

TD 7

Système de freinage de TGV

Présentation



Pour satisfaire la croissance de la demande de ses usagers, la SNCF a besoin d'augmenter le nombre de passagers transportés sur les lignes TGV existantes. Pour y répondre, les constructeurs ont réalisé des voitures à deux étages, les TGV duplex, qui permettent d'accueillir plus de passagers par rame.

Parallèlement, ils souhaitent en augmenter la vitesse et la fréquence d'utilisation. Mais ces solutions sont limitées par la distance d'arrêt, car il ne faut pas percuter la rame précédente, brutalement immobilisée. Cette évidente condition de sécurité place les dispositifs de freinage au cœur des travaux d'innovation des ingénieurs.

L'objet de cette étude est l'analyse du système de freinage mécanique à énergie pneumatique, installé sur les TGV Duplex vis-à-vis du critère de la validation partielle de l'une des prestations attendues : « le conducteur actionne le système de freinage pour ne pas percuter une autre rame ».

Une rame de TGV est composée de deux motrices et de huit voitures. La liaison avec les rails est assurée par 13 bogies. Quatre d'entre eux, implantés sous les motrices, sont moteurs ; les neuf autres, qualifiés de porteurs, sont positionnés entre deux voitures.



Implantation des bogies

Pour l'étude proposée, tous les bogies ont le même comportement.

Un bogie porteur est un chariot à deux essieux et quatre roues. Il supporte en sa partie supérieure l'une des extrémités de la voiture et permet de suivre les courbes de la voie. Chacune des roues est équipée d'un système de freinage à disques et contribue à l'arrêt de la voiture. Dans cette étude, la masse de la rame, estimée à 424 000 kg,

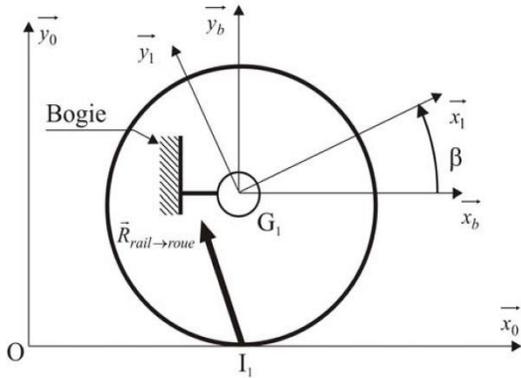


Un bogie porteur

est supposée également répartie sur chacune des roues. Cette hypothèse permet de limiter l'étude à une roue, ses deux disques et les composants associés.

Le blocage des roues du train, appelé enrayage, n'est pas souhaitable. Il déforme les roues et les rails, il conduit presque inévitablement au déraillement.

La modélisation des actions mécaniques sur une roue est donnée sur la figure ci-après. La roue est soumise à deux actions mécaniques :



- l'action mécanique du bogie sur la roue en G_1 due à la liaison pivot est de la forme :

$$\{\tau_{Bogie \rightarrow roue}\} = \begin{Bmatrix} X \\ Y \\ -N \end{Bmatrix}_{G_1, (\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)}$$

avec $Y = -M \cdot g$ et M la masse freinée par une roue.

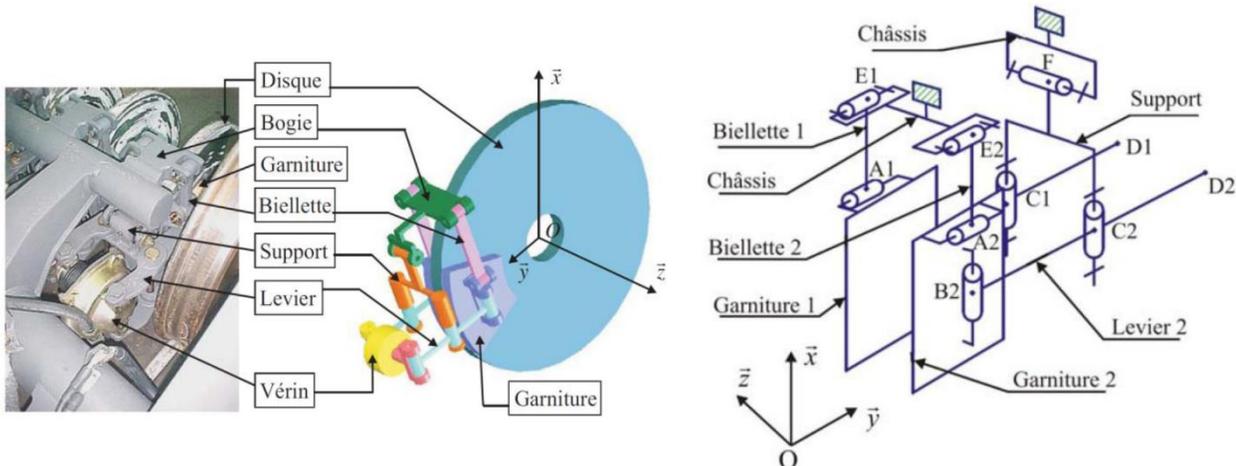
- l'action mécanique du rail sur la roue de contact est modélisée par un glisseur en I_1 . On suppose que le contact suit les lois de Coulomb.

Le poids de la roue est négligé devant les autres actions mécaniques. On a $M = 8200 \text{ kg}$ et $g = 10 \text{ m/s}^2$. Le rayon de la roue est noté r et vaut 45 cm .

Les 4 disques de frein qui équipent chaque essieu du TGV duplex sont conçus sous forme de galettes de 45 mm d'épaisseur, en acier allié. Leur diamètre extérieur est de 640 mm . En cours de freinage, chaque surface du disque reçoit un flux de chaleur égal, uniformément réparti entre les diamètres 310 mm et 610 mm . Chaque disque est en contact avec deux garnitures modélisées chacune par un secteur de disque (voir figure suivante) de longueur radiale $R_2 - R_1 = 150 \text{ mm}$ et de secteur angulaire $\alpha = 50^\circ$.

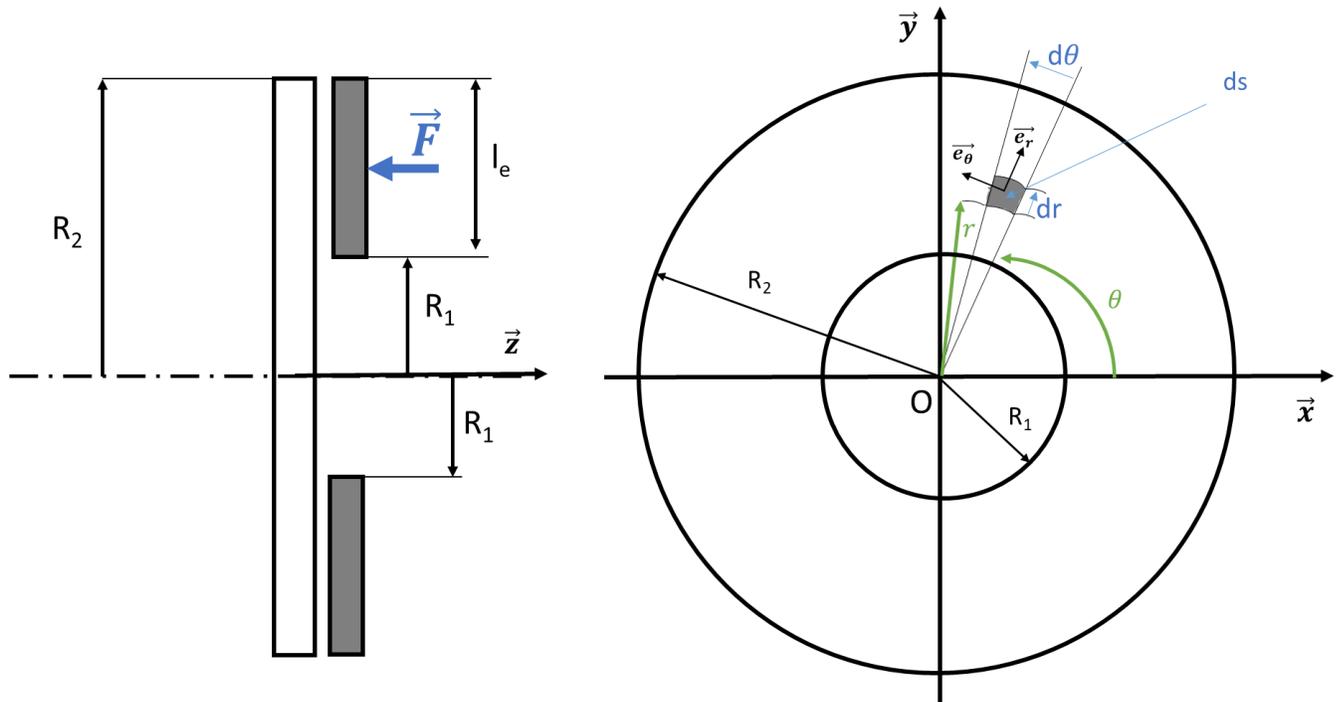
Le cahier des charges indique que la force maximale produite par le vérin pour chaque disque est de 60 kN .

Le modèle retenu est donné sur la figure suivante. Le facteur de frottement de la garniture sur le disque est noté f ($f=0,2$) et la pression de contact entre la garniture et le disque p . Pour que l'usure de la garniture soit régulière sur la surface de contact, on considèrera la pression de contact p constante.



Première modélisation du freinage

Dans un premier temps, nous modéliserons le freinage de la roue par le modèle suivant (modèle de type embrayage).



Q1 : Donner l'expression de dS .

Q2 : Donner l'expression de la pression locale $\overline{p(M)}$ appliquée sur l'élément de surface dS .

Q3 : Déterminer l'expression de la force \vec{F} qui doit être appliquée sur la garniture pour freiner le système. Exprimer cette force en fonction de p , R_1 et R_2 .

Q4 : Déterminer l'expression du couple de freinage \vec{C}_f sur le disque en fonction de f , p , R_1 et R_2 .

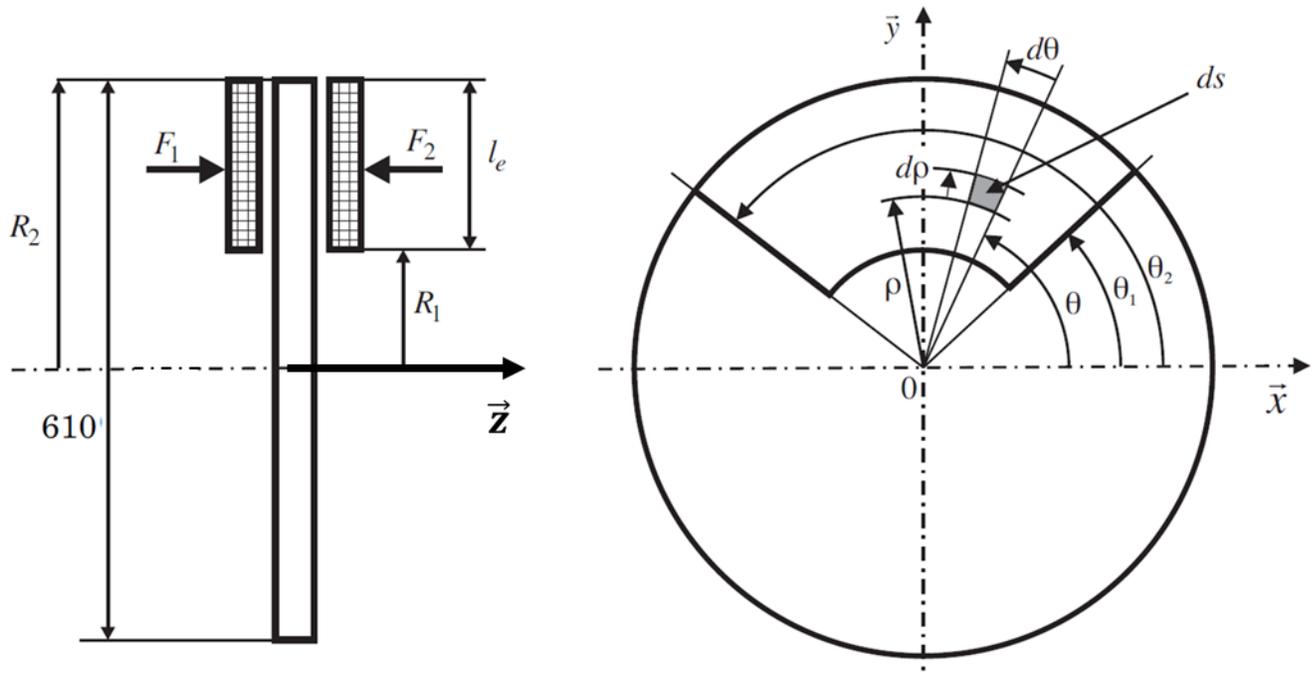
Q5 : Dans chacune des deux expressions précédentes (Force et Couple), exprimer la pression p en fonction des autres données.

Q6 : Déterminer enfin l'expression de la force F qui doit être appliquée sur la garniture pour obtenir C_f .

Q7 : Que devient l'expression précédente si l'on ajoute côte-à-côte n -fois le même système de freinage ?

Seconde modélisation du freinage

Nous allons maintenant modéliser le freinage par un modèle plus proche de la solution technique utilisée. Ce modèle est représenté ci-dessous :



On note : $\alpha = \theta_2 - \theta_1$.

Q8 : Après avoir analysé le modèle, expliquer les changements/modifications par rapport au modèle précédent. Justifier vos explications.

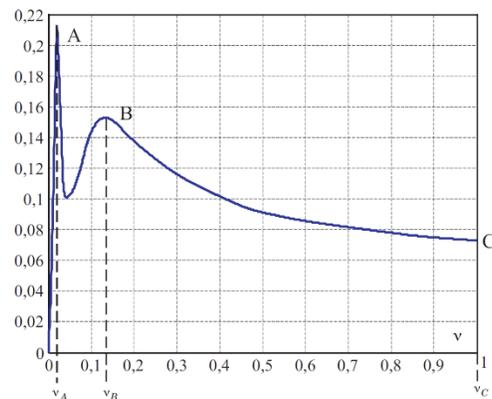
Q9 : Déterminer dans ce cas l'expression du couple de freinage C_f sur chaque disque en fonction de f , p , α , R_1 , R_2 .

Q10 : Déterminer l'expression de la force qui doit être appliquée sur la garniture pour obtenir C_f . Exprimer cette force en fonction de p , α , R_1 , R_2 .

Q11 : Déterminer enfin l'expression de la force qui doit être appliquée sur la garniture pour obtenir C_f .

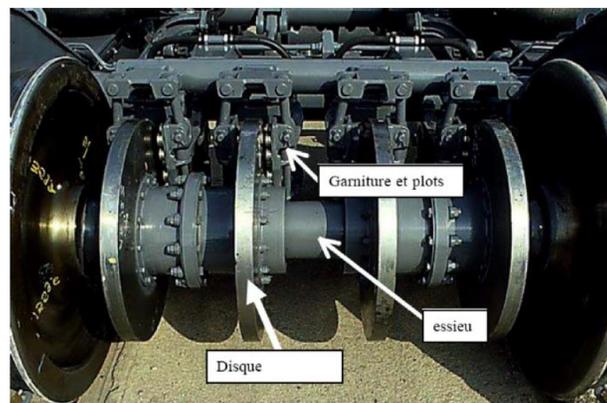
Vérification des performances annoncées dans le cahier des charges

Q12 : En supposant que la roue est en équilibre, c'est-à-dire que la somme des 2 actions mécaniques est nulle, déterminer le moment transmissible maximum de l'action du rail sur la roue suivant l'axe (G_1, \vec{z}) . Faire l'application numérique lorsque le point de fonctionnement se situe au point B de la caractéristique ci-après.



Évolution du facteur de freinage μ en fonction du glissement relatif $\mu = f(v)$

Chaque roue est freinée par deux disques sur lesquels sont appliquées des garnitures (ou plaquettes de frein) pour ralentir la rotation de la roue.



Q13 : En déduire l'action mécanique des garnitures sur un seul disque.

Q14 : A partir des résultats de Q11, calculer la valeur de $F = F_1 = F_2$ que doit produire chaque garniture sur le disque de frein. Sachant que F_1 est égale à l'effort dans le vérin, le cahier des charges est-il respecté ?