

Etude numérique de la rupture par fissuration d'un essieu d'un train de marchandises

A. HAMDAOUI¹, E. JADDI¹

1. Université Mohammed V Agdal, Ecole Mohammadia d'Ingénieurs, Equipe de Recherche et de Développement en Modélisation et Mécanique Multimédia, Rabat – Maroc
 abdelmajidhmdaoui@research.emi.ac.ma, jaddi@emi.ac.ma

Résumé

L'objectif de cette étude est d'analyser, les conditions de la rupture de l'essieu d'un wagon-trémie construit en aluminium, à partir des données concernant la composition de ce type de wagon ainsi que les conditions de circulation indiquées dans le rapport d'enquête de l'incident résultant de cette rupture. Nous développons, ensuite, un modèle numérique, basé sur la méthode des éléments finis, reproduisant le comportement statique de l'essieu endommagé. En utilisant le même modèle nous évaluons les modes propres de cet essieu afin d'évaluer son comportement dynamique.

Mots clefs : *rupture, wagon, essieu.*

1. Introduction

La sécurité représente la valeur principale de toute entreprise de chemin de fer dans le monde. En matière de sécurité les essieux sont les composantes les plus importants dans un véhicule ferroviaire. Ils font l'objet de plusieurs essais avant leur mise en service et subissent pendant la phase d'exploitation différents contrôles afin d'anticiper l'apparition de toute sorte de défaillance notamment celles résultant de la fatigue. La rupture d'un essieu est classée parmi les plus graves défaillances que peut subir un train en cours de circulation. Cette défaillance peut être une source de déraillement très grave.

Notre étude porte sur la rupture d'un essieu appartenant au bogie du deuxième wagon déraillé d'un train de marchandise au Canada. Il s'agit d'un wagon-trémie couvert construit en aluminium, ayant une tare de 20 045 kg et un poids maximal en charge de 100 000 kg. La fiche d'expédition du wagon indiquait que, lors de l'accident, il était chargé à sa capacité maximale. [1]

2. Analyse des données expérimentales

L'examen expérimental a révélé la présence d'une fissure de fatigue qui couvrait plus de 65 % de la surface de rupture. La rupture de l'essieu est probablement due à la présence d'une fissure de fatigue qui a débuté dans le

congé de la fusée d'essieu et qui coïncidait avec des piqûres de corrosion vu que les surfaces de fracture étaient fortement oxydées. Étant donné que la zone du congé de raccordement de l'essieu est assujettie à des contraintes élevées et que les piqûres de corrosion sont des zones de concentration de contraintes, le nombre de cycles de chargement que l'essieu peut supporter a été réduit, ce qui a donc engendré l'apparition et le développement de fissures de fatigue et par conséquent la rupture de l'essieu [1].

3. Développement d'un modèle Eléments Finis

3.1 Hypothèses et géométrie

Le wagon est composé de deux bogies. L'essieu étudié est un essieu porteur qui fait partie de la structure du bogie et qui possède des interactions d'une part avec le châssis et d'autre part avec le rail, ce qui nous amène à adopter certaines hypothèses simplificatrices pour développer notre modèle EF. Pour la géométrie, nous nous contentons de modéliser seulement l'essieu au lieu de modéliser le système caisse-bogie du wagon déraillé. L'essieu est en interaction avec le châssis du bogie à travers les boîtes d'essieu qui sont en contact avec les cartouches de roulements assurant le guidage en rotation de l'essieu relativement au bogie.

3.2 Conditions aux limites et matériaux

Des roulements à rouleaux à contact oblique avec montage en O, sont calés sur les extrémités de l'essieu. Le contact entre les portées de calage de ces roulements avec le châssis de bogie seront ainsi modélisées par une liaison rotule et une liaison linéaire annulaire.

L'estimation des efforts statiques appliqués à l'essieu a été faite en prenant en compte les éléments suivants :

- La charge du wagon.
- L'effort de contact entre le rail et l'essieu.
- L'effort de contact appliqué par le châssis du bogie sur les extrémités de l'essieu à travers les roulements.

Connaissant la position géométrique d'application de ces efforts, L'état de chargement que subit l'essieu est ainsi élaboré conformément la norme EN 13103 comme indiqué ci-après [2] :

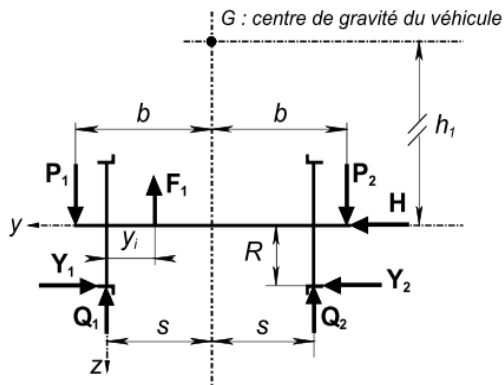


Figure 1 : Représentation des efforts appliqués sur l'essieu
Avec :

P1 : Effort normale appliqué par le châssis du bogie sur le roulement 1 de l'essieu.

P2 : Effort normale appliqué par le châssis du bogie sur le roulement 2 de l'essieu.

H : effort radiale appliqué sur le roulement 2 de l'essieu.

Y1, Y2 : Composantes tangentes de l'effort latérale appliqué par le rail sur au niveau du cercle de roulement de l'essieu.

Q1, Q2 : Composantes normales de l'effort latérale appliqué par le rail sur au niveau du cercle de roulement de l'essieu.

L'équilibre statique l'équilibre statique de solides indéformables permet de les déterminer.

Le matériau de l'axe de l'essieu est l'acier EA1N (XC38), tandis que les roues sont supposées en acier ER7, les deux matériaux les plus utilisés dans la production des essieux ferroviaire [3]. Ces matériaux sont supposés homogènes et isotropes Le comportement plastique des matériaux n'est pas pris en compte puisque l'essieu est dimensionné pour avoir un comportement linéaire. Les caractéristiques mécaniques que utilisées dans notre modèle sont indiquées dans le tableau ci-après :

Caractéristiques mécaniques	EA1N	ER7
Module de Young	210000	210000
Coefficient de poisson	0.3	0.3
Limite d'élasticité à 0.2%	320	509
Résistance maximale à la rupture en traction	650	860

Figure 2 : caractéristiques mécaniques des matériaux

3.3 Modèle éléments finis

Le modèle est développé en utilisant le logiciel Abaqus. Nous utilisons un modèle élastique en grands déplacements.

Nous avons maillé l'essieu avec 759857 éléments volumiques. Les éléments utilisés sont issus de la bibliothèque des éléments d'Abaqus. Ce sont des éléments quadratiques C3D4.

4. Evaluation du comportement statique de l'essieu par éléments finis

A partir du niveau de contrainte de Von Mises dans l'essieu, donné par le modèle développé dans la partie précédente, les contraintes équivalentes les plus intenses sont concentrées autour de la zone de rupture suite à fissuration qui correspond au congé de raccordement indiqué à droite dans la figure 3 [1].

La valeur maximale de 162 MPa est très inférieure à la limite élastique du matériau (320 MPa). Ceci est cohérent avec la constatation que la nature de la fissuration est de nature fissuration par fatigue. Ainsi, la conception initiale en statique, selon ce modèle, est adéquate.



Figure 3 : Zone de rupture de l'essieu

5. Evaluation des modes propres de l'essieu par éléments finis

Nous effectuons dans cette partie une analyse modale pour extraire les fréquences propres de l'essieu. Nous pouvons alors comparer ces fréquences avec la fréquence d'excitation du bogie qui correspond, dans notre modèle, à la fréquence équivalente à la vitesse de rotation généré par la circulation du train. Sachant que le type de train de marchandise en question peut atteindre 80 km/h, cela correspond à une fréquence d'excitation d'environ 53 Hz.

En se basant sur le modèle précédent, avec les mêmes conditions, les cinq premières fréquences propres de l'essieu sont données par le tableau ci-après :

Numéro du mode	1	2	3	4	5
Fréquence propre (Hz)	122	175	185	199	243

Figure 4 : fréquences propres de l'essieu

Nous remarquons que la première fréquence propre de l'essieu est très grande par rapport à la fréquence de d'excitation. D'après ces résultats, nous pouvons déduire qu'il n'y pas de risque de résonance sur l'essieu durant la circulation du train.

6. Conclusion

Après avoir mené l'analyse des données expérimentales collectées à partir de l'enquête menée suite à l'incident du déraillement provoqué par la rupture de l'essieu d'un wagon; nous avons pu confirmer qu'il s'agit d'une rupture par fatigue suite à la propagation d'une fissure dans la zone du congé de raccordement du côté extérieur de la roue présentant une concentration de contrainte. Nous avons ensuite vérifié le comportement statique et dynamique de l'essieu, ce qui nous a permis de valider, par simulation numérique, l'analyse expérimentale émanant de l'enquête.

Sachant que les fissures de fatigue sur un essieu ne pouvaient pas être détectées par le détecteur de boîtes chaudes, car il s'agissait de fissures de fatigue sans

surchauffe nous recommandons de procéder à l'application d'un revêtement protecteur approuvé sur le congé de raccordement de la fusée d'essieu, avant de procéder au montage des roulements à rouleaux. Le revêtement protège l'essieu usiné de l'humidité.

Références

- [1] *Rapport d'enquête ferroviaire R01Q0010, déraillement en voie principale*, Canada, 2001.
- [2] *Norme EN 1303 : Applications ferroviaires - Essieux montés et bogies - Essieux-axes porteurs - Méthode de conception*, AFNOR, 2012.
- [3] *Railway applications – wheelsets and bodies – axles – production requirements*, 2003.