

Cinématique : Météor (Mines Ponts MP 05)

Mise en situation

La ligne METEOR reliant Tolbiac Massena à Madeleine est équipée d'un métro automatique à roulement sur pneumatiques.

Le parc se compose de 19 trains de 6 voitures.

Chaque train, d'une longueur de 90 m et d'une largeur de 2,50 m, est constitué de deux remorques avec pupitre de conduite de secours encadrant quatre motrices.

L'objet de cette étude est l'analyse la fonction « rouler », en examinant l'élaboration de la transmission du mouvement aux roues.



Fonction « rouler »

Les bogies ont pour fonction d'assurer le roulement des trains.

Les bogies supportent la charge des voitures et assurent le guidage par rapport au sol. Le guidage est réalisé en pleine voie par les roues de guidage qui sont « pincées » entre deux barres de guidage. En l'absence des barres de guidage, lors du franchissement des appareils de voie (aiguillage), le guidage est réalisé par le contact latéral des roues auxiliaires avec les rails.

Les bogies assurent la fonction traction/freinage en transmettant aux roues le couple moteur par l'intermédiaire des ponts moteurs. Le moteur fournit soit un couple moteur soit un couple de freinage. La fonction freinage est complétée par un système de freinage mécanique.

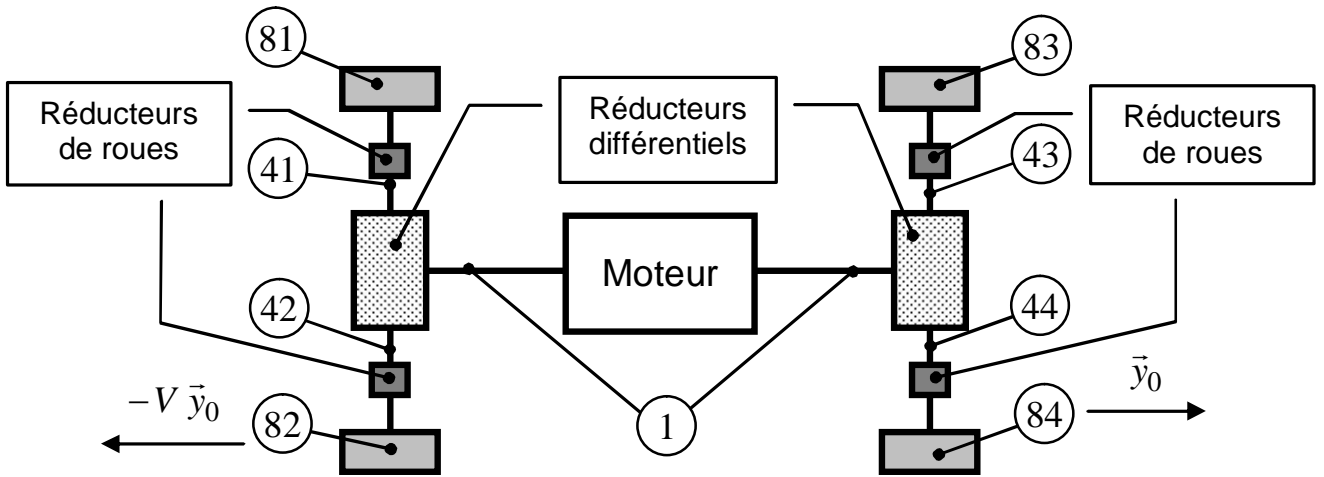
La suspension des bogies assure le confort des passagers et le maintien du plancher des voitures à une hauteur la plus constante possible. Des frotteurs (positifs) permettent de capter l'énergie électrique sur les barres de guidage. Des frotteurs (négatifs) permettent le retour du courant par l'intermédiaire du rail de roulement. Des frotteurs de masse réalisent la mise à la masse des véhicules.

Le pivotement entre caisse et bogie est permis grâce à une couronne à billes de 1220 mm de diamètre.

Etude de la transmission

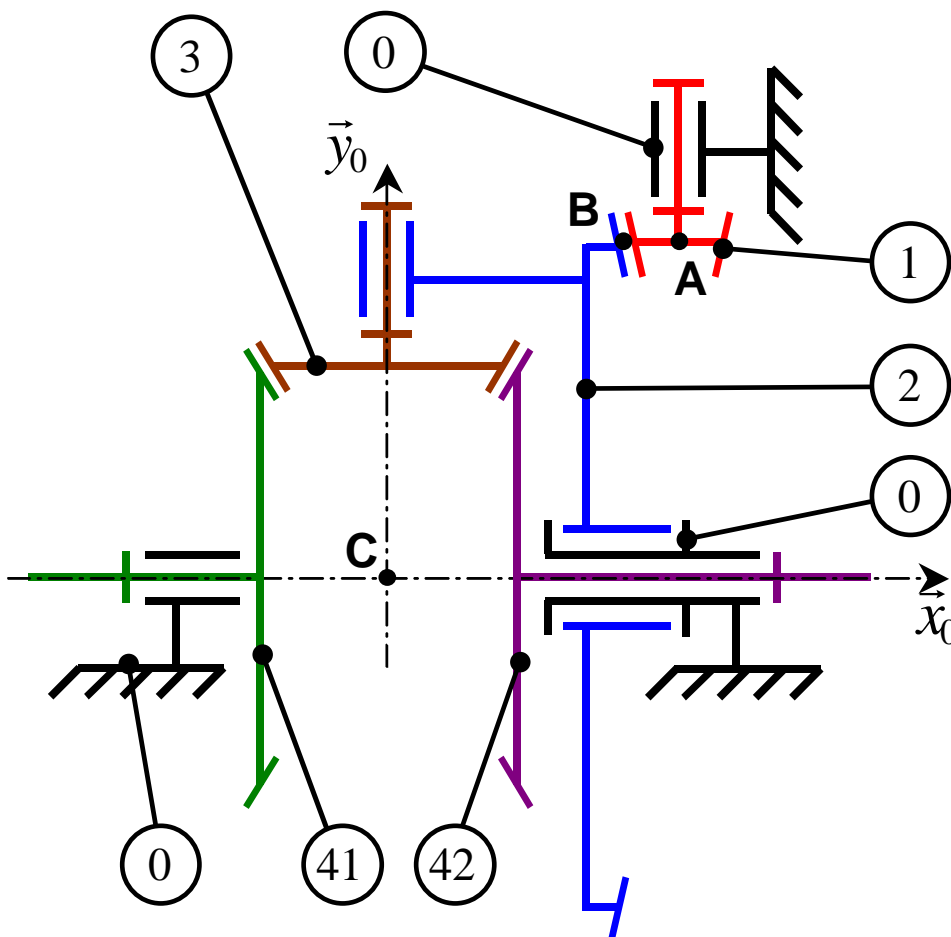
Le mouvement de rotation de l'arbre moteur est transmis aux roues par l'intermédiaire de deux réducteurs différentiels et de quatre réducteurs (un par roue). On s'intéresse dans la figure suivante à l'étude de la transmission du mouvement de rotation du moteur aux quatre roues d'un bogie.

Chaque arbre n° k est animé d'une vitesse de rotation par rapport au bogie 0 notée $\omega_{k/0}$.



Dans l'étude suivante, on cherche à évaluer le rôle des différentiels et des réducteurs dans la fonction de transmission. Pour cela on étudie les relations entre les paramètres cinématiques intervenant dans ce système.

Etude du différentiel



Notations :

$$\vec{\Omega}_{1/0} = \omega_{1/0} \cdot \vec{y}_0$$

$$\vec{\Omega}_{2/0} = \omega_{2/0} \cdot \vec{x}_0$$

$$\vec{\Omega}_{41/0} = \omega_{41/0} \cdot \vec{x}_0$$

$$\vec{\Omega}_{42/0} = \omega_{42/0} \cdot \vec{x}_0$$

Données géométriques

$$\vec{BA} = R_1 \cdot \vec{x}_0$$

$$\vec{CB} = L_3 \cdot \vec{x}_0 + R_2 \cdot \vec{y}_0$$

Les pignons (41) et (42) possèdent le même nombre de dents. Les pignons 1, 2 et 3 ont respectivement Z_1 , Z_2 et Z_3 dents. Ils ont tous le même module m .

Il est rappelé que la relation liant le module au diamètre D d'une roue dentée est : $D = m Z$, où Z est le nombre de dents.

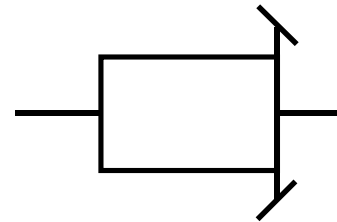
Afin de simplifier l'étude, le différentiel sera étudié avec un seul satellite (3).

Question 1

Exprimer $\frac{\omega_{2/0}}{\omega_{1/0}}$ en fonction des nombres de dents des pignons.

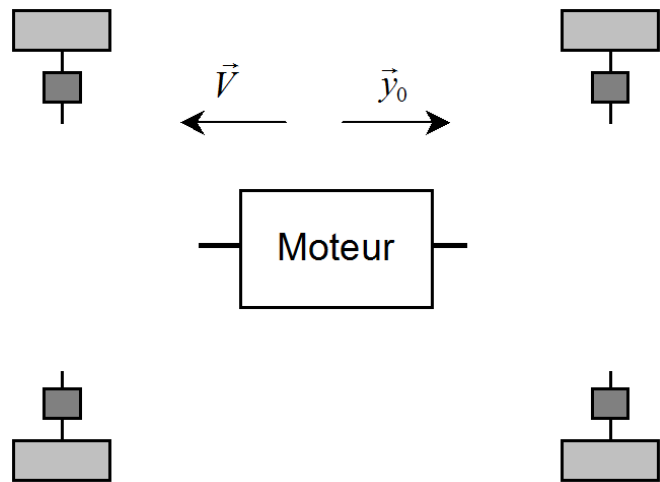
Montrer la relation $\frac{\omega_{41/2}}{\omega_{42/2}} = -1$. En déduire une relation entre $\omega_{41/0}$, $\omega_{42/0}$ et $\omega_{1/0}$.

L'ensemble constitué du différentiel et de la couronne dentée (2) du réducteur conique pourra être représenté symboliquement par le schéma suivant :



Question 2

En reprenant le schéma ci contre, dessiner les réducteurs coniques qui permettent d'obtenir un sens de rotation identique pour toutes les roues du bogie sachant que $\vec{\Omega}_{1/0} = \omega_{1/0} \cdot \vec{y}_0$ avec $\omega_{1/0} > 0$, et que le bogie est animé d'un mouvement de translation par rapport au sol de vitesse $\vec{V}_{b/s} = -V \cdot \vec{y}_0$ avec $V > 0$.



L'étude précédente permet de montrer la relation $\omega_{81/0} + \omega_{82/0} = \lambda \cdot \omega_{1/0}$.

On montre aussi $\omega_{83/0} + \omega_{84/0} = \lambda \cdot \omega_{1/0}$.

L'usure légèrement différente des pneus induit des vitesses de rotation des roues (imposées par une hypothèse de non glissement des roues sur le sol) différentes et ce même lors d'un mouvement de translation du bogie par rapport au sol (en ligne droite).

Pour rendre compte de ces différences de vitesse de rotation, on pose :

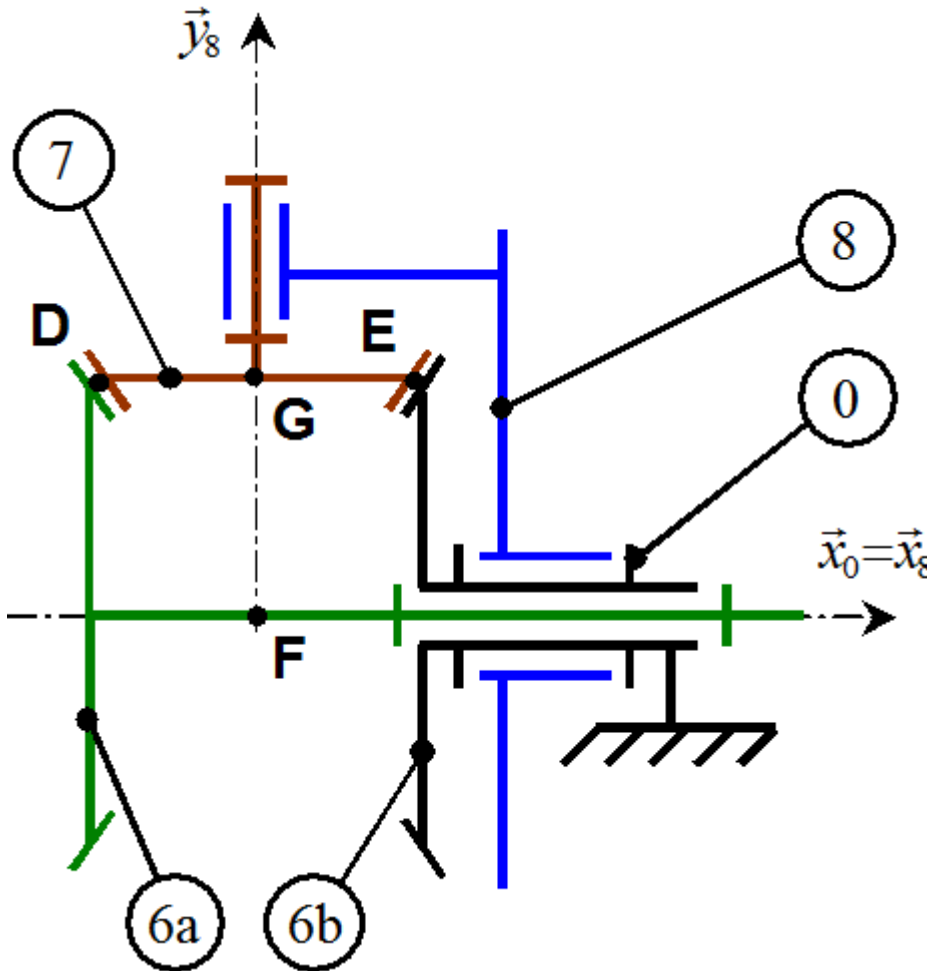
$$\omega_{81/0} = \alpha_2 \cdot \omega_{82/0} = \alpha_3 \cdot \omega_{83/0} = \alpha_4 \cdot \omega_{84/0} .$$

Question 3

Montrer en tenant compte des remarques précédentes que l'hypothèse de non glissement n'est pas réaliste et qu'il y a forcément glissement de l'une des quatre roues d'un bogie sur le sol.

Etude des réducteurs de roues : Les engrenages sont des engrenages coniques à denture droite. Les pignons 6a et 6b possèdent le même nombre de dents $Z_{6a} = Z_{6b}$. Le pignon 7 est un pignon de Z_7 dents tel que $Z_{6a} = 2 \cdot Z_7$. Ils ont tous le même module m.

Afin de simplifier l'étude, le réducteur sera étudié avec un seul satellite (7). Afin de tenir compte du rôle spécifique du pignon (6b) celui-ci a été repéré par un identifiant différent de celui du bâti (0). Les deux solides constituent néanmoins un même solide au sens cinématique.



Données géométriques

$$\overrightarrow{DG} = \overrightarrow{GE} = R_7 \cdot \vec{x}_8$$

$$\overrightarrow{FG} = R_6 \cdot \vec{y}_8$$

Notation :

$$\vec{\Omega}_{7/8} = \omega_{7/8} \cdot \vec{y}_8$$

$$\vec{\Omega}_{8/0} = \omega_{8/0} \cdot \vec{x}_0$$

$$\vec{\Omega}_{6b/8} = \omega_{6b/8} \cdot \vec{x}_0$$

$$\vec{\Omega}_{6a/0} = \omega_{6a/0} \cdot \vec{x}_0$$

Torseur cinématique du bogie/sol

$$\{V_{0/sol}\} = \begin{Bmatrix} \vec{0} \\ \vec{V}(G \in 0/sol) \end{Bmatrix}$$

Question 4

Montrer la relation $\frac{\omega_{6a/8}}{\omega_{6b/8}} = -1$. En déduire une relation entre $\omega_{8/0}$ et $\omega_{6a/0}$.

Question 5

Calculer la vitesse $\vec{V}(G \in 7 / sol)$ et l'accélération $\vec{\Gamma}(G \in 7 / sol)$ en fonction de $\omega_{8/0}$ et des données géométriques du mécanisme.

Question 6

Exprimer $\frac{\omega_{7/8}}{\omega_{6b/8}}$ en fonction des nombres de dents des pignons.

En déduire $\vec{\Omega}_{7/8}$ puis $\vec{\Omega}_{7/sol}$ en fonction de $\omega_{8/0}$.