



HAL
open science

Etude de la réponse numérique des ponts roulants exposés aux chocs répétés au cours d'un séisme

Fatima Fekak, Anthony Gravouil, Michael Brun, Bruno Depale

► To cite this version:

Fatima Fekak, Anthony Gravouil, Michael Brun, Bruno Depale. Etude de la réponse numérique des ponts roulants exposés aux chocs répétés au cours d'un séisme. 12e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2015, Giens, France. hal-01517294

HAL Id: hal-01517294

<https://hal.science/hal-01517294>

Submitted on 3 May 2017

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.

Public Domain

ETUDE DE LA REPONSE NUMERIQUE DES PONTS ROULANTS EXPOSES AUX CHOCS REPETES AU COURS D'UN SEISME

F. Fekak¹, A. Gravouil², M. Brun³, B. Depale¹

¹ Pôle Innovation Conception Simulation, Cetim, {fatima-ezzahra.fekak, bruno.depale}@cetim.fr

² LaMCoS, université de Lyon, INSA-Lyon, IUF, anthony.gravouil@insa-lyon.fr

³ LGCIE, université de Lyon, INSA-Lyon, michael.brun@insa-lyon.fr

Résumé — Pendant un séisme, un pont roulant est exposé à des chocs multiples. Afin de modéliser ces phénomènes, une analyse dynamique temporelle avec une approche multi-échelle est adoptée. Pour prendre en compte l'aspect haute fréquence des chocs, un schéma temporel explicite dédié au contact est utilisé. Un schéma temporel implicite est adopté sur le reste de la structure compte tenu de la durée des excitations sismiques. Pour le couplage numérique, un schéma hétérogène asynchrone est appliqué.

Mots clés — séisme, levage, pont roulant, contact, couplage hétérogène asynchrone.

1 Contexte industriel et scientifique

1.1 Problématique du pont roulant

Les systèmes de levage tels que les ponts roulants constituent des systèmes mobiles vibrants, de masses importantes et qui sont positionnés en hauteur dans les bâtiments qu'ils équipent.

Actuellement, les méthodes classiques de dimensionnement de ces équipements sous séismes s'appuient sur une représentation modale des structures, associée à l'utilisation des spectres de réponse. Cette méthode, qui suppose la linéarité des comportements qu'ils soient géométriques (petites déformations et petits déplacements), matériels (matériau élastique) ou à l'interface (pas de chocs), peut conduire à des efforts sismiques, excessifs pour le dimensionnement du pont roulant. Il devient alors nécessaire d'avoir recours à des approches de modélisations plus riches, notamment avec l'introduction des chocs verticaux entre les différents galets du pont roulant et les rails, et des chocs horizontaux dûs aux dispositifs de guidage.

La qualification de ces structures, vis-à-vis des sollicitations sismiques d'intensité croissante, nécessite donc des moyens de simulation renforcés, capable d'éviter une surestimation des efforts de dimensionnement, sous peine d'être dans l'impossibilité de construire. Par conséquent, l'utilisation des techniques de calculs temporels non linéaires des engins de levage, en considérant des accélérogrammes représentatifs de l'aléa sismique, est devenue systématique.

L'objectif est donc d'établir un modèle de pont roulant réaliste, en intégrant les amortissements internes du système ainsi que les chocs verticaux et horizontaux survenant lors des décollements des galets du pont roulant pendant le séisme. Pour cela, une analyse numérique non linéaire est nécessaire.

Deux aspects seront étudiés. Le premier aspect concerne la caractérisation de la réponse du système aux chocs. Le second aspect est le choix de l'amortissement physique qu'il convient de prendre en compte au sein des simulations pour reproduire au mieux les énergies mécaniques dissipées.

1.2 Exemple de modélisation d'un pont roulant

La figure 1 présente un pont roulant dit bi-poutre. La structure principale d'un pont roulant se constitue de deux poutres principales, deux sommiers et d'un chariot.

Un pont roulant est régi par trois mouvements principaux : le mouvement du chariot (direction) sur les poutres principales, la translation du pont roulant entier sur les rails du bâtiment et le mouvement de levage de la charge grâce au treuil embarqué sur le chariot

Compte tenu de leurs structures élancées, les ponts roulants sont habituellement modélisés par des

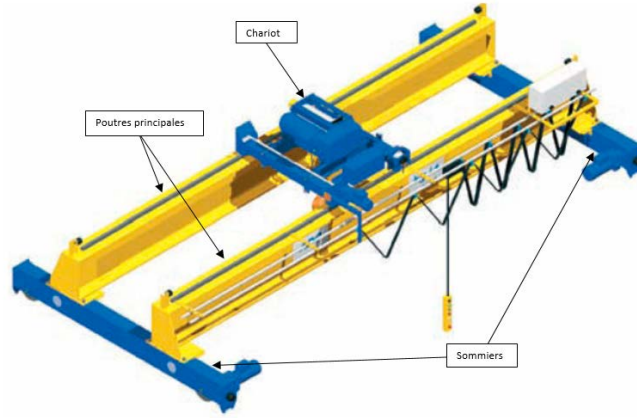


FIGURE 1 – Pont roulant bi-poutre

poutres. La figure 2 présente un exemple de modélisation d'un pont roulant bi-poutre, ainsi que les zones potentielles de contact sur le pont.

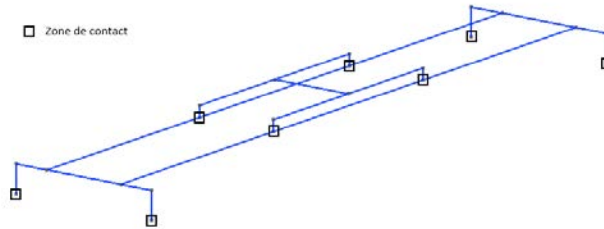


FIGURE 2 – Modélisation de type poutre d'un pont roulant bi-poutre

1.3 Méthode et stratégie numérique

A cause des chocs auxquels est exposé le pont roulant pendant le séisme, plusieurs échelles de temps coexistent au sein de ce problème. Une stratégie multi-échelle en temps est donc adoptée. Cette méthode permet de choisir le schéma temporel le mieux adapté à la physique du sous-domaine considéré.

Par conséquent, pour prendre en compte l'aspect haute fréquence des chocs, un schéma temporel explicite dédié au contact est utilisé dans les zones de contact. Un schéma temporel implicite associé à des pas de temps importants est adopté sur le reste de la structure compte tenu de la durée des excitations sismiques. Le couplage est assuré par un schéma hétérogène asynchrone. Parmi ces méthodes de couplage, on trouve la méthode de décomposition en sous-domaines proposée par Gravouil et Combescure [4].

2 Modélisation du contact en dynamique

2.1 Formulation locale en vitesse

Dans un premier temps, nous allons nous intéresser au cas d'un contact unilatéral sans frottement entre deux corps Ω_1 (galet) et Ω_2 (rail). On appelle Γ_C la surface de contact entre les deux solides. En dynamique, la formulation du contact unilatéral, en vitesse, s'écrit sur la surface de contact Γ_C comme suit ([1] et [2]) :

$$\begin{cases} \dot{g}_N &= [v_2 - v_1] \cdot n_1 \geq 0 \\ t_N^\alpha &= \underline{\underline{\sigma}}_\alpha : n_\alpha ; n_\alpha \leq 0 \\ \dot{g}_N \cdot t_N^\alpha &= 0 \end{cases}, \quad \alpha = 1, 2 \quad (1)$$

n_α désigne la normale extérieure à la surface de contact Γ_α , et $\underline{\underline{\sigma}}_\alpha$ désigne le tenseur de contrainte de Cauchy existant dans le domaine Ω_α .

La première inéquation de (1) représente la condition de non-pénétration des deux solides en contact. La deuxième inéquation indique que les efforts normaux dus au contact ne peuvent correspondre qu'à de la compression. La dernière équation, appelée condition de complémentarité, traduit le fait qu'en un point il y a soit contact ($g_N = 0$), soit décollement ($t_N = 0$).

2.2 Algorithme de la différence centrée pour un problème de contact unilatéral

Dans le cas d'utilisation des multiplicateurs de Lagrange, la forme discrétisée du problème s'écrit ([1] et [2]) :

$$\begin{cases} M\dot{U} + F_{int} = F_{ext} + L_C^T \lambda \\ L_C \dot{U} \geq 0 \\ \lambda \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

L_C est la matrice booléenne de liaison entre les points en contact, λ est le vecteur des multiplicateurs de Lagrange.

Pour résoudre le problème discrétisé (2), nous allons utiliser l'algorithme explicite de la différence centrée. Les équations correspondantes à ce schéma sont ([2] et [6]) :

$$\begin{cases} \dot{U}_{n+\frac{1}{2}} &= \dot{U}_n + \frac{\Delta t}{2} \ddot{U}_n \\ U_{n+1} &= U_n + \Delta t \dot{U}_n + \frac{\Delta t^2}{2} \ddot{U}_n \\ L_{C,n+1} \dot{U}_{n+\frac{3}{2}} &= 0 \\ \ddot{U}_{n+1} &= M^{-1} (F_{ext,n+1} - F_{int,n+1} + L_{C,n+1}^T \lambda_{n+1}) \\ \dot{U}_{n+1} &= \dot{U}_n + \frac{\Delta t}{2} (\ddot{U}_{n+1} + \ddot{U}_n) \end{cases}$$

Le vecteur d'état à l'instant $(n+1)$ est $\begin{pmatrix} U_{n+1} \\ \ddot{U}_{n+1} \\ \dot{U}_{n+1} \end{pmatrix}$. L'introduction de la vitesse à l'instant $(n + \frac{1}{2})$

permet de garder l'aspect explicite du schéma de la différence centrée dans le cas de la résolution d'un problème de contact. La condition de contact est écrite à l'instant $(n + \frac{3}{2})$ pour résoudre l'équilibre à l'instant $(n+1)$. Cela garantit le respect de la condition de contact en terme de déplacement à l'instant $(n+1)$.

3 Schéma de couplage numérique

Pour faire le couplage en temps des deux schémas numériques (explicite dans les zones de contact et implicite sur le reste de la structure), nous allons utiliser la méthode proposée par A. Gravouil et A. Combescure [4].

On considère donc deux sous-domaines Ω_E et Ω_I , respectivement explicite et implicite.

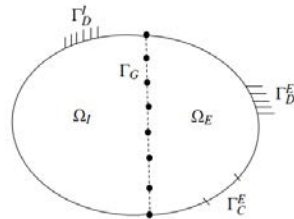


FIGURE 3 – Couplage de deux sous-domaines implicite et explicite avec contact

Γ_D^E et Γ_D^I sont les bords sur lesquels le déplacement est imposé. Γ_G est l'interface de couplage entre les deux sous-domaines. Γ_C^E est le bord du sous-domaine explicite où le contact se produit.

Soit j le pas temps fin du schéma explicite et m le pas de temps grossier du schéma implicite. Les équations correspondantes au problème de couplage, discrétisées en temps et en espace, s'écrivent :

– Équations d'équilibre de chaque sous-domaine :

$$\begin{cases} M^E \ddot{U}_{n+j}^E + F_{int,n+j}^E = F_{ext,n+j}^E + (L_D^E)^T \Lambda_{D,n+j}^E + (L_G^E)^T \Lambda_{G,n+j} + (L_{C,n+j}^E)^T \Lambda_{C,n+j}^E & \text{sur } \Omega_E \\ M^I \ddot{U}_{n+m}^I + K^I U_{n+m}^I = F_{ext,n+m}^I + (L_D^I)^T \Lambda_{D,n+m}^I + (L_G^I)^T \Lambda_{G,n+m} & \text{sur } \Omega_I \end{cases}$$

– Équation à l'interface Γ_G :

$$L_G^E \dot{U}_{n+j}^E + L_G^I \dot{U}_{n+j}^I = 0$$

– Équations correspondantes aux conditions de Dirichlet sur les deux sous-domaines :

$$\begin{cases} L_D^E \dot{U}_{n+j}^E = 0 & \text{sur } \Gamma_D^E \\ L_D^I \dot{U}_{n+m}^I = 0 & \text{sur } \Gamma_D^I \end{cases}$$

– Conditions de contact sur Γ_C^E :

$$\begin{cases} L_C^E \dot{U}_{n+j+1/2}^E \geq 0 \\ \Lambda_{C,n+j}^E \leq 0 \end{cases}$$

L'exposant "E" désigne les grandeurs associées au sous-domaine explicite, et l'exposant "I" désigne celles associées au sous-domaine implicite. $L_G^i, L_C^i, L_D^i, i = E, I$ sont les matrices booléennes traduisant, respectivement, les relations à l'interface Γ_G , la condition de contact à l'interface Γ_C et la conditions de Dirichlet sur $\Gamma_D^i, i = E, I$. Les $\Lambda_j^i, i = E, I$ et $j = D, C, G$ sont les matrices des multiplicateurs de Lagrange.

4 Conclusion et perspectives

Ce système d'équations discrétisées en espace et en temps conduit à un algorithme hétérogène asynchrone où chaque sous-domaine a son propre intégrateur temporel (hétérogène) et sa propre échelle de temps (asynchrone) [5]. Le développement de cet algorithme permettra dans un second temps d'obtenir des gains en temps CPU significatifs concernant la simulation tridimensionnelle des ponts roulants sous sollicitation de type séisme.

Dans ce contexte, de nouveaux intégrateurs temporels dédiés au contact seront implémentés dans le cadre de la méthode GC [7]. Aussi, la stabilité globale du couplage en temps et le bilan énergétique en temps sera étudié en détail en présence du contact sous sollicitation dynamique.

5 Remerciements

Nos remerciements vont au pôle ICS du Cetim-Senlis pour son partenariat dans ce projet initié par les industriels français du Levage.

Références

- [1] T. Belytschko, W.K. Liu, B. Moran. *Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures*, John Wiley and Sons, Ltd., 2000.
- [2] T. Belytschko, M.O. Neal. *Contact-Impact by the Pinball Algorithm with Penalty and Lagrangian Methods*, IJNME, 31, 547-572, 1991.
- [3] F. Casadei. *A Hierarchic Pinball Method for Contact-Impact in Fast Transient Dynamics*, VI Congresso Nazionale della Società Italiana di Matematica Applicata e Industriale (SIMAI), Italy, 27-31 mai 2002.
- [4] A. Gravouil, A. Combescure. *A multi-time-step explicit-implicit method for non-linear structural dynamics*, IJNME, 50 :199-225, 2001.
- [5] A. Gravouil, A. Combescure, M. Brun. *Heterogeneous asynchronous time integrators for computational structural dynamics*, IJNME, accepted, 2014.
- [6] M.W. Heinstein, F.J. Mello, S.W. Attaway, T.A. Laursen. *Contact-Impact Modeling in Explicit Transient Dynamics*, CMAME, 187, 621-640, 2000.
- [7] J.J. Moreau. *Some numerical methods in multibody dynamics : application to granular materials*, European solid mechanics conference No2, Italy, 93-114, 1994.