

LIGNE DE METRO METEOR

Problématique **Quelle est la chaîne d'énergie qui motorise le métro Meteor ?**

Contexte



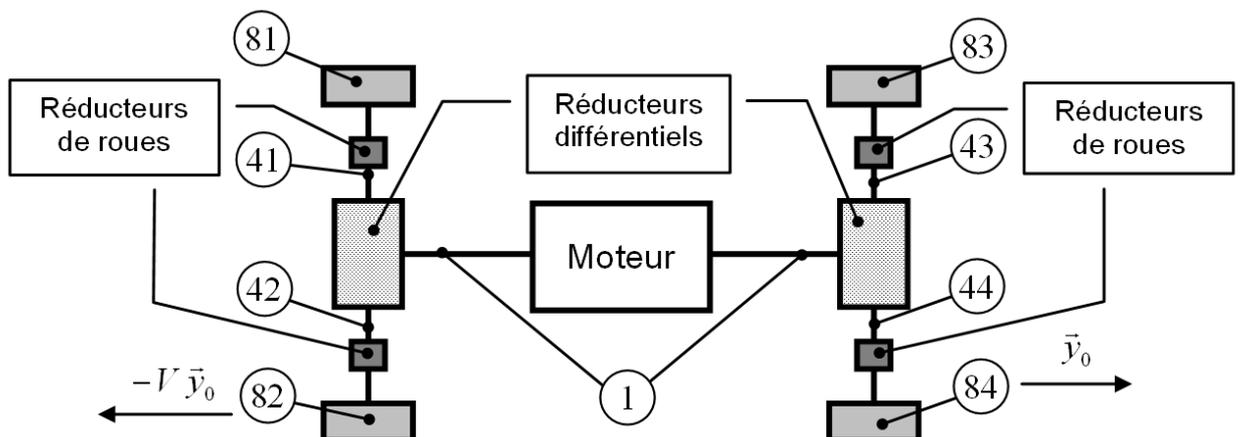
La ligne METEOR reliant Tolbiac Massena à Madeleine est équipée d'un métro automatique à roulement sur pneumatiques ; le parc se compose de 19 trains de 6 voitures. Chaque train, d'une longueur de 90 m et d'une largeur de 2,50 m, est constitué de deux remorques avec pupitre de conduite de secours encadrant quatre motrices. La *Commande Automatique Intégrale* (CAI) de cette ligne nécessite un ensemble de dispositifs de contrôles-commandes, appelé *Système d'Automatisation de l'Exploitation des Trains* (SAET), permettant non seulement l'exploitation normale mais également la gestion des situations dégradées pouvant résulter d'une anomalie de fonctionnement d'un sous-système ou d'un composant, ou d'une perturbation externe (incident relatif à un voyageur par exemple).

Pour réaliser ces fonctions, l'architecture matérielle nécessaire est distribuée en station, le long de la ligne et à bord des trains. La plupart des équipements sont redondants afin d'atteindre un haut niveau de disponibilité. Les équipements installés en station assurent les commandes liées en particulier à la circulation des trains (contrôles d'espacement et de manœuvres). Les équipements en ligne sont constitués d'un support de transmission voie-machine continu et de balises ponctuelles de localisation des trains.

Le *Pilote Automatique Embarqué* (PAE) du SAET assure les transmissions de messages codés avec les équipements fixes. Il commande le déplacement des trains, gère les arrêts en station en contrôlant l'ouverture et la fermeture des portes du train et des portes palières sur le quai. Il assure en sécurité le contrôle de la vitesse des trains (traction/freinage), la commande des itinéraires, la commande des portes et le suivi des alarmes à l'intention des voyageurs. Il utilise, pour localiser le train sur la voie, un dispositif d'interrogation et de détection des messages codés émis par les balises ponctuelles sur la voie, et des roues phoniques montées sur un essieu du train.

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 1 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 ω_{k0} .



- Figure 1 : Schéma synoptique de la transmission

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 et les composantes des actions mécaniques intervenant dans ce système.

L'arbre moteur est en liaison avec le pignon arbré (1) par l'intermédiaire d'un accouplement à denture non représenté. Sur cette figure, l'arbre (1) engrène avec la couronne (2) qui est fixée sur le porte-satellite du différentiel. On retrouve ensuite les satellites (3a) et (3b) ainsi que les planétaires (41) et (42) du différentiel. Le mouvement de rotation est transmis par les arbres (51) et (52) aux réducteurs de roues. Le mouvement de rotation est enfin transmis aux moyeux (81).

LIGNE DE METRO METEOR

différentiel

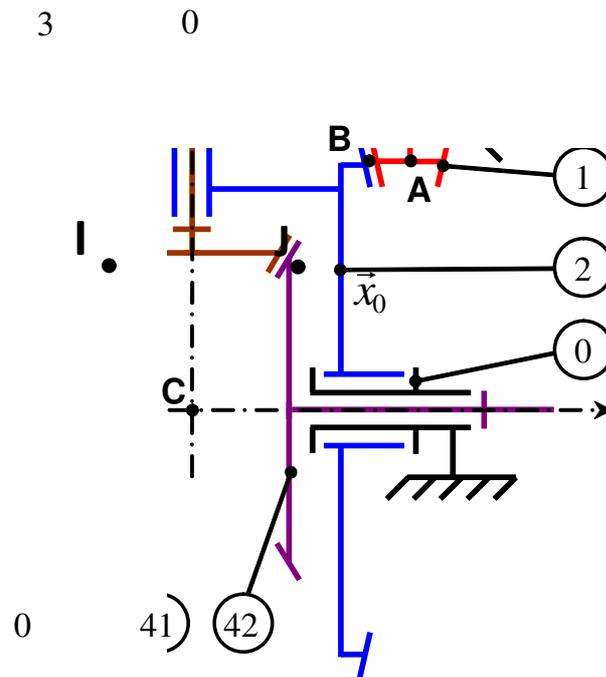


Figure 1 – Schéma cinématique du réducteur différentiel

Données géométriques

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

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

$$\overrightarrow{CI} = R_{41} \cdot \vec{y}_0 - R_3 \cdot \vec{x}_0$$

$$\overrightarrow{CJ} = R_{42} \cdot \vec{y}_0 + R_3 \cdot \vec{x}_0$$

$$D_{41} = D_{42} = 2 \cdot R_{41} = 2 \cdot R_{42}$$

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 primitif D d'une roue dentée est :

$$D = m Z, \text{ où } Z \text{ est le nombre de dents.}$$

Notation :

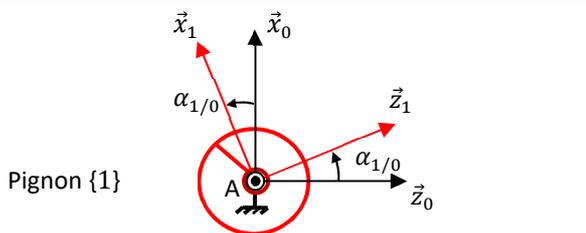
$$\vec{\Omega}_{i/j} = \omega_{i/j} \vec{u}_k = \dot{\alpha}_{i/j} \vec{u}_k ;$$

Pour cette étude, les poids des pièces seront négligés.

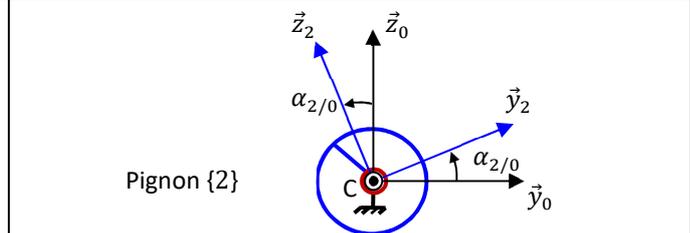
Le point I est point de contact entre les pignons 41 et 3.

Le point J est point de contact entre les pignons 42 et 3.

Relation entre la vitesse du pignon 1 et la vitesse du pignon 2



Pignon {1}



Pignon {2}

Q1 Déterminer le torseur cinématique $\{V_{1/0}\}$ au point B.

Q2 Déterminer le torseur cinématique $\{V_{2/0}\}$ au point B.

Q3 Ecrire la condition de roulement sans glissement au point B entre les pignons 1 et 2.

Q4 En déduire une relation entre les vecteurs vitesse $\overrightarrow{V_{B \in 1/0}}$ et $\overrightarrow{V_{B \in 2/0}}$.

Q5 En déduire une relation entre les normes des vecteurs rotation $\omega_{2/0}$ et $\omega_{1/0}$

Etude du moteur de traction

Le moteur de traction est une machine à courant continu dont les caractéristiques sont :

Puissance absorbée $P_n = 165 \text{ kW}$

Tension d'alimentation $U_n = 375 \text{ V}$

Fréquence de rotation $N_n = 3000 \text{ tr/mn}$

L'induit a une résistance $R = 50 \text{ m}\Omega$ et une inductance $L = 3 \text{ mH}$.

L'inducteur a une résistance de $R_e = 16 \Omega$.

Un essai en moteur (point de fonctionnement noté A), alimenté sous sa tension nominale avec un courant inducteur $I_e = 25 \text{ A}$ et une tension inducteur de 200 V a permis de mesurer un courant dans l'induit $I_A = 440 \text{ A}$ pour une fréquence de rotation $N_A = 2000 \text{ tr/mn}$.

Q6 Calculer pour ce fonctionnement la force électromotrice E_A , la valeur de la constante de fem k et le couple électromagnétique C_{em} .

Le couple utile mesuré sur l'arbre du moteur a pour valeur $C_u = 710 \text{ Nm}$.

Q7 En déduire la valeur du couple de pertes C_p (considéré comme constant dans le reste du problème).

Q8 Calculer le rendement du moteur pour ce point A.

LIGNE DE METRO METEOR

Fonctionnement entre 2 stations

Entre deux stations, le mouvement du véhicule comporte :

- une phase d'accélération entre 0 et t_1
- une phase à vitesse constante Ω_0 entre t_1 et t_2
- une phase de décélération entre t_2 et t_3

Le graphe des variations de la vitesse est représenté sur le document réponse.

On donne $\Omega_0=217 \text{ rad/s}$; $t_1=13\text{s}$; $t_2=70\text{s}$; $t_3=83\text{s}$; $J=52\text{kg.m}^2$.

La charge oppose un couple constant $C_r = 710\text{Nm}$

Q9 Pour chaque phase de fonctionnement, calculer l'accélération angulaire $\dot{\Omega}$ de l'arbre de rotation du moteur.

Q10 Tracer sur le document réponse les variations du couple d'accélération C_{acc} en fonction du temps lors du déplacement entre deux stations.

Q11 Rappeler l'équation mécanique d'une machine à courant continu.

Q12 Pour chaque intervalle de fonctionnement donner l'expression du couple électromagnétique C_{em} délivré par la machine à courant continu en fonction de la vitesse angulaire Ω .

Q13 Pour $0 < t < t_3$ tracer sur le document réponse les variations de C_{em} en fonction du temps.

Q14 En déduire le déplacement du point de fonctionnement de la machine à courant continu dans le plan $C_{em}(\Omega)$ et le représenter sur le document réponse.

LIGNE DE METRO METEOR

