



Analyse des structures par optimisation convexe : application aux charpentes métalliques

Chadi El Boustani, Jeremy Bleier, Karam Sab, Mathieu Arquier, Mohammed
Khalil Ferradi

► To cite this version:

Chadi El Boustani, Jeremy Bleier, Karam Sab, Mathieu Arquier, Mohammed Khalil Ferradi. Analyse des structures par optimisation convexe : application aux charpentes métalliques. 14ème colloque national en calcul des structures, CSMA 2019, May 2019, Giens, France. hal-02164718

HAL Id: hal-02164718

<https://enpc.hal.science/hal-02164718>

Submitted on 25 Jun 2019

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.



UNIVERSITÉ
—PARIS-EST

IFSTAR

STRAINS

Analyse des structures par optimisation convexe

Application aux charpentes métalliques

C. El Boustani ^{a,b}, J. Bleyer ^a, K. Sab ^a, M. Arquier ^b, M-K. Ferradi ^b

^a Laboratoire Navier, ENPC, IFSTAR, CNRS UMR 8205, Marne-La-Vallée, France

^b Strains, Paris, France



École des Ponts

ParisTech



Navier

Introduction

Contexte industriel : Développement d'outils de calcul performants et fiables au sein de Strains.

Enjeux :

- Dimensionnement d'assemblages 3D de charpente métallique complexes couplant plusieurs non-linéarités (matérielles et de contact).
- Besoin de calculs robustes et efficaces pour les ingénieurs du génie civil.

Méthodologie :

- Estimation des charges de ruine par le calcul à la rupture/analyse limite.
- Résolution de problèmes d'optimisation convexe.
- Extension aux calculs élastoplastiques



Problèmes de minimisation

Cas des matériaux standards généralisés exprimés à l'aide de deux pseudo-potentiels duaux :

$$\varphi(\boldsymbol{\varepsilon}) + \varphi^*(\boldsymbol{\sigma}) - \boldsymbol{\sigma} : \boldsymbol{\varepsilon} \geq 0$$

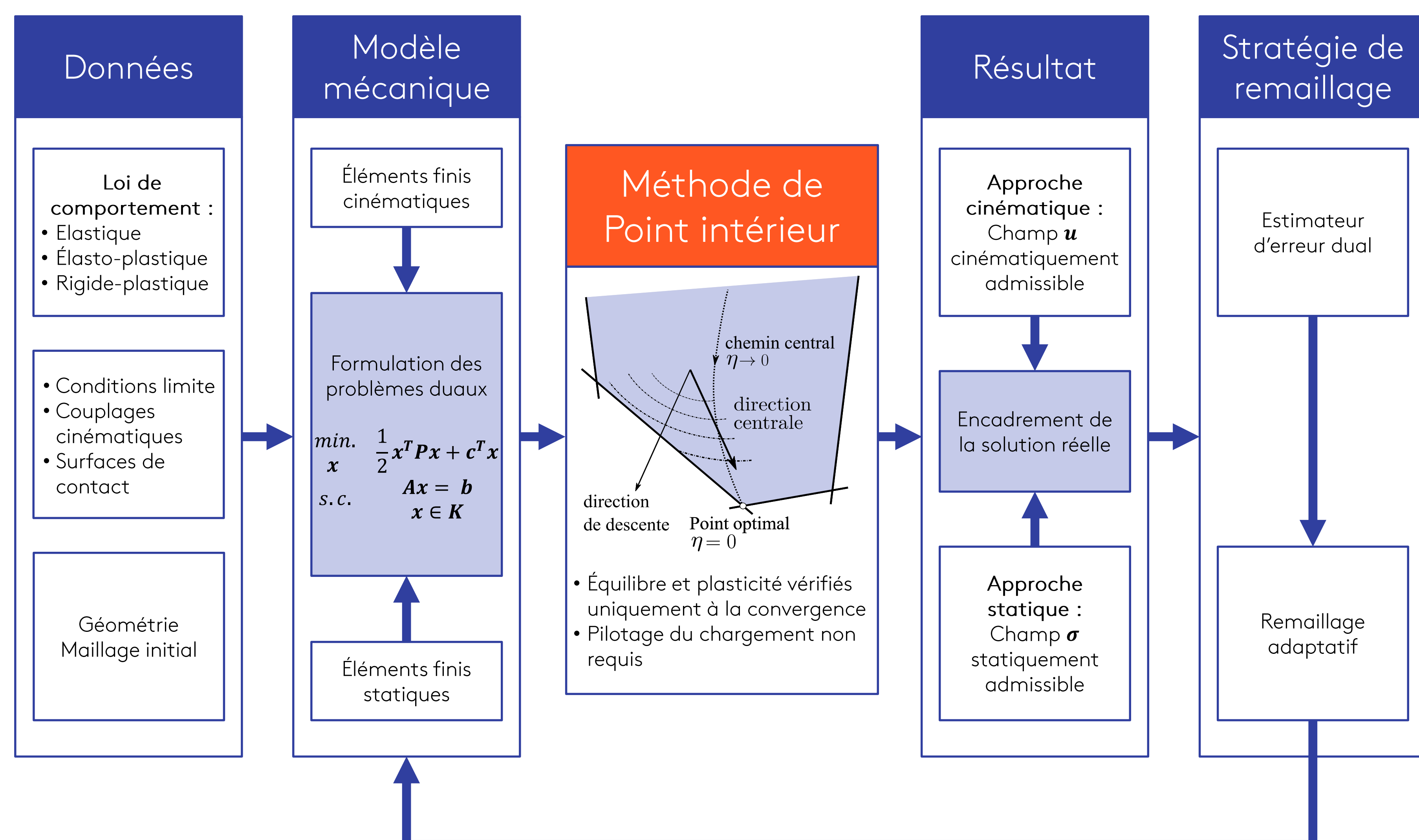
Définition de deux fonctionnelles d'énergie potentielle et complémentaire :

$$\Pi_p(\mathbf{u}) = \int_{\Omega} \varphi(\boldsymbol{\varepsilon}) d\Omega - \int_{\Omega} \mathbf{b} \cdot \mathbf{u} d\Omega - \int_{\Gamma_t} \mathbf{t}_d \cdot \mathbf{u} d\Gamma \quad \text{et} \quad \Pi_c(\boldsymbol{\sigma}) = \int_{\Omega} \varphi^*(\boldsymbol{\sigma}) d\Omega - \int_{\Gamma_u} (\boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{n}) \cdot \mathbf{u}_d d\Gamma$$

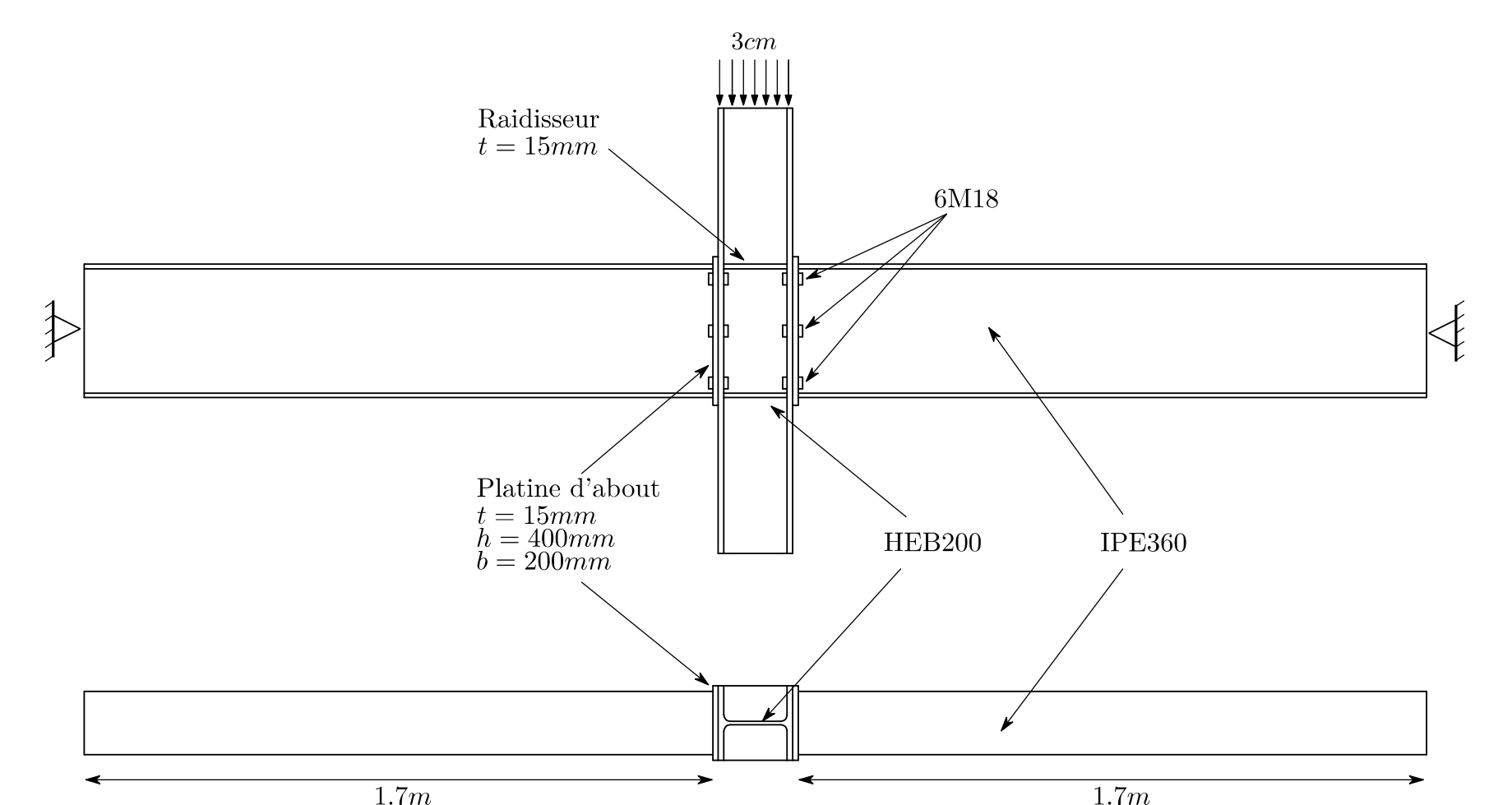
Définition de deux problèmes de minimisation duaux :

(EP)	$\min_{\mathbf{u}}$	$\Pi_p(\mathbf{u})$	(EC)	$\min_{\boldsymbol{\sigma}}$	$\Pi_c(\boldsymbol{\sigma})$
	s.c.	$\mathbf{u}$ cinématiquement admissible		s.c.	$\boldsymbol{\sigma}$ statiquement admissible
		+conditions coniques			+conditions coniques

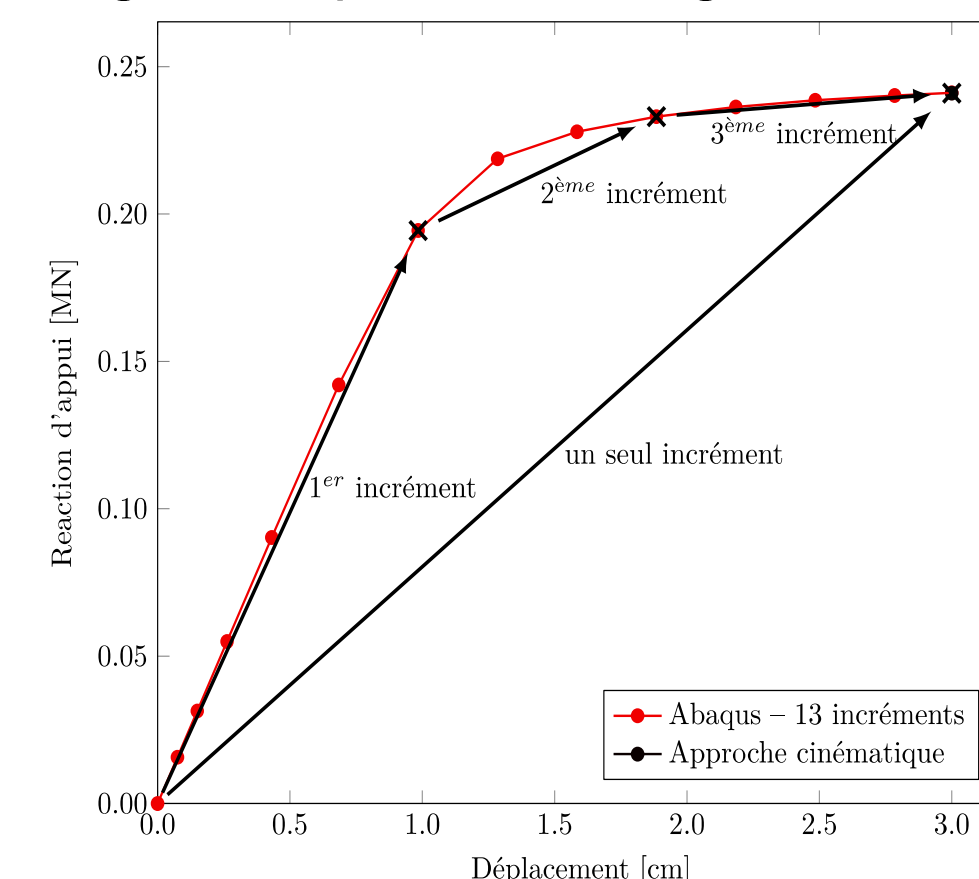
Structure de l'algorithme



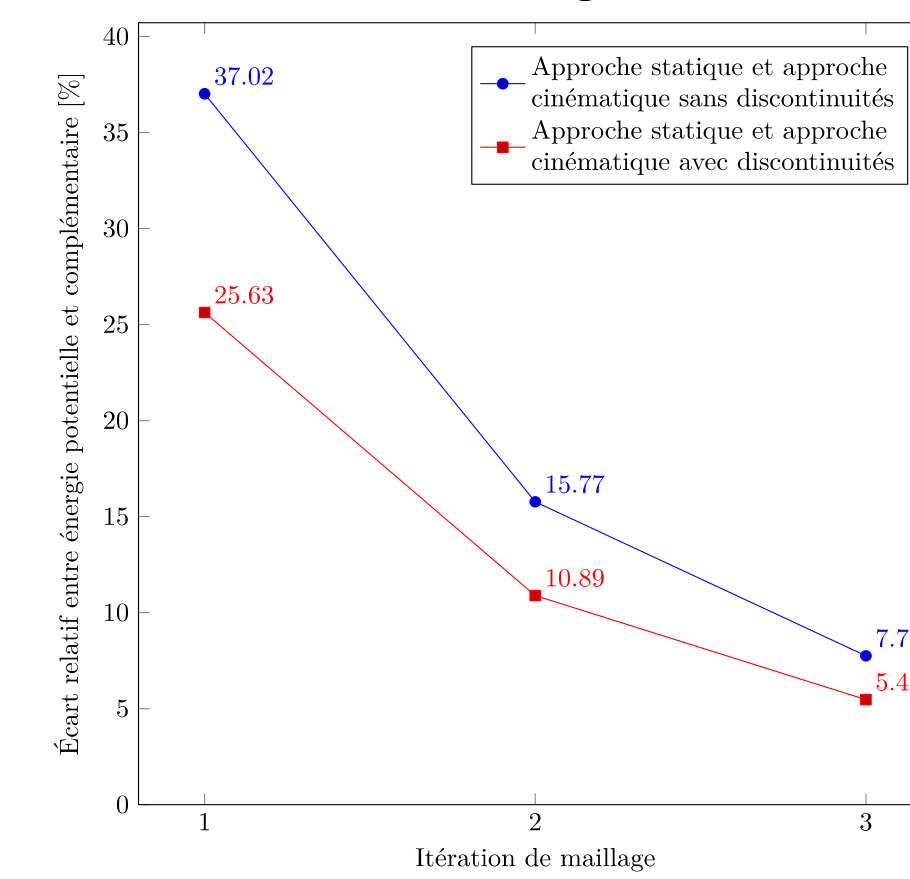
Analyse élastoplastique



Robustesse vis-à-vis des grands pas de chargements



Convergence au bout de 2 remaillages

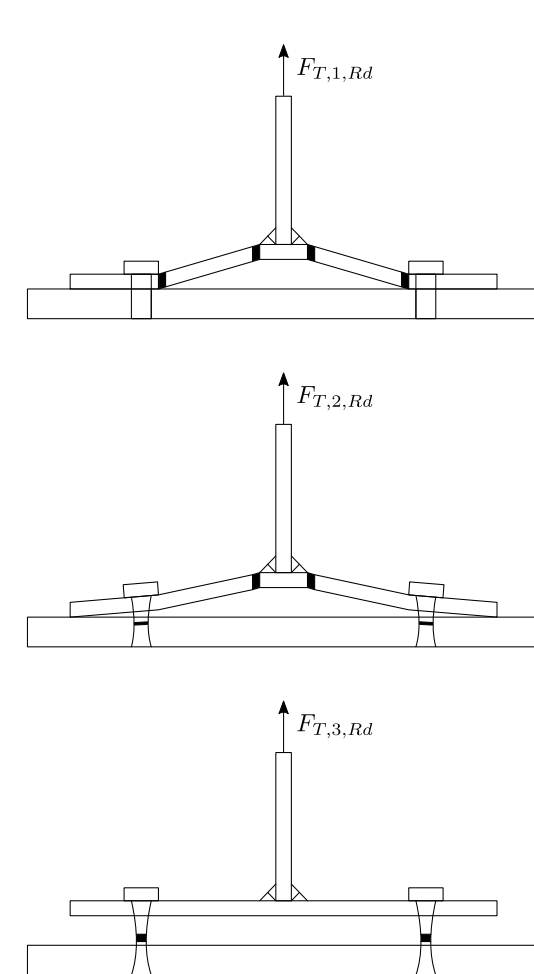
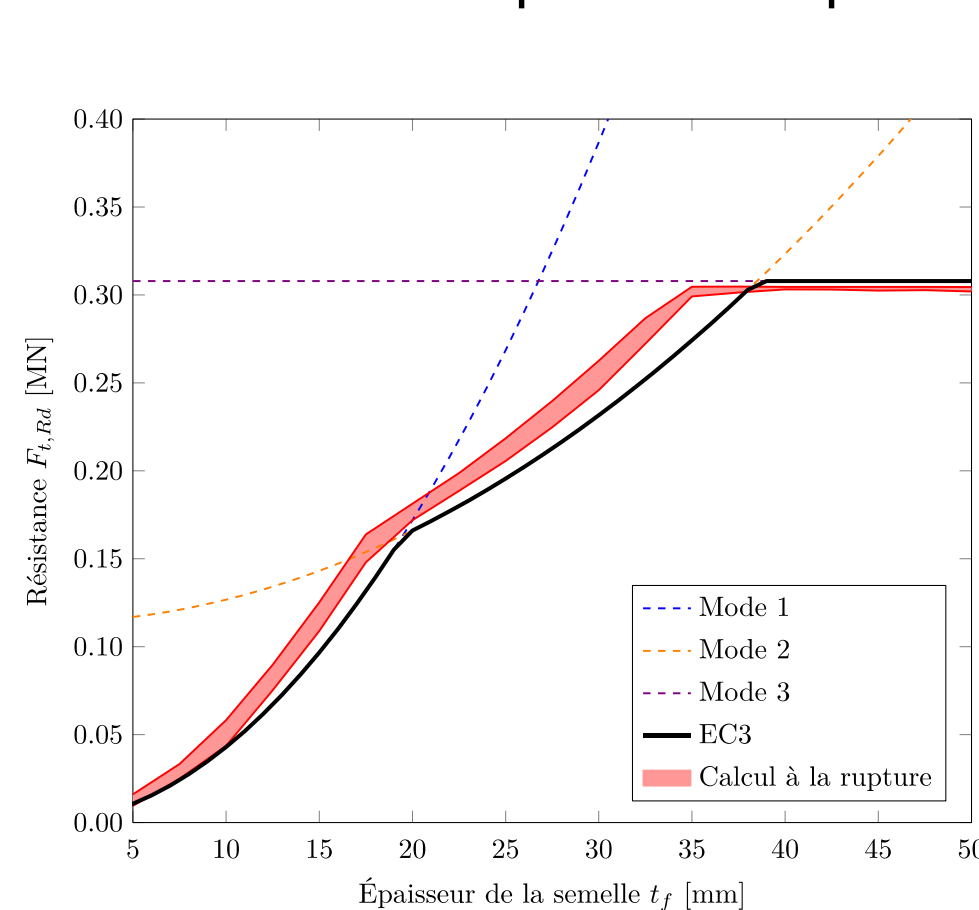


90 itérations (13 incréments) avec Abaqus contre 21 itérations (1 incrément) avec le point intérieur $\Rightarrow$ **Réduction du nombre d'itérations**
Réduction du temps de calcul d'un facteur 4

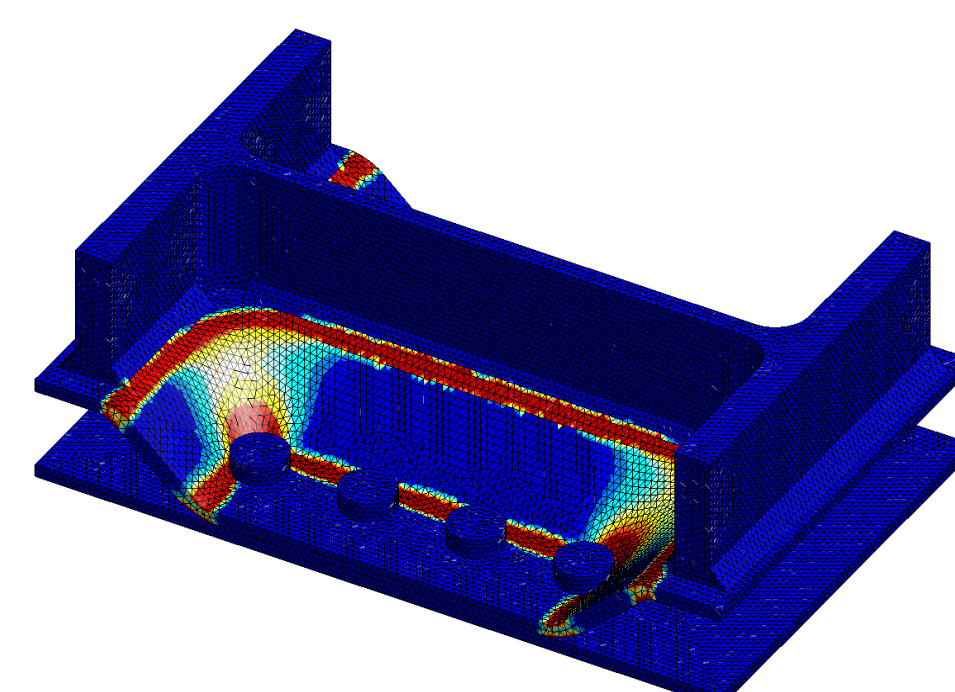
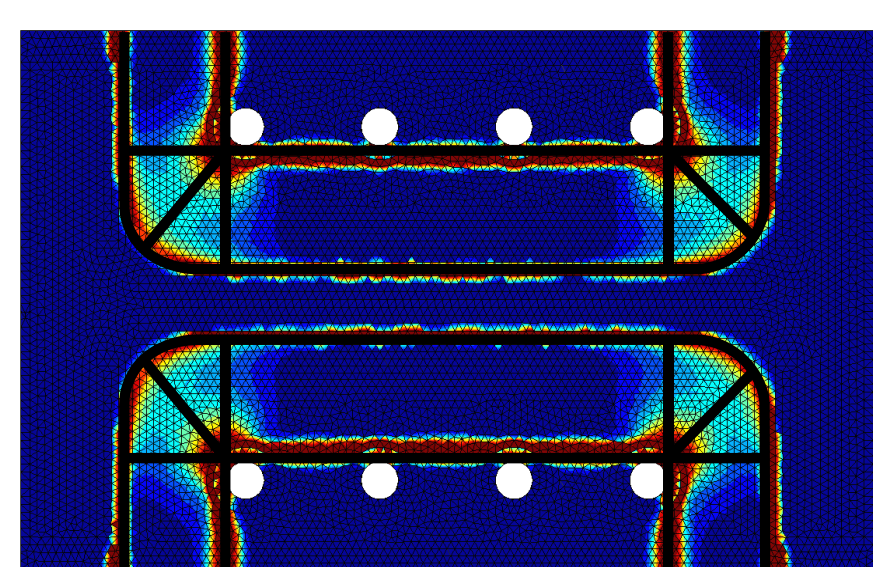
Résistance ultime d'assemblages

Confrontation aux calculs manuels de l'Eurocode 3 : détermination du mode de ruine critique

Adéquation entre les modes de ruine et les valeurs ultimes prescrites par l'EN1993-1-8



Détermination des mécanismes de ruine pour des assemblages plus complexes



Écart d'environ de 15% par rapport à la résistance calculée par la méthode des composantes de l'Eurocode 3.

Conclusion

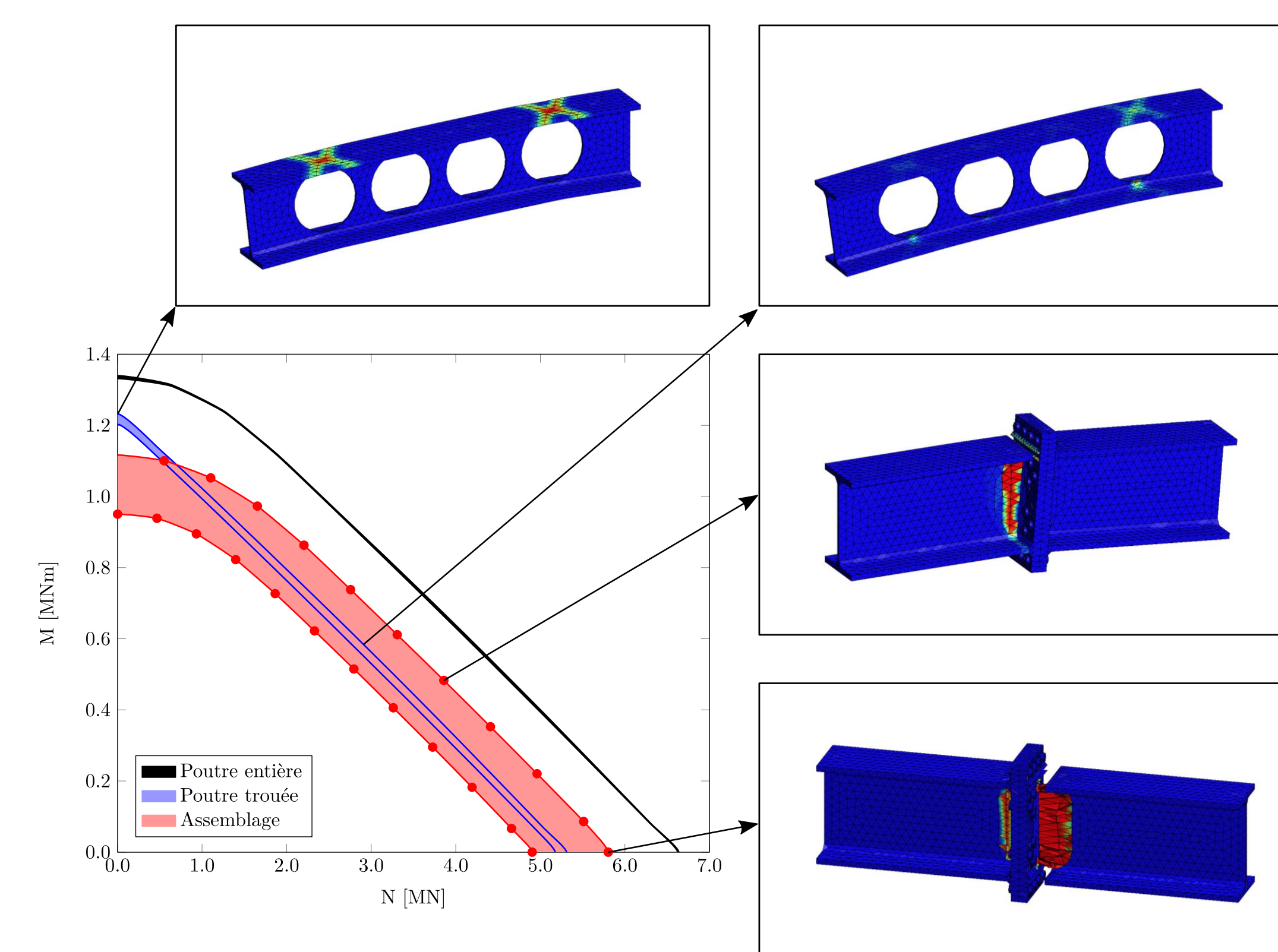
La méthode de point intérieur :

- montre une meilleure robustesse vis-à-vis des problèmes non linéaires convexes, et une convergence certaine.
- permet d'obtenir un formalisme général où divers comportement de matériaux peuvent être gérés efficacement.
- est bien adaptée pour les problèmes à seuil où les matrices tangentes sont singulières.

Cette méthode est implémentée au sein du logiciel DS-Steel de Strains spécialisé dans le calcul et la vérification d'assemblages. Plusieurs extensions sont en cours pour inclure les non-linéarités géométriques ou différents comportement de matériaux.

Diagramme d'interaction

Diagramme d'interaction à deux paramètres N et M pour un assemblage de continuité.



Temps de calcul : **600s à 700s** par approche et par chargement pour un système d'environ **500 000** degrés de liberté.

Références :

- [1] G. De Saxcé et Z.-Q. Feng, « The bipotential method: A constructive approach to design the complete contact law with friction and improved numerical algorithms », *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 28, n° 4, p. 225-245, août 1998.
- [2] E. D. Andersen, C. Roos, et T. Terlaky, « On implementing a primal-dual interior-point method for conic quadratic optimization », *Mathematical Programming*, vol. 95, n° 2, p. 249-277, févr. 2003.
- [3] Y. E. Nesterov et M. J. Todd, « Primal-dual interior-point methods for self-scaled cones », *SIAM Journal on optimization*, vol. 8, n° 2, p. 324-364, 1998.
- [4] J. P. M. de Almeida et E. A. W. Maunder, *Equilibrium Finite Element Formulations*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2017.
- [5] P. Ladevèze et J. P. Pelle, *Mastering calculations in linear and nonlinear mechanics*. New York: Springer Science, 2005.
- [6] Y. Kanno, *Nonsmooth mechanics and convex optimization*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2011.