

Problème EasyDyn : Dynamique latérale d'un essieu guidé



Olivier VERLINDEN, Georges KOUROUSSIS

1 Description du système

Le véhicule GLT (« *Guided Light Transit* ») est un véhicule bimode présentant la particularité de pouvoir évoluer en mode routier à la manière d'un bus ou en mode guidé à partir d'un guidage s'appuyant sur un rail central (Figure 1).



FIG. 1 – Véhicule GLT en mode guidé (Bombardier BN)

On s'intéressera dans la suite qu'au mouvement latéral du système de guidage. Ce système sera modélisé (Figure 2) à partir d'un essieu E dont on négligera le mouvement de lacet ($\theta_E = 0$), les deux roues et le bras de guidage. Le galet qui se trouve à l'extrémité du bras de guidage est considéré aligné par rapport au bras, l'ensemble formant un ensemble rigide.

Le mécanisme de guidage est modélisé par les lois cinématiques suivantes, respectivement pour les roues gauches et droites :

$$\theta_G = A_G \theta \quad \text{et} \quad \theta_D = A_D \theta \quad (1)$$

où θ , θ_G et θ_D représentent respectivement les paramètres de configuration du bras, du pneu gauche et du pneu droit.

Toutes les données nécessaires sont indiquées au Tableau 1.

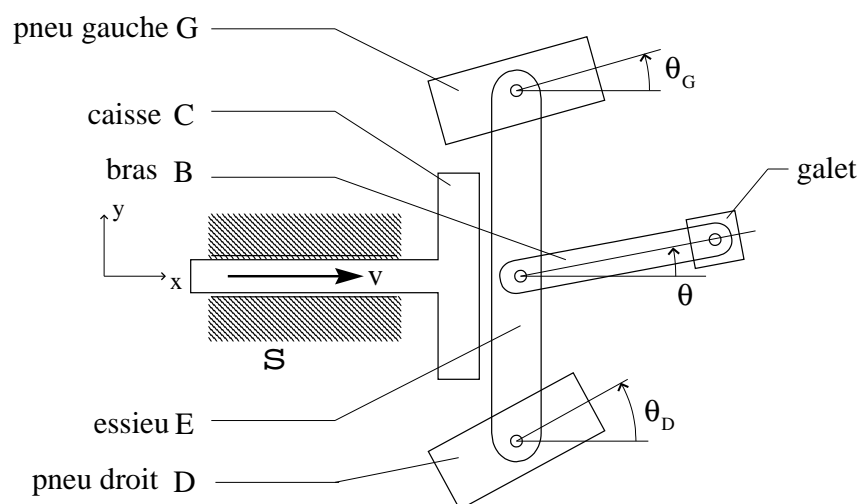


FIG. 2 – Schéma du véhicule GLT

TAB. 1 – Propriétés géométriques et dynamiques utiles

m_E	masse de l'essieu	1.200 kg
m_B	masse de l'ensemble bras-galet	146 kg
m_G, m_D	masse des pneus	136 kg
I_E	inertie centrale de l'essieu	327 kg.m ²
I_B	inertie centrale du bras	3,05 kg.m ²
I_G, I_D	inertie centrale des roues	11,9 kg.m ²
C_s/F_z	cornering stiffness non dimensionnel des pneus	7,162
$C_{z,s}/F_z$	cornering stiffness en rotation non dimensionnel des pneus	0,229
P_E	charge à l'essieu	12000 kg
d	longueur du bras	0,6 m
L	distance entre roues	2 m
A	distance axe-centre de gravité du bras	0,30 m
f_{22}	coefficient de contact roue-rail (Kalker linéaire)	7,04 10 ⁵
K	raideur du contact roue-rail (élastique)	5000 N/m
C	amortissement du contact roue-rail (élastique)	500 Ns/m

2 Résultats demandés

On demande de réaliser l'analyse dynamique latérale en sortant l'évolution temporelle du bras de guidage pour une vitesse d'avancement constante de l'essieu de 15 m/s et avec une vitesse angulaire initiale du bras de 10 rad/s et ce, en distinguant les deux cas suivants :

$$A_G = A_D = 1,07 \quad \text{et} \quad A_G = A_D = 0,80.$$

ainsi que les différents modèles simplifiés du guidage (modèle élastique ou modèle de Kalker).

3 Résultats typiques

Les figures 3 à 6 montrent les résultats obtenus pour les différents cas envisagés. On constate que seul le cas 3 est instable (contact roue-rail et $A_G=A_D=0.8$).

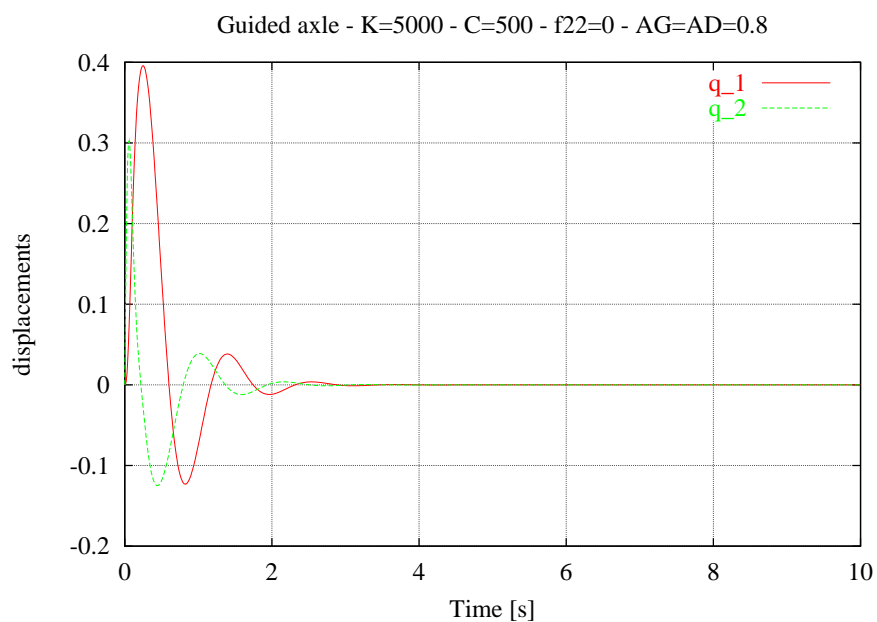


FIG. 3 – Cas 1 : guidage par ressort-amortisseur et AG=AD=0.8

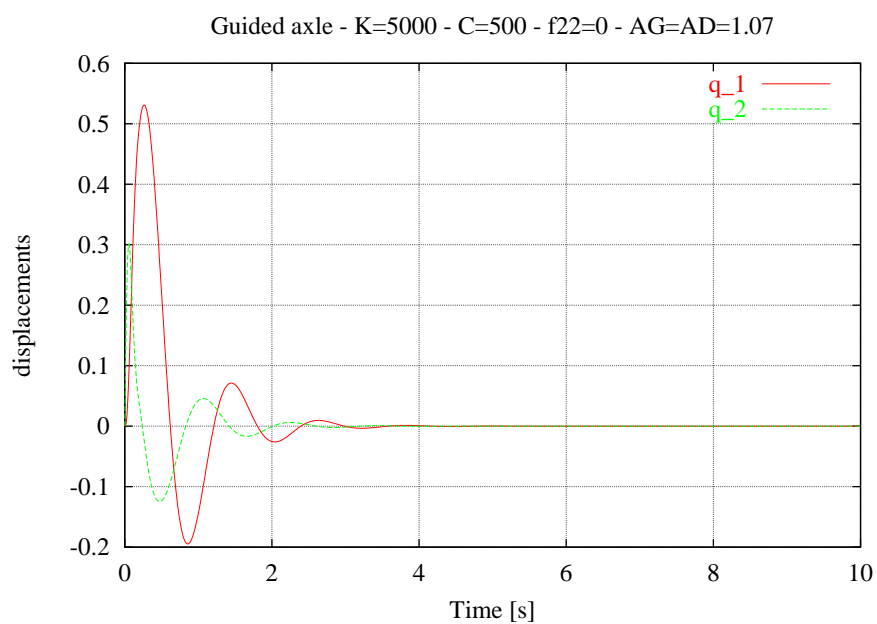


FIG. 4 – Cas 2 : guidage par ressort-amortisseur et AG=AD=1.07

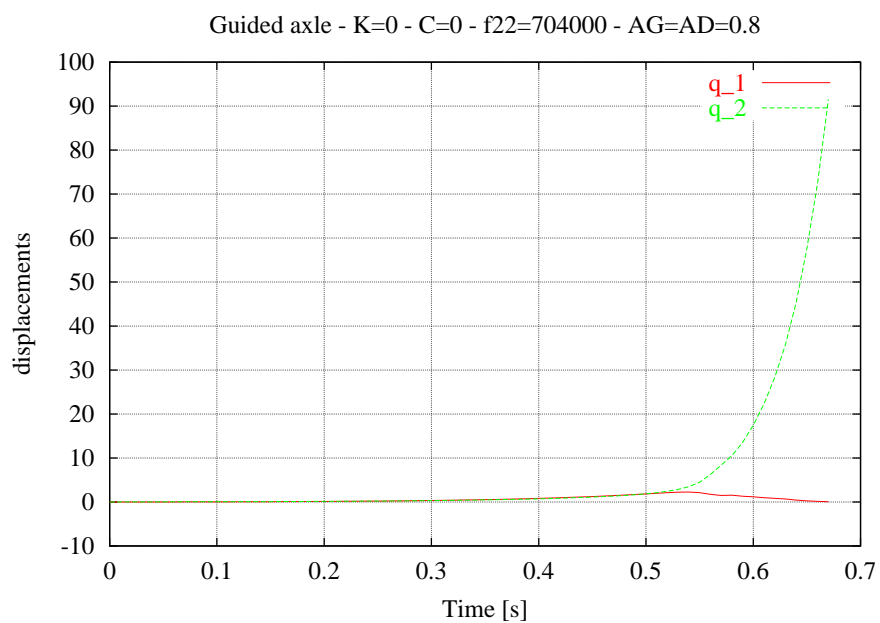


FIG. 5 – Case 3 : contact roue-rail et AG=AD=0.8

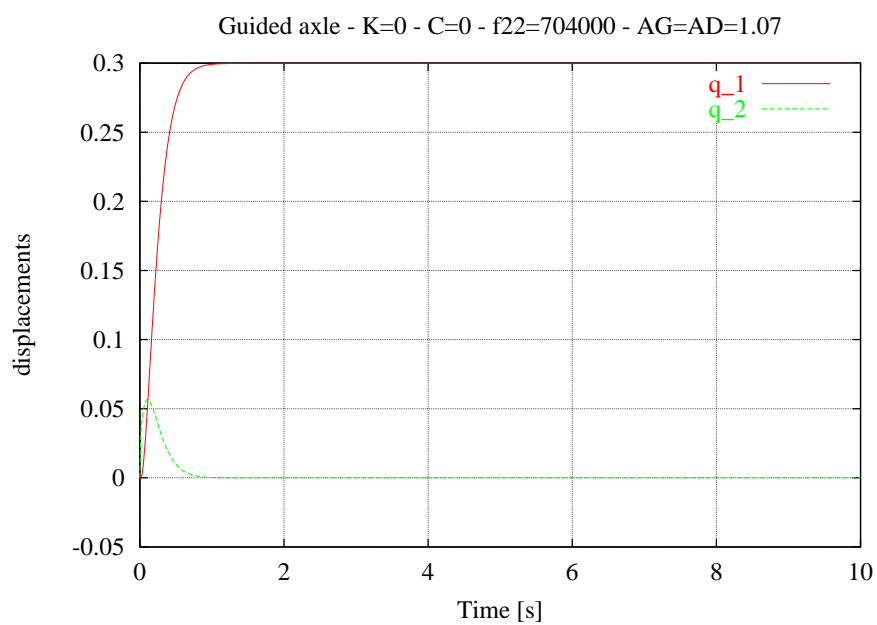
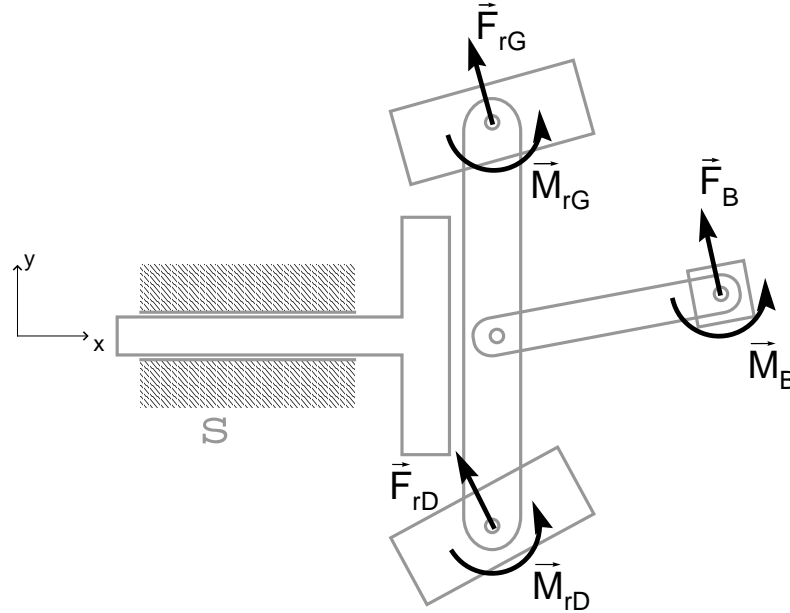


FIG. 6 – Case 4 : contact roue-rail et AG=AD=1.07

A Contexte physique du guidage



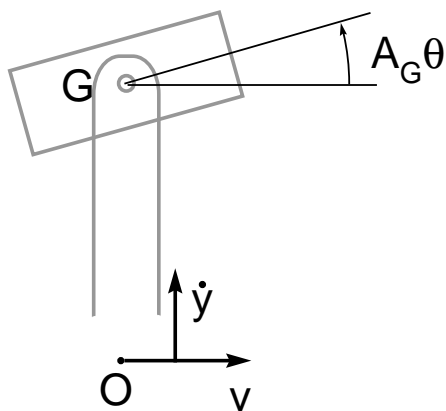
Inventaire des forces — sens conventionnel

$\vec{F}_{r,G}$ et $\vec{F}_{r,D}$ respectivement au plan de la roue gauche et droite.

\vec{F}_B au plan du bras.

$\vec{M}_{r,G}$, $\vec{M}_{r,D}$ et \vec{M}_B orientés dans le sens positif.

A.1 Efforts aux pneus



$$\begin{aligned}
 &\text{cornering stiffness} \\
 F_G &= - \widehat{C_s} \underbrace{\alpha_G}_{\text{angle d'environnement}} \\
 F_G &= -C_s \left(\frac{\dot{y}}{v} - A_G \theta \right) \\
 M_G &= C_{z,s} \alpha_G \\
 M_G &= C_{z,s} \left(\frac{\dot{y}}{v} - A_G \theta \right)
 \end{aligned}$$

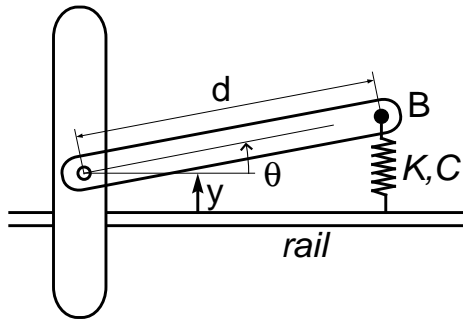
Le même raisonnement peut être effectué pour le pneu droit.

A.2 Efforts à l'extrémité du bras

Pour modéliser l'effort de contact du galet, deux modèles simplifiés se prêtent dans cette simulation :

1. un modèle élastique faisant intervenir une raideur et un amortissement définissant le contact galet-rail,
2. un modèle de Kalker pour le contact galet-rail sans lacet de galet.

CAS 1 : Modèle élastique



$$F_B = -K(y + d \sin \theta) - C(\dot{y} + \dot{\theta} d \cos \theta)$$

$$M_B = 0$$

\Rightarrow roue élastique à axe vertical.

CAS 2 : Modèle de Kalker

$$\vec{v}_B = \vec{v}_O + \vec{\omega} \wedge \vec{OB}$$

$$\vec{v}_B = \dot{x} \vec{u}_x + \dot{y} \vec{u}_y + \dot{\theta} d \vec{u}_t$$

\Rightarrow glissement transversal selon \vec{u}_t :

$$\dot{y} \cos \theta - \dot{x} \sin \theta + \dot{\theta} d$$

$$\Rightarrow F_B = -\frac{f_{22}}{v}(\dot{y} \cos \theta - \dot{x} \sin \theta + \dot{\theta} d)$$

ou, après linéarisation, $F_B = -f_{22}(\frac{\dot{y} + \dot{\theta} d}{v} - \theta)$.

