

1* Sur une ligne de 20 km électrifiée en monophasé, on remorque avec une 185 de la DB des trains de 1600 t à 100 km/h. Elle comprend une rampe de 10 km à 5 ‰. Après un grave incident dans la sous-station qui alimente la ligne de contact de ce tronçon, l'alimentation électrique n'est plus disponible. La ligne doit être exploitée transitoirement en traction thermique. (Fiches 8.5.13 & 8.10.23, fig. 4.229)

A Combien faut-il alors de 285 de CBrail pour assurer la remorque d'un tel train ?

B On se pose la question de la réparation de l'installation électrique. Exposer au Conseil d'Administration les critères de choix.

5* On envisage de porter la ligne de l'Uetliberg d'une tension actuelle de 1200V= à 1500V=. On veut commander des nouveaux trains aptes aux deux tensions.

A Quelles sont les conséquences de cette élévation de tension sur les installations fixes : modification à apporter, comportement en exploitation ?

B Quelles sont les implications sur le matériel roulant actuel ? Modifications ? Mise hors service ?

7* Une erreur de composition s'est glissée dans la 2^e édition (2008) de *Traction Electrique*, faisant disparaître des caractères à la page 484 (parenthèses, primes, signes de différences, delta,...). (doc. Annexe).

A l'aide de la figure 10.15 et des équations (10.9) à (10.25), rétablir les équations de cette page dans leur intégralité.

9* Une rame de banlieue de FEPASA (Fiche 8.3.47) est prévue pour circuler à São Paulo.

A Pourquoi le constructeur a-t-il dimensionné les moteurs pour 2500V/2 alors que la tension nominale à la ligne de contact est de 3000V=.

B Déduire les conséquences sur la commande du hacheur.

11* La première ligne à grande vitesse des FS, *Direttissima*, a été mise en service en 1977. Comme l'ensemble du réseau, elle est électrifiée en 3 kV=. Les lignes à grande vitesse plus récentes ont été électrifiées en 25 kV 50 Hz. Les FS étudient la conversion de cette ligne en monophasé.

A Analyser les avantages et inconvénients d'une telle modification.

B Evaluer les travaux à effectuer, et leur organisation, de manière à maintenir le trafic sans perturbation.

12* Le Chemin de fer Rhétique (RhB) a commandé des automotrices triples bicourant (fiche 8.5.98). Etudier leur circulation sur la ligne de la Bernina (1 kV=, voir document). Pour les auxiliaires et le chauffage, on considère une valeur de 250 kW.

A A mi-distance entre Poschiavo et Cadera où se trouvent deux sous-stations en service, un train panoramique *Bernina-Express* est remorqué à 36 km/h par une automotrice qui développe en ce moment 180 kN. Quelles sont les chutes de tension, ou quelle est la tension à la ligne de contact?

B Quel courant soutire l'automotrice ? Quelle puissance délivre chacune des sous-stations ? Evaluer le dimensionnement des installations fixes par rapport à celui du véhicule moteur.

C Quelle serait la conséquence en cas d'alimentation par la seule sous-station de Cadera, celle de Poschiavo étant en maintenance?

D Sur la ligne de la Bernina, on circule avec deux pantographes levés : expliquer les avantages et inconvénients dans le couple pantographe – ligne de contact.

14* Une 252 de la RENFE (Fiche 8.3.15, p.4) remorque un train de voyageurs de 500 t sur une ligne à double voie électrifiée en 3000 V (voir doc.).

A Quelle est l'intensité maximale que la locomotive peut appeler au kilomètre 15, pour que la tension à la ligne de contact ne descende pas au-dessous de 3 kV ?

B Sachant que le courant nécessaire aux auxiliaires et à la puissance hôtelière du train s'élève à 108 A, et que le rendement de la locomotive est de 0,85, quel est la puissance à la jante alors disponible ?

C Quels sont les points de la ligne où la chute de tension est maximale, à courant égal ?

28* Vers Löchligut, un signal est resté fermé. Un IC Genève Saint-Gall formé de 14 VU IV (42 t pièce) et occupé par 600 voyageurs a été ralenti presque jusqu'à l'arrêt. À l'ouverture du signal, la Re 460 (fiche 8.3.12) accélère le train à effort maximal en direction du Grauholz. On considère la ligne comme en palier.

(2014)

A Quelle est l'accélération dans la première centaine de mètres, puis à l'intérieur du tunnel à double voie vers 75 km/h?

B Quel est le courant soutiré à la ligne de contact à 10 km/h, puis à 75 km/h, si la tension est à sa valeur nominale?

Le même train circule ensuite à vitesse stabilisée à 200 km/h entre Mattstetten et Rothrist, sur un tronçon en palier à l'air libre.

C Quel est alors l'effort de traction nécessaire ? Quelle est la puissance mécanique?

D Quel est le courant soutiré à la ligne de contact si la tension est à sa valeur nominale?

29* On a calculé le facteur de puissance (voir Doc 29) d'une Re 4/4 II (fiche 8.3.3). Au Gothard, une Re 4/4 II remorque un train de 600 t à 20 km/h avec son effort de traction maximal. (2014)

A déterminer le facteur de puissance de l'engin de traction, le courant au secondaire et le cran du gradateur.

B Quels sont les courants actif et réactif appelés à la ligne de contact? Faute de donnée, on néglige les pertes dans le transformateur et on le considère idéal.

C Quelle est la tension à la sous-station située à 10 km de là ? A cette heure de la nuit, on admet qu'il n'y a pas d'autre train sur ce secteur électrique. La ligne est à double voie (fig. 10.10) et la tension à l'emplacement du train est de 15,00 kV.

D Quel est alors le facteur de puissance de la sous-station ?

115* Le gouverneur de Californie est sensible aux gaz à effet de serre. Il souhaite électrifier une première partie du réseau de chemins de fer de son état (voir document annexe) et réduire ainsi les émissions de CO₂. Il souhaite aussi augmenter l'offre des trains pour les rendre plus attractifs pour les usagers, en particulier pour le trafic passager pendulaire à courte distance (à moyenne distance au sens européen du terme).

A Choisir un système d'électrification. Hormis les lignes de métro et tramway qui sont indépendantes du réseau de chemin de fer, aucune ligne n'est électrifiée. 1,5 kV= (comme région Chicago), 3 kV= (comme autrefois Chicago-Milwaukee), 11 kV 25 Hz (comme côte est USA, sud de New York), 12,5 ou 25 kV 60 Hz (comme côte est USA, nord de New York).

B Sachant que le réseau triphasé à 60 Hz est toujours à moins de 3 kilomètres des lignes ferroviaires, déterminer le nombre et l'implantation des sous-stations qui alimenteront la ligne de contact.

C Proposer un cahier des charges pour des locomotives pour services voyageurs et marchandises (voir document annexe). On sait que les embranchements d'entreprises resteront sans ligne de contact. Si un modèle proche est connu sur le marché, le mentionner.

D Est-ce que l'électrification est aussi économiquement favorable pour le trafic mentionné ?

116* Une RABe 511 (fiche 8.3.67) circule à 40 km/h vers le CEG, avant Genève-Sécheron, elle accélère alors vers Lausanne à plein effort jusqu'à la pleine puissance puis à pleine puissance jusqu'à 140 km/h, vitesse maximale autorisée sur la ligne. La voie est alimentée en antenne depuis Les Tuileries (à 4,4 km de là). On pose les hypothèses suivantes :

- Ces véhicules modernes ont un facteur de puissance de $\lambda = 1$ (anciennement $\cos\phi = 1$).
- Dans ce train fort matinal, on n'a qu'environ 40 voyageurs, soit 3 t.
- On négligera la puissance nécessaire à la climatisation et aux auxiliaires.
- La ligne de contact est de construction standard CFF (fig. 10.10), $\rho_{lc} = 80 + 130j$ [m Ω /km]. La voie est établie en rails UIC de 60 kg/m, $\rho_{voie} = 30$ [m Ω /km].
- Chacune des 3 voies parallèles est alimentée par un contacteur indépendant, comme une voie unique. La zone de gare qui vient d'être quittée, et les voies de débords, sont raccordées à un autre contacteur depuis le même jeu de barres.
- La tension de sortie de la sous-station est de 17 kV. (2015)

A Calculer le courant appelé et la chute de tension au moment où le mécanicien demande le plein effort. Quel est alors le courant complexe à la sous-station.

B Refaire le calcul du courant au moment où la puissance maximale est atteinte.

C Refaire le calcul du courant au passage devant la sous-station, à vitesse stabilisée à 140 km/h.

117* Une rame Be 4/4 + Bt (fiche 8.7.5) descend de Saint-Cergue à 40 km/h en frein à récupération à 1 km d'Arzier. Une autre monte de Nyon à 1 km d'Arzier à la même vitesse. (voir Doc 117) Calculer les tensions en gare d'Arzier et à l'emplacement des convois. (2015)

118* Les automotrices Be 4/4 du NStCM (fiche 8.7.5) sont encore en excellent état général, mais les thyristors 15.7 ne sont plus disponibles sur le marché. En cas de panne, il ne reste que les cartes de réserve à l'atelier, et les cartes défectueuse ne peuvent pas être réparées. En 2015, les premières nouvelles automotrices seront livrées, avec un équipement de 1 MW à moteurs asynchrones. (2010)

A Analyser les solutions possibles de *retrofit*, ou de modernisation de l'équipement de traction, en conservant la partie mécanique (caisse et bogies). Les moteurs de traction, comme les réducteurs peuvent être soit conservés, soit remplacés.

B Evaluer aussi la pertinence économique de chaque solution technique.

119* Les 1042 des ÖBB (fiche 8.3.75) disposaient d'un frein électrique mixte à récupération et rhéostatique. Etudier le schéma électrique et expliquer le fonctionnement de ce frein. (2014).

120* Une Be 6/8 des TPG (fiche 8.6.65) vient de quitter le terminus de Nations avec 40 usagers. Elle se trouve à l'arrêt Sismondi. (voir Doc 120) Le wattman demande alors les pleines performances pour accélérer le tram à sa vitesse maximale sur l'avenue de France. (2015)

A Calculer le courant appelé et la tension à la ligne de contact pour une vitesse de 5 km/h. Pour la position, on considère que le tram est à l'emplacement de l'arrêt.

B Calculer le courant appelé, la tension à la ligne de contact et la position lorsque la pleine puissance est atteinte.

C Calculer le courant appelé, la tension à la ligne de contact et la position lorsque la vitesse maximale est atteinte.

121* On étudie une locomotive historique Ge 2/2 N°4 du *Tavannes-Tramelan*, aujourd'hui à l'inventaire des Chemins de fer du Jura (CJ), construite en 1913. On dispose de la caractéristique d'un moteur mesurée au banc d'essai sous 1200 V= (tension d'origine) et des valeurs de crans mesurées en 2015. (voir Doc 121)

A Calculer la courbe de solévation.

B Calculer les courbes en traction à l'origine.

C Calculer les courbes en traction sous la tension nominale actuelle (1500V=).

D Calculer les courbes en freinage.

122* Un réseau de transport publics urbains construit une nouvelle ligne de tramways de 11 km. L'opérateur lance un appel d'offres pour 20 nouvelles automotrices, avec une option pour 10 autres :

1. Tension nominale à la ligne de contact 750 V=.
2. Capacité : ~280 usagers dont ~90 places assise.
3. Masse : ≤ 60 t.
4. Longueur : ≤ 54 m
5. Vitesse : 70 km/h.
6. Plancher bas sur > 70 % de la longueur
7. Charge par essieu ≤ 10 t, plus faible sur les essieux porteurs que sur les moteurs.
8. Démarrage à pleine charge sur rampe de 40 ‰ jusqu'à 30 km/h avec une accélération de $0,7 \text{ m/s}^2$.
9. Circulation sur une avenue à 60 km/h à pleine charge sur rampe de 10 ‰ avec une accélération résiduelle de $0,1 \text{ m/s}^2$.

A Calculer la puissance à installer dans le véhicule pour respecter le cahier des charges et proposer une répartition de la motorisation. Pour les calculs, on peut utiliser les caractéristiques des frottements et masses tournantes de l'exemple indicatif (fiche 8.6.65).

B Analyser les types de chaînes de traction réalisables pour une livraison en 2020 : points forts et points faibles.

C Proposer au client la solution mieux adaptée pour une décision à prendre à l'automne 2018.

D Calculer l'appel de courant à la ligne de contact au moment du démarrage, pour la tension nominale. (2018)

123* En remplacement d'une rame *Domino* de RegioAlps, une rame *Flirt* CFF quitte Bouveret en direction de Saint-Maurice avec 21 voyageurs à bord. Le mécanicien demande un plein effort de traction. (Fiche 8.3.21) (2016)

A Calculer la puissance mécanique développée au moment où la vitesse de 47 km/h est atteinte.

B Calculer la puissance électrique pour la traction soutirée à la ligne de contact au même moment.

C Calculer la tension à la ligne de contact au même moment et le courant appelé. La puissance est injectée à Saint-Maurice sous une tension de 16 kV. La ligne de contact correspond aux valeurs du tableau 10.10 pour une ligne à voie unique sous 15 kV / 16,7 Hz. On admet que les convertisseurs du *Flirt* sont réglés pour que le facteur de puissance du train soit de $\lambda = 1$.

D Expliquer sans calcul. Quel est l'effet si on tient compte des auxiliaires qui consomment 130 kW ? Arrivé à 80 km/h, le mécanicien laisse continuer son train en marche sur l'erre. Il ne subsiste que les auxiliaires et la ventilation. Comment évolue alors la tension ?

125* Un train *Giruno* RABe 501 (Fiche 8.5.19) circule seul en course d'essai sur la ligne à double voie Mattstetten – Rothrist. On pose les hypothèses suivantes :

- Ce véhicule moderne a un facteur de puissance $\lambda = 1$.
- Il n'y a que 3 personnes dans le train, masse des voyageurs = 0 t.
- On a les forces de frottement (V en km/h) ! $F_f = 3300 + 43,8*V + 1*V^2$ [N].
- On peut négliger la puissance des auxiliaires et de la climatisation.
- La ligne de contact est standard des CFF (Fig. 10.10), $\rho_c = 50 + 80j$ [m Ω /km]. La voie est construite en rail UIC de 60 kg/m, $\rho_v = 30$ [m Ω /km].
- La sous-station est ajustée à 17 kV. (2018)

A Le train accélère avec l'effort de traction maximal à-côté d'une sous-station. Calculer la puissance mécanique à 10 km/h et 72 km/h. Calculer le courant au pantographe pour ces deux vitesses. Quel est la valeur du courant délivré par la sous-station dans les deux cas ?

B Dix kilomètres plus loin, le train circule en palier à une vitesse stabilisée de 200 km/h. Calculer la puissance et le courant soutiré. Quelle est la tension à la ligne de contact ?

C L'entreprise allemande ALEX et la suisse BLS envisagent l'acquisition de trains de même caractéristique. On étudie l'usage de moteurs synchrones à aimant permanent et de convertisseurs au carbure de silicium de mêmes performances. Citer les avantages et inconvénients.