

1. MISE EN CONTEXTE

Pour satisfaire la croissance de la demande de ses usagers, la SNCF a besoin d'augmenter le nombre des passagers transportés sur les lignes TGV existantes.

Pour y répondre, les constructeurs ont réalisé des voitures à deux étages, les TGV duplex (Figure 1), 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.

La Figure 2 donne le diagramme de contexte du système de freinage.



Figure 1 - Rame de TGV duplex

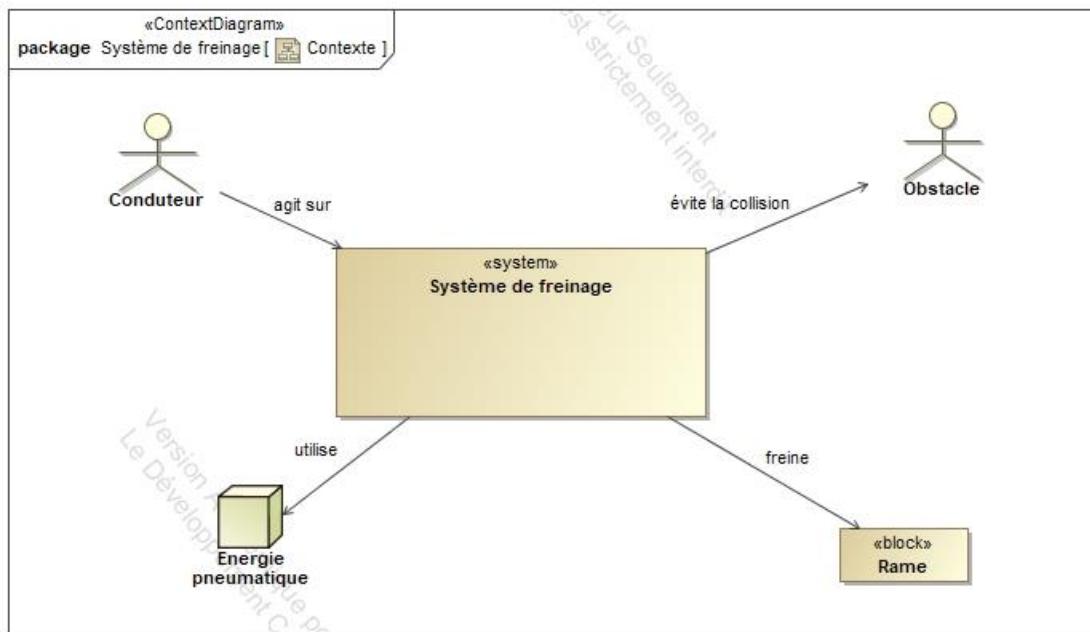


Figure 2 - Diagramme de contexte du système de freinage.

Une rame de TGV (Figure 1) est composée de deux motrices et de huit voitures. La liaison avec les rails est assurée par bogies. Quatre d'entre eux, implantés sous les motrices, sont moteurs, les neuf autres, qualifiés de porteurs, sont positionnés entre deux voitures (Figure 3).

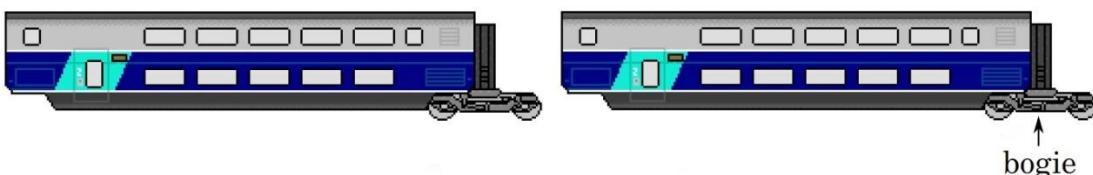


Figure 3 - Implantation des bogies

Un bogie porteur, dont une photo est donnée Figure 4, 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, 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.



Figure 4 - Bogie porteur

La Figure 5 donne le diagramme d'exigences du système de freinage.

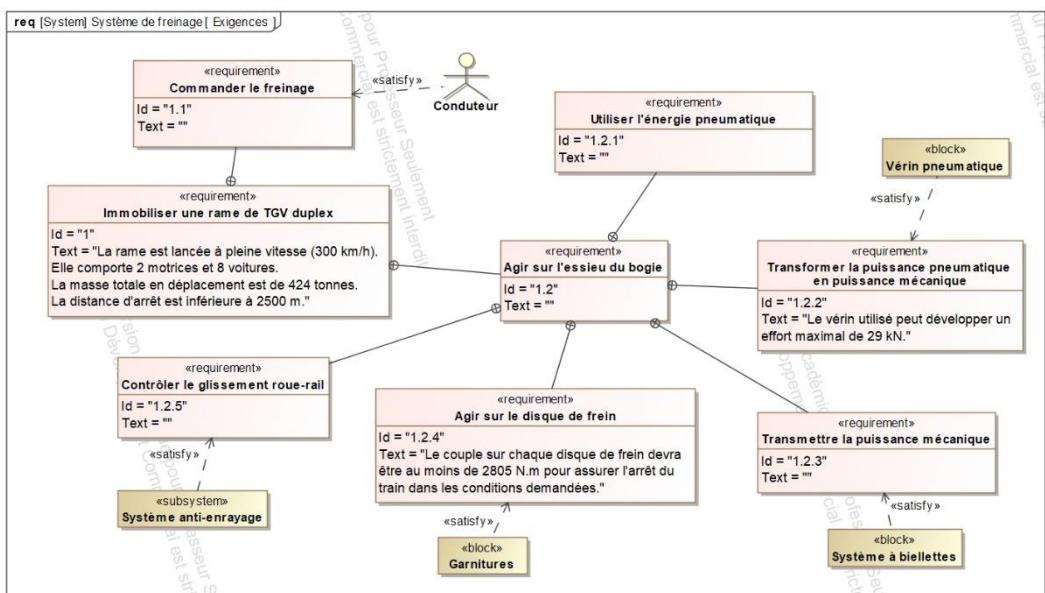


Figure 5 - Diagramme d'exigences du système de freinage.

2. EXIGENCE 1.2.2 « TRANSFORMER LA PUISSANCE PNEUMATIQUE... »

Objectif : Vérifier que l'actionneur pneumatique (vérin pneumatique) est correctement dimensionné.

Le train est immobilisé par des freins à disques. La photo donnée en Figure 6, montre que chacune des quatre roues d'un bogie est freinée par deux disques. Le rayon d'une roue est $R = 0,45 \text{ m}$.

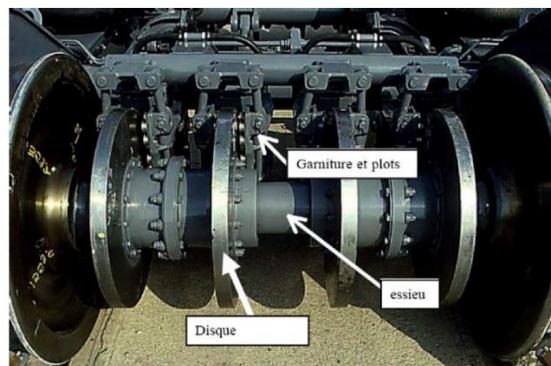


Figure 6 - Détail de l'essieu équipé des 4 disques et de leurs garnitures.

Le dispositif de freinage de chacun des disques (Figure 7) est implanté sur le bogie. Il est principalement constitué d'un support, de deux garnitures, de deux biellettes et de deux leviers actionnés par un vérin pneumatique.

Le bon fonctionnement du freinage impose le contact entre le disque et toute la surface des garnitures.

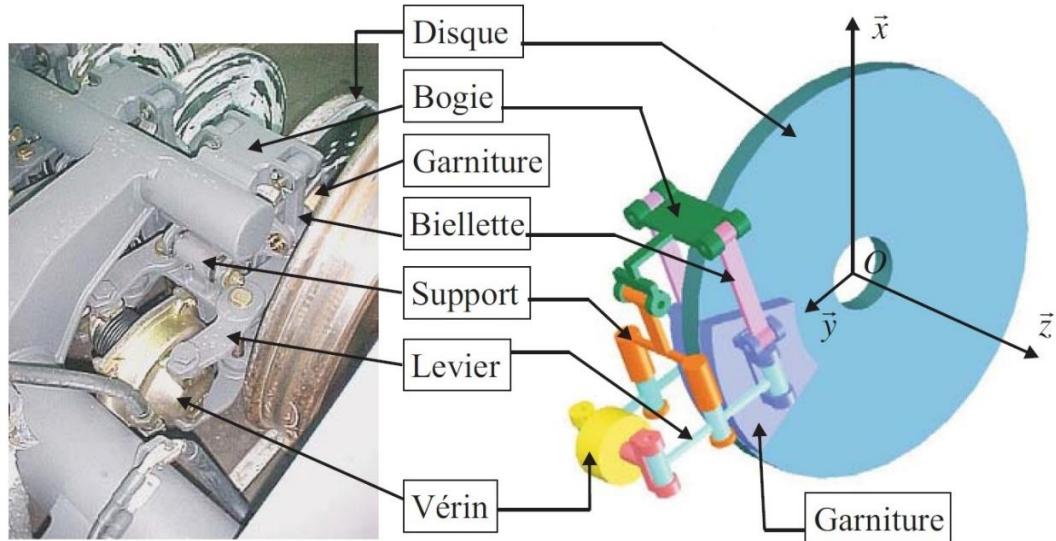


Figure 7 - Dispositif de freinage

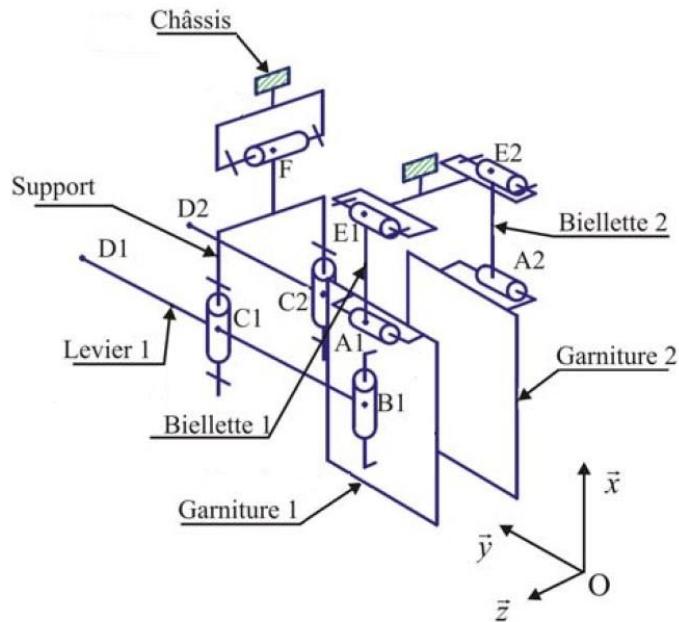


Figure 8 - Modèle cinématique du système de freinage

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 longueur radiale l_e et d'angle $\alpha = \theta_2 - \theta_1$.

Le cahier des charges indique que la force maximale produite par le vérin pour chaque disque est de 29 kN.

Le modèle retenu est donné sur la Figure 9. Le facteur de frottement de la garniture sur le disque est noté f et la pression de contact au point M entre la garniture et le disque est notée $p(M)$. Pour que l'usure de la garniture soit régulière sur la surface de contact, il faut que pour chaque élément de surface dS le produit $\rho \cdot p(M) = \text{cte}$ reste constant (ρ est la distance radiale de l'élément dS).

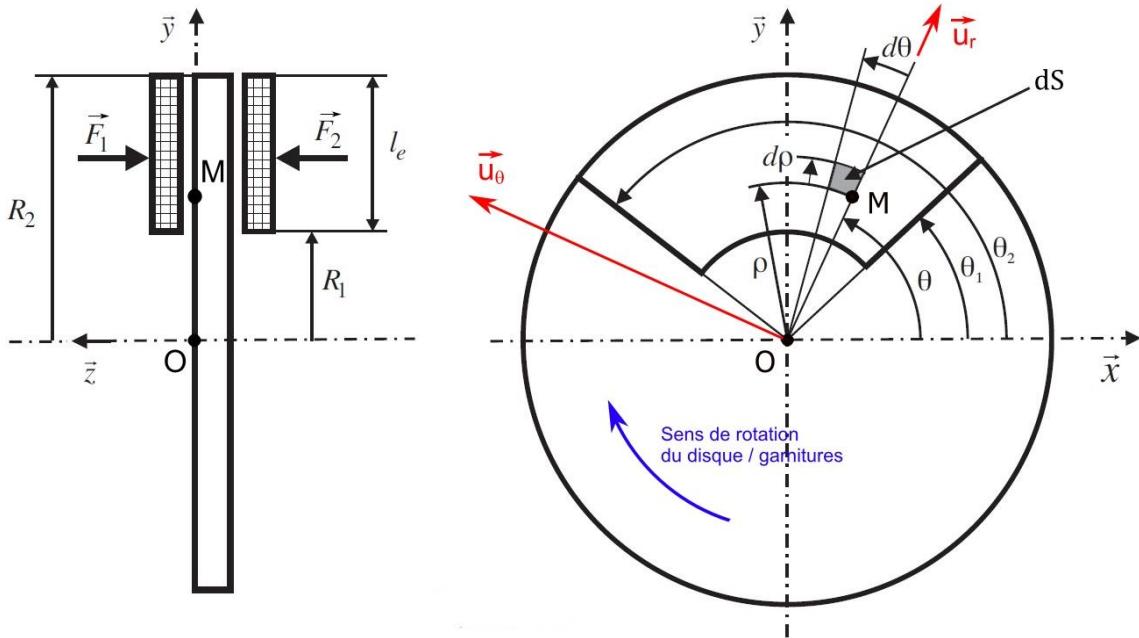


Figure 9 – Paramétrage du contact disque – plaquette.

Valeurs numériques :

$$\rho \cdot p(M) = 1,163 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} ; \quad l_e = 150 \text{ mm} ; \quad \alpha = \theta_2 - \theta_1 = 50^\circ ; \quad f = 0,5$$

1.1 Exprimer les coordonnées du point M en coordonnées cylindriques.

1.2 Exprimer l'élément de surface dS au voisinage du point M .

La présence de frottement entre le disque de frein et les garnitures entraîne l'apparition d'une composante tangentielle au niveau de l'action locale $d\vec{R}(g1 \rightarrow d) = d\vec{R}(M)$ selon la loi de Coulomb :

$$d\vec{R}(M) = d\vec{N} + d\vec{T} = -dN \cdot \vec{z} + dT \cdot \vec{u}_\theta \quad \text{avec} \quad dN > 0, dT > 0$$

avec $dN = p(M) \cdot dS$

1.3 Dans la phase de freinage (glissement entre le disque et les garnitures), donner la relation liant dN, dT et f coefficient de frottement entre la garniture 1 et le disque.

Le couple de freinage C_{frein1} créé par la garniture 1 sur le disque s'exprime par la projection sur \vec{z} du moment en O de l'action mécanique de la garniture 1 sur le disque, c'est-à-dire :

$$C_{frein1} = \vec{M}(O, g1 \rightarrow d) \cdot \vec{z}$$

1.4 Exprimer C_{frein1} en fonction de $\rho \cdot p(M), f, \alpha, R_1$ et R_2 .

1.5 En déduire le couple de freinage total créé par les deux garnitures.

1.6 Le cahier des charges est-il respecté ?