

L'usage des notes, de calculatrice et de téléphone portable est interdit durant la première partie de l'examen.

## EXERCICE 1 : CONNAISSANCE GENERALE

### Questions à traiter

Définissez le rôle des industriels ferroviaires depuis 1985 en considérant le cadre réglementaire européen.

Définissez le rôle de RFF depuis 1985 en considérant le cadre réglementaire européen.

Définissez le rôle de SNCF depuis 1985 en considérant le cadre réglementaire européen.

Donnez l'ensemble des efforts résistant du train.

Sur un train composé d'une locomotive de type bobo et de 20 wagons montés sur des bogies de type 22, justifiez la présence des freins mécaniques sur l'ensemble des essieux des wagons.

Expliquez l'intérêt du freinage électrique par rapport au freinage mécanique.

L'usage des notes et de téléphone portable est interdit durant la durée de l'examen.

## EXERCICE 2 : EXPLOITATION D'UNE LIGNE DE RER

### Cas d'étude

Ce calcul repose sur l'expression analytique des équations cinématiques. Afin de simplifier la marche du train, trois phases sont considérées sur l'ensemble du trajet. Elles seront respectivement dénommées, phase 1, 2 et 3. Durant la phase 1, le train démarre depuis son point de départ et subi une accélération uniforme jusqu'à sa vitesse commerciale. Pendant la phase 2, le train roule à vitesse constante et nominale. Enfin, la troisième phase impose au train une décélération jusqu'à son immobilisation en gare d'arrivée. Pour exploiter ces équations, il est nécessaire de retenir les hypothèses liées aux performances cinématiques des engins de traction suivantes :

- le temps d'accélération  $t_1$  nécessaire à atteindre la vitesse commerciale durant la phase 1 ;
- la vitesse commerciale  $v_{int12}$  qui correspond à la vitesse de la phase 2 ;
- la distance d'arrêt  $\Delta x_3$  parcourue par le train durant la phase 3.

### Questions à traiter

Pour réaliser cette étude, il vous est demandé de répondre à l'ensemble des questions suivantes :

- 1) Donner les équations cinématique du train pour les trois phases.
- 2) Déterminer l'expression analytique de la constante d'accélération pour les phases 1 et 3.
- 3) Déterminer l'expression analytique de la durée de la phase 2 en fonction de l'accélération de la phase 3 et de la durée totale du parcours.
- 4) Déterminer l'expression analytique du temps de parcours de la ligne en fonction du temps d'arrêt en gare et du nombre d'arrêt.
- 5) Pour l'application numérique des tableaux 1 et 2, calculer les constantes d'accélération des phases 1 et 3, la durée de la phase 2, la distance parcourue par le train sur les trois phases. Pour cette question, l'origine des temps sera fixée à 0 au début de chacune des phases. Les conditions initiales fixées en fonction de l'état final de la phase précédente.

Cas d'étude	Phase 1, temps d'accélération ( $\Delta t_1$ ) [s]	Phase 2, vitesse ( $v_{int12}$ ) [km/hr]	Phase 3, distance de décélération ( $\Delta x_3$ ) [m]
RER	31,25	140	400

Tableau 1. : Caractéristiques cinématique des cas d'application

Cas d'étude	Phase 1, 2 et 3, temps cumulé ( $\Delta t_{123}$ ) [min]	Nombre d'arrêt du train sur le parcours ( $N_{\text{arrêt}}$ )	Temps d'arrêt en gare de la phase 4 ( $\Delta t_4$ ) en [s]
RER	3,500	11	60

Tableau 2. : Profil d'exploitation de la ligne des cas d'applications

### Formulaire

Les expressions de la vitesse et de la distance parcourue par le train sont déduites des équations cinématique d'un mouvement rectiligne. Dans le cas où l'accélération est uniforme on applique l'équation 1 et pour une phase à vitesse constante l'équation.2.

$$\begin{cases} x(t) = \frac{a}{2} \cdot t^2 + v_{init} \cdot t + x_{init} \\ v(t) = \frac{dx(t)}{dt} = a \cdot t + v_{init} \\ a(t) = \frac{dv(t)}{dt} = a \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} x(t) = v_{init} \cdot t + x_{init} \\ v(t) = \frac{dx(t)}{dt} = v_{init} \\ a(t) = \frac{dv(t)}{dt} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

## EXERCICE 3 : COURBE EFFORT-VITESSE D'UN ENGIN DE TRACTION

### Cas d'étude

Le service de bureau d'étude d'un industriel ferroviaire a reçu la commande de 100 locomotives BoBo électriques alimentées sous tension 2500V. Votre travail est de dimensionner cette locomotive utilisée pour du trafic fret suivant le programme de traction suivant :

- Type de charge remorquée : transport combinés (fret) ;
- Charge remorquée maximale ( $M_r$ ) : 20 wagons corail de 60 t ;
- Rampe maximale (i) : 10‰ ;
- Rayon de courbe minimal ( $r_v$ ) : 350 m ;
- Ecartement de la voie : 1435 mm
- Charge par essieu (Q) : 22 tonnes ;
- Vitesse maximale  $V_{max}$  : 120 km/h ;
- Accélération minimale : 0,02 (m/s<sup>2</sup>) ;
- Réserve d'accélération : 0,008 (m/s<sup>2</sup>) ;
- Coefficient d'adhérence maximale : 0,40.

Pour réaliser l'étude, il convient de considérer les caractéristiques du convoi ferroviaire suivantes :

- Coefficient de majoration des masses tournantes remorquées : 4% ;
- Coefficient de majoration des masses tournantes de la locomotive : 9% ;

### Questions à traiter

Par la suite on vous demande de répondre aux deux questions suivantes :

- 1) Déterminez l'effort maximal au démarrage à partir des formules classiques
- 2) Déterminez l'adhérence sollicitée et comparez aux coefficients usuellement utilisés. Que constatez-vous ? Que feriez-vous ?
- 3) Tracez la caractéristique effort vitesse en limite d'adhérence.
- 4) Tracez la caractéristique effort vitesse en équi-puissance.

### Formulaire

La résistance à l'avancement de la locomotive BoBo s'exprime selon la relation (3).

$$R_L = 65 \cdot 10^{-4} \cdot M_L + 0.13 \cdot n + 10^{-4} \cdot M_L \cdot V + 3 \cdot 10^{-4} \cdot V^2 \quad (3)$$

Avec  $R_L$  la résistance à l'avancement de la locomotive en kN,  $M_L$  la masse de la locomotive en t et  $V$  la vitesse du train en km/h.

La résistance à l'avancement d'un convoi de voiture corail s'exprime selon (4).

$$R_R = \frac{M_R}{100} (1,2 + 0,01V + 0,000171.V^2) \tag{4}$$

Avec  $R_R$  la résistance à l'avancement des wagons en kN,  $M_R$  la masse remorquée en t et  $V$  la vitesse du train en km/h.

La force due à la courbe est déterminée à partir de l'expression suivante :

$$F_c = \frac{k_e}{r_v} \cdot (M_T + M_R) \cdot 10^3 \cdot g \tag{5}$$

Avec  $F_c$  l'effort en courbe en N,  $k_e$  le coefficient d'écartement de la voie défini au Tableau 3,  $M_L$  et  $M_R$  respectivement les masses de la locomotive et remorquées en t,  $r_v$  le rayon de courbe minimal et  $g$  la constante d'accélération de la pesanteur en  $m/s^2$  (fixée à  $9,81 m/s^2$ ).

Coefficient d'écartement de la voie $k_e$ (mm)	Écartement de la voie (mm)
750	1435
530	1000
400	750
325	600

Tableau 3 : Coefficient d'écartement de la voie

L'expression de la caractéristique effort-vitesse en limitation d'adhérence (6)(4).

$$F(V) = F_D \frac{8 + 0,1 \times V}{8 + 0,2 \times V} \tag{6}$$

Avec  $F_D$  l'effort maximal au démarrage et  $V$  la vitesse du train en km/h.

## EXERCICE 4 : ADHERENCE

### Cas d'étude

Votre travail est de dimensionner l'effort de traction et de freinage de deux cas d'études. Les données du problème sont les suivantes :

- Coefficient d'adhérence maximale en traction : 0,32 ;
- Coefficient d'adhérence maximale en freinage : 0,11 ;
- Charge par essieu (Q) du train 1 : 20 tonnes ;
- Charge par essieu (Q) du train 2 : 18 tonnes ;
- Effort de traction maximal du train 1 : 250 kN ;
- Effort de freinage maximal du train 1 : 420 kN ;
- Effort de traction maximal du train 2 : 450 kN ;
- Effort de freinage maximal du train 2 : 420 kN.

### Questions à traiter

Par la suite on vous demande de répondre aux deux questions suivantes :

- 1) Justifiez de la différence d'adhérence en traction et en freinage ;
- 2) Déterminez le nombre d'essieux motorisés et porteur du train 1 ;
- 3) Déterminez le nombre d'essieux motorisés et porteur du train 2.

### Formulaire

L'effort maximal est déterminé à partir de la relation (3).

$$F_{max} = \mu_r \cdot n \cdot Q \cdot g \quad (7)$$

Avec  $\mu_r$  l'adhérence maximale,  $n$  le nombre d'essieu,  $Q$  la charge l'essieu en kg et  $g$  la constante d'accélération de la pesanteur en  $m/s^2$  (fixée à  $9,81 m/s^2$ ).