

Etude dynamique d'un château d'eau en béton renforcé par composites CFRP

Mouloud ABDESSEMED¹, Said KENAI¹, Abdenacer RADJEB¹

¹Geo-materials and Civil Engineering Laboratory, University of Blida1, Blida, Algeria

Corresponding author: abdesmoul@yahoo.fr

RESUME: Plusieurs causes de dégradation sont à l'origine des anomalies observées sur les structures en béton. Ces causes sont dues à l'instabilité de l'ouvrage, la fatigue des matériaux, l'excès de charges, les agressions environnementales et le changement climatique. Pour y remédier à ces défauts, il faut tout d'abord procéder, au diagnostic de l'ouvrage dégradé, à la détermination des causes des anomalies des défauts, à la préconisation des méthodes de réparation et/ou renforcement et au suivi de son comportement dans le temps. Dans cet article, le suivi de comportement dynamique d'un château d'eau renforcé, par application en confinement des composites collés est présenté. Ce suivi consiste à une analyse dynamique, par application de la méthode des éléments finis (MEF), avec un modèle choisi par le logiciel commercial "Ansys". Les résultats trouvés (modes propres et fréquences propres), avant et après renforcement, ont montré l'avantage des composites CFRP sur le comportement dynamique de la structure du château d'eau. Le gain apporté par l'application de ces composites varie entre 25% et 35%, ce qui donne une opportunité à l'utilisation des CFRP pour ces cas de structures à renforcer.

Mots-clefs : Château d'eau, composite, modélisation, dynamique, béton.

I. INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, la réfection et le renforcement des ouvrages en béton armé sont devenus de plus en plus importants dans la sauvegarde des constructions. Plusieurs facteurs font qu'il peut être nécessaire de renforcer ou de réparer un ouvrage : la corrosion des armatures, la fissuration du béton, les changements d'affectation qui imposent de nouvelles charges, le mauvais dimensionnement, l'évolution de normes, les accidents (chocs contre les éléments de structure), l'endommagement par un tremblement de terre ou toutes sortes de vibrations. Dès leurs premières applications, les techniques de réparation des structures en béton armé au moyen de matériaux composites ont démontré d'excellentes performances et se sont révélés être nettement plus efficaces, fiables et compétitives comparativement aux anciens procédés de renforcement traditionnels (chemisage, tôles collées, béton projeté) (Abdessemmed, 2011). L'objet de cet article est l'analyse numérique de l'application des composites (FRP) sur une structure hydraulique en élévation (château d'eau). Ce dernier a été construit dans les années soixante et présente plusieurs anomalies structurelles (fissuration, fatigue des matériaux dégradation, etc.). Cette contribution numérique basée sur la méthode des éléments finis (MEF), avec l'application du logiciel commercial "Ansys version 16.0", et ce, avant et après application des composites, permet par le biais des résultats obtenus de montrer l'efficacité de ces composites sur le comportement dynamique de la structure du château d'eau testé.

La lecture des fréquences propres et des modes de vibrations obtenues, montre le gain ramené, ce qui donne une bonne appréciation de l'utilisation de cette technique de composites collés.

II. DEGRADATIONS DES STRUCTURES HYDRAULIQUES EN ELEVATION

Les structures hydrauliques sont celles emmagasinant des quantités d'eaux ou autres liquides. Ces structures subissant, au cours de leur exploitation, des dégradations structurelles et autres fonctionnelles. Ces dernières sont dues généralement à la corrosion des armatures passives, fissurations actives du béton, changements d'usage, mauvais dimensionnement, manque de suivi de l'évolution des codes et normes, accidents répétés, endommagement par séisme et tout autre effet dynamique. Dans le cas des châteaux d'eau (Charpentier Tity, 2012), on peut distinguer les dégradations apparentes suivantes :

- la corrosion des aciers, qui se manifeste par des pertes de leurs performances mécaniques et diminution de leurs sections. Parmi les causes principales de ce phénomène, le faible enrobage des armatures, la carbonatation du béton et la pollution par les chlorures surtout dans les milieux agressifs.
- Fissurations structurelles, du béton armé, qui sont inhérentes à son fonctionnement comme les fissures de retrait (intrinsèques au béton), thermiques (dues aux gradients thermiques), structurels (dues aux charges) ou mécaniques (déformations et contraintes).

La réparation judicieuse de ce type de structure, dépend du type de l'élément de structure endommagé, la nature de cet endommagement et sa cause probable. Parmi les types de réparation, on peut citer le traitement des armatures corrodées et reconstitution de l'enrobage, le traitement des fissures par des produits adéquats (colmatage, résines), l'ajout de précontrainte additionnelle (cas de déformations structurelles) et le collage de composites par confinement sur les parois du fut et par placage sur la partie haute (cuve).

III. ETUDE DE CAS

Il s'agit de la structure d'un château d'eau, se trouvant dans la commune de Zéralda (15 km Ouest de la capitale Alger), caractérisée par une zone sismique (zone III) selon le règlement Algérien des ouvrages d'art (RPOA) (MTPT, 2008). Il s'agit d'une structure en béton armé, réalisée dans les années cinquante (1950), composée d'un fut cylindrique et d'une cuve dans la partie haute (Figure 1). Les caractéristiques de l'ouvrage sont : longueur d'assise: 9m, diamètre supérieur : 9m, diamètre inférieure : 5.6m, hauteur totale : 24m, fondation : 2m, diamètre externe/inf. : 6m, diamètre interne/inf. : 5.6m, diamètre externe/sup. : 9m, diamètre interne/sup. : 8.6m. Les désordres se sont manifestés surtout sur les parois extérieures (exposées essentiellement aux agressions climatiques). Vu que l'ouvrage se trouve à proximité de la mer, ou il y a les attaques chimiques (eaux salines avec excès des chlorures), on distingue des traces d'humidité et de carbonatation. Des fissures et des éclatements de béton (localement), sont aussi observés, probablement dues à l'effet de vétusté du béton. Afin de faciliter la tâche aux experts pour procéder à la réhabilitation de cette structure (Marcin, 2019), nous avons procédé à son analyse numériquement en appliquant la méthode des éléments finis (MEF), en prenant en compte le confinement de ses parois par composites colées.



FIGURE 1. Vue de la structure du château d'eau étudiée

IV. ANALYSE NUMERIQUE DE LA STRUCTURE

Afin d'analyser le comportement d'un château d'eau à vide et sous un chargement statique sur les parois, et par conséquent trouver un modèle numérique fiable, on présentera une modélisation numérique, par le biais du logiciel ANSYS 16.0 du château d'eau en question (Ansys, 2015). Les sections circulaires soumises à un chargement sur les parois latérales, sont prises en compte, avec les dimensions réelles de cette structure. Puisqu'il s'agit de la réparation d'une structure en béton armé, nous préconisons les matériaux utilisés sont : le béton, les aciers hautes adhérences (HA), les aciers doux, les composites à base de CFRP et de tissus de fibres de carbone (TFC). Le tableau 1 illustre tous les matériaux utilisés et leurs caractéristiques mécaniques.

TABLEAU 1. Caractéristiques des matériaux utilisés

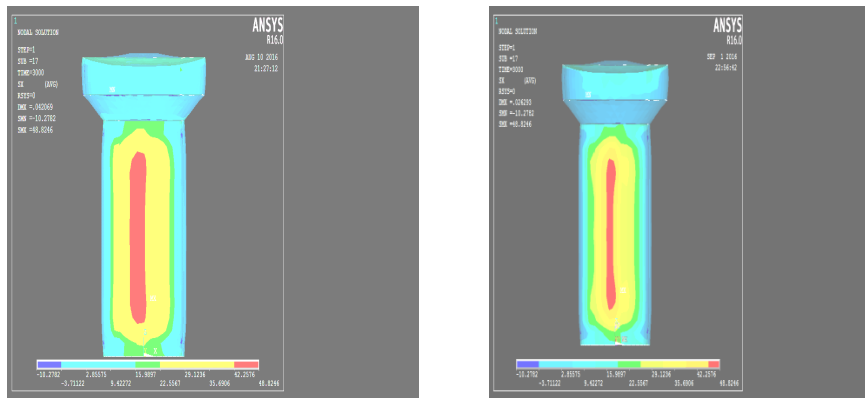
Matériau	Caractéristiques mécaniques							
	Comportement	Module Elasticité (MPa)		Coefficient de Poisson	Module de cisaillement (MPa)	Contrainte (MPa)	Epaisseur (mm)	
Béton	Isotopique	Avant	20 000	0.2	-	Compression : 32	Variée	
		Après	32 000	0.2	-	Traction : 3	Variée	
Aciers HA (φ16)	Isotopique	200 000		0.3	-	360	16	
Aciers HA (φ12)	Isotopique	200 000		0.3	-	360	12	
AciersDoux (φ 8)	Isotopique	200 000		0.3	-	360	8	
CFRP	Anistropique	Ex = 62000	Ey = 4800	Ez = 4800	νxy= 0.2 νxz= 0.3 νyz= 0.2	Gxy = 3270 Gxz= 1860 Gyz= 3270	958	0.45

L'analyse par éléments finis nécessite, tout d'abord, un maillage du modèle (discrétisation). En d'autres termes, le modèle est divisé en un certain nombre de petits éléments, délimités par des nœuds. L'objectif est de déterminer les contraintes et les déformations aux points d'intégration de ces petits éléments, après application des charges et identification des conditions aux limites (Chaudhari, 2017). Pour chaque élément du château d'eau, la formulation de la géométrie du matériau béton (Solid 65), qui est considéré comme un élément de volume (bloc) dont le nombre total de mailles, de cet

élément, est subdivisé en plusieurs nœuds. Les ferrillages (HA et doux) ont été modélisés par la barre à deux nœuds (Link180) et le composite à base CFRP a été modélisé par l'élément Solid185. L'interface (résine) entre support (béton) et le tissu de fibre de carbone a été pris en compte en insérant l'élément "Inter 205".

V. RESULTATS ET DISCUSSION

L'objet de cette étude est d'analyser numériquement la structure en question et ce, avant et après son renforcement par composites collés. On discutera sur les états des contraintes et déformations obtenus (analyse statique) et sur les modes et fréquences propres prépondérantes de la structure (analyse dynamique). Les figures (Figs. 2a et 2b) montrent les états de contraintes de la structure réparée par application des matériaux composites. On distingue une différence de répartition, que ce soit pour les contraintes ou pour les déformations (surface centrale). Sous l'effet du poids propre et du chargement latéral des quantités d'eau, le composite CFRP, semble réduire l'excès de chargement sur la partie la plus sollicitée.



FIGURES 2a et 2b. États des contraintes avant et après renforcement

L'obtention des paramètres modaux du château d'eau (modes propres et fréquences modales) de l'analyse par MEF, nous ont conduits à faire la comparaison entre le comportement de l'ouvrage, avant et après sa réparation (Gurkalo, 2017). Un total de six modes de vibration du château d'eau a été identifié à partir de cette modélisation. Les valeurs des fréquences propres et fréquences de vibration sont illustrés dans le tableau 2.

Les modes prépondérants de vibration du château d'eau, avant et après l'application des composites CFRP, sont d'ordre horizontal latéral dans le plan (x-y), puis vertical (axe z) et de simple torsion. L'application des composites n'influe pas sur les modes propres de vibrations, mais influe sur les valeurs des fréquences. En effet, l'obtention des paramètres modaux du château d'eau (modes propres et fréquences modales) de l'analyse modale par MEF, nous ont conduits à faire la comparaison entre le comportement de l'ouvrage avant et après son renforcement par composites collés. Le premier mode est un mode horizontal avec une fréquence de 2.431 Hz avant le renforcement et de 3.075 après le renforcement, soit une augmentation de 26.5%. Le deuxième mode vertical qui s'avère se produire à la fréquence de 2.732 Hz avant le renforcement et de 3.541 après le renforcement. De même pour le troisième mode est un mode torsion d'une fréquence de 5.719 Hz avant le renforcement et de 7.235 après le renforcement (Tableau 2).

TABLEAU2. Valeurs des fréquences et modes de vibration

N°	Fréquence (Hz)(avant)	Fréquence (Hz)(après)	Mode de vibration	Ecart (%)
1	2.431	3.075	Horizontal (H)	26.46
2	2.735	3.541	Vertical (Z)	29.47
3	5.719	7.235	Simple Torsion	26.51
4	6.342	8.313	Vertical (Z)	31.08
5	10.22	13.73	Double Torsion	34.35
6	11.03	14.94	Double Torsion	35.45

Aussi, on constate que la fréquence du château d'eau est en moyenne de 25% plus élevée qu'avant réparation et par conséquent la période de vibration est réduite. Ceci s'explique par l'augmentation de la rigidité (K) qui est proportionnelle à l'inertie (I) et surtout le module de Young (E). Le module de Young augmente avec l'application du composite (Eaprès > Eavant). Donc, on remarque que la fréquence du château d'eau est augmentée et par conséquent la période de vibration est réduite.

CONCLUSION

Un cas de château d'eau ancien présentant des dégradations apparentes a été diagnostiqué et un renforcement proposé et la modélisation de la structure nous a amené aux conclusions suivantes :

- Une structure dégradée peut être réparée et/ou renforcée par application de cette technique innovante CFRP et les résultats du comportement dynamiques sont très prometteurs ;
- Les contraintes et déformations obtenues, montrent un net gain en faveur de la structure réparée, ce qui confirme l'avantage des composites pour la mise à niveau d'une structure endommagée ;
- Les composites augmentent la rigidité de la structure renforcée et par conséquent, augmentent la fréquence de vibration et diminuent la période propre ;
- Les matériaux innovants prometteurs dans divers domaines, sont recommandés pour la sauvegarde du patrimoine des structures existantes.

REFERENCES

- Abdessemed M., Kenai S., Bali A., Kibboua A. (2011), Dynamic Analysis of a Bridge Repaired by CFRP: Experimental and Numerical Modeling, *Construction and Building Materials*, 25, 1270-1270.
- Ansys, Inc. Release 16.0 (2015), Southpointe, 2600 Ansys Drive, Canonsburg, PA 15317.
- Charpentier Tity H. (2012), Pathologies des Châteaux d'Eau en Béton Armé, *Mémoire de graduation*, Conservatoire Nationale des Arts et de Métiers (CNAM), Paris, France.
- Chaudhari K., Bhilare S.L., Patil G.R. (2017), A Study Of Dynamic Response Of Circular Water tank With Baffle Walls, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*,4(08), 2094-2099.
- Gurkalo F., Du Y.G, Poutos K., Jimenez-Bescos C. (2017), The Nonlinear Analysis of an Innovative slit Reinforced Concrete Water Tower in Seismic Regions, *Engineering Structures*, 134, 138-149.
- Marcin D., Lukasz S. (2019), Technical Condition Assessment, Ultimate and Service Ability Limit States of Water Tower Reinforced Concrete Tank After its Operation Lifetime, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471, 052084.
- Ministère des Travaux Publics et Transports (2008), Direction des Routes et Ouvrages d'art, Règlement *Algérien des Ouvrages d'art (RPOA)*, Alger, Algérie.