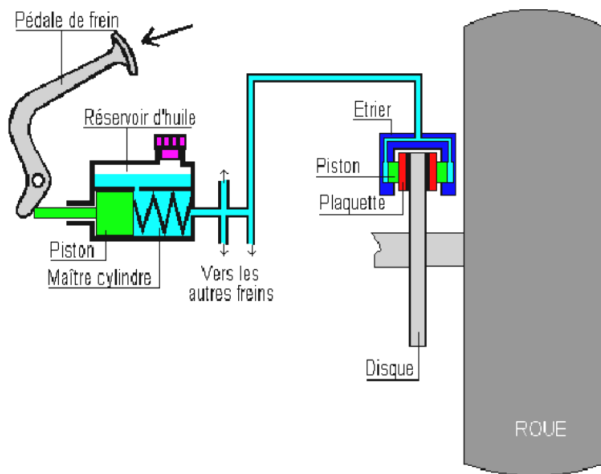
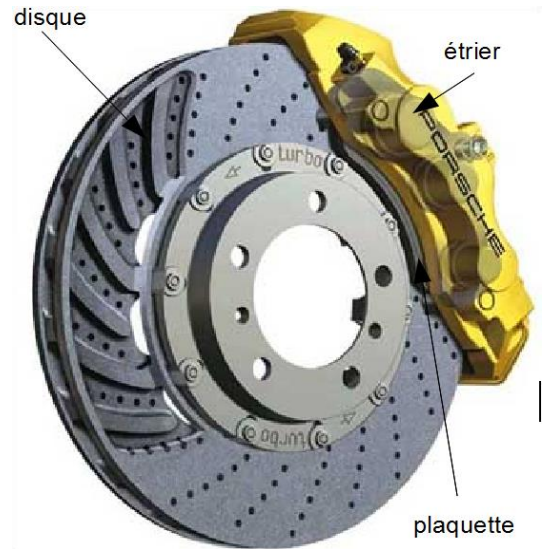


## Frein à disque

Pour ralentir ou immobiliser un système en mouvement, il est nécessaire de disposer d'un système de freinage. Le frein à disque est une solution technique permettant de réaliser le freinage d'un véhicule (moto, automobile...). Il est constitué d'un disque fixé sur le moyeu ou la jante de la roue (disque ayant le même mouvement de rotation que la roue) ainsi que des plaquettes venant frotter de chaque côté du disque. Les plaquettes sont maintenues dans un étrier lié au véhicule. Un ou plusieurs mécanismes poussent sur les plaquettes, le plus souvent des pistons hydrauliques, les plaquettes viennent serrer fortement le disque. La force de frottement entre les plaquettes et le disque crée un couple de freinage diminuant voire immobilisant la rotation de la roue.



L'appui sur la pédale de frein entraîne une augmentation de pression qui se retrouve au niveau des pistons. Ceux-ci poussent les plaquettes contre le disque. Un effort normal au disque apparaît alors. Par le frottement des plaquettes sur le disque, les efforts tangentiels viennent créer le couple de freinage.

On utilise le modèle suivant pour déterminer la relation entre l'effort presseur  $N$  exercé sur les plaquettes et le couple de freinage  $C$  dans un frein à disque.

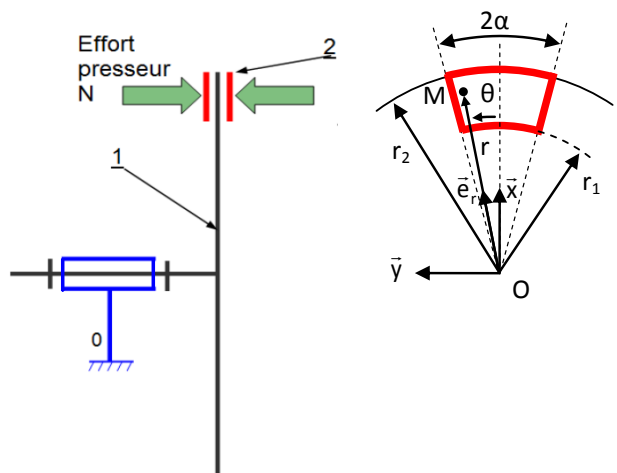
La plaquette est modélisée par une portion de couronne de rayons  $r_1$  et  $r_2$  et d'angle  $2\alpha$  considérée en liaison glissière avec le bâti  $O$  suivant l'axe  $(O, \vec{z})$ .

On note  $M$  un point de la plaquette défini par en coordonnées polaires tel que  $\vec{OM} = r \cdot \vec{e}_r$  avec  $\theta = (\vec{x}, \vec{e}_r)$ .

On note  $p$  la pression exercée par les plaquettes sur le disque d'épaisseur  $2e$ . On suppose que la pression  $p$  est constante.

On note  $f$  (constante) le coefficient de frottement entre les plaquettes et le disque.

On note  $N$  la résultante sur l'axe  $\vec{z}$  de l'action mécanique exercée par un piston sur une plaquette.

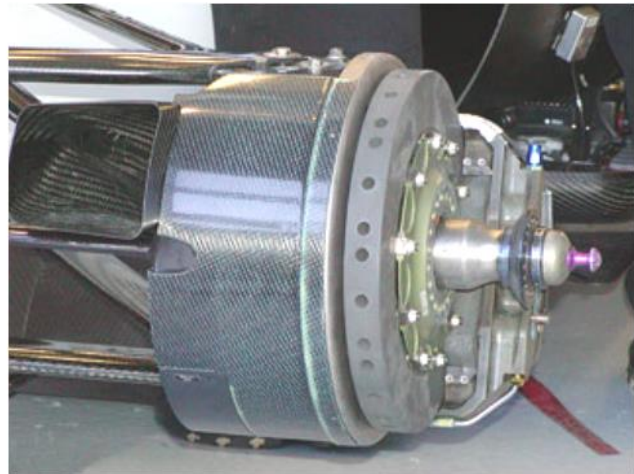


**Q.1.** En précisant le théorème utilisé et le système isolé, déterminer une relation entre  $p$  et  $N$  en fonction de  $r_1$ ,  $r_2$  et  $\alpha$ .

**Q.2.** Sachant que lors du freinage il y a glissement et que  $\overrightarrow{\Omega}_{1/0} = \dot{\theta}_{10} \cdot \vec{z}$  avec  $\dot{\theta}_{10} > 0$ , déterminer l'action mécanique élémentaire de 2 sur 1 et le modèle local de l'action mécanique de 2 sur 1 au point O.

**Q.3.** Déterminer le torseur de l'action mécanique globale de 2 sur 1 au point O. En déduire le couple de freinage en fonction de  $\alpha$ ,  $N$ ,  $f$ ,  $r_1$  et  $r_2$  sachant qu'il y a deux surfaces de frottement (une plaquette de part et d'autre du disque).

**Q.4.** Expliquer pourquoi les disques ont des formes particulières (trous, ailettes, entrée d'air) (photos ci-dessous).



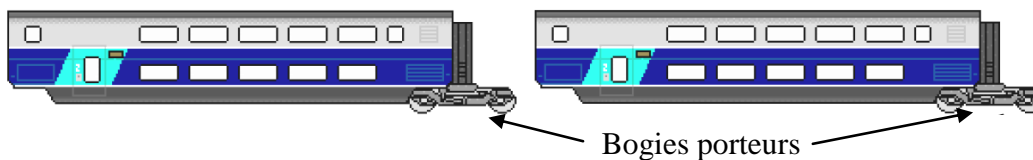
## Système de freinage d'un TGV DUPLEX

(D'après de Centrale-Supelec PSI 2006)

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, 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 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.



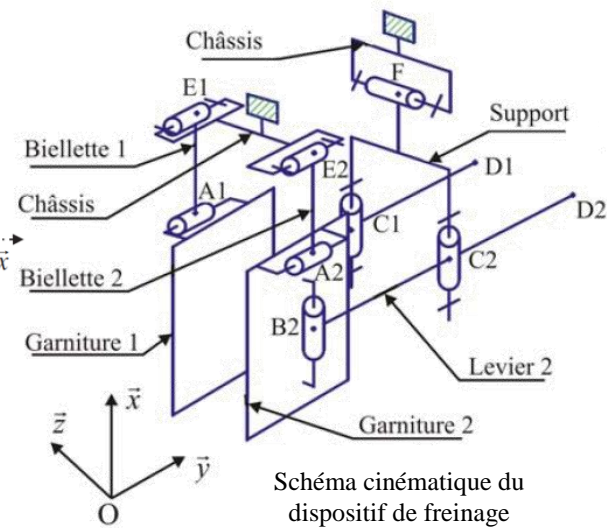
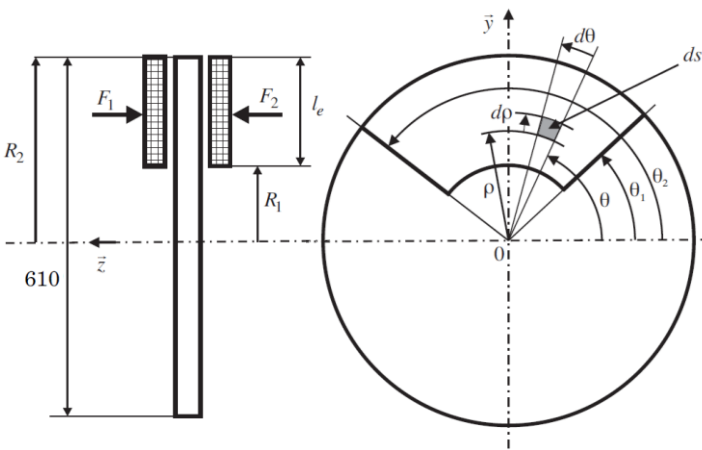
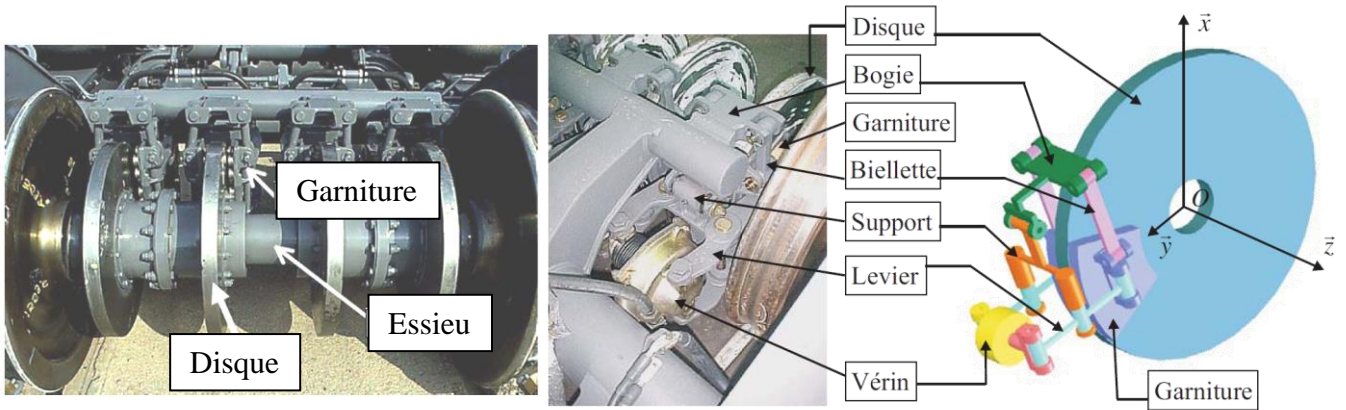
Un bogie porteur, dont une photo est donnée ci contre, est un chariot à deux essieux et quatre roues. Il supporte en sa partie supérieure l'une des extrémités de la voiture et permet de suivre les courbes de la voie. Chacune des roues est équipée d'un système de freinage à disques et contribue à l'arrêt de la voiture. L'objet de cette étude est l'analyse du système de freinage équipant un bogie porteur dont on donne une modélisation ainsi qu'un extrait de cahier des charges fonctionnel.



La masse de la rame, estimée à 424 tonnes, est supposée également répartie sur chacune des roues. Cette hypothèse permet de limiter l'étude à une roue avec ses deux disques et les composants associés.

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  $l_e = 150$  mm et d'angle  $\alpha = \theta_2 - \theta_1$ .

Le facteur de frottement de la garniture sur le disque est noté  $f$  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, il faut que pour chaque élément de surface le produit  $p \cdot \rho$  reste constant.  $\rho$  est la distance radiale de l'élément  $ds$ .



Exigence	Critère	Valeur
Le système doit actionner le système de freinage	Force maximale produite par le vérin au point D <sub>1</sub> et D <sub>2</sub> pour chaque disque	F <sub>v</sub> = 29 kN maxi

- Q.1.** Donner l'expression du couple de freinage C<sub>f</sub> sur chaque disque en fonction de : f, p, ρ, α, R<sub>1</sub> et R<sub>2</sub>.
- Q.2.** En déduire l'expression de la force F qui devra être appliquée sur la garniture pour obtenir C<sub>f</sub> en fonction de ρ, p, α, R<sub>1</sub> et R<sub>2</sub>.
- Q.3.** Calculer la valeur de F<sub>1</sub> et F<sub>2</sub> que doit produire chaque garniture sur le disque de frein (pρ = 1,163.10<sup>5</sup> N.m<sup>-1</sup>, α = 50°).
- Q.4.** L'action de contact en B<sub>2</sub> de la garniture 2 sur le levier 2 est égale à  $-\vec{F}_2$ . Calculer la force que doit fournir le vérin et vérifier si la prestation du cahier des charges est respectée. On donne  $\|\vec{B}_2\vec{C}_2\| = \|\vec{C}_2\vec{D}_2\| = c$  avec c = 120 mm.
- Q.5.** Sans effectuer de longs calculs, indiquer quelle est l'utilité des biellettes 1 et 2.
- Q.6.** Il existe sur le TGV d'autres dispositifs de freinage. Indiquer au moins deux autres principes de dissipation de l'énergie pouvant être utilisés, en précisant le principe physique utilisé.