



HAL
open science

Techniques de modélisation multi-échelle de l'interface acier-béton pour le calcul de structures en béton armé à grande échelle

Maryam Trad, Ibrahim Bitar, Stéphane Grange, Benjamin Richard

► To cite this version:

Maryam Trad, Ibrahim Bitar, Stéphane Grange, Benjamin Richard. Techniques de modélisation multi-échelle de l'interface acier-béton pour le calcul de structures en béton armé à grande échelle. RUGC 2023 - Rencontres universitaires de génie civil / CFGC - Congrès Français de génie civil, AFGC - Association Française de Génie Civil, May 2023, Gif sur Yvette, France. hal-04165831

HAL Id: hal-04165831

<https://hal.science/hal-04165831>

Submitted on 19 Jul 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright

Techniques de modélisation multi-échelle de l'interface acier-béton pour le calcul de structures en béton armé à grande échelle

Maryam TRAD ^{1,2}, Ibrahim BITAR ¹, Stéphane GRANGE ², Benjamin RICHARD ¹

¹ Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), PSN-EXP/SES/LMAPS, B.P. 17 - 92262 Fontenay-aux-Roses Cedex, France

² Univ Lyon, INSA Lyon, GEOMAS, EA7495, 69621 Villeurbanne, France



IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE



INSA

INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
LYON

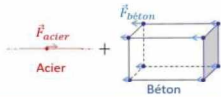
Plan de la présentation



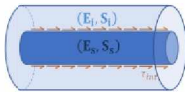
Description physique de l'adhérence – lois d'adhérence.



Essais expérimentaux : identification et caractérisation de l'interface acier-béton.



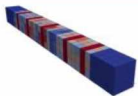
Stratégies de modélisation numérique de l'interface proposées dans la littérature.



Proposition d'une nouvelle stratégie de modélisation multi-échelle de l'interface : **principe**.



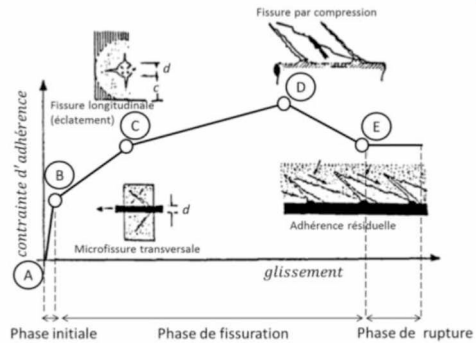
Proposition d'une nouvelle stratégie de modélisation multi-échelle de l'interface : **validation**.



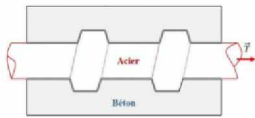
Proposition d'une nouvelle stratégie de modélisation multi-échelle de l'interface : **application**.

Bibliographie

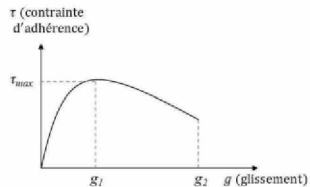
Description physique de l'interface



Frantzeskakis (1987)



Torre-Casanova (2012)



$$\tau = k_1 g - k_2 g^2 + k_3 g^3$$

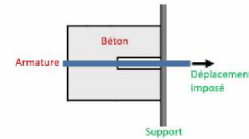
Nilson (1968)

Essais de caractérisation

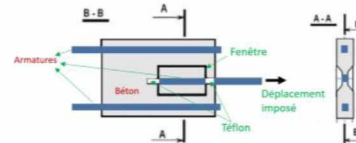
Essais sur des tirants Clément (1987)



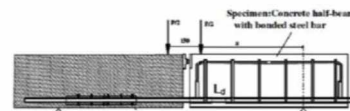
Essais de pull-out Dahou et al. (2009)



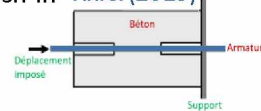
Essai PIAF Tran et al. (2009)



Essais de poutres Dancygier et Katz (2012)



Essais push-in Tixier (2015)

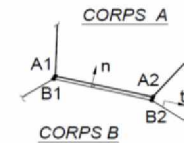


Modélisation

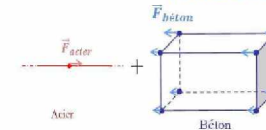
Ressorts Ngo et Scordelis (1967)



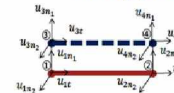
Élément dégénérés Dominguez (2005)



Forces intérieures Torre-Casanova (2012)



Acier 1D/béton 3D Mang (2015)



Homogénéisation Sellier et Millard (2019)



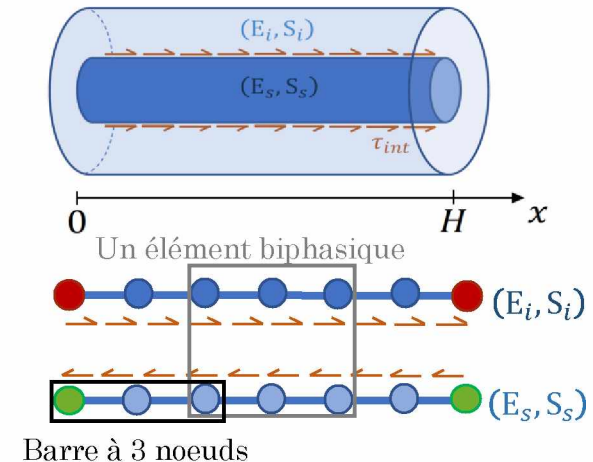
Proposition d'une nouvelle stratégie de modélisation de l'interface

Motivations

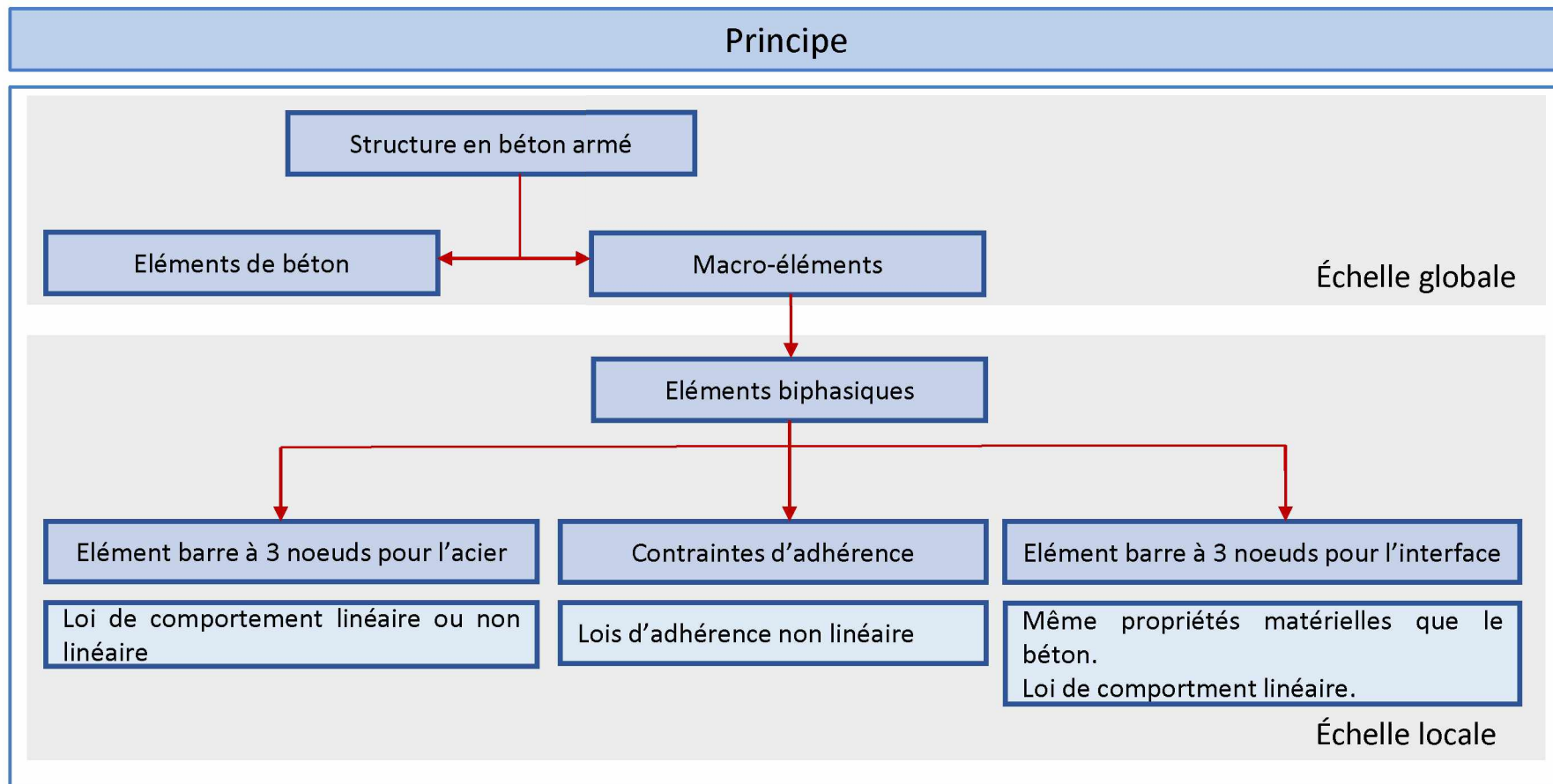
- La prise en compte de la dégradation de l'interaction acier-béton est importante pour une bonne représentation de la fissuration et une meilleure estimation de la dissipation d'énergie matérielle.
- Une description fine du comportement d'interface à l'échelle d'un bâtiment industriel avec les modèles existants reste toujours fastidieuse.

Principe

- Le macro-élément en question est un élément acier + gaine d'interface.
- Chaque colonne de l'élément biphasique est un assemblage d'éléments barres à trois noeuds.
- Entre les deux colonnes on peut avoir une loi d'adhérence acier-béton non linéaire.

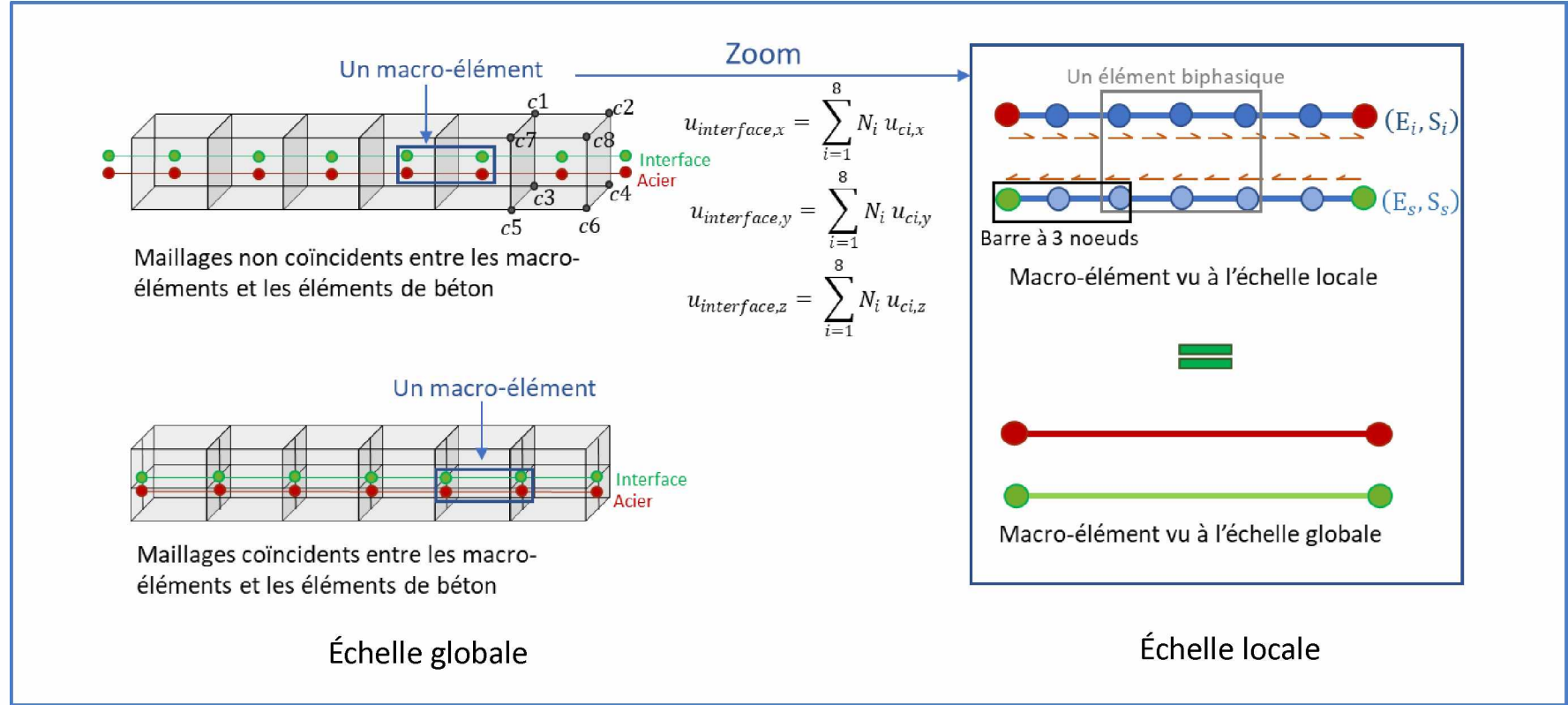


Proposition d'une nouvelle stratégie de modélisation de l'interface



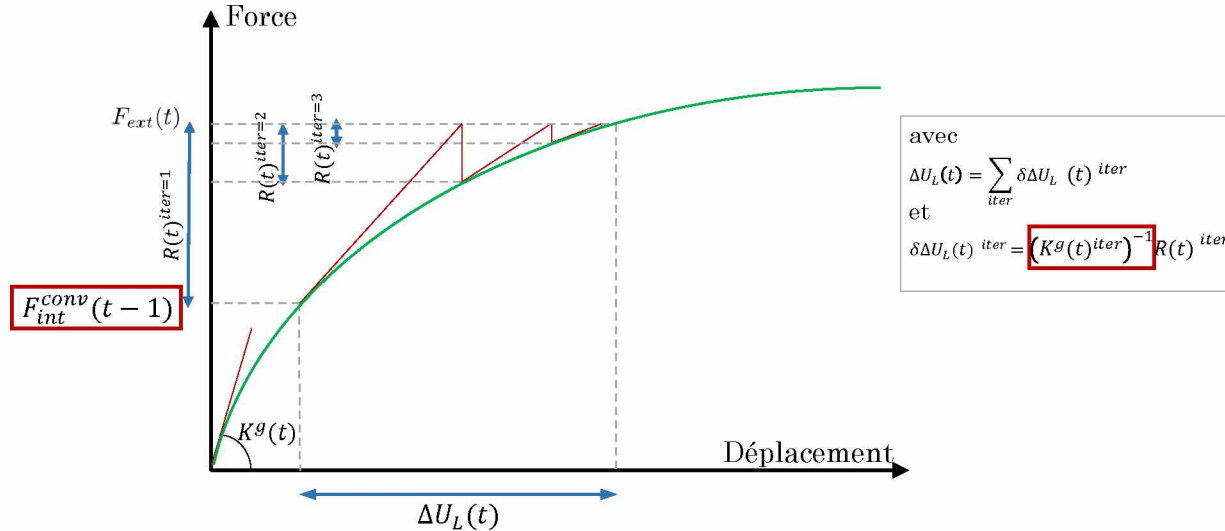
Proposition d'une nouvelle stratégie de modélisation de l'interface

Principe



Proposition d'une nouvelle stratégie de modélisation de l'interface

Principe

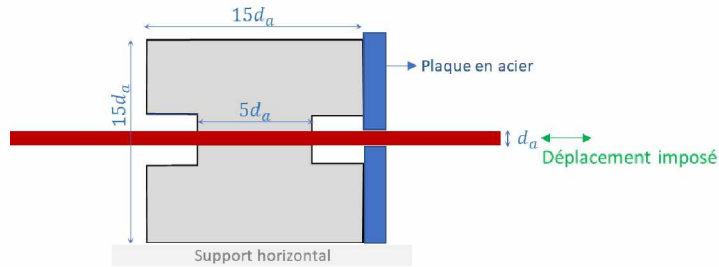


- Lors du calcul de F_{int} et k un algorithme local est appelé pour établir l'équilibre du macro-élément (effort interne au niveau des nœuds internes = 0).
- Une technique de condensation statique est utilisée pour condenser la matrice de rigidité du macro-élément au niveau des 4 nœuds de bord).

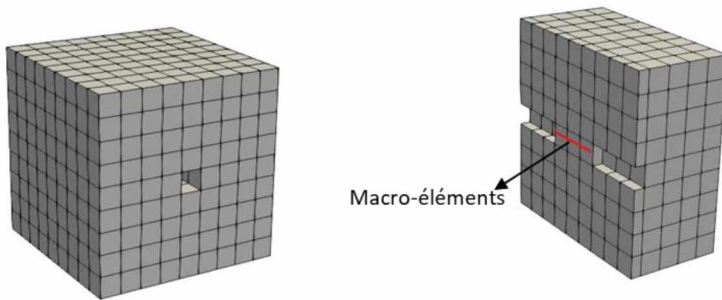
Validation de l'approche

Essai de pull-out de Torre-Casanova 2012

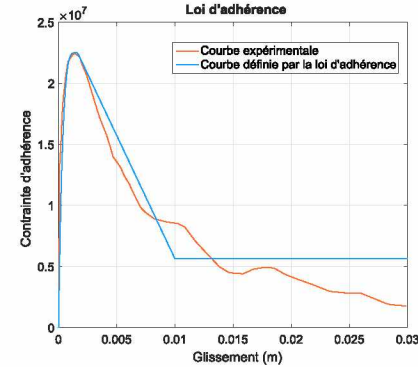
Principe



Maillage



Paramètres matériaux

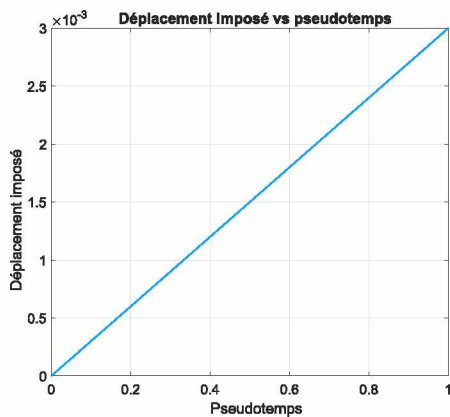


Paramètres béton	Description	Valeur	Unité
E_c	Module d'Young	28	GPa
ν_c	Coefficient de poisson	0.22	—
f_t	Résistance à la traction	3.12	MPa
ε_{d0}	Seuil de déformation	1.1143×10^{-4}	—
A_t	Paramètre de la loi de Mazars	Pas utilisé – loi régularisée	—
B_t	Paramètre de la loi de Mazars	Régularisé	—
A_c	Paramètre de la loi de Mazars	1.1	—
B_c	Paramètre de la loi de Mazars	700	—
β	Paramètre de la loi de Mazars	1.06	—
G_f	Energie de fissuration	150	J/m ³
Paramètre acier	Description	Valeur	Unité
E_a	Module d'Young	200	GPa

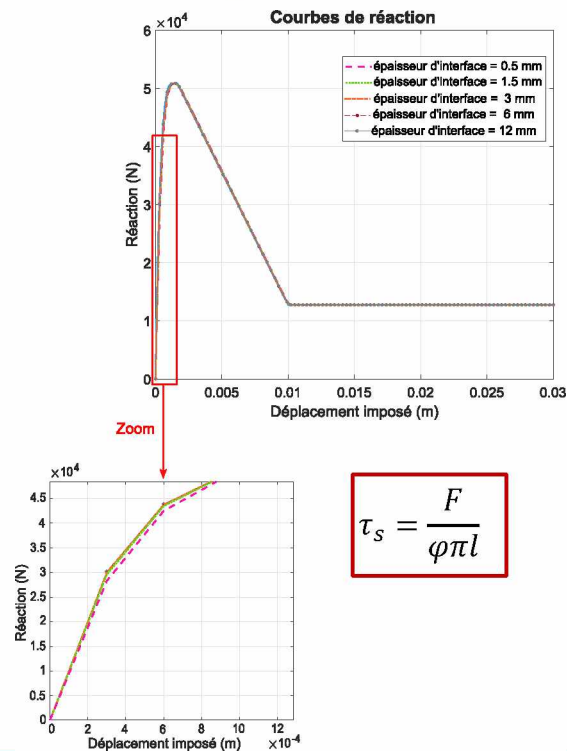
Validation de l'approche

Essai de pull-out de Torre-Casanova 2012

Chargement

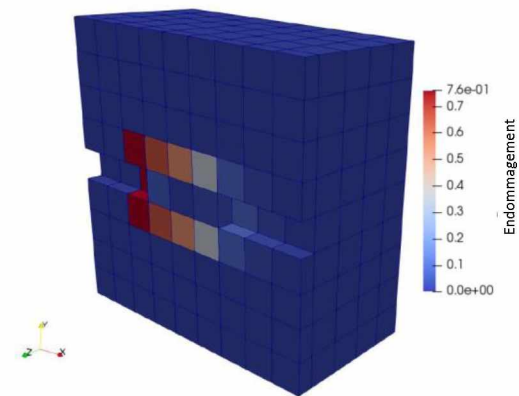


Réaction



$$\tau_s = \frac{F}{\phi \pi l}$$

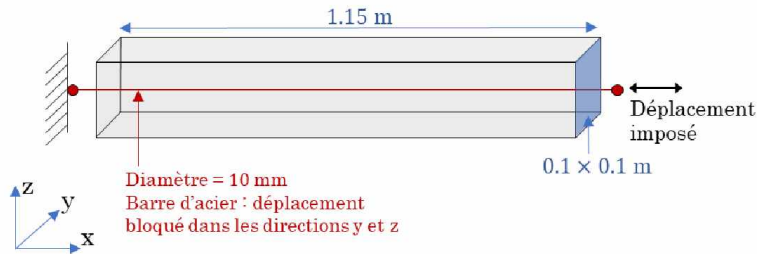
Endommagement



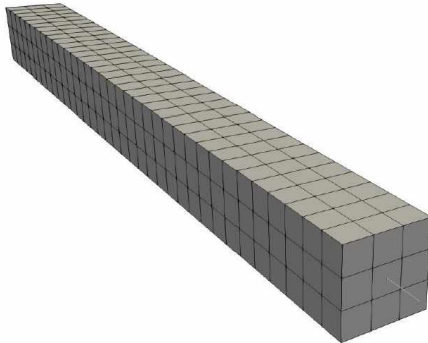
Exemple d'application

Essai de tirant de Farra 1995

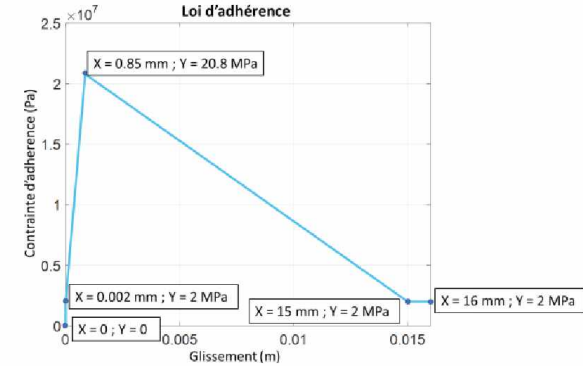
Principe



Maillage



Paramètres matériaux

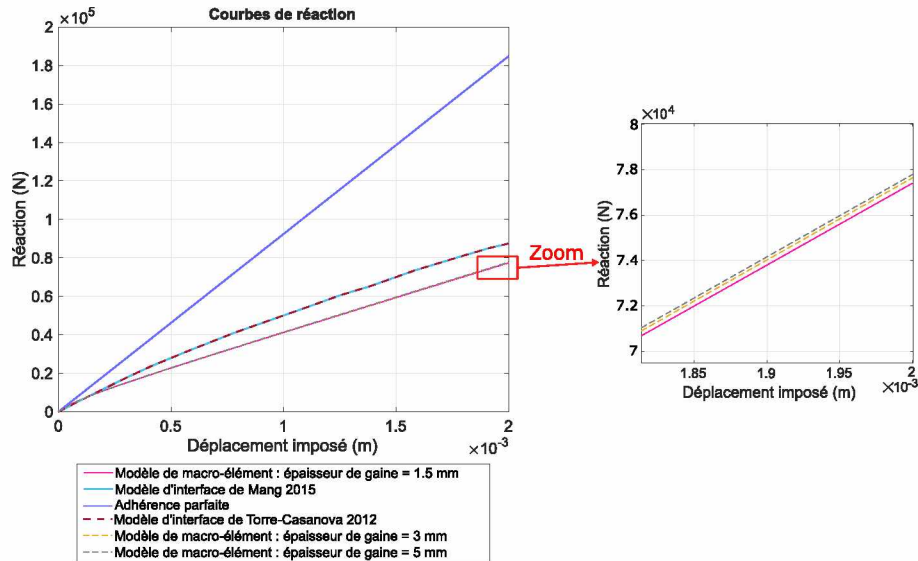


Paramètres béton	Description	Valeur	Unité
E_c	Module d'Young	30.4	GPa
ν_c	Coefficient de poisson	0.22	—
f_t	Résistance à la traction	2.6	MPa
ε_{d0}	Seuil de déformation	8.5526×10^{-5}	—
A_t	Paramètre de la loi de Mazars	Pas utilisé – loi régularisée	—
B_t	Paramètre de la loi de Mazars	Régularisé	—
A_c	Paramètre de la loi de Mazars	1.2	—
B_c	Paramètre de la loi de Mazars	700	—
β	Paramètre de la loi de Mazars	1.06	—
G_f	Energie de fissuration	150	J/m ³
Paramètre acier	Description	Valeur	Unité
E_a	Module d'Young	200	GPa

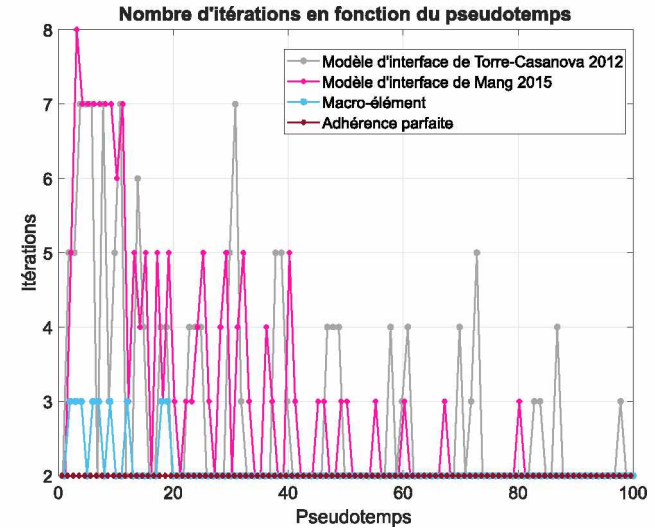
Exemple d'application

Essai de tirant de Farra 1995 – simulations avec du béton linéaire

Réactions



Nombre d'itérations

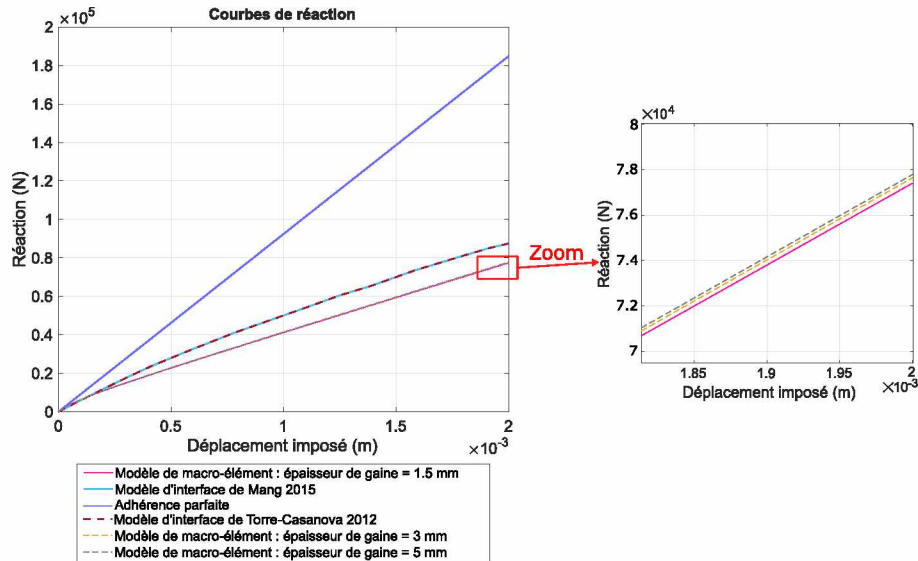


Modèle	Adhérence parfaite	Torre-Casanova 2012	Mang 2015	Macro-élément
Itérations	200	289	299	209

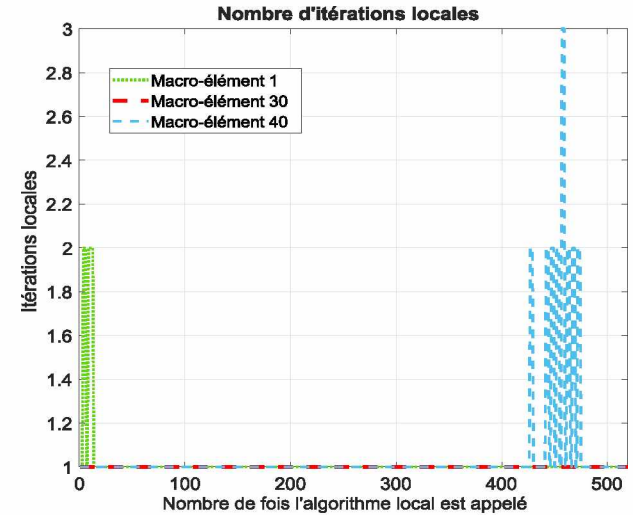
Exemple d'application

Essai de tirant de Farra 1995 – simulations avec du béton linéaire

Réactions



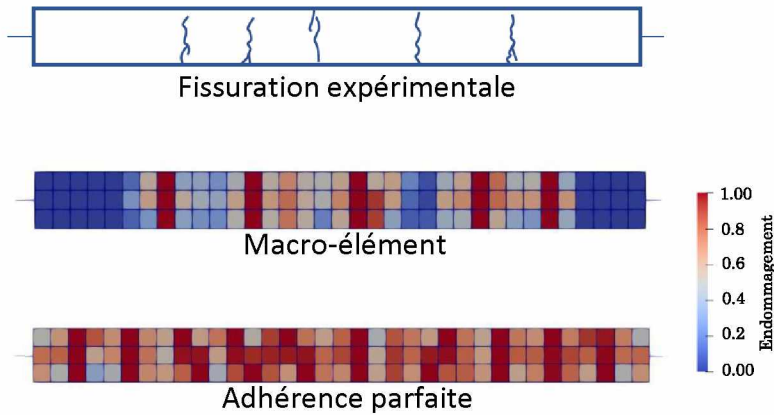
Nombre d'itérations



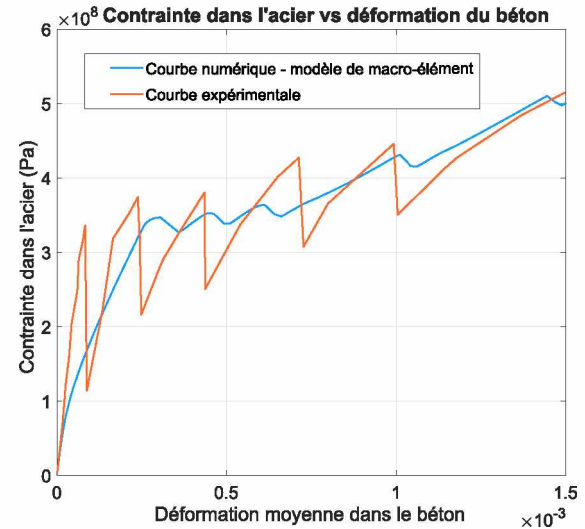
Exemple d'application

Essai de tirant de Farra 1995 – simulations avec du béton non linéaire

Endommagement



Courbes numérique – expérimentale



Conclusions

- Le grand intérêt de l'approche proposée pour la modélisation de l'interface acier-béton est qu'elle consiste à modéliser l'acier et l'interface acier-béton avec un seul élément fini, ce qui rend plus pratique l'introduction de l'étude de l'interface dans un calcul aux éléments finis.
- Cette méthode est une approche multi-échelle avec laquelle l'ensemble acier+béton est vu de l'extérieur comme un élément d'ensemble.
- L'introduction des contraintes de frottement est faite au niveau local au sein de l'élément. Les exemples étudiés montrent la robustesse du modèle et sa capacité à reproduire le comportement expérimental de l'interface.

Travaux à court terme

- Prise en compte du comportement d'interface acier-béton au sein d'éléments semi-globaux de poutres et de plaques.

Merci pour votre écoute !

Références

- C. Frantzeskakis. Contribution à la modélisation des structures en béton armé par la méthode des éléments finis, Ecole nationale des ponts et chaussées, thèse- 1987.
- A. Torre-Casanova. Prise en compte de la liaison acier-béton pour le calcul de structures industrielles, Ecole normale supérieure de Cachan - ENS Cachan, thèse-2012.
- A.H. Nilson. Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete by the Finite Element Method, ACI Journal, vol 65, p. 757-766, Septembre 1968.
- J.-L. Clément. Interface acier-béton et comportement des structures en béton arme : caractérisation, modélisation, Université Paris 6, 1987.
- Z. Dahou, Z.M. Sbarta, A. Castel, F. Ghomari. Artificial neural network model for steel-concrete bond prediction, Engineering structures vol 31, p. 1724-1733, 2009.
- B.H. Tran, Y. Berthaud, F. Ragueneau. Essai PIAF: pour identifier l'adhérence et le frottement, AUGC XXVIIeme Rencontres Universitaires de Genie Civil, 2009.
- A. Tixier. Analyse du comportement de l'interface acier-béton par essai push-in. Mesures par fibres optiques et modélisation par éléments finis, Université de Grenoble, thèse-2013.
- D. Ngo, A. C. Scordelis. Finite Element Analysis of Reinforced concrete beams ACI Journal, Mars 1967.
- H. W. Reinhardt, J. Blaauwendraad, E. Vos. Prediction of bond between steel and concrete by numerical analysis Matériaux et Constructions, 2004.
- N. Dominguez Ramirez. Etude de la liaison acier-béton: De la modélisation du Phénomène à la Formulation d'un Elément Fini Enrichi "Béton-Armé", Laboratoire de mécanique et technologie, Ecole normale supérieure de Cachan - ENS Cachan, thèse-2005.
- C. Mang. Modélisation de la liaison acier-béton dans le calcul de structures en béton armé, Université Paris Ouest, thèse- 2015.
- A. Sellier, A. Millard. A homogenized formulation to account for sliding of non-meshed reinforcements during the cracking of brittle matrix composites: Application to reinforced concrete, Engineering Fracture Mechanics vol 213, p. 182-196, 2019.
- B. Farra. Influence de la résistance du béton et de son adhérence avec l'armature sur la fissuration, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, thèse-1995.