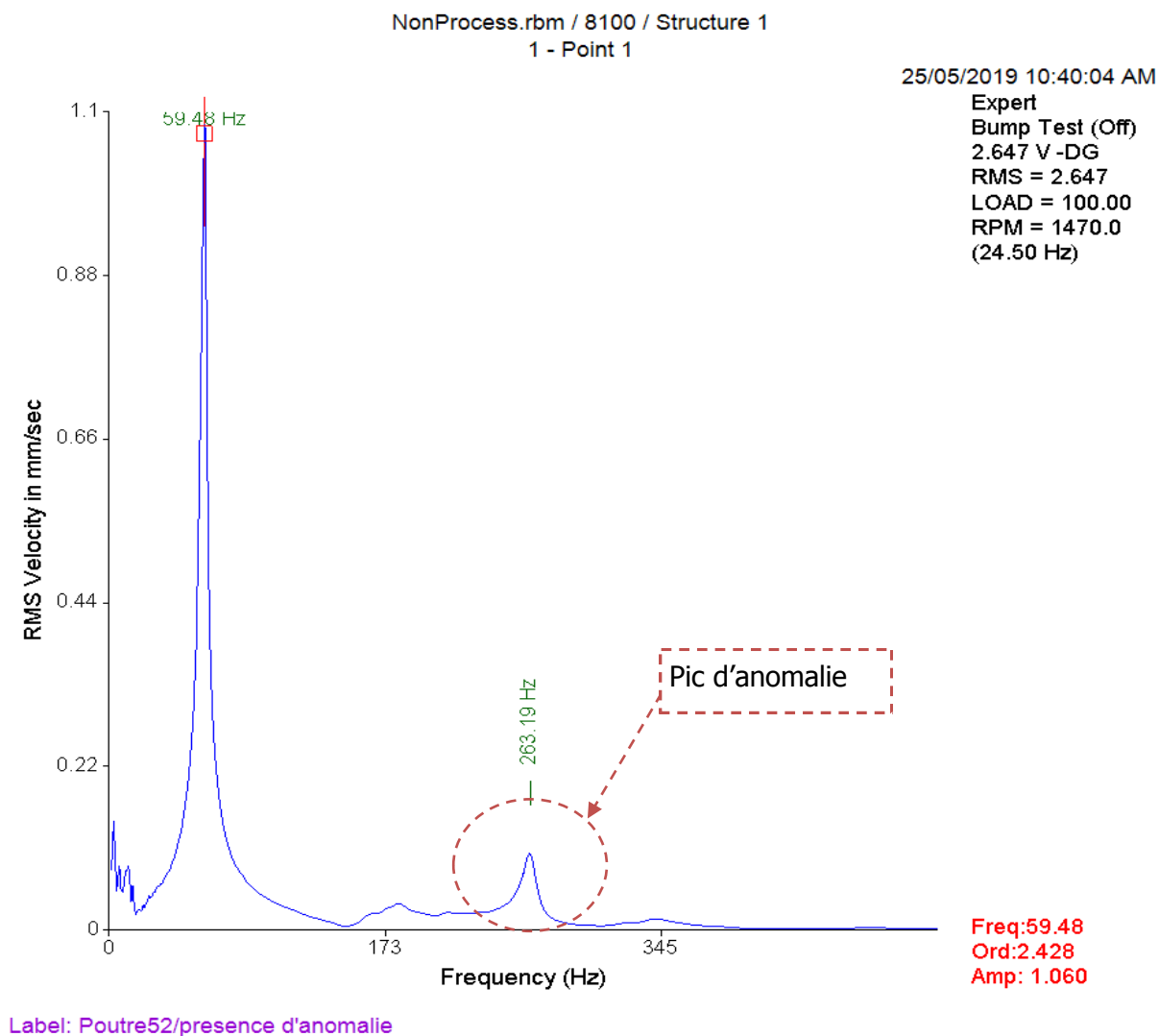


Figure 8. Spectre de la poutre 52 en mauvaise état.

3.2. Thermographie infrarouge :

L'analyse des images thermiques pour toutes les poutres (fig.9), (fig.10), (fig.11) et (fig.12) montrent qu'il y a la présence des anomalies dans les zones auscultées où le spectre de la vibration représente une bosse dans le spectrogramme. Nous reprenons le cas des poutres 41, 42, 51,52 dont leur état respectif est déjà détecté dans les paragraphes précédents.

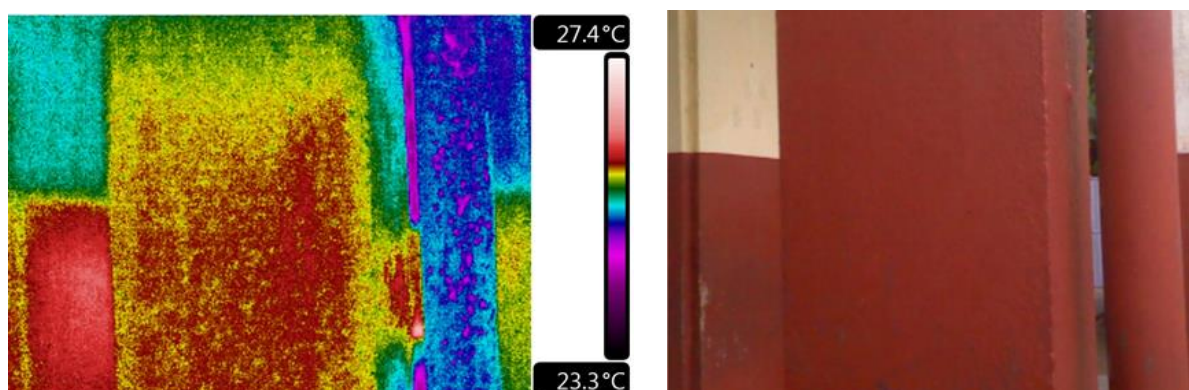


Figure 9. Image thermique de la poutre 41.

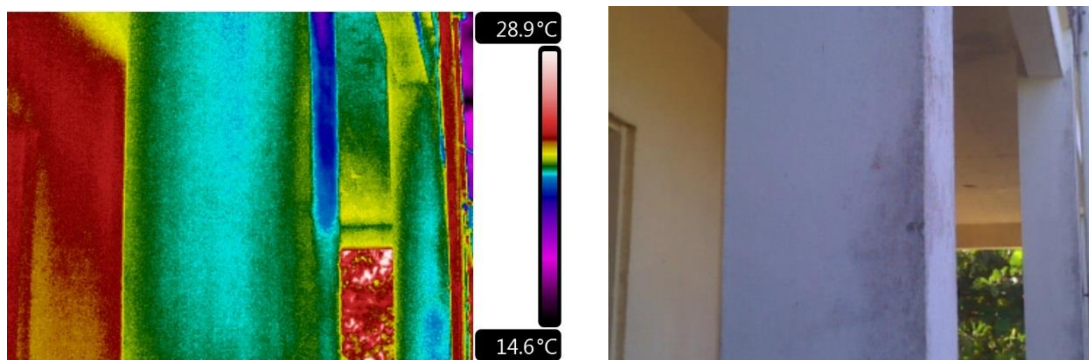


Figure 10. Image thermique de la poutre 42.

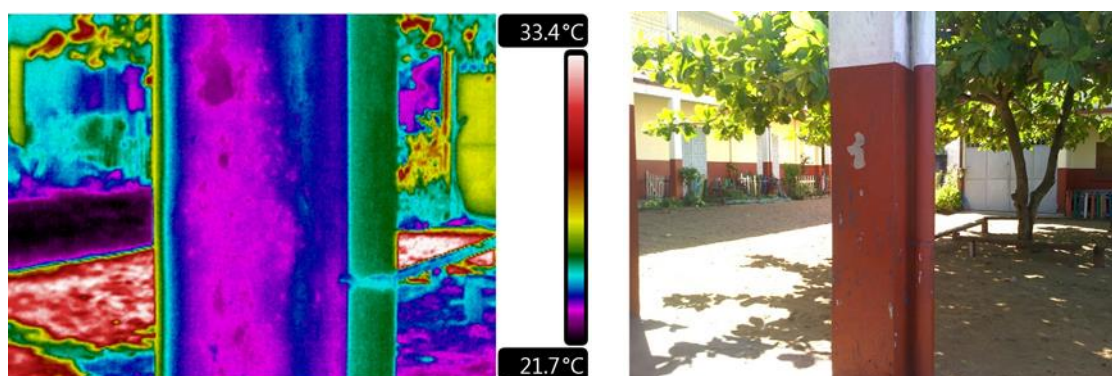


Figure 11. Image thermique de la poutre 51.

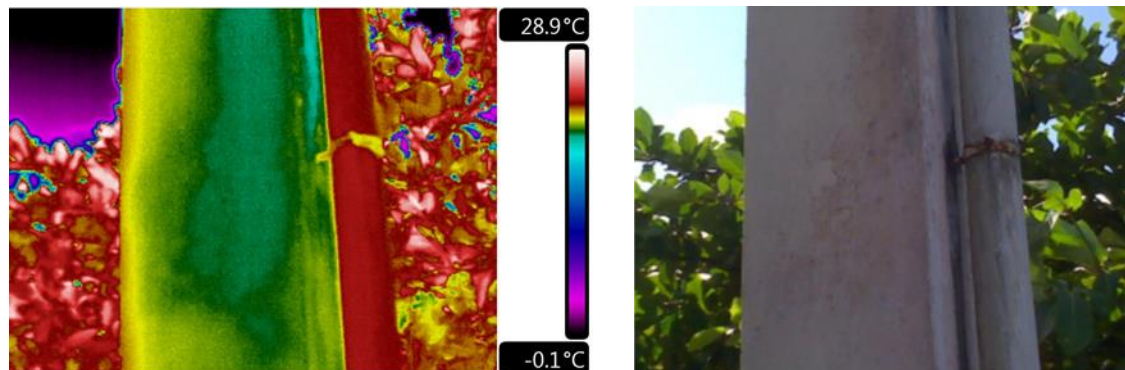


Figure 12. Image thermique de la poutre 52.

Ainsi, l'image est convertie en matrice de nombre représentant la température en fonction de la résolution de la caméra. A chaque température a été attribuée une couleur en fonction de sa valeur et, finalement, s'est créée une carte thermique de l'échantillon.

La détection des défauts internes est basée sur la conduction thermique. Lorsque le béton est chauffé va émettre de la radiation thermique à la surface par conduction thermique, le rayonnement infrarouge étant détecté par la caméra. La chaleur se propagerait différemment en fonction de la conductivité thermique du matériau : matériau analysé et l'air inclus dans le défaut interne [11].

En cas de présence d'un défaut, la température se distribue non uniformément sur la surface de l'échantillon dû aux différents coefficients de diffusivité thermique, dépendante de la capacité thermique du matériau, sa densité et ses dimensions.

5. CONCLUSION

Le diagnostic de la santé du béton par impact mécanique nous a permis de constater que sur les zones présentant des défauts, l'onde générée par la percussions traverse le béton avec un faible temps de la vibration et avec une

diminution trop rapide de l'amplitude du signal temporel. Dans ce cas il y a une atténuation significative du signal temporel avec le cycle d'endommagements du béton armé.

Ainsi, le spectre vibratoire présente la fréquence naturelle de la poutre et un autre pic sous forme de bosse signifiant la présence de l'anomalie.

L'analyse du béton armé par thermographie infrarouge passive démontre la capacité de la poutre en béton de retenir et de transmettre la chaleur et la distribution de la chaleur sur sa surface.

La cartographie de la température en surface se présente en fonction de l'état de santé du béton. L'émissivité dans partie saine est toujours différente de celle ayant l'anomalie. Autrement dit la distribution de la température dans la cartographie est en fonction de l'émissivité du béton. On peut aussi affirmer que par cette expérimentation a été mise en évidence une limite de l'analyse par thermographie infrarouge passive qui ne permet pas d'avoir la profondeur du défaut. Nous tenons à remarquer qu'au point de mesure par thermographie infrarouge réalisé, les peintures ont été décapées pour ne pas influencer sur l'émissivité de la surface des poteaux.

L'analyse du béton armé par thermographie infrarouge passive dans le but de détecter l'anomalie et de valider la méthode de diagnostic par le suivi des signaux temporels de la « Bump Test » ou impact mécanique **est faisable**. Après avoir corréler les résultats obtenus par la méthode de suivi de la signature temporelle avec les images thermographie infrarouge, la méthode s'avère applicable et intéressante. Il est possible de détecter des microfissures et d'autres défauts dans les bétons.

Etant donné que l'utilisation de ces méthodes pour le contrôle des bétons d'après ces études est faisable, Il nous est nécessaire pour la suite de faire des analyses quantitatives et qualitatives en faisant des comparaisons avec des échantillons étalons présentant divers comportement intérieur réel des bétons (béton sans défaut, avec défaut, avec ferrailage sans corrosion, avec corrosion ...) .

6. REFERENCES

1. Tarek DJEDID, Thèse « Etude de l'effet de la corrosion sur la durabilité des ouvrages en béton armé » Available on : <http://thesis.univ-biskra.dz/2054/1/M%C3%A9moire.pdf>.
2. M. Soliman, G. Barone, and D. M. Frangopol, "Fatigue reliability and service life prediction of aluminum naval ship details based on monitoring data," Struct. Heal. Monit, vol. 14, no. 1, pp. 3–19, 2015. Available on: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1475921714546059>.
3. a. Mojtahedi, M. a. Lotfollahi Yaghin, M. M. Ettefagh, Y. Hassanzadeh, and M. Fujikubo, "Detection of nonlinearity effects in structural integrity monitoring methods for offshore jacket-type structures based on principal component analysis," Mar. Strut., vol. 33, pp. 100–119, 2013. Available on: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951833913000348>.
4. a. Mojtahedi, M. a. Lotfollahi Yaghin, Y. Hassanzadeh, M. M. Ettefagh, M. H. Aminfar, and a. B. Aghdam, "Developing a robust SHM method for offshore jacket platform using model updating and fuzzy logic system," Appl. Ocean Res., vol. 33, no. 4, pp. 398–411, 2011. Available on: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141118711000332>.
5. C. R. Farrar and K. Worden, "An introduction to structural health monitoring.," Philos. Trans. R. Soc., vol. 365, no. 1851, pp. 303–15, 2007. Available on: <https://pdfs.semanticscholar.org/ea4d/f087fc4d46b1662d40b9afeae858be67edca.pdf>.
6. C. Lalanne, Analyses Pratique des Mesures. Paris, 2004.
7. Clark, M., Mc Cann, D., Forde, M. (2003). Application of infrared thermography to the nondestructive testing of concrete and masonry bridges, NDT&E International, 36 (4), p.265-275. Available on: <http://revistaalcompat.org/index.php/RA/article/view/223>.
8. Gaussorgues, G. (1999). La thermographie infrarouge : principes - techniques – applications, Quatrième édition revue et argumentée, ISBN : 2-7430-0290-5, Technique et Documentation, Lavoisier – Paris, 587 p. Available on : <https://businessdocbox.com/amp/95294815-Construction/Non-destructive-evaluation-of-delaminations-and-interfaces-in-concrete-structures.html>.
9. Sirieix C., Defer D., Antzack E. (2005) Chapitre B.5 : Méthodes END thermiques – Thermographie infrarouge, dans BREYSSE D., ABRAHAM O., Méthodologie d'évaluation non destructive des ouvrages en béton armé, Presses ENPC (sous presse, printemps 2005). Available on: http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/0981378/16_Couplage_methodes_non_destructives_evaluation_dommages_beton.pdf.
10. Andrés BELISARIO BRICENO, Thèse « Contribution à la détection de fragilité de structures en béton armé: Méthodologies d'instrumentation à l'aide de capteurs piézoélectriques » 2016 Available on : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01582083/document>.
11. DRAGAN Razvan Gabriel, ROSCA Ileana – Constanta, Franck BRACHELET, Florin BREABAN, Active thermography based on the heat transfer process in determining the influence of micro defects in bio-ceramic materials surface, E-Health and Bioengineering (EHB 2013) Conference, Iasi. Available on: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/6695804/proceeding>.



Cite this article: Angelico Andriamasinady Masa'il, and Mamiharijaona Ramaroson. ETUDE DE FAISABILITE DE LA BUMP TEST POUR L'ÉVALUATION DE DEGRADATION DU BÉTON *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2019; 9(1): 10-20.

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>