

Comportement et modélisation des consoles de ponts cantilever en béton armé

Sébastien Flawinne¹, Eissa Mahmoud², Chathura Rajapakse², Boyan Mihaylov²

¹ Service Public de Wallonie Rue Côte d'Or 253 4000 Liège, Belgique

² ULiège Place du 20 août 7, 4000 Liège, Belgique

RESUME Les consoles de ponts cantilever sont souvent présentes dans les ouvrages existants. Elles représentent un élément critique de la structure, et leur performance est cruciale pour la sécurité de l'ensemble du système. Pourtant, la conception de ces consoles est une source importante de problèmes structurels potentiels et leur diagnostic se révèle souvent très difficile. L'Université de Liège, en partenariat avec le Service Public de Wallonie, a mené une recherche pour établir un modèle de calcul analytique capable de prédire l'ouverture de fissure sur ces consoles en fonction de la charge. Ce modèle a été validé via des essais en laboratoire et va permettre aux maîtres d'ouvrages d'estimer la capacité résiduelle de ces consoles en fonction de la mesure sur site des fissures sur celles-ci. Des essais sur des ouvrages existants ont été menés pour valider la démarche.

Mots-clefs Consoles, pont cantilever, béton armé, modèle de calcul

I. INTRODUCTION

Les consoles de ponts cantilever sont souvent présentes dans les ouvrages existants. Cette forte prévalence est en partie due à leur déterminisme statique et à leur simplicité de construction. Elles représentent un élément critique de la structure, et leur performance est cruciale pour la sécurité de l'ensemble du système.

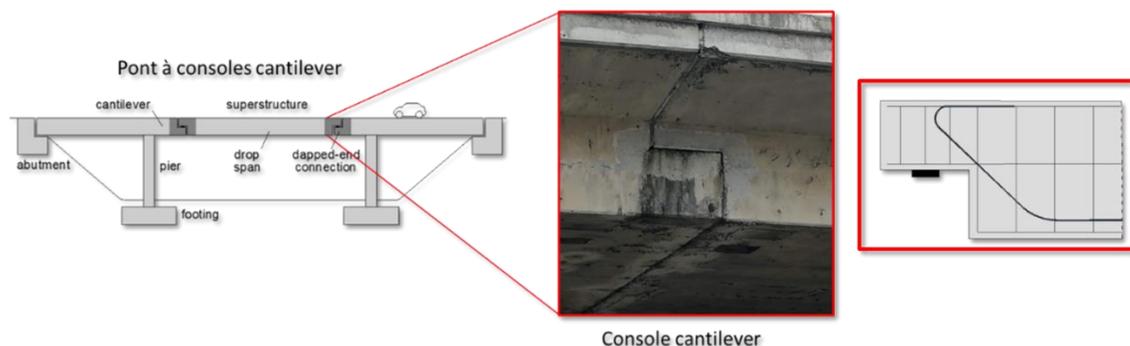


FIGURE 1. Exemple d'un pont à consoles cantilever situé à Liège, Belgique

Pourtant, la conception de ces consoles (parfois dénommées becs cantilever) est une source importante de problèmes structurels potentiels :

- leur forme caractéristique, avec réduction soudaine de l'épaisseur de la section, provoque une forte concentration des contraintes. En conséquence, les consoles présentent généralement des fissures mécaniques inclinées au niveau du coin, supérieures à 0,3-0,4mm

- les becs cantilever sont généralement situés dans des zones de pénétration d'eau et d'autres agents corrosifs. Dès lors, ces fissures posent des problèmes de durabilité majeurs car elles peuvent conduire à la corrosion de l'armature. En cas de détérioration supplémentaire ou de charge accrue/répétée, une défaillance éventuelle peut se produire le long de la fissure au coin de la console



FIGURE 2. Fissures au coin des consoles cantilever

Pour ces raisons, les consoles de pont cantilever posent des problèmes difficiles en matière de modélisation, de maintenance et d'évaluation de la sécurité. Le projet de la recherche menée par l'université de Liège a comme objectif d'améliorer la compréhension du comportement et de l'analyse des consoles en béton armé.

II. MODELE ANALYTIQUE

Tout d'abord, un modèle de calcul analytique a été créé pour prédire la résistance et les déformations des consoles. L'approche utilisée facilite l'utilisation directe de données mesurables sur site pour évaluer la résistance du bec cantilever (par exemple, la largeur mesurée de la fissure) (Rajapakse 2023, Rajapakse et al. 2021).

Le modèle développé est basé sur la compatibilité des déplacements pour formuler les équations d'équilibre (entre les forces externes et les contraintes internes) qui vont permettre de déterminer l'ouverture de fissure au coin des consoles en fonction de la charge sur ces dernières.

Ce modèle a été utilisé pour prédire la capacité de charge de 47 consoles différentes testées expérimentalement jusqu'à rupture avec comme paramètre d'entrée principale l'angle de la fissure observée au coin des consoles. La capacité de charge à la rupture prédite était en moyenne éloignée de seulement 10% de la charge réelle mesurée, avec un coefficient de variation de 8,6%.

III. ESSAIS SUR CONSOLES EN LABORATOIRE

Des essais à grande échelle ont été réalisés pour améliorer la compréhension du comportement des consoles. Pour ce faire, 16 consoles différentes ont été testées (Rajapakse 2023, Rajapakse et al. 2022). Les dimensions des consoles n'ont pas varié mais la moitié des consoles ont été testées avec un

armaturage orthogonal et l'autre moitié avec un armaturage diagonal. Chaque console possède un schéma d'armaturage différent qui varie en fonction de :

- La quantité d'acier (variant de 226mm^2 à 1964mm^2)
- Le ratio quantité d'acier horizontal/acier vertical (ratio allant de 0.7 à 1.5)

Les déplacements et ouvertures de fissures sont vérifiés par toute une série de capteurs sur les consoles ainsi que par la technique *Digital Image correlation*.

Les essais ont montré que les spécimens avec un renforcement diagonal présentent une résistance bien plus élevée. De même, les spécimens avec un ratio d'armaturage horizontal plus important ont une meilleure résistance à la rupture.

Les résultats d'essais ont été utilisés pour étendre le modèle à la prédiction complète du comportement des consoles et non plus uniquement pour la seule charge de rupture. La courbe globale de l'ouverture de la fissure de coin en fonction de la charge appliquée sur la console peut ainsi maintenant être prédite par le modèle. De très bonnes corrélations entre la courbe mesurée expérimentalement et celle estimée par le modèle ont été obtenues.

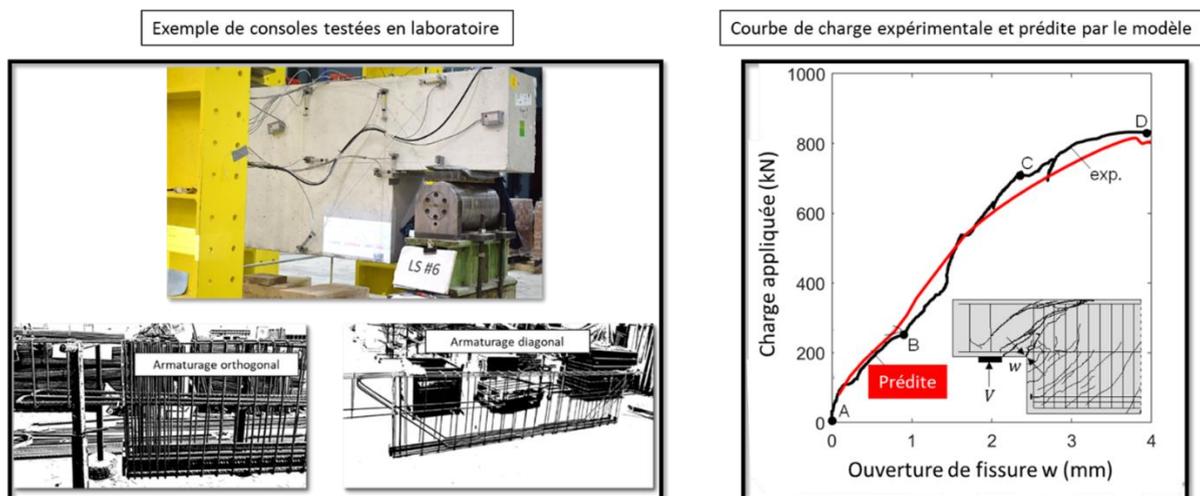


FIGURE 3. à droite : exemple de consoles pour les essais en laboratoire; à gauche : courbe de charge

IV. VALIDATION DU MODELE SUR DES OUVRAGES EXISTANTS

Pour pouvoir analyser et monitorer la capacité résiduelle de consoles d'ouvrages existants, le modèle analytique a été comparé à des résultats expérimentaux mesurés sur ouvrages. Ce modèle peut en effet permettre d'aider au diagnostic des consoles existantes. En relevant l'ouverture de fissure sur site, cette dernière peut être comparée à l'ouverture prédite par le modèle.

Des ponts ont été sélectionnés afin de soumettre les consoles à différents niveaux de charge et vérifier la correspondance entre la réalité du terrain et l'approche théorique.

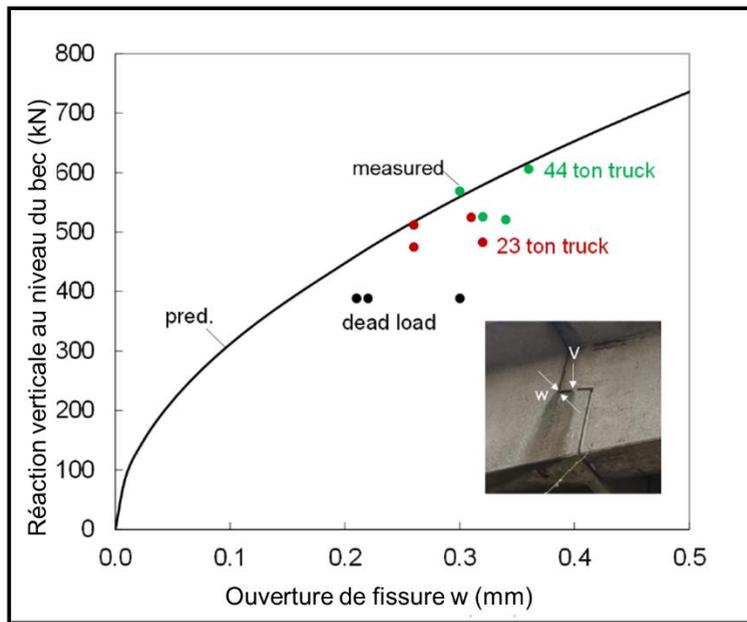


FIGURE 4. Comparaison entre les ouvertures de fissures ponctuelles relevées sur site et la courbe calculée via le modèle analytique

Les premiers résultats ont montré une correspondance significative, bien que moins forte qu'en laboratoire. Cela s'explique par le fait que l'état du bec sur site est moins bien maîtrisé et certains phénomènes comme la corrosion et la fatigue ne sont pas encore intégrés dans le modèle analytique.

V. CONCLUSIONS

Il apparaît que le modèle développé est un indicateur pertinent qui peut déjà être utilisé en pratique par les gestionnaires de ponts pour estimer avec une certaine précision la stabilité résiduelle de ces éléments vulnérables que sont les consoles de pont cantilever. Des prochains développements vont être menés pour suivre d'autres ouvrages et inclure certains paramètres tels que la fatigue et la corrosion dans le modèle analytique.

REFERENCES

Rajapakse Mudiyansele, C. M. (2023). Behaviour and Modelling of Reinforced Concrete Dapped-End Connections. PhD Thesis, University of Liege.

Rajapakse, C., Degée, H., & Mihaylov, B. (2022). Investigation of shear and flexural failures of dapped-end connections with orthogonal reinforcement. *Engineering Structures*, 260, 114233.

Rajapakse, C., Degée, H., & Mihaylov, B. (2021). Assessment of Failure along Re-Entrant Corner Cracks in Existing RC Dapped-End Connections. *Structural Engineering International*, 31(2), 216-226.