

Experimental and numerical study of an original demountable composite concrete steel beam made of concrete blocks

Chaimaa Jaafari*, Sébastien Durif*, Firas Houimli*, Abdelhamid Bouchair*

*INP Clermont Auvergne, CNRS, Institut Pascal, F-63000 Clermont-Ferrand, France

Contexte



Chicago's iconic skylines [1]

Le secteur du BTP émet 242 millions de tonnes de déchets (données 2020)

Loi RE 2020

- Isolation thermique
- Matériaux biosourcés ou issus du recyclage
- **Systèmes constructifs démontables: notion de réemploi**



Profilé métallique [2]



Béton armé [2]



Structure mixte acier/ béton (béton coulé sur place) [2]



Résistance mécanique

Objectifs

- Développement de solutions démontables acier/blocs bétons
- Réutilisation de blocs béton issus de la récupération
-  S'assurer du comportement mixte de l'ensemble
 - ➔ Evaluation du comportement des connexions (boulons)
 - ➔ Evaluation du comportement à l'échelle structure (transmission des efforts entre blocs, fissures, etc.)

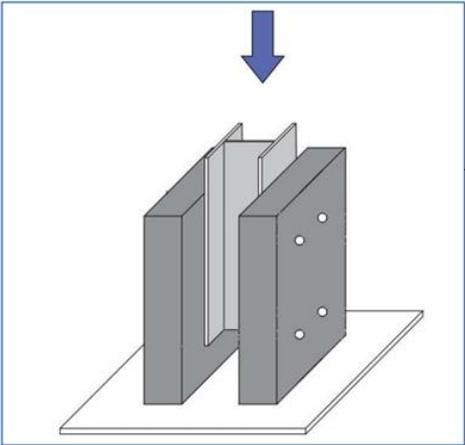


*Evaluation du comportement de connexion
(essai push-out)*



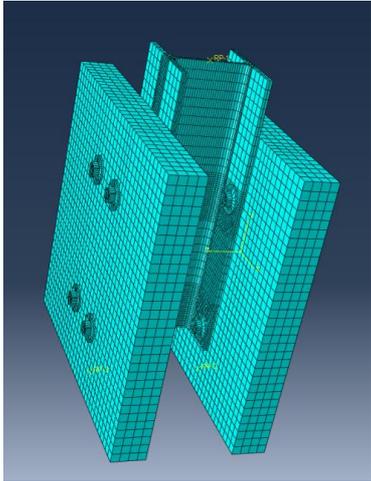
*Poutre constituée de blocs béton boulonnés à
un profilé d'acier sous flexion*

Méthodologie



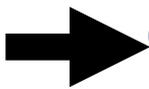
3

Etude paramétrique?
Développement de
nouveaux
systèmes de connexion?



1

Essais push-out pour caractériser
le comportement des connexions

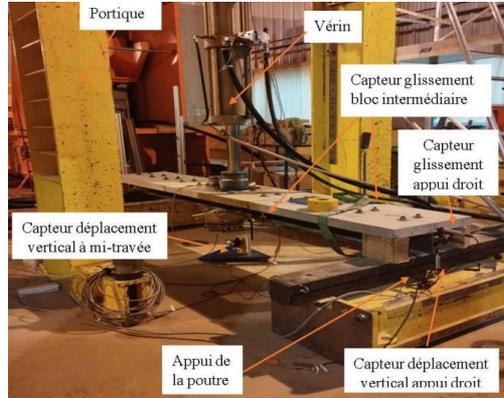


2

Développement de modèles Abaqus pour
simuler les essais push-out, validation ?

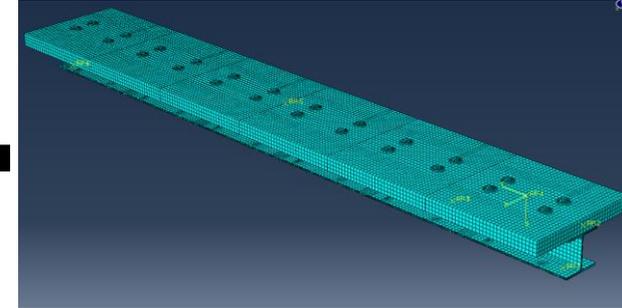
Echelle de la connexion

Méthodologie



6

Etude paramétrique?
Développement de nouveaux
Systèmes constructifs ?



4 Essais flexion 3 points, transmission des efforts entre blocs ?
Fissurations?
Mixité (comparaison analytique/expé)?

5

Développement de modèles Abaqus pour simuler les essais de flexion, validation ?

Echelle de la structure

Plan

- I. Caractérisation du comportement de connections : essais push-out et simulations numériques
- II. Caractérisation du comportement mixte de la poutre démontable acier/ blocs béton: essais de flexion et étude analytique
- III. Travaux en cours: Simulation numérique de l'essai de flexion, essais push-out et flexion 3 points sur d'autres configurations

I. Caractérisation du comportement de connections : essais push-out et simulations numériques

MATERIAUX

● Propriétés du béton

Compressive Strength (MPa)	Young Modulus (GPa)	Tensile Strength (MPa)
35	32.8	3.5

● Propriétés des boulons M16

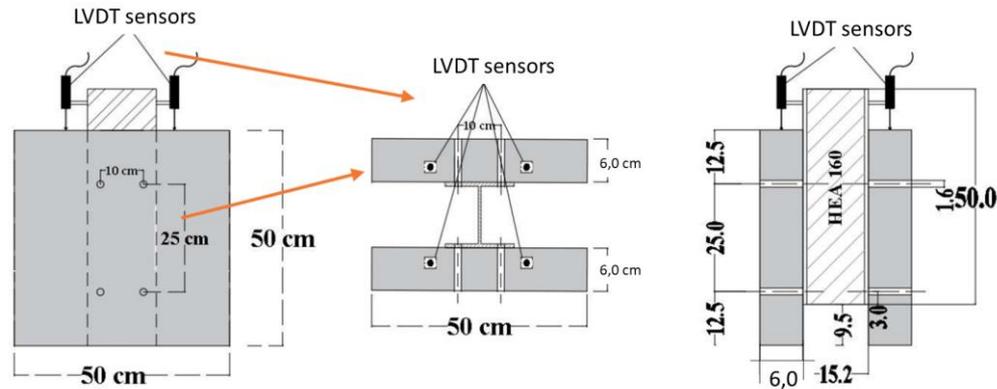
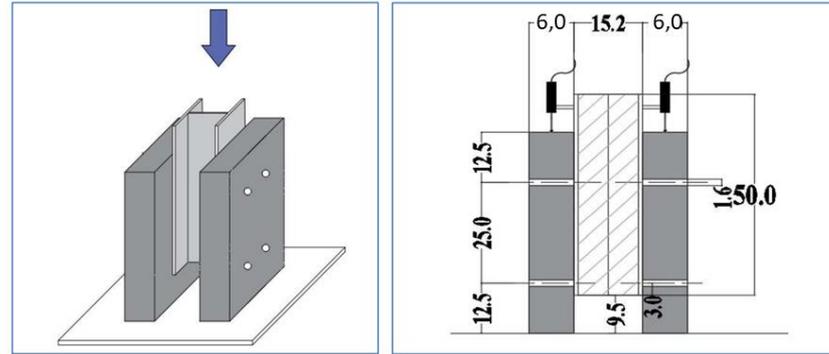
Young Modulus (GPa)	Yield Stress (MPa)	Ultimate Stress (MPa)
205.9	922.6	982.4

● Propriétés du profilé HEA 160

Young Modulus (GPa)	Yield Stress (MPa)
210	358

I. Caractérisation du comportement de connections : essais push-out et simulations numériques

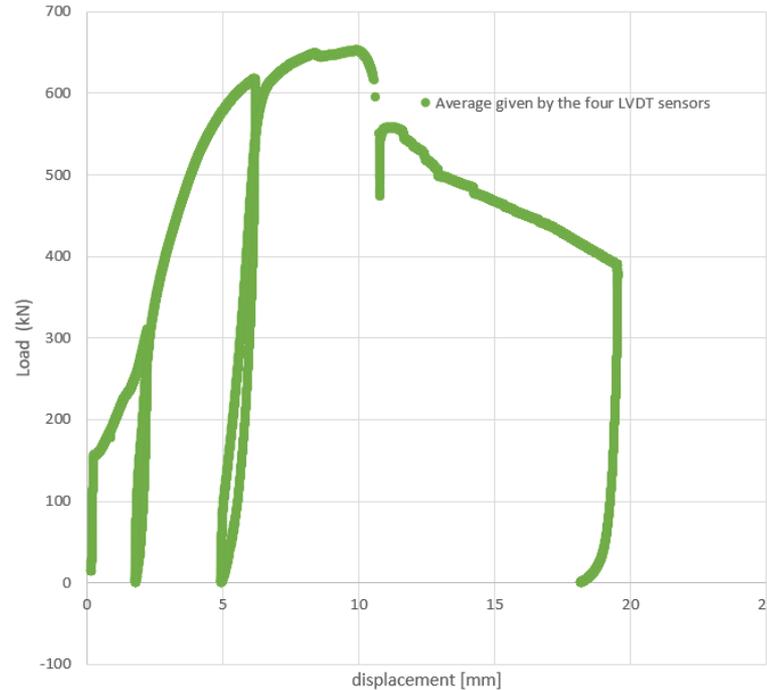
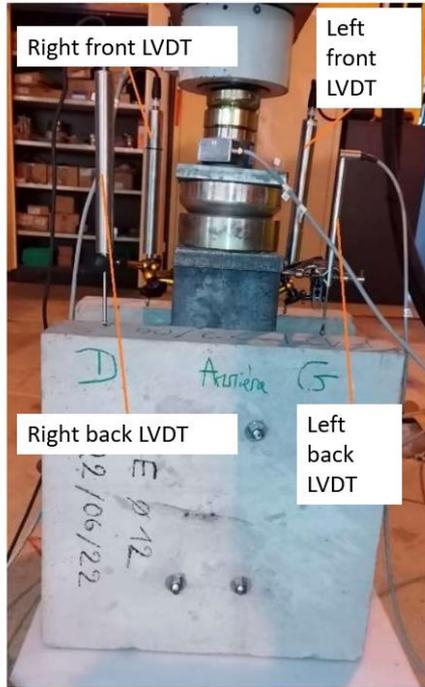
EXPE



Set up
expérimental:
Configuration
présentée:
Boulons M16,
épaisseur de blocs
béton 6 cm

I. Caractérisation du comportement de connections : essais push-out et simulations numériques

EXPE

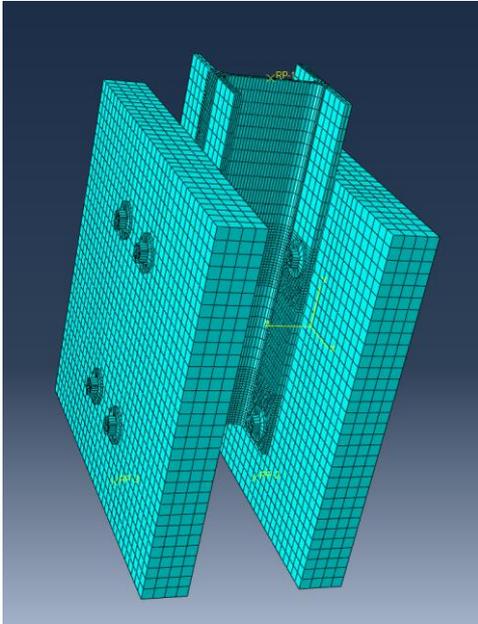


Résultats
Pushout:
Configuration
boulons M16
et épaisseur
béton 6 cm.

I. Caractérisation du comportement de connections : essais push-out et simulations numériques

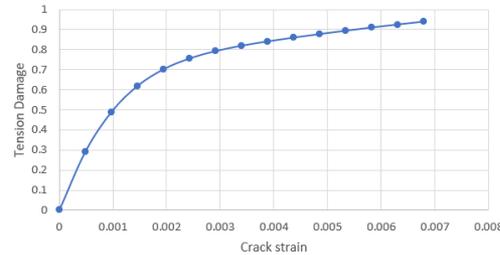
NUMERIQUE

Concrete damage plasticity +
Linear perfectly plastic law
for steel (M16 bolts and HEA
profile)

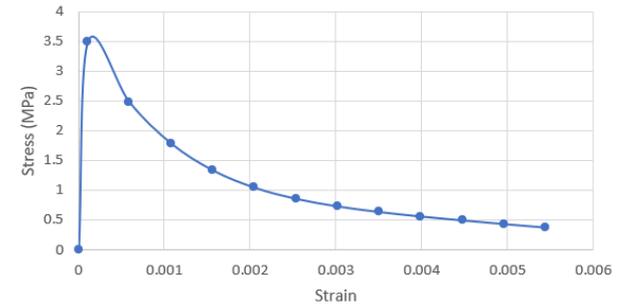


*Maillage pour modèle Abaqus de l'essai
Push-out*

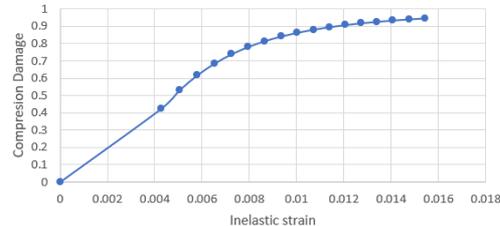
Concrete tension Damage as a function
of strain



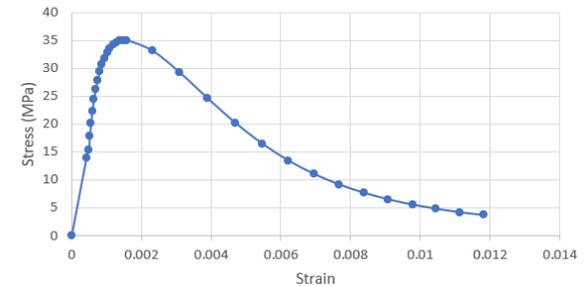
Concrete Tension Stress Strain



Concrete Compression Damage as a function of
strain



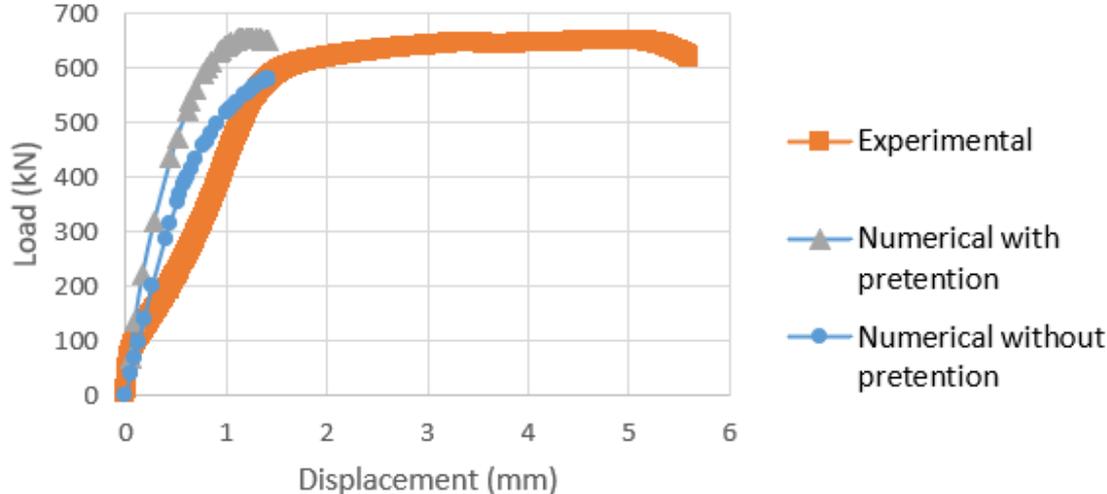
Compression Stress Strain



I. Caractérisation du comportement de connections : essais push-out et simulations numériques

EXPE VS NUMERIQUE

Push-out test (M16 bolts and 6 cm concrete
blocks configuration)



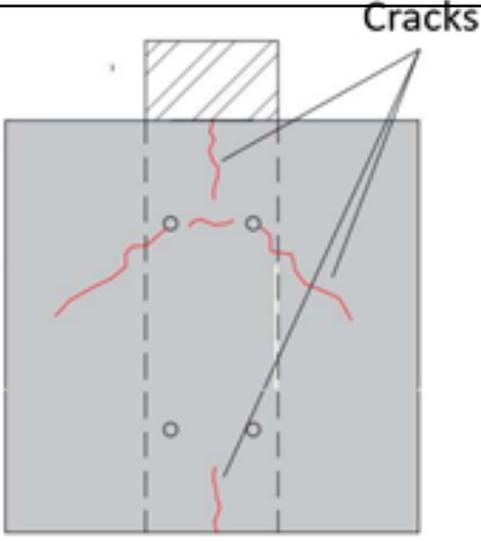
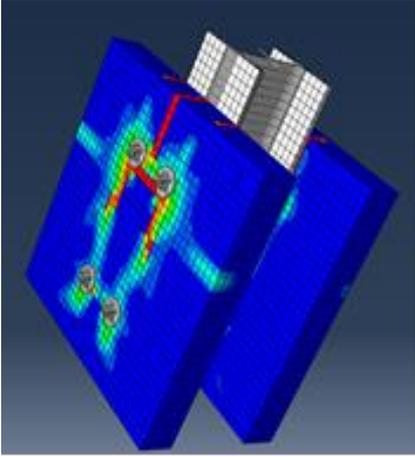
Force maxi:

(EXPE): 652 kN versus (NUM): 650 kN

NUM plus raide que EXPE: Jeux des
Boulons dans les trous? Contacts
initial? Ecoulement?

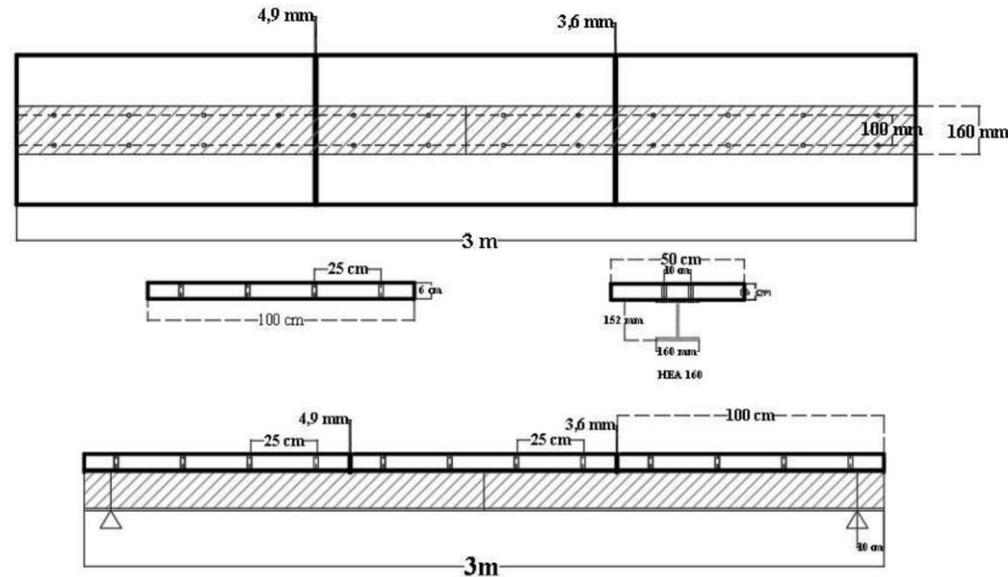
I. Caractérisation du comportement de connections : essais push-out et simulations numériques

EXPE VS NUMERIQUE

		
<p><i>Concrete cracks during the pushout test + Shear failure of one bolt</i></p>	<p><i>Concrete damage (observed numerically) Red color corresponds to a damage value of around 1</i></p>	

II. Caractérisation du comportement mixte de la poutre démontable acier/ blocs béton: essais de flexion et étude analytique

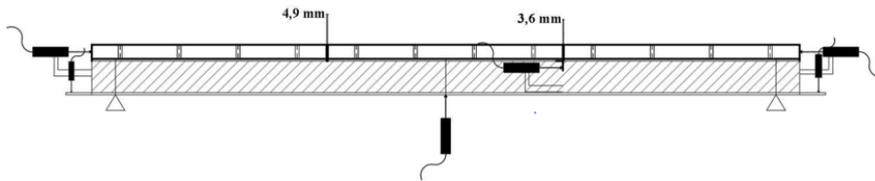
EXPE



Géométrie de poutre démontable considérée (poutre 3 blocs)

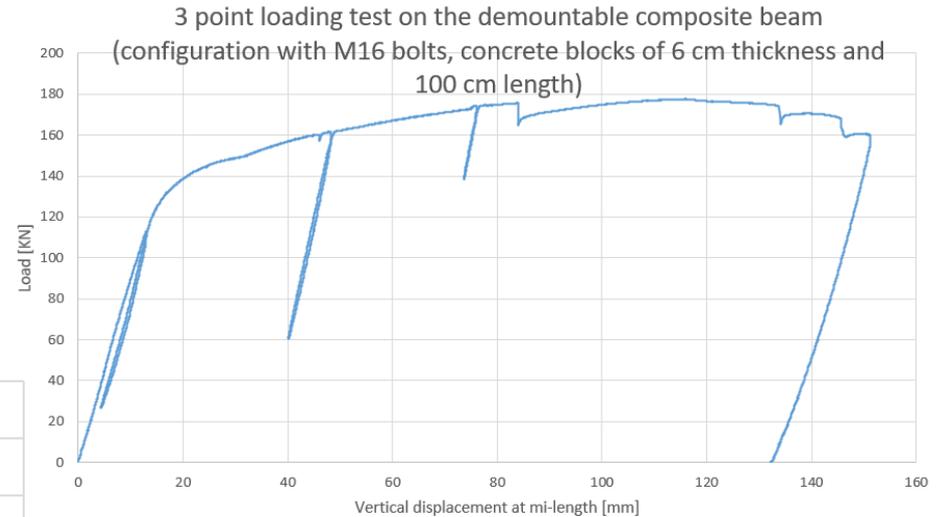
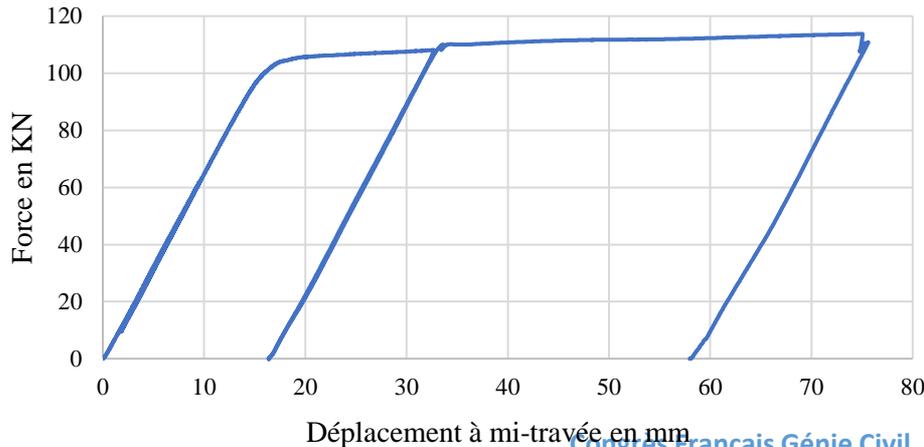
II. Caractérisation du comportement mixte de la poutre démontable acier/ blocs béton: essais de flexion et étude analytique

EXPE



Positions des capteurs de déplacement
Essai de flexion (3 blocs)

Force/Dép à mi-travée poutre HEA 160 seule



$F_u(\text{HEA})=113 \text{ kN}$

$F_u(\text{HEA}+ \text{ blocs béton})=177 \text{ kN}$

Apport de la mixité

II. Caractérisation du comportement mixte de la poutre démontable acier/ blocs béton: essais de flexion et étude analytique

EXPE/Analytique

Calcul plastique

- 172.3 kN
- 125.3 kN (trous négligés)
- 46.97 kN

Force ultime de la structure
acier/blocs béton

Force ultime pour le profilé
HEA 160 seul

Force reprise par l'action
composite

Résultats expé

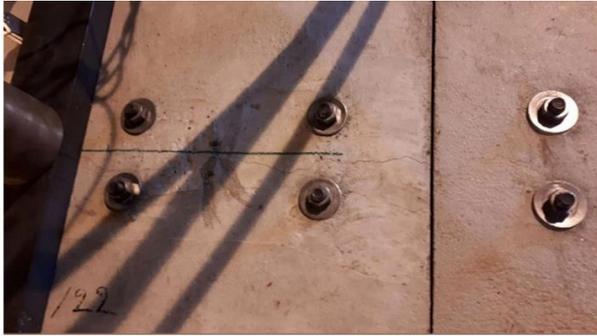
- 177 kN
- 113 kN
- 64 kN

Comportement mixte ?

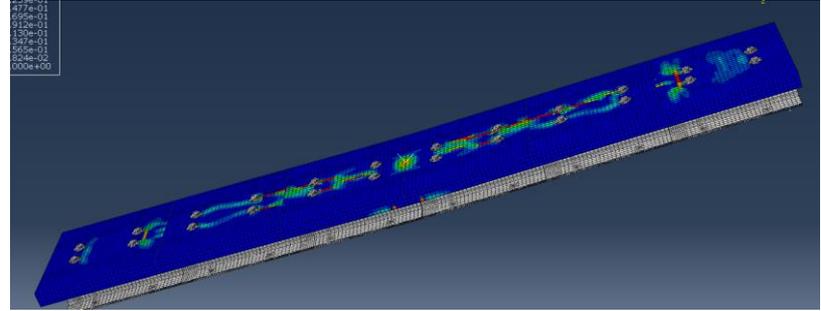
III. Travaux en cours

EXPE/NUM

Modélisation de
l'essai de flexion



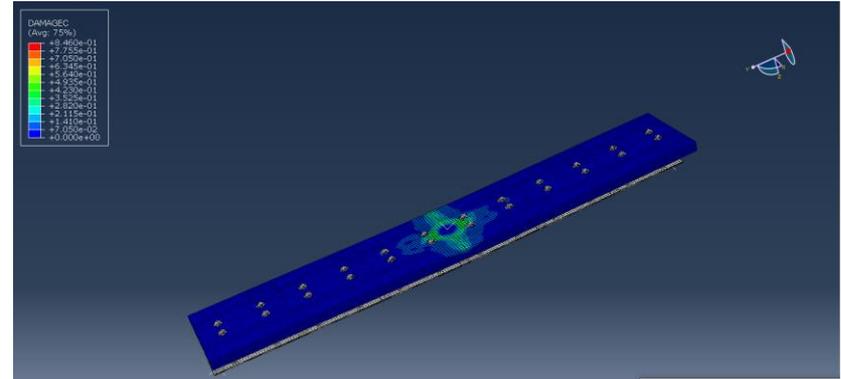
Fissure le long de la poutre au niveau de l'entraxe entre boulons



Endommagement de traction



Ecrasement de béton au milieu (expé)

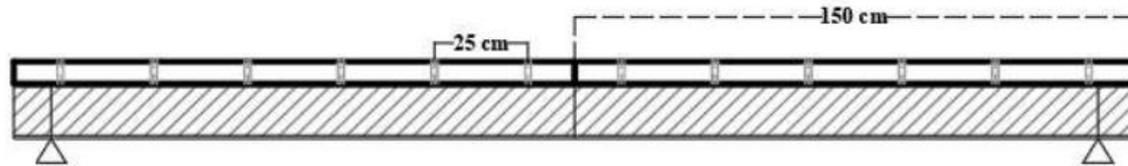


Endommagement de compression (numérique)

III. Travaux en cours

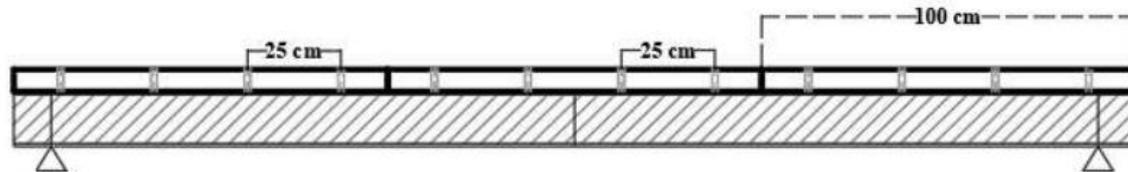
EXPE

Essais de flexion 2 blocs, 3 blocs, 6 blocs

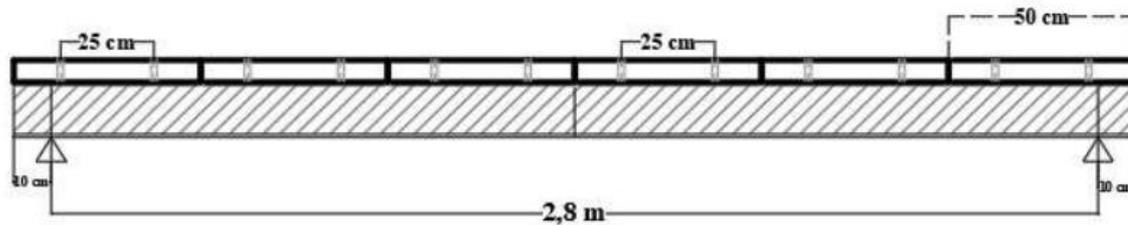


+ Essais push-out (épaisseurs de blocs, tailles de boulons)

→ $F_u = 174.6 \text{ kN}$



→ $F_u = 177 \text{ kN}$



+ Comportement vibratoire (accélérogrammes),
déflexion (confort)
Autres tailles de boulons, etc.

Bibliographie

- [1] Noone, Peter, Gary Klompmaker, and Crista Sumanik. "The high life: Residential towers in central business districts." *CTBUH J* 2 (2011): 36-41
- [2] Buitelaar, Peter, René Braam, and Niek Kaptijn. "Reinforced high performance concrete overlay system for rehabilitation and strengthening of orthotropic steel bridge decks." In *Orthotropic Bridge Conference, Sacramento, USA*, pp. 384-401. 2004.
- [3] Sameera Wijesiri Pathirana, Brian Uy, Olivia Mirza, Xinqun Zhu, Bolted and welded connectors for the rehabilitation of composite beams, *Journal of Constructional Steel Research* 125 (2016) 61–73
- [4] A.S.H. Suwaed and T.L. Karavasilis, Novel Demountable Shear Connector for Accelerated Disassembly, Repair, or Replacement of Precast Steel-Concrete Composite Bridges. *J. Bridge Eng.*, 2017, 22(9).
- [5] Y.B. Luo, J.B. Yan, Developments of prefabricated steel-concrete composite beams with novel steel-yielding demountable bolt connectors. *Journal of Constructional Steel Research* 190 (2022).
- [6] Patel, V. I., B. Uy, S. W. Pathirana, S. Wood, M. Singh, and B. T. Trang. "Finite element analysis of demountable steel-concrete composite beams under static loading." *Advanced Steel Construction* 14, no. 3 (2018): 392-411.
- [7] He, Jun, Ahmed SH Suwaed, George Vasdravellis, and Sihao Wang. "Behaviour and design of the 'lockbolt' demountable shear connector for sustainable steel-concrete structures." In *Structures*, vol. 44, pp. 988-1010. Elsevier, 2022.
- [6] Comité Euro-International du Béton. CEB-FIP model code 1990: Design code. Thomas Telford Publishing, 1993.

Annexe

Essai	F pression Ø [KN]	F écrasement de béton [KN]	F cisaillement des boulons [KN]	F _{exp} rupture [KN]	Mode du rupture observé
ABE-PO10-M12-	978,264	351,55	323,71	349,97	Rupture des tiges filetés
ABE-PO10-M12	978,264	346,29	323,71	382,45	Rupture des tiges filetés
ABE-PO6-M12	978,264	300	434,29	430,31	Ecrasement du béton +cisaillement
ABE-PO6-M12	978,264	357,16	434,29	400,86	Ecrasement du béton + après le cisaillement
ABE-PO6-M12	978,264	320,23	434,29	414,55	Petites fissures + rupture des boulons
ABE-PO6-M16	1304,352	693,64	694,82	652,05 (Filetée)	Ecrasement du béton +rupture d'un seul boulon
ABE-PO6-M16	1304,352	624,97	889,81	863,51 (Lisse)	Rupture par écrasement du béton
ABE-PO10-M12-F2	978,264	391,19	323,71	324,32	Rupture des 5 tiges filetés
ABE-PO10-M12-F2	978,264	363,88	323,71	350,78	Rupture des 3 tiges filetés
ABE-PO10-M16	1304,352	695,45	889,81	1016,2	Cisaillement des boulons