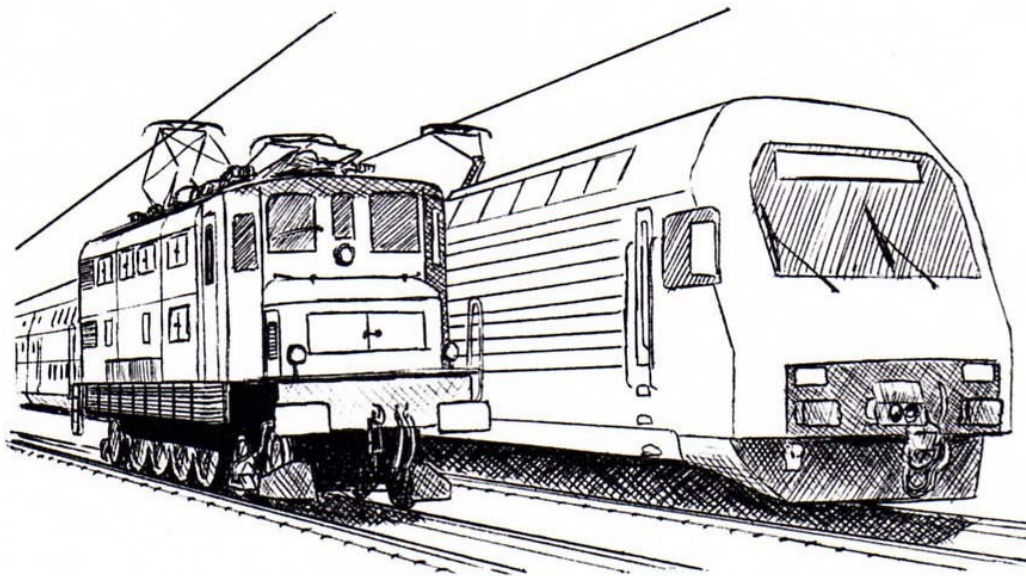


Techniques Ferroviaires



Exercices choisis

Jean-Marc Allenbach



LME - Laboratoire de machines électriques

Edition 2018

TECHNIQUES FERROVIAIRES

Relations entre exercices et théorie

Théorie : section ou chapitre	Exercices correspondants
1	
2	
3	3, 15- 19, 23, 31-37, 42- 45, 88-91,105- 107, 110, 113,122
4.1	10, 33, 54 – 58, 86 – 91, 108, 121
4.2	40 – 43, 70 – 74, 119
4.3	5, 6, 8, 9, 33, 38 – 39, 80 – 85,
4.4	20, 25 – 27, 50 – 53, 75 – 79, 111, 112
4.5	2, 3, 5, 33, 47 – 49, 91 – 93, 106, 109
4.6	2, 3, 99 –104
4.9	1, 60 – 69
4.x (concerne tout le chapitre)	30 – 33, 45 – 46, 59, 118
5.x	2, 21-22, 44 - 46, 66, 105, 114
6.x	12, 14, 60
7.x	4, 24, 94 – 98
8.x	
9.x	
10.x	1, 5, 7, 9, 11 – 14, 28 – 29, 115 – 117, 120, 122
11.x	10 – 14

TECHNIQUES FERROVIAIRES
Corrigés pour les exercices

Les corrigés ne sont pas donnés dans ce document. Ils sont disponibles sur le site de Techniques Ferroviaires :

<https://documents.epfl.ch/groups/t/tr/traction/www/TFtable.htm>

Ils y sont classés par chapitre ou par section, dans l'ordre des liaisons avec la théorie données à la page précédente.

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.

2* On veut commander une série de mégatrolleybus pour une ligne urbaine chargée. Sur les 4 essieux, deux seront directeurs et deux motorisés. La puissance nominale souhaitée est de 2×160 kW et la maximale de 2×240 kW. (Fiche 8.6.38 à titre indicatif).

A Evaluer deux chaînes de traction : moteurs asynchrones ou moteurs synchrones à aimant permanent : service normal, mais aussi en cas de défaut : court-circuit dans une phase du convertisseur, et dans une phase du moteur.

B Comparer la solution avec des moteurs longitudinaux et des ponts hypoides, et celles des moteurs roues ($4 \times 40/120$ kW) sans arbre transversal.

3* A l'occasion de la construction de la nouvelle gare souterraine de transit à Zürich, on prévoit de trains Uetliberg–Zürich-Uster. La ligne de l'Uetliberg est alimentée en 1200 V= alors que le S-Bahn de Zürich est alimenté en 15 kV 16,7 Hz. On prévoit des rames automotrices articulées pour quais de 55 cm, avec plancher bas à environ 60 cm du rail.

A Concevoir un entraînement pour 1500 V=/15 kV 16,7 Hz, apte aussi à fonctionner sous la tension actuelle de 1200 V=.

B Dimensionner la puissance à installer pour un train de quatre voitures offrant environ 180 places assises et autant de places debout. (Exemples : Fiche 8.3.21 et fiches Stadler). On veut atteindre 140 km/h, et une accélération de 1 m/s^2 jusqu'à 60 km/h en palier à pleine charge sous ligne monophasée. Sous ligne continue, on veut tenir l'horaire actuel sur l'Uetliberg avec une vitesse maximale de 70 km/h (doc. annexe).

C Etudier si l'architecture articulée Bo'-2'-2'-2'-Bo' peut convenir ou s'il faut choisir une motorisation mieux répartie : rames Bo'-2'-Bo'+ Bo'-2'-Bo' ? Motorisation des bogies Jacobs, mais alors où placer les équipements ?

4* Pour les automotrices 1500V=/15kV~, on a prévu un entraînement de 1 MW modulaire à deux moteurs à transmission à cardans tubulaire (*hollow shaft drive*).

A Sachant que le personnel de conduite peut commander en réglage d'effort ou en réglage de vitesse, concevoir la structure du réglage pour l'ensemble onduleur – moteur – transmission – essieu.

B Evaluer les paramètres pour le dimensionnement des régulateurs.

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 élévations 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 ?

6* Les trams DAV (Be 4/6 : fiche 8.6.4) des TPG passent (entre 2006 et 2009) par une opération dite de « mi-vie » : remplacement des équipements d'électronique de puissance et de leur commande par des modules neufs (les composants tels les thyristors, installés il y a 20 ans, sont difficiles à trouver sur le marché et l'entretien est donc devenu délicat), les câblages sont refaits et les moteurs de traction sont soigneusement révisés. (doc. Annexe)

A Comparer les circuits de puissance et commenter l'évolution en 20 ans. Décrire le fonctionnement après transformation.

B Quelles sont les conséquences sur les caractéristiques de traction et de freinage ? Est-ce qu'on a pu profiter d'améliorer les performances ?

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.

8* Une rame de banlieue de FEPASA (Fiche 8.3.47) est prévue pour circuler à São Paulo. Les données du constructeur ne contiennent pas les caractéristiques de freinage.

A Sur la base des données disponibles (doc. Annexe), reconstituer l'enveloppe de la caractéristique de freinage.

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.

10* Les *Tartarughe* (Fiche 8.3.44) ont été les locomotives des services FS prestigieux dans les années '70 et '80. Elles ont en particulier assuré la traction sur la *Direttissima* Florence–Rome dès sa mise en service en 1977.

A Déterminer l'effort de traction d'une E444 (fig. 3.2, courbe 3) pour remorquer en palier un train de 8 voitures *Gran Comfort* (42 t. à vide) à 200 km/h (figure 3.3. courbe 3). Quel cran de traction le mécanicien a-t-il choisi ?

B Quel est le courant appelé à la ligne de contact si on admet qu'elle se trouve à tension nominale ?

C Quel est la densité de courant au niveau de la palette si on admet une largeur d'appui de 4 mm par fil de contact (fig. 11.9 et 11.12, doc. annexe) vers 1980? Un mécanicien a proposé de lever avec les deux pantographes levés pour favoriser la prise de courant : est-ce une bonne idée ?

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 sont électrifiées en 25 kV 50 Hz. Les FS étudient la conversion de cette ligne en 25 kV.

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* Les Chemins de fer Rhétiques (RhB) ont commandé des automotrices doubles bicourant (fiche 8.5.98). Etudier leur circulation sur la ligne de la Bernina (1 kV=, voir annexe). 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.

13* Les deux premières lignes à grande vitesse ont été électrifiées en 25 kV 50 Hz : Tokyo – Osaka (1964) et Paris – Lyon (1978).

A Comparer le captage du courant à 200 km/h – sur les plans mécanique et électrique – avec les véhicules d'origine : les TGV-PSE (fiche 8.5.5) circulent avec un pantographe par rame, les Shinkansen 0 avec 6 (fiche 8.2.3).

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.). (d'après ESTP 1989)

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 ?

15* Une section de ligne en rampe et en alignement comporte successivement, à compter du point kilométrique 0 (noté PK 0) :

- une rampe de 8,5‰ jusqu'au PK 0,7,
- une zone de raccordement cylindrique s'étendant du PK 0,7 jusqu'au PK 1,3 (rayon de courbure verticale de 33 000 m),
- une rampe de 15‰ jusqu'au PK 4.

Un train – engins moteurs compris – de masse 4500 t et de longueur 1,5 km a sa tête arrêtée au PK 2. On considérera que la masse est uniformément répartie sur la longueur du convoi, locomotives comprises. (d'après ESTP 1992)

A Calculer le profil équivalent sous le train.

B Quel est l'effort nécessaire au démarrage pour garantir une accélération de $0,03 \text{ m/s}^2$ jusqu'à 33 km/h ?

C Résoudre la même question que **B**, si la tête se trouve au PK 3.

D Un tel train peut-il être remorqué par deux locomotives C_0C_0 en tête avec attelage à vis ?

16* Une Re460 remorque un train et développe un effort de traction de 275 kN. Le crochet d'attelage se trouve à 1050 mm au-dessus du rail et le pivot du bogie à 200 mm. (Fiche 8.3.12)

A Il y a une erreur à l'équation (3.31) du livre *Traction Electrique* : Dans le calcul de la force normale à l'essieu, les auteurs ont oublié de diviser par 2 la surcharge d'un bogie qui se répartit sur les deux essieux. Corriger l'équation (3.31).

B Calculer la répartition des charges sur les essieux en admettant que le train est sur un palier et que la dérivée de l'effort est nulle.

C Quelles sont les valeurs de coefficients d'adhérence minimaux aux essieux pour que cette performance puisse être accomplie ? (2008)

17* Une rame Eurostar est composée de 18 voitures encadrées de deux têtes motrices (Fiche 8.5.12). On donne sa résistance à l'avancement :

$$F_f = 4,82 + 6,52 \cdot 10^{-2} \cdot V + 1,005 \cdot 10^{-3} \cdot V^2 \quad [\text{kN}] \quad (\text{avec } V \text{ en } [\text{km/h}])$$

A Quelle est la puissance à la jante nécessaire pour circuler à 300 km/h en rampe de 3,5 ‰ en alignement ?

B Quel est le supplément de puissance pour circuler à 350 km/h au même endroit ? Quel est le facteur prépondérant pour cet accroissement ?

C Sachant que la puissance maximale à la jante peut atteindre 12 MW, quelle sera la vitesse d'équilibre en rampe de 25 ‰ ?

D Quelle est la puissance à la jante pour circuler à 300 km/h en pente de 25 ‰ ? S'agit-il de traction ou de freinage de retenue ? (d'après ESTP 1993)

18* Un TGV-Réseau développe une puissance aux jantes de 6900 kW à 300 km/h sur une rampe de 5 ‰. Sa résistance à l'avancement est donnée (fiche 8.5.10) :

$$F_f = 2,5 + 3,3 \cdot 10^{-3} \cdot V + 5,53 \cdot 10^{-4} \cdot V^2 \quad [\text{kN}] \quad (\text{avec } V \text{ en } [\text{km/h}])$$

A Calculer sa masse en charge normale.

Un ICE de même capacité est formé de 8 voitures encadrées de deux têtes motrices ($m = 430$ t). Il développe un effort aux jantes de 92 kN à 300 km/h sur une rampe de 4,7 ‰. Sa résistance à l'avancement est donnée (fiche 8.3.14) :

$$F_f = 2,85 + 3,35 \cdot 10^{-3} \cdot V + C \cdot V^2 \quad [\text{kN}] \quad (\text{avec } V \text{ en } [\text{km/h}])$$

B Déterminer le coefficient C .

C Que conclure sur le plan de la traction et de la consommation d'énergie de ces deux matériels qui fournissent la même prestation ?

D Quelle réflexion suscite sur le plan du freinage l'architecture du convoi (disposition des essieux et bogies) ?

E Avec roues mi-usées, ($D_m = 885$ mm) un TGV-R peut développer 267 kN au démarrage avec tous les bogies moteurs en service. Avec roues neuves ($D_n = 920$ mm), mais un bogie hors service, quel est l'effort qui peut être développé? Calculer l'effort spécifique et vérifier si cela est compatible avec un démarrage en rampe de 35 ‰.

F Sur la LGV-Est circulent des TGV et des ICE. Si un ICE est en panne il peut être remorqué par un TGV grâce à un attelage de raccord. Cet attelage a une résistance à la rupture de 180 kN. Sur quel profil maximum ce secours est-il possible avec une accélération de $0,03 \text{ m/s}^2$, en prenant un coefficient de sécurité de 1,3 pour l'attelage. (d'après ESTP 1990)

19* Les 252 de la RENFE (version bicourant de la fiche 8.3.15) ont été construites selon les spécifications de l'exploitant :

1. Train de voyageurs moderne (courbe 2 de la fig. 3.4) de 500 t en palier et alignement à 200 km/h. L'accélération résiduelle doit être de $0,05 \text{ [m/s}^2\text{]}$ ($\xi = 1,05$).
2. Train de voyageurs moderne de 500 t en rampe de 15 ‰ et alignement à 150 km/h.
3. Train de voyageurs moderne de 800 t en rampe de 20 ‰ et alignement à 80 km/h.
4. Train de marchandises composite (courbe 2 de la fig. 3.5) de 750 t en rampe de 20 ‰ et alignement à 80 km/h.

A Calculer les efforts de traction aux jantes, et les puissances correspondantes, pour les 4 cas.

B Quelles réflexions suscitent les efforts pour les cas 3 et 4 ?

C Quel est l'effort au démarrage pour le cas 4 ? (d'après ESTP 1989)

20* Dans les années 1970, on a songé à modifier les Re 4/4 II (fiche 8.3.3) par adjonction de redresseur à diodes.

A Etudier en traction l'adjonction de 1 ou 4 redresseurs : comparer. Quelle modification faudrait-il apporter au schéma de puissance.

B Quelles seraient les modifications de caractéristiques de traction (doc. pour ex. 70 à 74, p. 3). Quelles seraient les conséquences sur le comportement : adhérence, ligne de contact, ...

C Quels seraient les impacts sur le freinage.

D Quelles seraient les conséquences pour le poids et la place occupée ? (2011)

21* On étudie une transmission *Sécheron* qui équipe les locomotives du Chemin de fer de La Mure (Fiche 8.8.48). Six ensembles ressort-amortisseur relient de chaque côté l'arbre creux à la roue motrice. On considère leur effet global comme un effet élastique amorti sur le couple.

$$M_r(t) = k_r (\theta_r(t) - \theta_e(t)); k_r = 580 \left[\frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{rad}} \right]; \quad M_a(t) = k_a (\omega_r(t) - \omega_e(t)); k_a = 100 \left[\frac{\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}}{\text{rad}} \right]$$

A Ecrire les équations du mouvement au niveau de l'arbre moteur. Pour simplifier, on considère un seul moteur qui fournit un couple M_{mot} , avec des performances doubles de celles du moteur seul. L'inertie du moteur, en incluant l'effet de la grande roue dentée rapportée à l'arbre moteur, peut être évaluée à $J_{\text{mot}} = 4,3 \text{ [kg.m}^2\text{]}$.

B Ecrire les équations du mouvement au niveau de l'essieu. L'effet du train est considéré sans patinage comme une force F_{res} appliquée au contact roue-rail. Remplacer la vitesse de rotation de la grande roue par celle du moteur, en tenant compte du rapport $k_G = 1 : 5,4$ et la vitesse de l'essieu par la vitesse de translation en tenant compte du rayon $r_e = 0,503 \text{ [m]}$ de l'essieu. L'inertie de l'essieu peut être évaluée à $J_e = 121 \text{ [kg.m}^2\text{]}$.

C Dessiner le schéma-bloc d'ensemble d'un essieu moteur pour A et B. (2012)

22* Simuler l'exercice 21 pendant 6 [s] en *Simulink*. ($M_{\text{mot}}(0) = 3,37/4 \text{ [kN.m]}$, $F_{\text{res}} = 36/4 \text{ [kN]}$) : la locomotive de 60 tonnes remorque un train de 135 tonnes à vitesse constante de 20 km/h en rampe de 16 ‰. On note que le moteur apporte une variation de couple $\Delta M_{\text{mot}} = 0,19/4 \text{ [kN.m]}$ à $t = 5 \text{ [s]}$. Qu'est-ce qu'on observe ? Que se passe-t-il si on change la valeur de l'amortisseur d'un facteur 10? (2012)

23* Un tronçon de LGV de 100 km/h est parcouru à 300 km/h, encadré par une accélération et une décélération moyenne de $0,2 \text{ m/s}^2$. Le ministre des transports souhaite passer à 360 km/h. Quel sera le gain de temps ? Quelles seront les accroissements de puissance et d'énergie ? Hypothèse : on augmente un peu la valeur d'accélération pour conserver la même durée sur la même distance. (2012)

24* Quelles stratégies de réglage et commande peut-on adopter pour un entraînement à moteurs asynchrones ? Quel serait le choix aujourd'hui ? Citer avantages et inconvénients. (2012)

25* Les pièces de rechange pour les BB15000 (1971, fiche 8.2.6) sont de plus en plus difficiles à trouver. On envisage un retrofit.

A Quelle(s) solution(s) technique pourrait-on adopter pour un retrofit incluant les électroniques de puissance et de commande, en conservant les moteurs et le transformateur ?

B Quels sont les critères d'analyse pour décider du lancement de l'opération de retrofit ou de la cannibalisation des machines en mauvais état pour entretenir celles qui roulent encore ? (2013)

26* On étudie les BB15000 (1971, fiche 8.2.6).

A Expliquer le choix de plusieurs ponts complets et mixtes plutôt qu'un seul pont complet.

B Expliquer le fonctionnement en freinage et la commande des ponts. (2013)

27* Une BB15000 de la SNCF est équipée de deux redresseurs à deux niveaux identiques, un par bogie-moteur. (1971, fiche 8.2.6).

A Calculer la puissance installée d'un de ces redresseurs?

B Comparer les puissances unihoraire et maximale (puissance de deux redresseurs) à la puissance nominale des moteurs de traction. (2007)

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. A 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 ?

30* Les TL étudient la construction d'une antenne du TSOL (fiche 8.11.3) entre l'EPFL et Morges passant par Saint-Sulpice. On prévoit des circulations directes entre Cully et Morges via Lausanne CFF, Renens et l'EPFL, nécessitant l'achat de rames bisystèmes (15 kV 162/3 Hz et 750 V=) dont les éléments de mécanique et carrosserie seront en grande partie identiques à ceux du matériel actuel. Evaluer les équipements électriques possibles et proposer un choix.

31* On veut dimensionner une locomotive de 64 t. pour des lignes à faible charge par essieu.

A Quel effort maximal pourra-t-elle développer au démarrage sur rail propre et sec?

B Quelle sera la puissance installée, l'effort maximal pourra-t-il être fourni jusqu'à 80 km/h?

C Quel sera l'effort subsistant à la vitesse maximale de 140 km/h?

32* Les TL envisagent la prolongation du LO jusqu'au CHUV; les arrêts intermédiaires entre la gare et le nouveau terminus seront Flon et Beaulieu. La tension de la ligne de contact passera à 750 V=. On maintiendra la crémaillère sur le tronçon inférieur (120 ‰). Le tracé nouveau - établi en tunnel sera soit à adhérence (60‰) soit à crémaillère (80‰).

Discuter des équipements possibles pour le futur matériel roulant et proposer un choix.

33* On veut construire une automotrice de type TSOL (fiche 8.11.3) pour la ligne Lausanne - Ouchy (longueur 1,5 km; déclivité: moitié inférieure: 70‰, moitié supérieure: 120‰). Les bogies seront mixtes à crémaillère et adhérence, du type MC (fiche 8.6.99), ce qui implique un poids supplémentaire de 2 t. Les vitesses requises sont: 30 km/h à la montée et 25 km/h à la descente. Cette automotrice doit en outre circuler sur TSOL avec les mêmes performances que les rames actuelles.

A Définir les courbes enveloppes $Z(V)$ et $B(V)$ répondant au programme d'exploitation.

B Choisir des moteurs à collecteur (valeurs nominales et maximales).

C Imaginer une commande à rhéostat:

- type(s) de couplage en traction et freinage
- nombre de crans pour des à-coups inférieurs à 20 % de la valeur d'effort précédente.

D Quelles seraient les implications d'une commande à hacheurs?

E Serait-il plus favorable de choisir des moteurs asynchrones? Expliquer.

34* Calculer la charge maximale de train marchandises applicable à une Re 4/4III sur la ligne Wädenswil – Arth-Goldau. Dans chaque gare, le train peut être contraint à l'arrêt pour permettre le croisement d'un autre train. Il doit pouvoir démarrer et accélérer jusqu'à 80 km/h.

35* Une rame du TSOL (fiche 8.11.3) démarre de la station EPFL en direction de Flon. Calculer l'accélération moyenne maximale jusqu'à 30 km/h pour la rame vide et pour la rame à capacité maximale de passagers.

36* Calculer le temps nécessaire pour atteindre 140 km/h avec une Re 4/4 II (fiche 8.3.3) remorquant un train de 12 voitures VUIV (43 t. à vide) en palier. Il est occupé par 600 voyageurs.

37* Une rame de deux automotrices de tramway (fiche 8.6.4) démarre à la Terrassière devant *Eaux-Vives 2000* en direction de Moillesullaz (rampe 45‰). Calculer les accélérations maximales possibles à pleine charge et à demi charge.

38* On a relevé sur un parcours les valeurs d'effort de traction (-----) et de vitesse(.....). Comparer la consommation énergétique pour divers équipements de réglage de tension, moteurs et réducteurs étant identiques dans les 4 cas :

A Commande à hacheurs (1970) $\eta_t = 90 \%$

B Commande à hacheurs (1990) $\eta_t = 95 \%$

C Commande à rhéostat : moteurs toujours en parallèle.

D Commande à rhéostat avec transition série-parallèle/parallèle.

39* Comparer les schémas de traction et de freinage des rames TSOL (fiche 8.11.3)

A Expliquer le fonctionnement

B Pourquoi a-t-on choisi deux hacheurs distincts pour la traction et le freinage?

40* Une Dm3 (fiche 8.3.2) remorque sur une rampe de 10‰ un train à vitesse constante de 50 km/h. Le mécanicien a sélectionné le cran 24. Pour les frottements de la locomotive, on prend la courbe 3 de la fig. 3.3 et pour le train la courbe 1 de la fig. 3.5.

A Calculer l'effort de traction total et le courant traversant un des moteurs.

B Quelle est la masse du train?

41* Les 127 Ae 4/7 des CFF ont été fabriquées par 3 constructeurs électriciens (fiche 8.3.47).

A Expliquer le fonctionnement en traction pour les 3 types (BBC, MFO, SAAS).

B Expliquer le fonctionnement en freinage pour le type II (MFO).

C Quelle charge en voitures légères peut-on allouer à cette machine sur le Gothard en 27 ‰ à 60 km/h? Pour les résistances à l'avancement, on prendra la courbe 5 de la figure 3.3. Quel train le frein électrique pourra-t-il y retenir en pente à même vitesse sans frein pneumatique ?

42* L'Eurocity Ticino (Milano - Zürich), formé de 10 voitures climatisées internationales (CFF et FS) occupées par 400 voyageurs franchit le seuil de la Biaschina en rampe continue de 27 ‰ pendant 12 kilomètres. Il est remorqué par une Re 4/4 II à vitesse constante de 80 km/h (fiche 8.3.3). Une voiture: 43 t., un voyageur avec bagages: 80 kg.

A Calculer l'effort nécessaire:

- Pour les 5 premiers kilomètres entre Bodio et le viaduc de Travi, à l'air libre avec des courbes de rayon supérieur à 900 m.
- Dans les tunnels hélicoïdaux de Travi et Pianotondo, en courbe de 300 m. La section des tunnels est telle que la résistance aérodynamique vaut le double de celle mesurée à l'air libre.

B Refaire le calcul pour un train de même composition circulant en frein électrique en direction de Milano sur le même itinéraire.

C Sur quel cran le mécanicien doit-il positionner le graduateur pour les 4 cas mentionnés.

D Quel est le courant demandé à la ligne de contact dans les tunnels par le train montant?

43* On veut franchir le Gothard (rampes de 27‰) à 80 km/h avec un train marchandises de 650t. On souhaite le remorquer par une Ae 6/6 (fiche 8.3.66).

- a** Calculer l'effort pour maintenir la vitesse à l'air libre sur la rampe en courbes de 300 m.
- b** Quel effort l'équipement électrique de la locomotive peut-il développer au démarrage? Quel effort maximal peut-on transmettre à la jante d'une locomotive de 120 t telle la Ae 6/6?
- c** Si le train doit s'arrêter devant un signal, quelle sera l'accélération maximale au démarrage, puis à 65 km/h? En combien de temps et quelle distance atteindra-t-il 65 km/h?
- d** Est-il raisonnable de confier un train de cette masse à ce type de locomotive? Quelle est la masse maximale qu'on peut attribuer à cette locomotive sur le Gothard pour cette vitesse?

44* Une rame du Rigibahn descend sur 250 ‰ à vitesse maintenue de 14 km/h lorsqu'une avarie de frein électrique survient. Le frein d'urgence entre en action en 1 seconde sur les 4 roues dentées de l'automotrice Bhe 4/4 et les 2 de la voiture pilote .

véhicule	tare	passagers
Bhe 4/4 21	30,6 t	10,0 t
Bt 31	11,4 t	8,6 t

- A** Quel est l'effort sur chaque roue dentée pour garantir une décélération de 1,5 m/s² jusqu'à l'arrêt?
- B** Quel effort doit supporter le coupon de profil à crémaillère fixé aux traverses?
- C** Quel est l'énergie thermique dégagée par le dispositif de freinage?

45* Les caractéristiques d'un véhicule sont établies pour des roues mi-usées. Les roues neuves de Re 6/6 (fiche 8.3.4) ont un diamètre de 1260 mm et à mi-usure de 1235 mm. Le capteur de vitesse est placé sur l'axe de l'essieu et calibré pour des roues mi-usées.

- A** Quelle est la vitesse de rotation du moteur à 140 km/h (au compteur), roues mi-usées?
- B** Quelle est la vitesse maximale réelle avec des roues neuves?
- C** Le régime continu est défini: 235 kN à 111 km/h (cran 31). Le mécanicien a sélectionné le cran 31 et lit 110 km/h sur le compteur. Quel est l'effort réel à la jante de roues neuves?
- D** Outre la vitesse, les cadrans du pupitre de mécanicien affichent la tension à la ligne de contact, les courants dans les moteurs et les pression au compresseur, à la conduite générale de frein et aux cylindres de frein. Le mécanicien peut-il s'apercevoir de l'écart d'effort par rapport à celui attendu par les caractéristiques?

46* Calculer les vitesses de rotation maximales des moteurs de Re 4/4 II (fiche 8.3.3) et Re 460 (fiche 8.3.12). Expliquer les différences.

47* Expliquer les avantages et inconvénients apportés à la réalisation des onduleurs triphasés par le développement des thyristors GTO.

Expliquer les deux manières possibles d'ajuster le point de fonctionnement d'un moteur triphasé alimenté depuis une ligne de contact monophasée via un convertisseur quatre quadrants de réseau, un circuit intermédiaire et un onduleur triphasé.

48* Les onduleurs triphasés modernes sont soit à thyristors GTO, soit à transistors bipo-laires IGBT. Quels sont les avantages et inconvénients de ces deux technologies et leurs domaines d'application préférentiels?

49* Une B 80D du Rheinbahn est occupée par 90 usagers (fiche 8.6.98).

A Quelle est son accélération maximale en palier? Jusqu'à quelle vitesse?

B Expliquer le fonctionnement de l'équipement en traction et freinage.

C Comparer avec les équipements plus modernes à onduleurs à GTO (Genève-La Plaine) et IGBT (tramway de Rostock).

Remarque: Pour le coefficient des masses tournantes, voir TSOL (fiche 8.11.3).

50* Pourquoi les ponts des TGV-PSE (fiche 8.5.5) sont-ils de simples asymétriques et non des ponts à 2 ou 4 niveaux comme les BB 15000 (fiche 8.2.6) développées antérieurement; leur puissance est pourtant de 6,5 MW (voire 13 MW pour deux rames en UM)?

51* Les 9E des SAR (fiche 8.2.11) ont une excitation séparée et individuelle des moteurs de traction.

A Quel est le but, comparé à une excitation série (fiche 8.2.6)? Quel est l'avantage par rapport à une excitation globale des moteurs?

B Le régime continu est proche de la valeur maximale en effort, mais seulement au tiers de la vitesse maximale. Expliquer.

52* Les BR ont mis en service dès 1987 des locomotives pour trains voyageurs à moteurs à collecteurs contrôlés par redresseurs à thyristors. Si en traction les 90 et 91 ont un schéma voisin, leur mode d'excitation est différent, ce qui se révèle surtout en freinage rhéostatique.

série	90	91
v km/h	178	225
P MW	3,73	4,54
Masse t	86	82

A Expliquer le fonctionnement en traction

B Expliquer le fonctionnement en freinage

C Analyser les avantages et inconvénients des deux schémas de freinage

53* Comparer et expliquer les fonctionnements en freinage et en traction des entraînements à ponts redresseurs-onduleurs pour alimentation monophasée:

- excitation série
- excitation séparée
- excitation composite

54* On donne des caractéristiques de démarrage et de marche d'une ABDeh 4/4 du MC (fiche 8.6.96).

A Tracer les courbes de tension induite (courbes de solévation) dans le moteur:

- à cran constant (1 à 13)
- à vitesse constante (2,5 ; 5 ; 10 et 15 km/h) dans la zone occupée par les crans 1 à 13

B Calculer les valeurs ohmiques à ces crans (moteur + rhéostat)

C Compléter les courbes de solévation du point A et les crans 14 à 23

D Calculer la résistance totale du moteur

E Calculer les valeurs ohmiques du rhéostat à chaque cran.

55* On donne les courbes de solévation et les courbes d'effort d'un moteur d'une automotrice du Aigle-Leysin, ainsi que le schéma du circuit de puissance. Calculer la valeur ohmique du rhéostat et la graduation en traction de manière à limiter les variations d'accélération entre crans à $0,4 \text{ m/s}^2$. La tension de ligne est supposée constante à 1200 V (aux bornes des moteurs: 600 V).

56* On donne les courbes de solévation et les courbes d'effort d'un moteur d'une automotrice du MC, ainsi que le schéma du circuit de puissance. Calculer la valeur ohmique du rhéostat et la graduation en traction de manière à limiter les variations d'accélération entre crans à $0,4 \text{ m/s}^2$. La tension de ligne est supposée constante à 800 V.

57* Connaissant les caractéristiques de freinage en adhérence et les schémas de puissance en adhérence et en crémaillère, calculer les caractéristiques de freinage en crémaillère des automotrices du MC.

58* Une automotrice de l'Aigle-Leysin, série 201 - 203, est immobilisée sans personnel à la station Grand-Hôtel, sur pente de 220‰. Le frein est serré et le manipulateur placé sur zéro. Dans cette position, conformément aux directives de l'office fédéral des transports, les contacteurs établissent un circuit fermé formé des moteurs de traction couplés en série et d'une résistance additionnelle dont la valeur ohmique vaut 10 fois celle des deux induits. Une déféctuosité pneumatique occasionne le déserrage du frein, et le véhicule se met en mouvement.

Calculer l'évolution de la vitesse de l'automotrice.

59* Une B 80D du Rheinbahn est occupée par 90 usagers (fiche 8.6.98).

A Calculer la valeur d'effort nécessaire pour imprimer à l'automotrice une accélération de 1 m/s^2 . Quelles sont les puissances absorbées par les moteurs de traction?

B Commenter les équipements de véhicules de type voisin pour retracer une brève "histoire de la traction électrique à courant continu".

Remarque: Prendre la valeur de TSOL (fiche 8.11.3) pour le coefficient des masses tournantes.

60* Un train Lyon-Nantes composé de 5 voitures Corail (43 t chacune) remorquées par une BB 67400 franchit la rampe des Sauvages en rampe de 26 ‰ sur près de 5 km succédant à des rampes de 10 ‰ et 19 ‰. Le mécanicien sollicite du moteur diesel sa pleine puissance de 1765 kW à l'arbre. Le train est occupé par 250 voyageurs (75 kg chacun).

- A A quelle vitesse le train circulera-t-il?
 B Quelle est la puissance de traction dans le cas A?
 C L'énergie de chauffage et climatisation est prélevée sur l'alternateur principal (contacteur C 140). Chaque voiture consomme environ 100 kW pour la climatisation. Quelle sera alors la vitesse si le mécanicien a oublié d'ouvrir le contacteur C 140 avant d'aborder la rampe? Rendement des moteurs de traction: 93%.

61* Les BB 67000 et les BB 67400 ont la même caisse et le même moteur diesel Alsthom-Atlantique SEMT 16 PA 4 développant jusqu'à 1765 kW à 1500 t/min.

A Comparer et commenter l'évolution de la chaîne de traction (électrique et mécanique).

B Calculer le temps d'accélération en palier jusqu'à 50 km/h avec un convoi voyageurs de 250 t remorqué par:

- une BB 67000 avec réducteur "V"
- une BB 67400

Commenter les résultats

62* En gardant la caisse et le groupe électrogène des BB 67400, imaginer une BB 67700 équipée de moteurs asynchrones alimentés par onduleur à fréquence variable en technologie des années 90.

Analyser les modifications de disposition que cela implique au niveau des bogies et de l'espace dans la caisse.

Evaluer plusieurs variantes de nombre de moteurs et d'onduleur(s) en analysant avantages et inconvénients.

63* Sur un trajet comprenant des rampes corrigées ne dépassant pas 8 ‰, quelle charge peut on allouer à une paire de BB 67400 pour que la vitesse du convoi ne descende pas au-dessous de 80 km/h? Pour la deuxième locomotive, ne compter pour le terme CV^2 que 60% de celui de la locomotive de tête.

64* Une BB 67400 circule à vitesse établie de 37,3 km/h en développant 139 kN à la jante, ce qui correspond au régime continu.

A Quel est le rendement de la transmission mécanique? Quelle est la puissance aux arbres des moteurs.

B Quelle est la puissance électrique fournie par l'alternateur aux moteurs qui ont un rendement de 93 %?

C Quelle est la puissance - absolue et relative - absorbée à l'arbre du diesel par les auxiliaires et l'excitatrice ou dissipée par pertes dans l'alternateur?

D Connaissant le rendement du moteur diesel, quel est le rendement total carburant - traction.

65* Une DE 1002 est affectée à la desserte marchandises de la zone portuaire du réseau Köln-Bonner-Eisenbahn sur des déclivités pouvant atteindre 5 ‰.

- A Quelle charge peut-on remorquer sans que la vitesse descende au-dessous de 50 km/h?
B Décrire le fonctionnement de la chaîne de traction.

66* Quel est l'impact d'un changement de réducteur sur DE 1002 ($k_G = 1:4,706$), toutes autres choses restant par ailleurs inchangées.

67* Pour l'exploitation de zones perturbées par une avarie prolongée de l'alimentation électrique ou pour les travaux sur la ligne de contact, les CFF étudient l'achat de locomotives diesels-électriques et soumettent les DE 1002 à l'évaluation:

- remorque de trains de 500 t à 25 km/h au Gothard (26‰) en rampe et en pente.
- refoulement à la bosse (rampe moyenne 8‰) à 5km/h de rames de 2000 t.
- trains de travaux (200 t) sur l'ensemble du réseau à vitesse maximale .

A Evaluer l'adéquation de cette machine sans autre modification que les dispositifs de sécurité aux normes CFF.

B Quelle vitesse pourrait-on soutenir avec 700t et 2 locomotives sur 26‰?

C Evaluer les modifications et limitations:

- pour la remorque de trains voyageurs.
- pour la circulation à deux locomotives.

68* La puissance maximale à la jante pour une DE 1002 est identique à sa puissance continue (fiche 8.10.3). Expliquer.

Expliquer l'écart entre la puissance à la jante et la puissance à l'arbre du moteur diesel.

69* Une DE 1002 (1ère série) utilise un moteur MTU 12V 396 TC13 (voir document annexé). Le rendement en aval de l'arbre du moteur diesel est le même que pour la troisième série (fiche 8.10.3).

A Quel est le rendement thermique de ce moteur à puissance maximale? $e_{carb} = 11,7$ [kWh/kg]

B Quel est le rendement total de cette locomotive à puissance maximale (puissance à la jante/puissance thermique)?

C Quel est le rendement total de cette locomotive (puissance à la jante/puissance thermique) circulant à 20 km/h en développant 70 kN à la jante, le moteur diesel tournant à 1500 [t/min]?

70* Commenter et expliquer les courbes d'effort en fonction de la vitesse $Z(V)$ pour une tension U_b constante aux bornes du moteur (II - ..- .. -) sur la base des équations du moteur à excitation série:

Expliquer la différence avec les courbes à cran constant (rapport u constant de transformateur) (1 à 32 _____).

A basse vitesse et effort élevé, on observe un point d'inflexion sur ces courbes; expliquer. (fiches 8.3.3 ou 8.3.4).

71* On donne les caractéristiques d'un moteur direct (Re 4/4 II), tant pour le couple M que pour la vitesse n , on lira les valeurs mesurées plutôt que celles calculées.

A Faire les représentations vectorielles en traction pour 3 valeurs de courant, avec une tension de 525 V aux bornes:

- courant nominal
- courant maximal
- 60% du courant unihoraire.

B Calculer la résistance globale et la réactance globale du moteur.

C Calculer les facteurs de puissance: démarrage, 20 km/h, 50 km/h, 100 km/h et 140 km/h.

D Tracer en traction le facteur de puissance en fonction de la vitesse pour ces 3 courants.

72* Un train de 6 VU IV (258 t de tare et 22,5 t de passagers) descend le Gothard (27‰ et courbes de 600m) maintenu à 80 km/h par une Re 4/4 II en freinage électrique.

A Calculer la puissance de freinage absorbée par la locomotive.

B Estimer la puissance électrique restituée à la ligne de contact.

C Calculer la puissance réactive absorbée par la Re 4/4 II dans le même temps.

73* Comparer le freinage électrique à récupération des Re 4/4 II (montage à machine d'excitation) et Re 6/6 (montage à circuit résonnant). Mettre en avant les avantages et inconvénients apporté par le système le plus récent (Re 6/6).

74* On donne les caractéristiques d'un moteur direct (Re 6/6).

A Compléter les caractéristiques en fonction du courant en ajoutant la tension induite.

B Tracer la représentation vectorielle en traction pour le courant nominal, avec une tension aux bornes égale à la tension d'essai au banc.

C Calculer le facteur de puissance pour 0, 20, 50 100 et 140 km/h

D Représenter en traction le facteur de puissance en fonction de la vitesse.

75* Une locomotive monophasée est équipée de 2 groupes de 2 moteurs à courant ondulé montés en parallèle, chaque groupe alimenté à travers un redresseur à thyristors (convertisseur de courant) en montage à push-pull. On veut moderniser ce véhicule dont les composants de puissance de première génération manifestent de fréquentes pannes et ne se trouvent plus sur le marché pour garantir les réparations. Décrire les solutions techniques qu'on pourrait appliquer pour profiter du remplacement du redresseur pour réduire la consommation de puissance réactive et la génération d'harmoniques de courant sur le réseau, sachant que les moteurs et le transformateur seront conservés.

76* Une locomotive monophasée est équipée de 2 moteurs à courant ondulé alimentés chacun à travers un redresseur (convertisseur de courant) en montage à pont simple entièrement commandé. On veut moderniser ce véhicule dont les composants de puissance de première génération manifestent de fréquentes pannes et ne se trouvent plus sur le marché pour garantir les réparations. Décrire les solutions techniques qu'on pourrait appliquer pour profiter du remplacement du redresseur pour réduire la consommation de puissance réactive et la génération d'harmoniques de courant sur le réseau, sachant que les moteurs et le transformateur seront conservés.

77* Un TGV SE (fiche 8.5.5) circule de Paris à Lyon (voir doc. annexe). On accepte pour les rampes une décélération de 270 à 220 km/h et les pentes permettent une reprise en vitesse de 220 à 270 km/h.

Calculer la consommation à la ligne aérienne [kWh/t.km] pour le parcours de 430 km parcouru à la vitesse commerciale de 205 km/h.

78* Décrire le fonctionnement des circuits de puissance des 9E des SAR (fiche 8.2.11) et TGV-SE de la SNCF (fiche 8.5.5) en relation avec les limites des diagrammes d'effort. Comparer et expliquer les différences de ces solutions techniques pourtant contemporaines.

79* Expliquer la raison de l'abandon de la construction de locomotives à moteurs directs à moteurs directs au profit des machines à redresseurs et moteurs à courant ondulé.

80* Etudier les moteurs à collecteurs alimentés par hacheur, avec affaiblissement du champ. Comparer les montages ABB, Alstom et Siemens.

81* Une automotrice construite vers 1980 circule sur une ligne à tension continue; l'équipement de démarrage et freinage est à rhéostat (prendre les valeurs en adhérence d'une automotrice AOMC, fiche 8.6.99). La ligne, vicinale à l'époque, a pris un caractère suburbain, la région traversée ayant connu un fort développement de construction, ce qui a conduit à augmenter le nombre de points d'arrêt pour desservir ces nouveaux lieux d'habitat. On envisage en 1997 de remplacer l'équipement rhéostatique à contacteurs par un équipement à hacheur.

A Justifier cette modification.

B Proposer un schéma de réalisation qui permette de conserver les caractéristiques $Z(V)$ et $B(V)$.

C Evaluer la puissance de dimensionnement des hacheurs.

82* Les TPG veulent commander de nouvelles automotrices Be 4/6, mécaniquement identiques aux actuelles (fiche 8.6.4), mais en profitant de l'avancée technologique des semi-conducteurs. Proposer une solution:

A Sans modifier le circuit, mais en ne remplaçant que les hacheurs.

B En ayant la liberté de modifier le schéma, mais en conservant les mêmes caractéristiques de marche et freinage. Expliquer les avantages apportés par cette solution.

83* Etudier les Be 4/6 des TPG (fiche 8.6.4).

A Expliquer le fonctionnement du circuit en traction et freinage.

B A quel pôle de la sous-station la ligne de contact est-elle reliée?

C Calculer la valeur du courant maximal dans un moteur en traction, pour la tension nominale à la ligne de contact.

D Quelle est la puissance de dimensionnement des hacheurs?

84* Imaginer l'équipement électrique d'un véhicule bidirectionnel pour ligne aérienne à tension continue avec freinage à récupération (1997):

- minimum de semi-conducteurs de puissance
- pas de contacteurs mobiles pour le service normal

Dessiner le schéma pour un moteur.

85* On construit une automotrice de métro léger articulée à trois caisses sur 4 bogies monomoteurs. L'équipement comprend 4 hacheurs à GTO alimentant chacun un moteur à courant continu.

Quelles mesures peut-on préconiser pour minimiser l'ondulation du courant sur la ligne de contact à courant continu.

86* Une automotrice à courant continu à rhéostat n'a pas de frein électrique. Un pilote de locomotive propose d'utiliser la traction *en marche arrière* en guise de frein électrique.

A Tracer les caractéristiques qui seraient ainsi obtenues (exemple: fiche 8.6.99).

B Analyser les conséquences si on mettait en oeuvre cette proposition.

87* Comparer les équipements d'origine (1968) des ABDe 8/8 du MOB et après application d'un *retrofit* (1996). (fiche 8.6.1 et document annexe).

- a** Décrire les fonctionnements en traction et en freinage
- b** Mettre en évidence les avantages apportés par la modification.

88* Une automotrice BDeh 4/4 de l'AOMC (fiche 8.6.99) descend en frein électrique sur un tronçon à crémaillère en 130 ‰ à 21 km/h. Le train compte en outre une voiture pilote et est occupé par 60 voyageurs.

A Sur quel cran circule l'automotrice? Pourrait-on maintenir cet effort de retenue pendant 20 km?

B La déclivité se réduit à 110 ‰, quelle sera la nouvelle vitesse si le mécanicien ne corrige pas le cran? Quel devrait être le cran pour rétablir la vitesse de 21 km/h?

C Pour quelle raison les crans de freinage 1 à 5 ont-ils un champ affaibli?

89* Une B 80 des tramways de Köln est occupée par 90 usagers (document annexé).

a Calculer la valeur d'effort nécessaire pour imprimer à l'automotrice l'accélération souhaitée de 0.8 m/s^2 : à 1 km/h, à 10 km/h et à 20 km/h.

b Jusqu'à quelle vitesse peut-on maintenir cette accélération?

c A quelle vitesse devra-t-on passer du couplage série au couplage parallèle? A quelle vitesse devra-t-on passer du domaine plein champ au domaine à champ affaibli?

d Décrire les transitions série-parallèle et parallèle-série: mouvements des contacteurs et circulation des courants.

90* Un train descend de Châtelard à Vernayaz (ABDeh 4/4 + Bt) avec 115 passagers. (Fiche 8.6.96 et document annexé). Déterminer quel cran de freinage le mécanicien a sélectionné pour maintenir la vitesse :

A En adhérence entre Finhaut et Le Trétien sur 70 ‰ à 25 km/h.

B En crémaillère entre Salvan et Vernayaz sur 200 ‰ à 14 km/h.

91* Un train du MC circule de Vernayaz aux Marécottes. Calculer l'énergie consommée par un train occupé par 80 passagers. (Voir document annexé). Les courbes et contre courbes ont un rayon moyen de 70 m sur 20 % du trajet (minimal 60 m). Indiquer également l'évolution du courant prélevé à la ligne aérienne en admettant un tension constante à 850 [V]. Le seul arrêt intermédiaire est Salvan. Evaluer l'échauffement des moteurs.

A Automotrice ABDeh 4/4 et voiture Bt (fiche 8.6.96) circulant à 20 km/h en crémaillère et 25 km/h en adhérence.

B BDeh 4/8 (fiche 8.6.95) roulant à 23 km/h en crémaillère et 27 km/h en adhérence.

92* Entre 1991 et 1997, 4 familles de locomotives à moteurs triphasés à fréquence variable ont été conçus par ADtranz pour des puissances de 6 à 7 MW.

A Décrire le fonctionnement des équipements électriques

B Expliquer les choix et limitations en relation avec l'évolution du développement des semi-conducteurs.

C Quel est l'impact des choix retenus sur la fiabilité d'exploitation de ces machines.

93* L'automotrice BDeh 4/8 (fiche 8.6.95) du MC est le premier véhicule pour voyageurs destiné à la crémaillère équipé de moteurs asynchrones à fréquence variable.

A Décrire le fonctionnement de l'équipement électrique.

B Que manque-t-il au schéma fourni, sachant que le frein électrique est combiné (rhéo./réc.).

C Expliquer pourquoi les moteurs asynchrones ont été appliqués si tard en crémaillère.

94* Les 9E des SAR (fiche 8.2.11) circulent sous 50 [kV] 50 [Hz] sur la ligne reliant les mines de Sishen au port de Saldanah Bay.

A Comment a-t-on conçu les ponts des convertisseurs de courant et la commande d'effort de traction pour tenir compte du fait que la tension à la ligne de contact peut s'abaisser à 50 % de la valeur nominale entre deux points d'injection. On veut tout de même pouvoir obtenir l'effort maximal dans ce cas sans toutefois dépasser le courant maximal au droit d'une sous-station.

B Quel est le but de l'excitation séparée et individuelle des moteurs de traction qui équipe ces locomotives, comparée à une excitation série (fiche 8.2.6)? Quel est l'avantage par rapport à une excitation globale des moteurs? Comment le dispositif de réglage agit-il ?

95* On équipera d'un réglage de vitesse les Be 4/4 du Nyon - Saint-Cergue (fiche 8.7.5).

Indiquer les précautions à prendre pour fixer les spécifications du calcul du régulateur de vitesse, compte tenu du système à régler?

96* Proposer une structure de réglage, avec vitesse affichée pour les équipements suivants d'une rame de banlieue circulant sous 25 kV 50 Hz :

A Moteurs à collecteurs à excitation composite alimentés par redresseurs à thyristors en montage économique à 4 niveaux.

B Moteurs asynchrones alimentés par convertisseurs U bidirectionnels à IGBT.

97* On veut remorquer des trains sur le Gothard (rampes de 26 ‰) avec une Re 460.

A Quelle charge de train peut-on allouer à une locomotive seule pour garantir le maintien de la vitesse (80 km/h) sans dépasser sa puissance nominale et pour garantir un démarrage en rampe (0 à 80 km/h) en 3 minutes. On prend les résistances à l'avancement pour un train marchandises.

B Sachant que le pilote peut à choix donner une consigne d'effort ou une consigne de vitesse au dispositif de commande, quels sont les circuits de réglage à prévoir pour les convertisseurs côté moteur et côté transformateur; indiquer les grandeurs physiques à mesurer.

98* Le BLS a mis en service en 1998 – 1999 des nouvelles rames de banlieue RABe 525 (fiche 8.2.17).

A Expliquer le fonctionnement de la chaîne de traction en traction et en freinage électrique.

B Comparer – en service de banlieue – les avantages et les inconvénients des moteurs asynchrones commandés par onduleur à IGBT par rapport aux moteurs à collecteur commandés par convertisseurs à quatre niveaux à commande séquentielle équipant les RBDe 565 de 1982.

C Décrire les différentes boucles de réglage à prévoir pour ce type d'exploitation (interstation de 0,7 à 4,3 km) sachant qu'on ne veut pas d'accélération supérieure à $1,1 \text{ m/s}^2$.

- 99*** Etudier le schéma d'une BB 26000 de la SNCF.
- A** Expliquer le fonctionnement entre 20 et 200 km/h.
- B** Pourquoi n'a-t-on pas prévu de frein à récupération mais seulement un frein rhéostatique?
- C** Pourquoi a-t-on prévu deux hacheurs en cascade pour l'excitation des moteurs, avec batterie au point intermédiaire?
- D** Quels sont les avantages et inconvénients par rapport à un entraînement asynchrone à thyristors classiques (fiche 8.3.11)?

100* On veut réaliser une locomotive de 5 MW pour ligne d'alimentation monophasée. On veut l'équiper de 4 moteurs sans collecteur, synchrones ou asynchrones. Etudier les variantes possibles avec avantages et inconvénients:

- A** Dans l'état de la technique en 1980
- B** Dans l'état de la technique en 1995.

101* Etudier le schéma d'un TGV-A de la SNCF (fiche 8.5.10).

- A** Expliquer le fonctionnement de la chaîne de traction (électrique et mécanique) sous ligne de contact monophasée pour des vitesses comprises entre 20 et 300 km/h, en détaillant l'action des différents ponts.
- B** Expliquer au démarrage sous ligne de contact à tension continue.
- C** Pourquoi, après les BB 26000 (fiche 8.5.11) et les TGV-A, le constructeur n'a-t-il pas poursuivi avec la filière synchrone, mais avec la filière asynchrone: BB 36000 et TGV-Eurostar?

102* En prenant l'exemple d'un VAL 208 (fiche 8.6.18), comparer l'entraînement à moteurs synchrones à aimant permanent avec d'autres types:

- Hacheurs et moteurs à collecteur VAL 206 et VAL 256 (voir doc. annexe et fiche 8.6.81).
- Moteurs asynchrones et onduleurs triphasés.
- Moteurs synchrones à rotor bobiné et onduleurs triphasés.

On comparera également les deux solutions mécaniques 206 et 208, en appliquant aussi la réflexion aux variantes imaginaires.

103* Comparer les entraînements à moteurs synchrones à aimant permanent: VAL 208 (fiche 8.6.18) et à rotor bobiné: TGV-A (fiche 8.5.10). Analyser les points de vue suivants: électronique de puissance et moteurs de traction: poids, coût d'achat, coût de maintenance, fiabilité, ...

104* Comparer les entraînements à moteurs synchrones à aimant permanent: VAL 208 (fiche 8.6.88) et GCT01 (fiche 8.5.99). Analyser les conséquences de l'absence de réducteur pour le GCT01: électronique de puissance, moteurs de traction, poids, vitesse de rotation,...

105* Analyser les difficultés constructives et l'impact sur l'exploitation avec des rames à écartement variable.

Evaluer la possibilité d'utiliser des moteurs entièrement suspendus, mais à rotor magnétique intérieur (type VAL 208). Quels seraient les gains et les pertes par rapport au prototype en essais?

106* Les JREast ont mis en service deux types de rames bi-niveaux "MAX" à grande vitesse: E1 en 1994 (fiche 8.2.96) et E4 en 1997 (fiche 8.2.16).

A Calculer pour chacune ainsi que pour les Shinkansen 0 (fiche 8.2.3) les valeurs suivantes, rapportée à une place assise: tare, résistance à l'avancement à vitesse maximale, puissance nominale installée et longueur de la rame. Quelles sont les conséquences sur l'exploitation?

B Comparer les solutions électriques des deux rames MAX. Quelles sont les conséquences sur l'exploitation?

107* Connaissant les accélérations maximales des rames "MAX", calculer le coefficient des masses tournantes:

E1 0,444 m/s² pour 768 t, passagers compris.

E4 0,458 m/s² pour 480 t, passagers compris.

Calculer l'accélération à 110 km/h. Calculer la puissance maximale.

108* Décrire le fonctionnement – en traction et en freinage – des 6E des SAR (fiche 8.8.1). Expliquer la particularité de construction des moteurs pour la tension de 3 kV= en commande rhéostatique.

109* Comparer des véhicules de transport publics à moteurs linéaire (fiche 8.6.82) avec des engins à moteurs asynchrones tournants et transmission mécanique (fiches 8.6.14 et 8.6.95).

110* Comparer les résistances à l'avancement des TGV–SE et TGV–A (fig. 3.2). Estimer les résistances à l'avancement d'un TGV Duplex en tenant compte des paramètres suivants:

- Augmentation de la section de caisse (voir document annexe).
- Meilleur profil aérodynamique des extrémités.
- Meilleur carénage de toiture et des appareils sous plancher.
- Rames à 8 voitures comme TGV–SE.

En observant l'évolution de la construction des véhicules des 20 dernières années, sur quels paramètres pourrait-on encore obtenir de légers gains en résistance à l'avancement à haute vitesse?

111* Les SS4 (8.2.97) chinoises ne sont équipées que d'un frein rhéostatique. Comment faudrait-il modifier le circuit de puissance pour la récupération. Quelle serait la conséquence sur la commande des ponts? Les 8K (8.2.98) peuvent-elles freiner électriquement si le réseau n'est pas capable de recevoir de l'énergie?

112* Comparer en traction les SS4 et 8K des chemins de fer chinois. Evaluer en particulier les conséquences – sur les installations fixes – du choix du circuit de puissance.

113* Les têtes motrices AVE S102 de Bombardier/Talgo encadrent des rames de 11 voitures Talgo à écartement normal et peuvent rouler à 330 km/h. Leur puissance continue est de 4,0 MW. Les têtes motrices LD S130 de Bombardier/Talgo encadrent des rames de 11 voitures Talgo à écartement variable et peuvent rouler à 250 km/h sur les lignes nouvelles. Leur puissance continue n'est que de 2,4 MW.

A Comment expliquer une telle différence de puissance installée?

B Les masses des deux modèles de têtes motrices sont voisines : 68 t pour S102, 72 t pour S 130. Comparer les accélérations, vitesses maximales et efforts résiduels.

114* La ligne de chemin de fer Constance – Rorschach, de faible déclivité, est exploitée par des automotrices RABe 2/6 de Thurbo (fiche 8.3.68) avec voiture pilote additionnelle (document doc114.pdf). On étudie la prolongation de circulation jusqu'à Heiden, par la ligne à crémaillère de la compagnie RHB, également électrifiée en 15 kV 16,7 Hz. On envisage la construction d'un « pousseur » He 2/2 (document annexe) en crémaillère pure utilisant le même équipement électrique que les GTW 2/6 de Thurbo et la même transmission que les GTW 2/6 à crémaillère de Ribes-Nuria. La montée est prévue à 30 km/h (profil de ligne dans le document annexe).

A On prévoit un réducteur dimensionné pour une vitesse maximale de 50 km/h (à comparer aux 130 km/h des GTW 2/6). Peut-on assurer le service prévu avec ce véhicule en pousse de la RABe 2/6 seule, sachant que l'effort maximal par roue de crémaillère est de 50 kN.

B Etudier la participation de la traction en adhérence de la GTW 2/6 sur le tronçon à crémaillère pour aider le pousseur. Doit-on prévoir un dispositif informatique pour limiter l'effort de traction ou de freinage en adhérence sur les rampes de 90‰ et 70‰ ?

C Est-ce qu'on peut aussi emmener la voiture pilote ?

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 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) Chaque convoi est occupé par 50 voyageurs. Calculer les tensions en gare d'Arzier et à l'emplacement des convois. Quel est le courant fourni par la sous-station ? (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. Leur équipement est de 0,75 MW (max. 1,32). 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 (max. 1,35) 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. On considère que le tram est à l'emplacement de l'arrêt pour la distance.

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 transports 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.

TECHNIQUES FERROVIAIRES
Documents pour les exercices

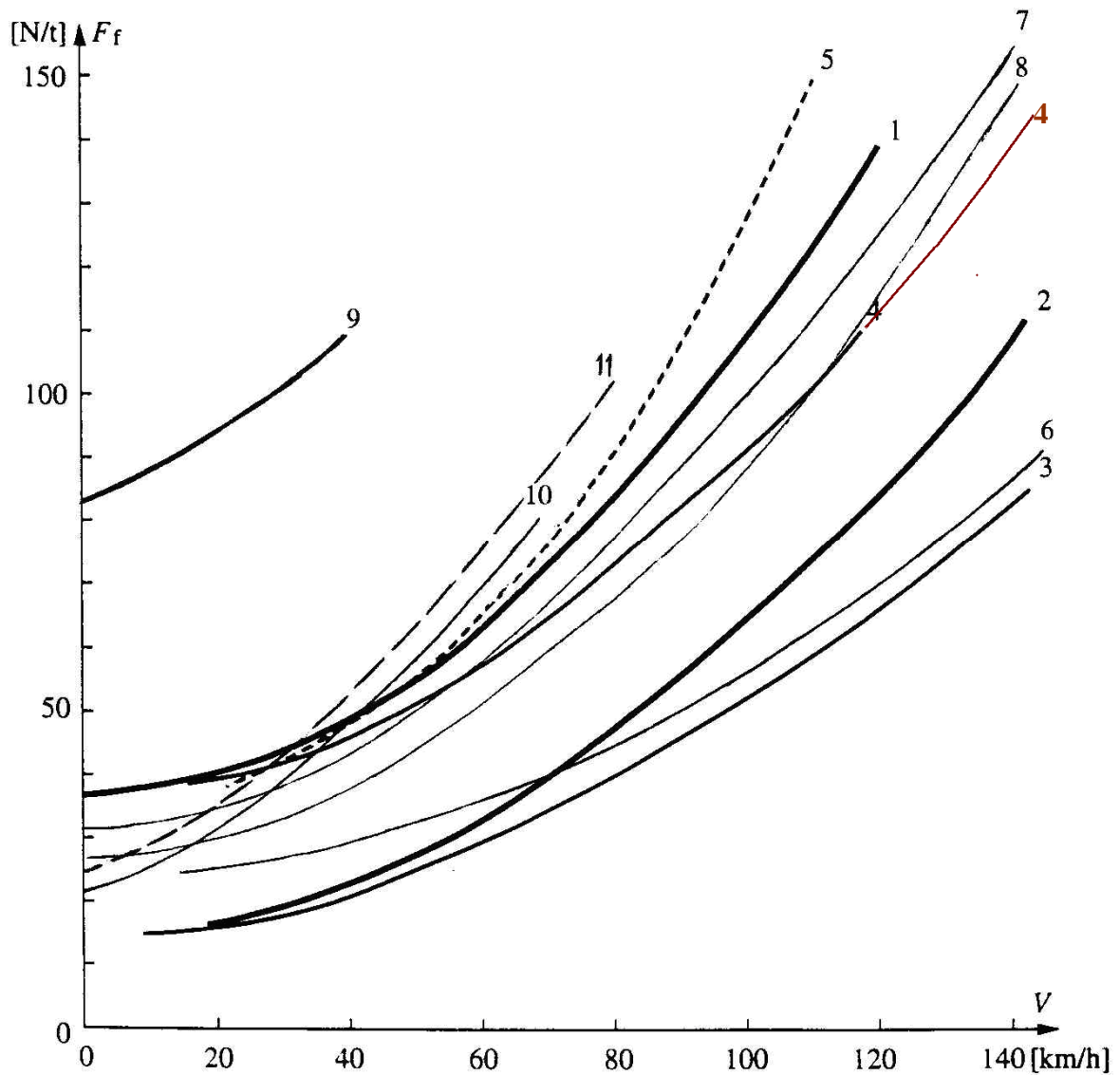
1	Fiches 8.5.13, 8.10.23, Fig. 4.229
2	Fiche 8.6.38
3 à 5	Fiche 8.3.21, ligne SZU
6	Fiche 8.6.4, schémas DAV
7	Page 484
8 à 9	Fiche 8.8.47, Tableaux moteurs
10	Fiche 8.8.44, Panto FS, Doc0
11	Lignes de contact FS, Doc0
12	Fiche 8.5.98, Ligne Bernina
13	Fiches 8.2.3 et 8.5.5
14	Ligne de contact Renfe
15	---
16	Fiche 8.3.12
17	Fiche 8.5.12
18	Fiche 8.5.10
19	Fiche 8.3.15
20	Fiche 8.3.3, moteurs (70 à 74)
21-22	Fiche 8.8.48
23	Fiche 8.5.10
24	---
25 à 27	Fiche 8.2.6
28	Fiche 8.3.12, Doc0
29	Fiche 8.3.3, Re 420
30	Fiche 8.11.3
31 à 32	---
33	Fiches 8.11.3, 8.6.99, bogie MC
34	Z(V) & B(V) : Re 4/III, profil
35	Fiche 8.11.3
36	Fiche 8.3.3
37	Fiche 8.6.4
38	Z(t) & V(t)
39	Fiche 8.11.3, Doc0
40	Fiche 8. 3.2
41	Fiche 8. 3.47
42	Fiche 8.3.3
43	Fiche 8.3.66, Doc0
44	Profil de ligne
45	Fiche 8. 3.4
46	Fiches 8.3.3 et 8.3.12
47 à 48	---
49	Fiche 8.6.98, schémas
50	Fiches 8.2.6 et 8.5.5
51	Fiches 8.2.6 et 8.2.11
52 à 53	Schémas de puissance
54	Fiche 8.6.96
55 à 56	Courbes de solénation
57	Fiche 8.6.96, freinage (adh.)
58	Fiche 8.6.97, cour. solénation

59	Fiche 8.6.98, schémas, Z(V)
60 à 62	Fiche 8.10.5, schémas, Z(V)
63 à 64	Fiche 8.10.5
65 à 69	Fiche 8.10.3, rendements
70 à 74	Fiches 8.3.3 et 8.3.4, moteurs
75	Redresseur push-pull
76	---
77	Profil Paris-Lyon
78	Fiches 8.5.5 et 8.2.11
79	---
80	Hacheurs
81	Fiche 8.6.99
82 à 83	Fiche 8.6.4
84 à 85	---
86	Fiche 8.6.99
87	Fiche 8.6.1
88	Fiche 8.6.99, Doc0
89	Stadtbahn B : schémas, Z(V)
90 à 91	Fiches 8.6.95 et 8.6.96, profil
92	Schémas triphasés
93	Fiche 8.6.95
94	Fiche 8.2.11
95	Fiche 8.7.5
96	---
97	Fiche 8.3.12
98	Fiche 8.3.17, RBDe565
99	Schémas BB26000
100	---
101	Fiche 8.5.10
102	Fiches 8.6.18 et 8.6.81, VAL 1b
103	Fiches 8.6.18 et 8.5.10
104+105	Fiches 8.6.18 et 8.5.99
106+107	Fiches 8.2.16 et 8.2.96
108	Fiche 8.8.1
109	Fiche 8.6.82
110	Profil de caisses
111+112	Fiches 8.2.97 et 8.2.98
113	---
114	Rohrschach-Heiden
115	Californie
116	Fiche 8.3.67
117+118	Fiche 8.7.5
119	Fiche 8.3.75
120	
121	
122	

...

TECHNIQUES FERROVIAIRES
Documents pour divers exercices

- 1 locomotive Ae 6/6 (CFF): C₀C₀ de 120 t
- 2 locomotive 9001 (SNCF): BB de 80t
- 3 locomotive 6001 (SNCF): CC de 120 t
- 4 locomotives Am 4/6 (CFF) : 1B₀B₀1 de 93 t, Re 460 (CFF) : B₀B₀ de 84 t (—)
- 5 locomotive 2D2 (PO), ou Dm3 (SJ)
- 6 locomotive BBB (FS)
- 7 locomotive Re 4/4 II (CFF) : B₀B₀ de 80 t
- 8 locomotive Re 6/6 (CFF) : B₀B₀B₀ de 120 t
- 9 automotrice BOB (ou MC) en crémaillère
- 10 automotrice BOB (ou MC) en adhérence
- 11 automotrice articulée TSOL ou Stadtbahn B



TECHNIQUES FERROVIAIRES
Documents pour divers exercices

- 1 Voitures UIC vers 1960 (SNCF, CFF, DB, FS)
- 2 Voitures Corail 1975 (SNCF), Eurofima 1980 (DB, FS, ÖBB,...) ou VUIV 1985 (CFF)
- 3 Voitures légères 1940 (CFF)
- 3 en ajoutant 20 [N/t] Voitures BOB en crémaillère

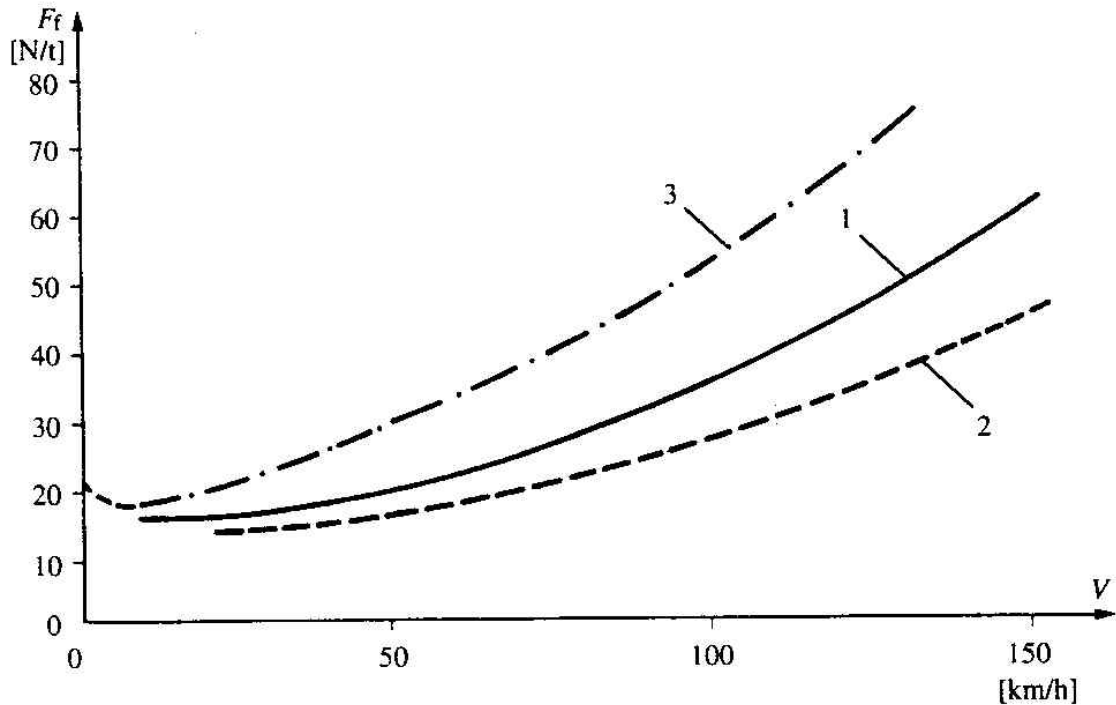


Fig. 3.4 Résistance à l'avancement de convois voyageurs.

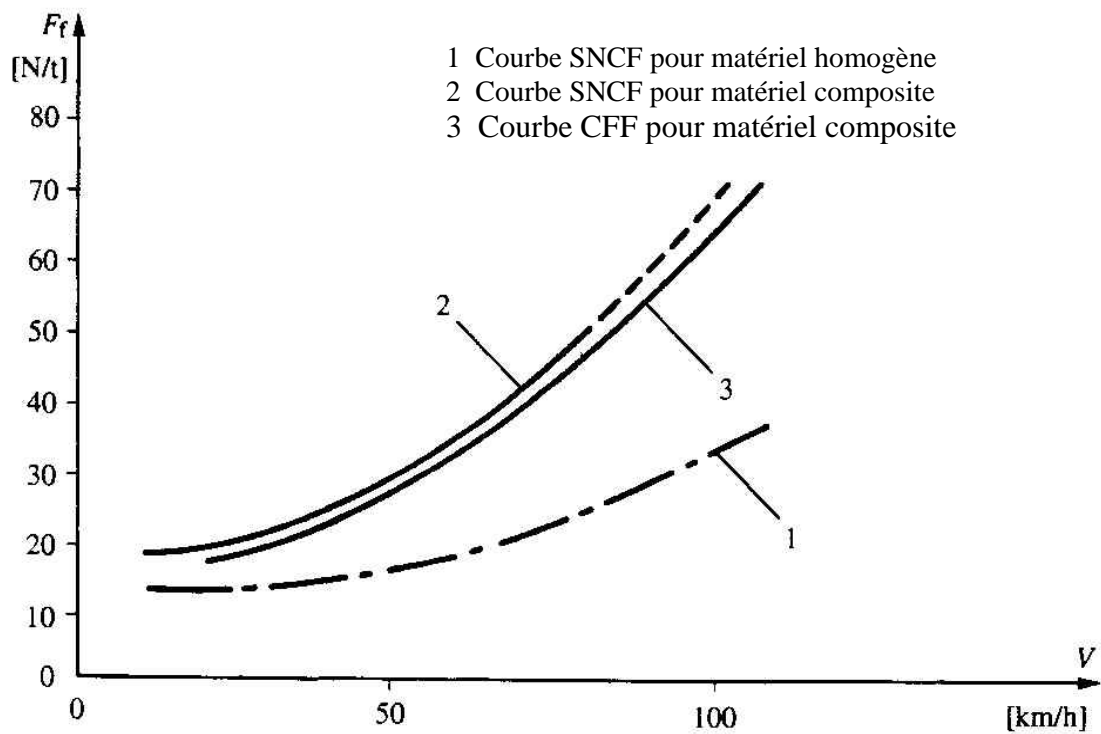
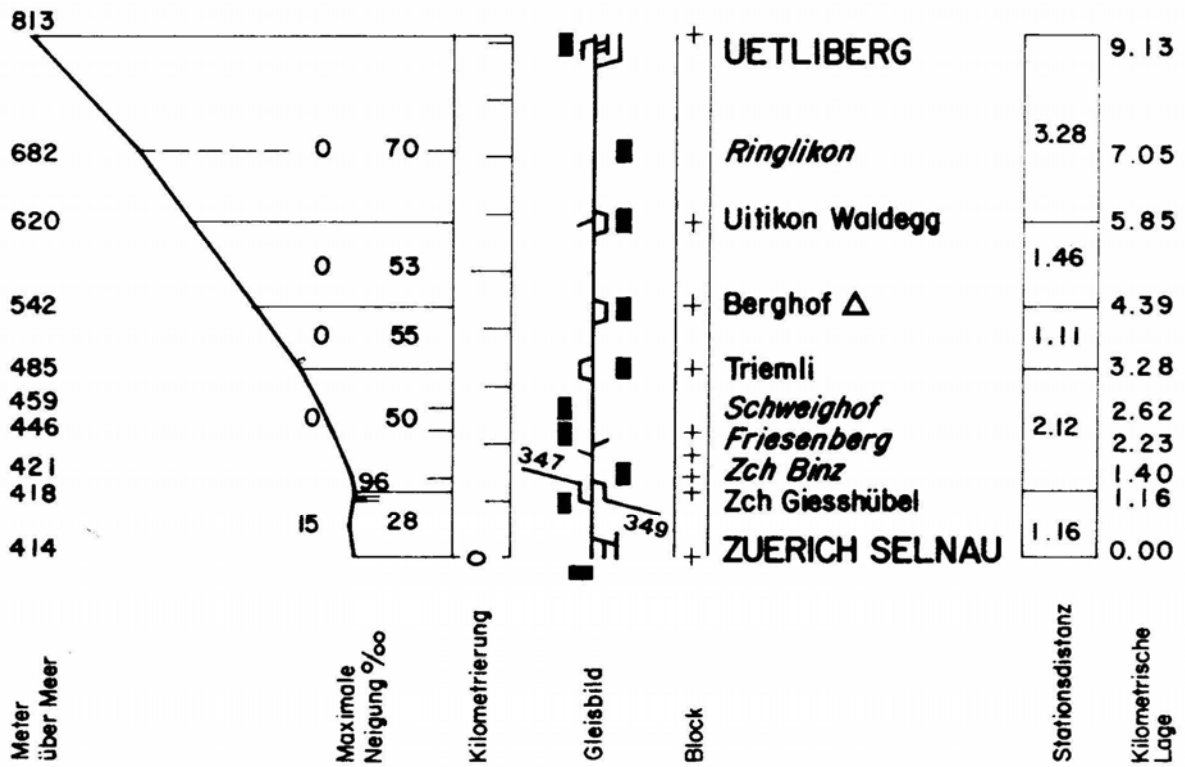


Fig. 3.5 Résistance à l'avancement de convois marchandises.

Uetlibergbahn : Déclivités et temps de parcours:



S10

SZU
Sihl Zürich Uetliberg
Bahn
ZVV-Contact
0848 988 988
www.zvv.ch
wap.zvv.ch

Zürich HB
Richtung
Uetliberg

Gültig ab 09.12.2007



Uetlibergbahn : Be 8/8, 1978, 2 automotrices de type BB+BB:

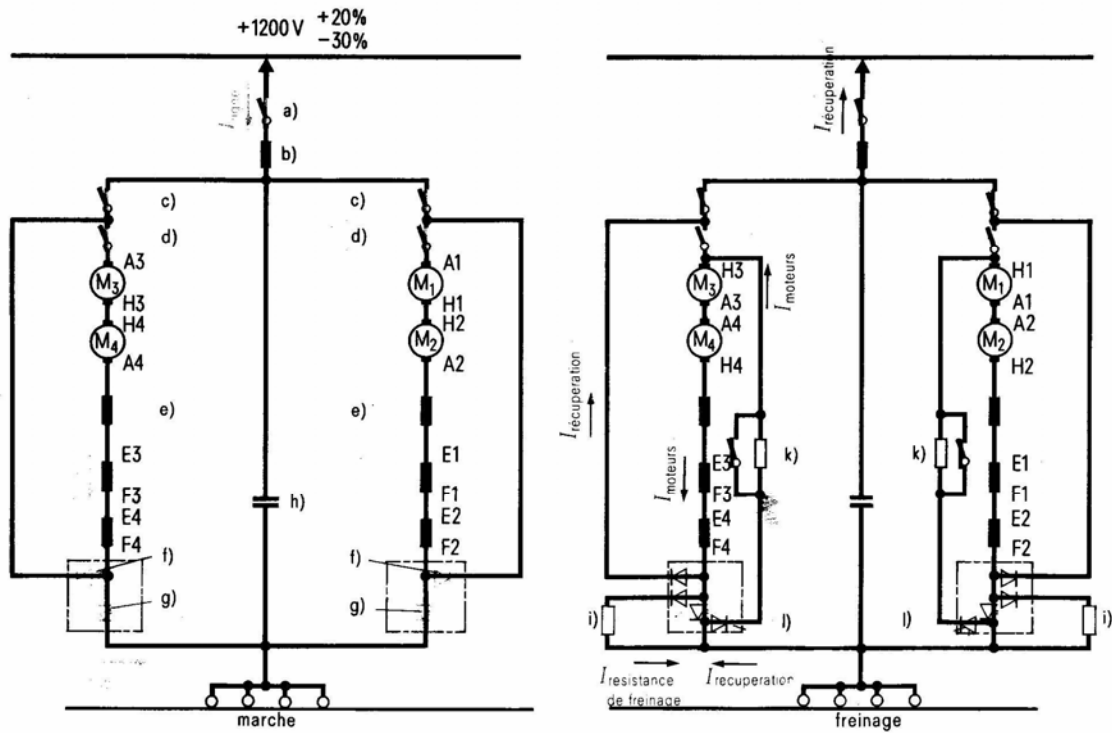


Schéma principal en traction (gauche) et en freinage (droite)

Uetlibergbahn : Be 4/4, 1992, 8 automotrices de type B₀B₀:

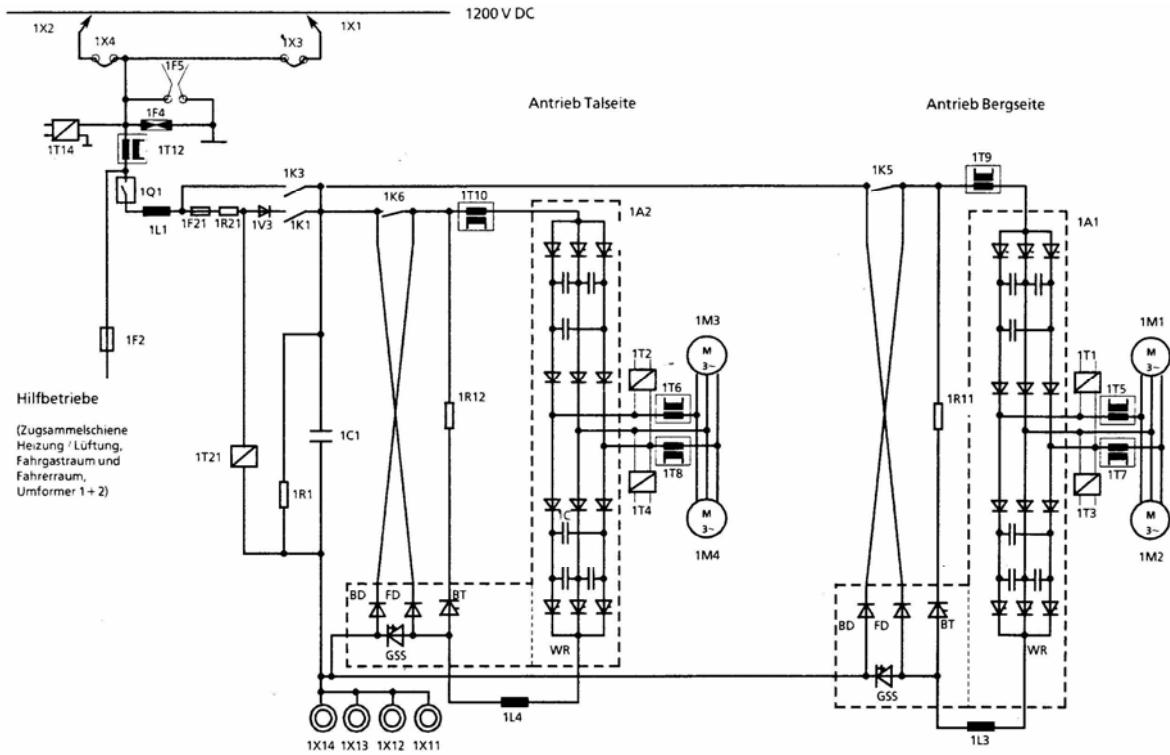


Schéma principal en traction (1K5 et 1K6 fermés) et en freinage (1K5 et 1K6 ouverts)

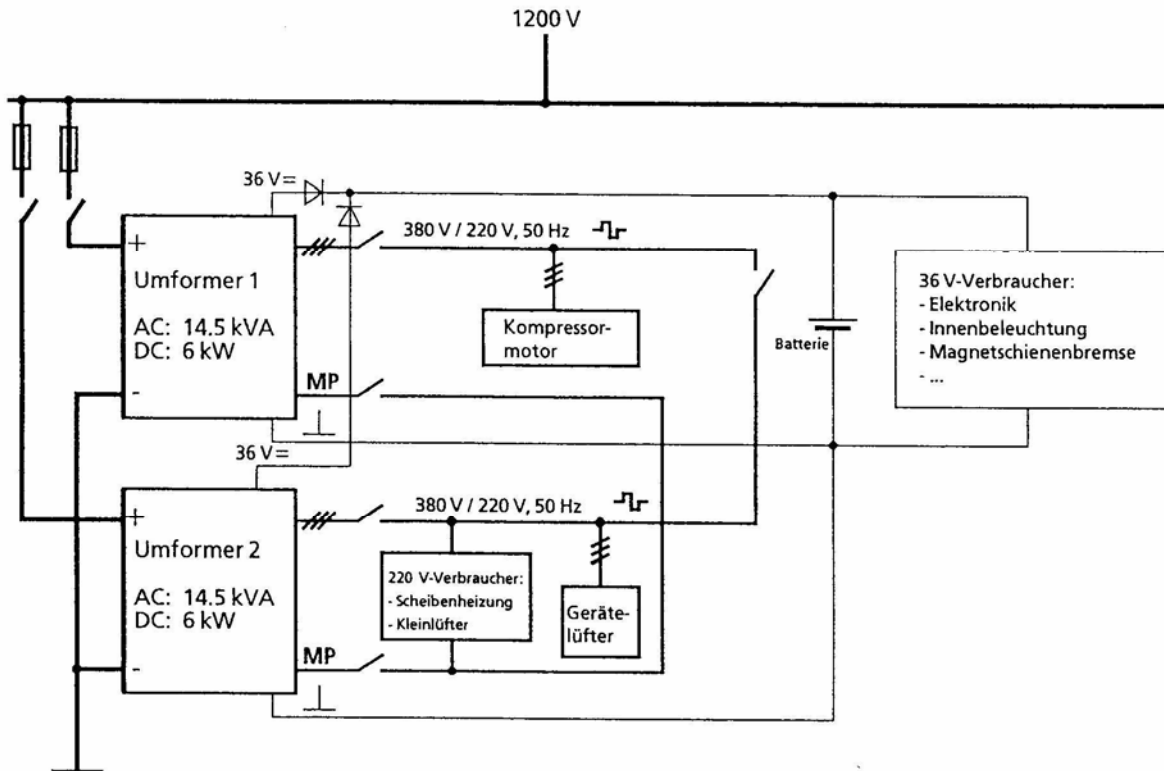
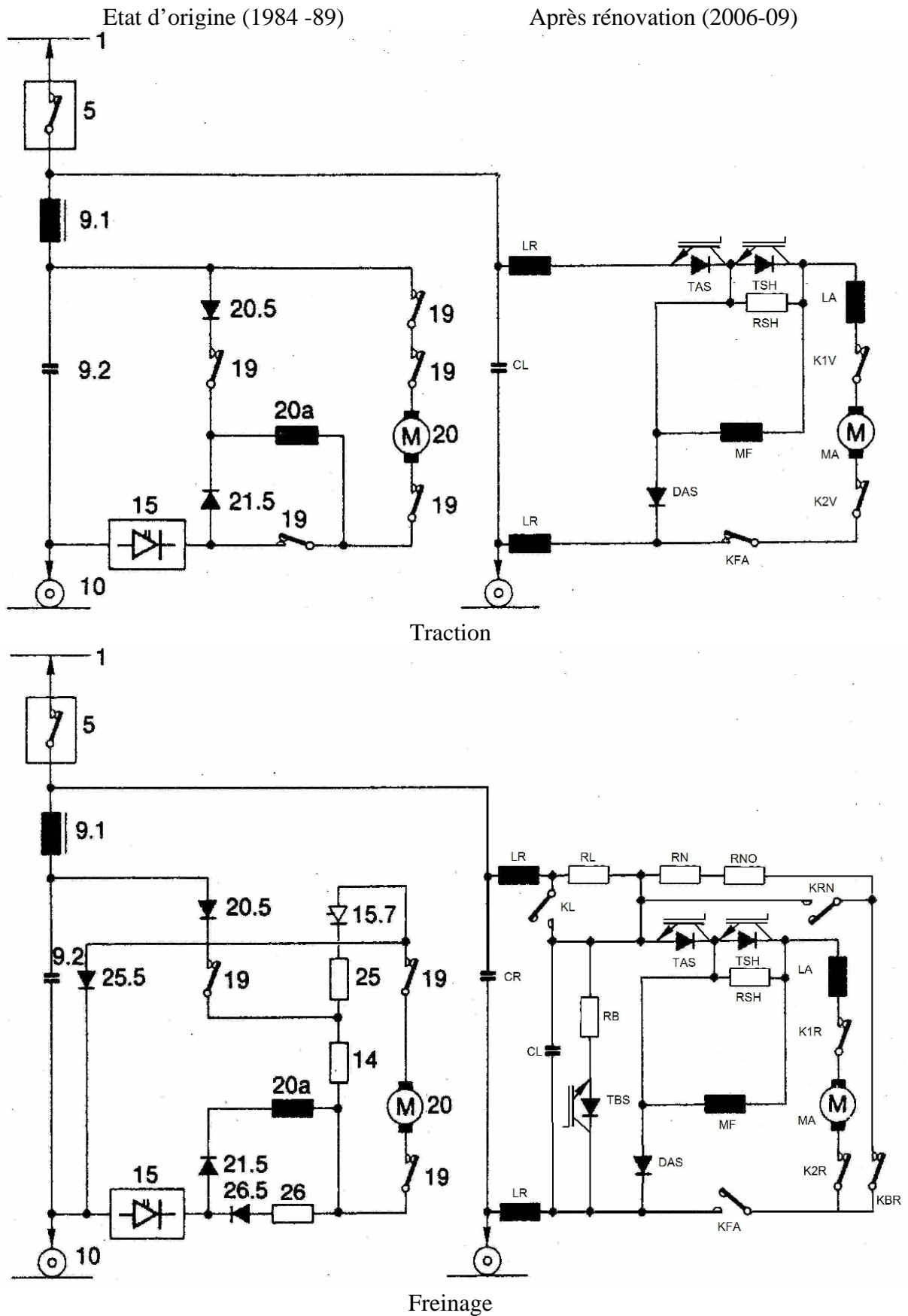


Schéma des auxiliaires

Tram de Genève : Be 4/6 (801 à 826) ou Be 4/8 (831 à 852)



Fac simulé de la page 484 de *Traction Electrique*, volume1 2^e édition 2008 :

484

Traction électrique

*Double voie avec mises en parallèle à chaque sous-station
et au milieu de l'intervalle*

Si la charge est appliquée au tronçon ab de la ligne de contact ($x < d/2$) les tronçons bc, de, ef se partagent l'intensité I_2 en 3 valeurs égales; de même pour $x > d/2$. La chute de tension se calcule comme en b ci-dessus :

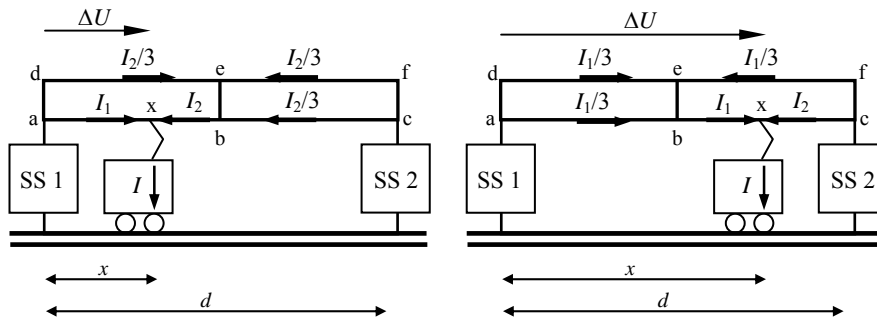


Fig. 10.15 Double voie alimentée par 2 sous-stations avec mise en parallèle au milieu

Boucles de calcul :

- abed
(x compris entre 0 et d/2)

- bcfe
(x compris entre d/2 et d)

Chutes de tension :

- suivant ax

$$U = R x I_1$$

- suivant abx, adebx et cfebx

$$U = R x \left(\frac{d}{2} I_1 + \frac{I_1 d}{3} \right)$$

- suivant adebx, cbx et cfebx

$$U = R \left(\frac{d}{2} x I_2 + \frac{I_2 d}{3} \right)$$

- suivant cx

$$U = R (d - x) I_2$$

d'où

$$R x I_1 = R \left(\frac{2d}{3} x I_2 \right)$$

$$R x \left(\frac{d}{3} I_1 \right) = R (d - x) I_2$$

avec

$$I_1 + I_2 = I$$

$$I_1 + I_2 = I$$

$$I_2 = I x \frac{3}{2d}$$

$$I_2 = I \left(\frac{3}{2d} x - \frac{1}{2} \right)$$

on obtient

$$U = R x \left(\frac{3}{2d} x^2 \right) I \quad (10.26)$$

$$U = R \left(2x \left(\frac{3}{2d} x^2 \right) - \frac{d}{2} \right) I \quad (10.27)$$

TECHNIQUES FERROVIAIRES
Documents pour l'exercice N° 7

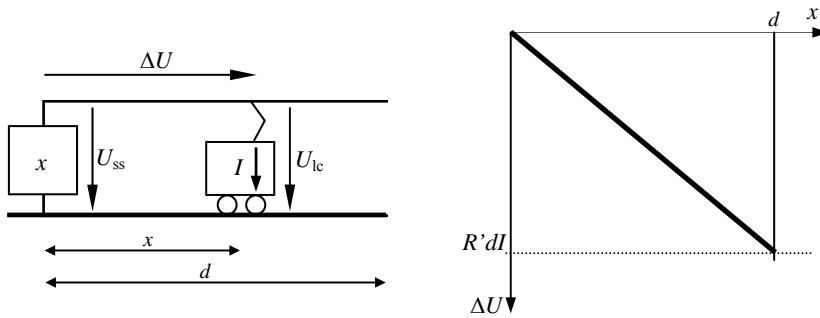
Résumé des équations et figures précédentes :

$$\Delta U = R' x I \quad (10.9)$$

$$U_{lc} = U_{ss} - R' x I \quad (10.10)$$

$$\Delta U_{Max} = R' d I \quad (10.11)$$

$$\Delta U_{moy} = R' \frac{d}{2} I \quad (10.12)$$



$$\Delta U = R' x (I - I_2) = R' (2d - x) I \quad (10.13)$$

$$I_2 = I \frac{x}{2d} \quad (10.14)$$

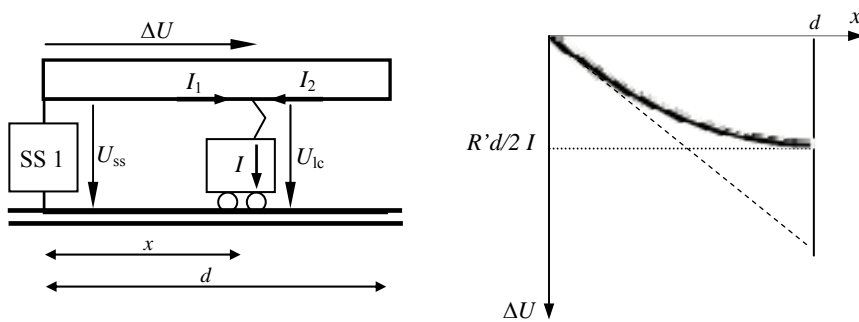
$$\Delta U = R' \frac{2d - x}{2d} x I \quad (10.15)$$

$$\Delta U = R' \left(x - \frac{x^2}{2d} \right) I \quad (10.16)$$

$$U_{lc} = U_{ss} - R' \left(x - \frac{x^2}{2d} \right) I \quad (10.17)$$

$$\Delta U_{Max} = R' \frac{d}{2} I \quad (10.18)$$

$$\Delta U_{moy} = R' \frac{d}{3} I$$



TECHNIQUES FERROVIAIRES
Documents pour l'exercice N° 7

$$\Delta U = R' x I_1 = R' (d - x) I_2 \quad (10.20)$$

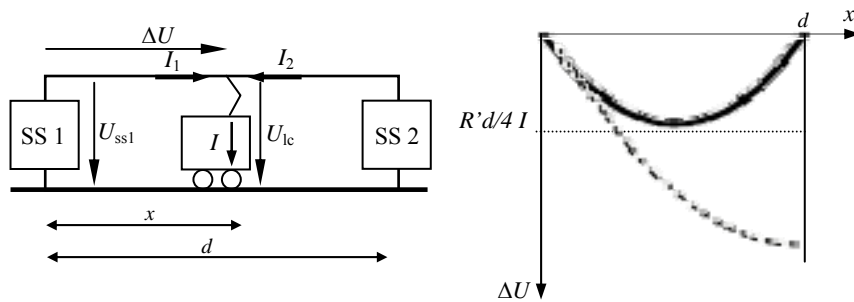
$$I_2 = I \frac{x}{d} \quad (10.21)$$

$$\Delta U = R' \left(x - \frac{x^2}{d}\right) I \quad (10.22)$$

$$U_{lc} = U_{ss} - R' \left(x - \frac{x^2}{d}\right) I \quad (10.23)$$

$$\Delta U_{\max} = R' \frac{d}{4} I \quad (10.24)$$

$$\Delta U_{\text{moy}} = R' \frac{d}{6} I \quad (10.25)$$



Rames automotrices de banlieue série 9000

Caractéristiques nominales du moteur de traction *4ERG3532*:

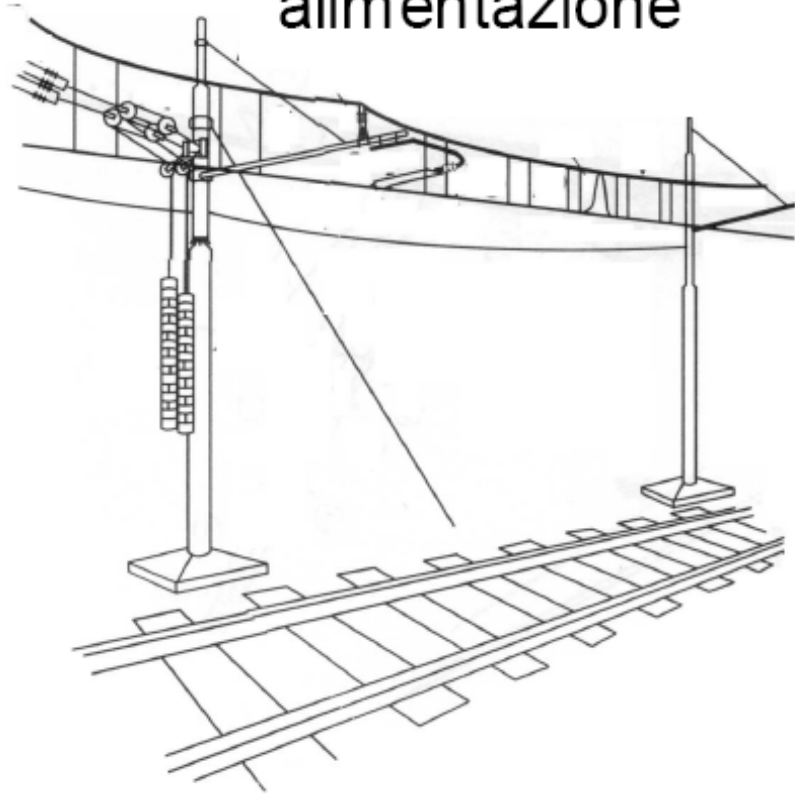
Sous $\frac{2500}{2}$ V		Régime continu	Régime unihoraire
Courant	[A]	180	195
Taux de champ résiduel	[%]	85	85
Vitesse de rotation	[min ⁻¹]	1485	1415
Vitesse de marche	[km/h]	50	48
Puissance	[kW]	207	223

Valeurs maximales au moteur de traction *4ERG3532* :

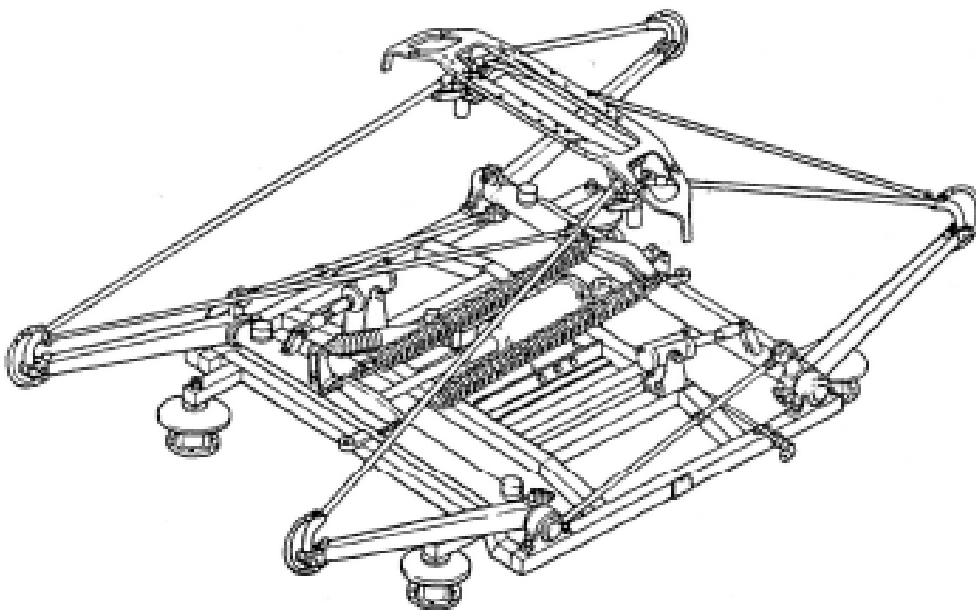
Courant de traction	[A]		320
Courant de freinage	[A]		170
Tension aux bornes en traction	[V]		2500/2
Tension aux bornes en freinage	[V]		2625/2
Vitesse de rotation à 90 km/h	[min ⁻¹]		2670
Vitesse d'emballement	[min ⁻¹]		3605

Ligne de contact 3000V=

Linea aerea di alimentazione



Pantographe type 52 équipant les E444



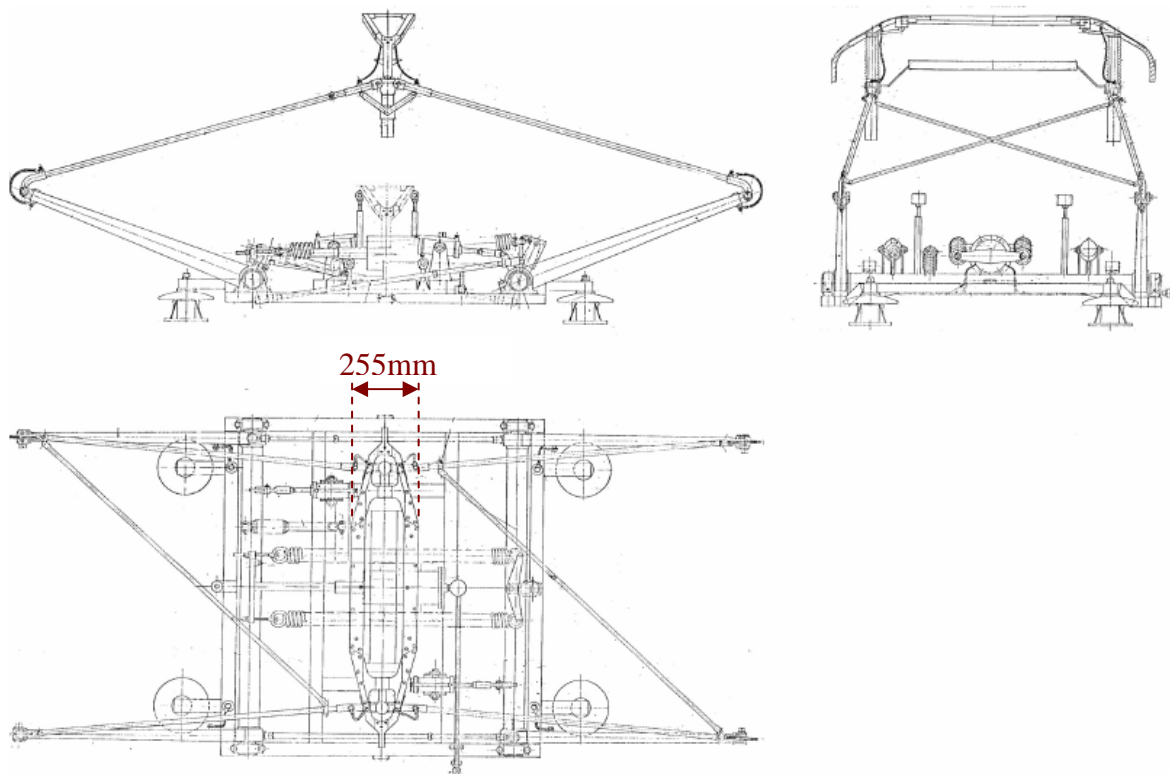
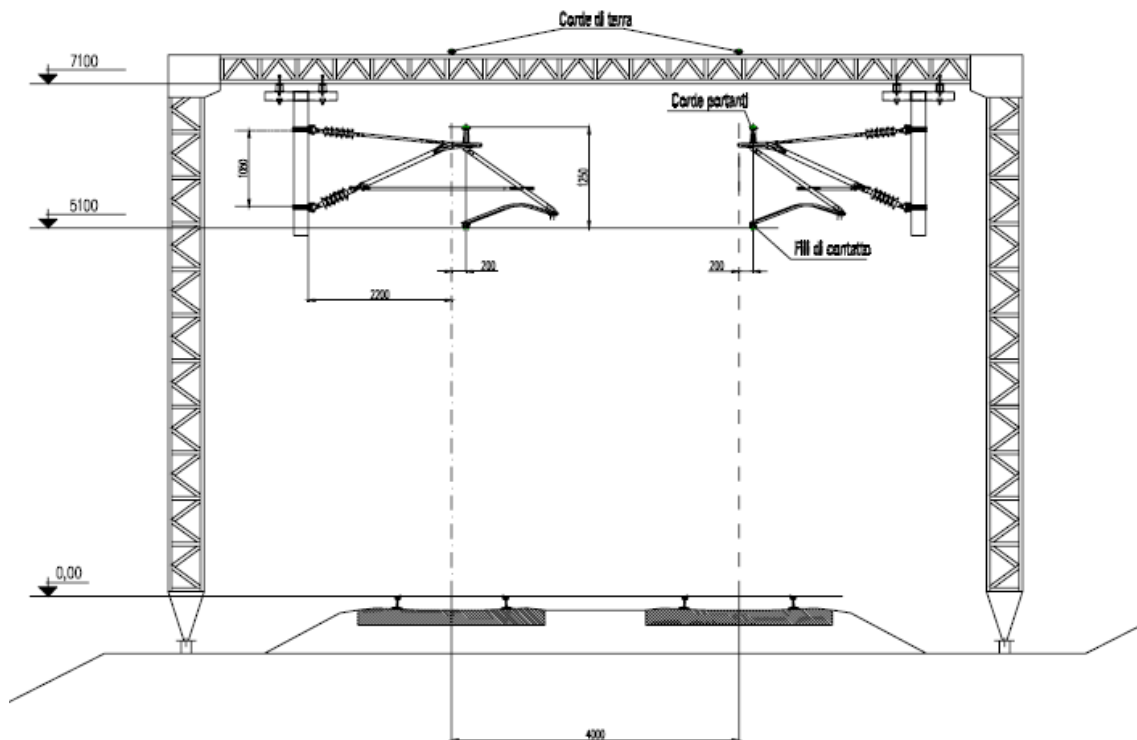


Figura 24 Pantografo tipo 52/92 FS

Bibliographie :

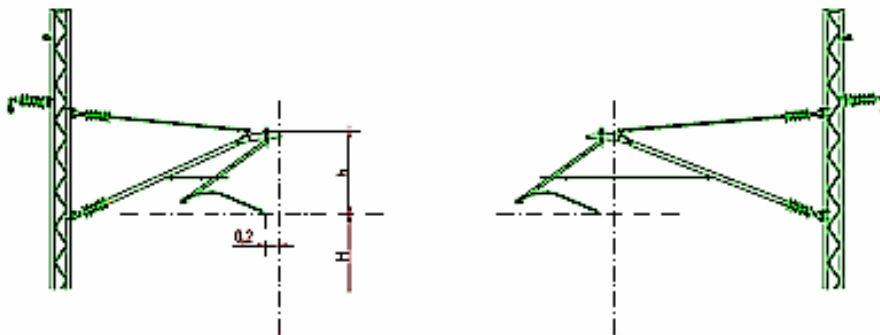
C. BORGIA : *Nell'interazione linea di contatto – pantografo (linee alimentate a 3 kV cc)*, Trenitalia, 2000. http://www.stel-web.it/history/aiman/convegno_00-11-15/borgia/borgia.pdf

Ligne de contact FS 3 kV= pour $V \leq 250$ km/h



Caratteristiche della linea		Linea di contatto	Corda portante			Fili di contatto		
Velocità massima [km/h]	Intensità del traffico	Sezione del rame [mm ²]	numero	sezione [mm ²]	tiro [daN]	numero	sezione [mm ²]	tiro [daN]
250	Media /Alta	540	2	120	1500	2	150	1875

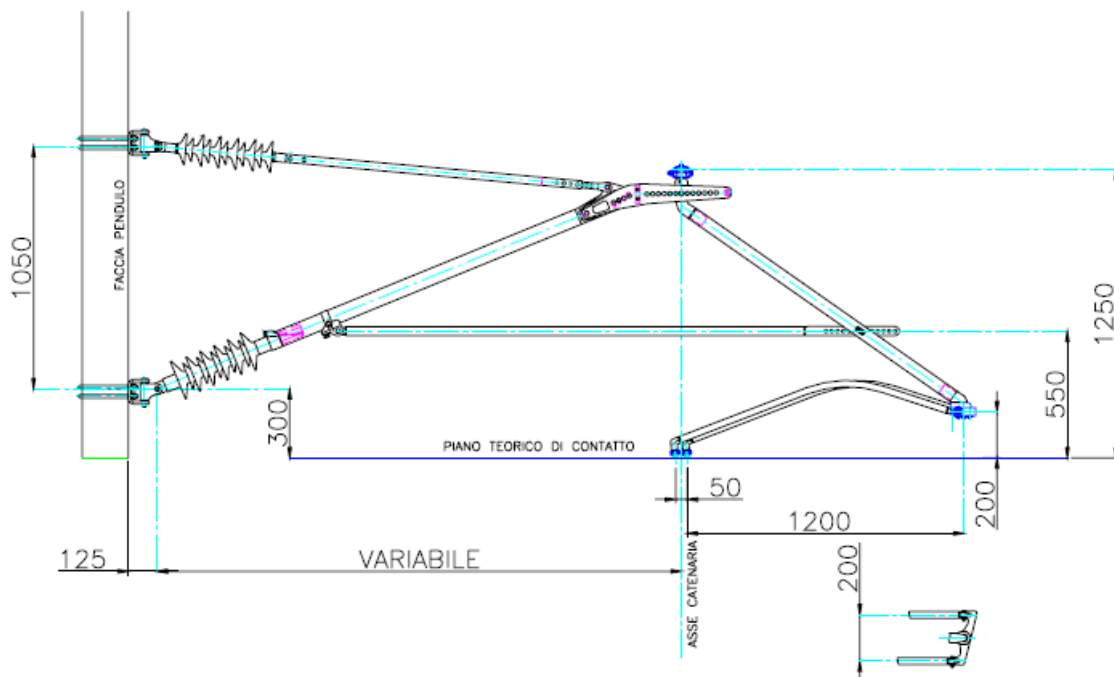
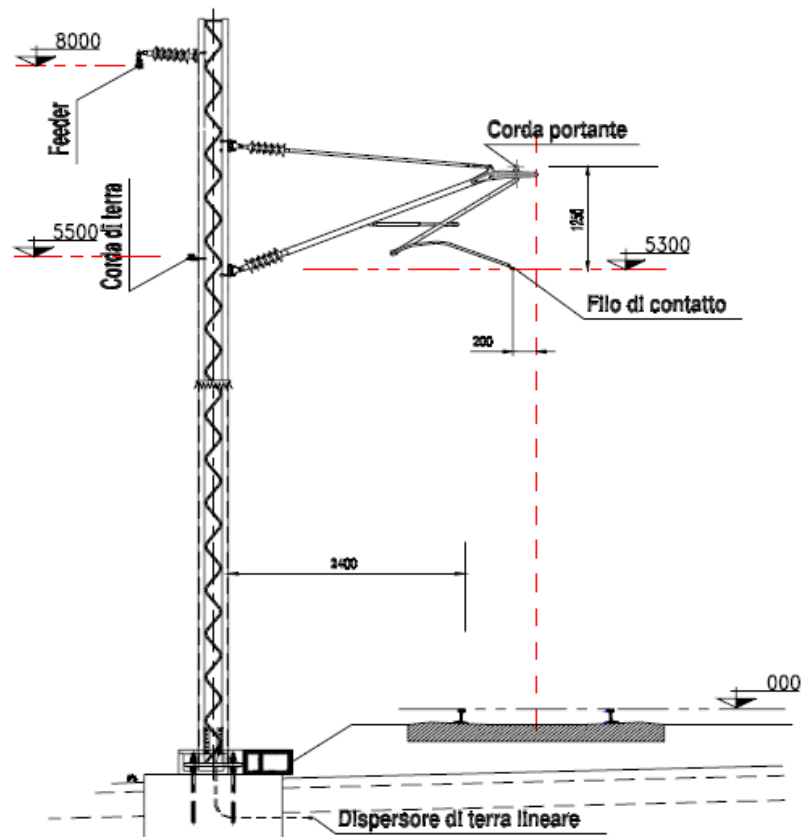
Ligne de contact FS 25 kV 50 Hz pour $V \leq 300$ km/h



(détail au verso)

Linea di contatto	Corda portante			Fili di contatto			Feeder alimentato a - 25Kv	
Sezione del rame [mm ²]	numero	sezione [mm ²] Cu	tiro [daN]	numero	sezione [mm ²] Cu	tiro [daN]	numero	diametro [mm] corda Al-acciaio
270	1	120	1625	1	150	2000	1	22,8

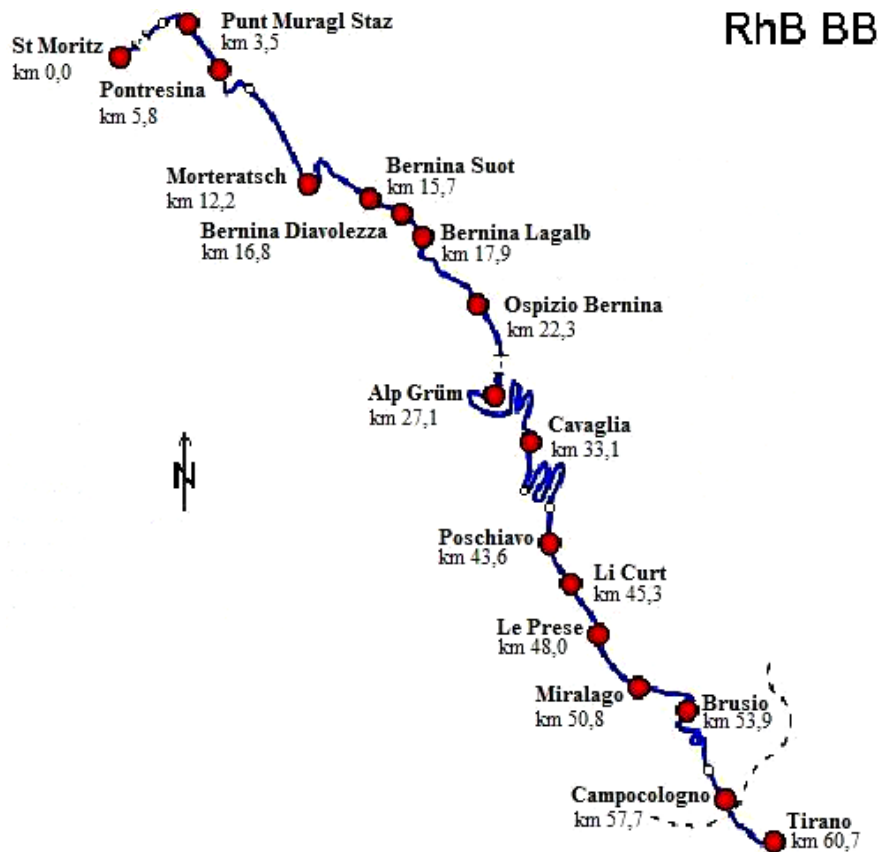
TECHNIQUES FERROVIAIRES
Documents pour l'exercice N°11



Note: dans les deux cas, l'intervalle entre supports (mâts ou portiques) est d'environ 60 m.

Bibliographie : A. LUZI: *Italian High Speed*, Alta Scuola Politecnica, Milano, nov. 2005.
<http://mecsys.mecc.polimi.it/Didattica/asp/Materiale/20051123/Politecnico%20milano.pdf>

La ligne de la Bernina



Sous-stations de redresseurs :

Pontresina 2x 1,2 MW
Morteratsch 1,2 MW
Bernina Lagalb 1,6 MW
Ospizio Bernina 1,6 MW
Alp Grüm 2x1,2 MW
Cavaglia 1,6 MW
Cadera 1,6 MW
Poschiavo 1,6 MW
Miralago 1,6 MW
Brusio 1,6 MW
Campocologno 1,6 MW

Tensions à vide : 1,045 kV

Surcharges autorisées (depuis la puissance nominale) :

2 heures : + 50%
5 minutes : +100%

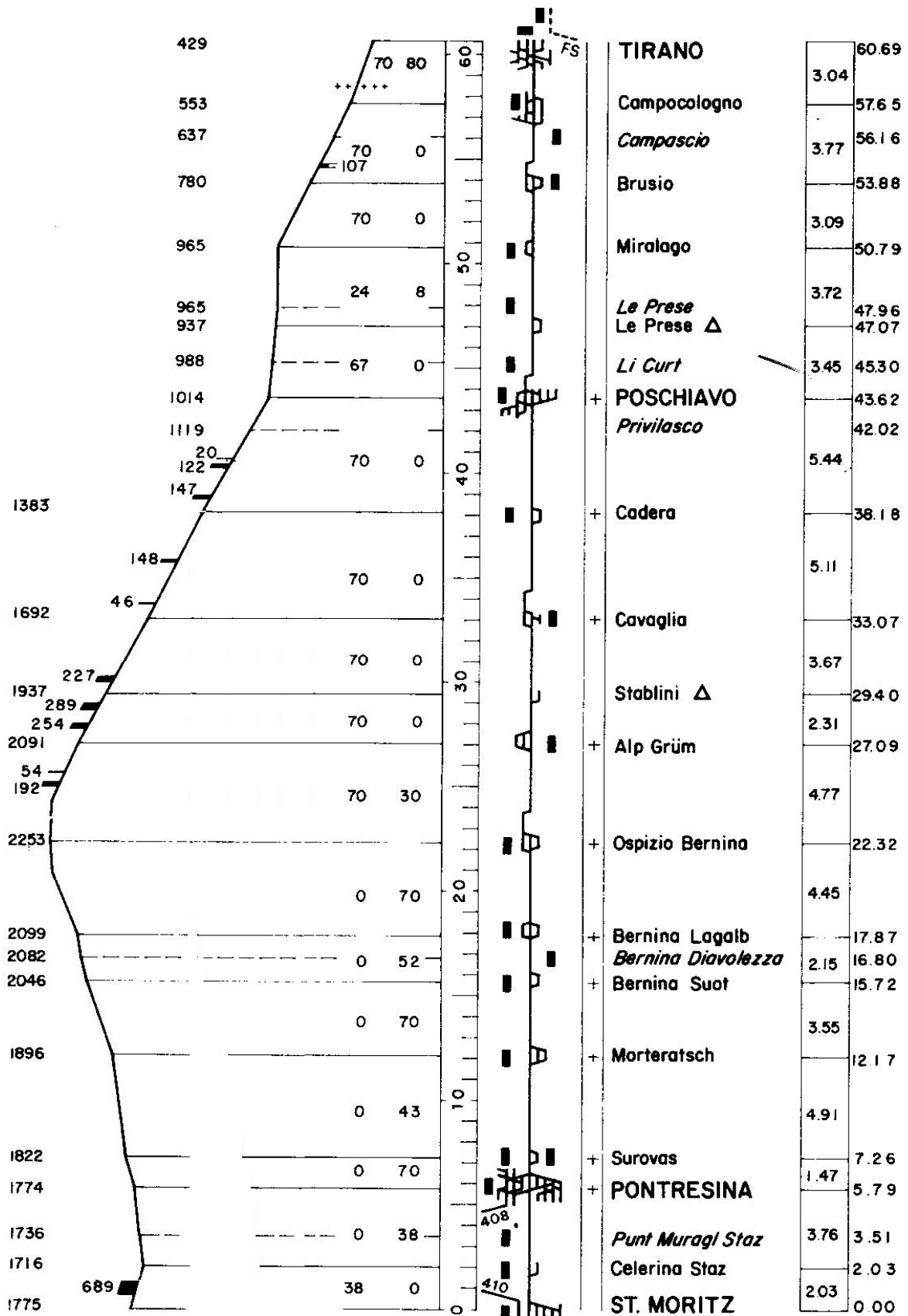
Résistance interne : 28 mΩ

Ligne de contact :

Caténaire avec fil de contact de 186 mm² et câble porteur de 3×95 mm².
Pour la section équivalente de cuivre (rail+ligne de contact) : 282·10⁻⁶ mm².

Entre Poschiavo et Miralago : porteur de seulement 2×95 mm².
Pour la section équivalente de cuivre (rail+ligne de contact) : 230·10⁻⁶ mm².

Profil de la ligne :

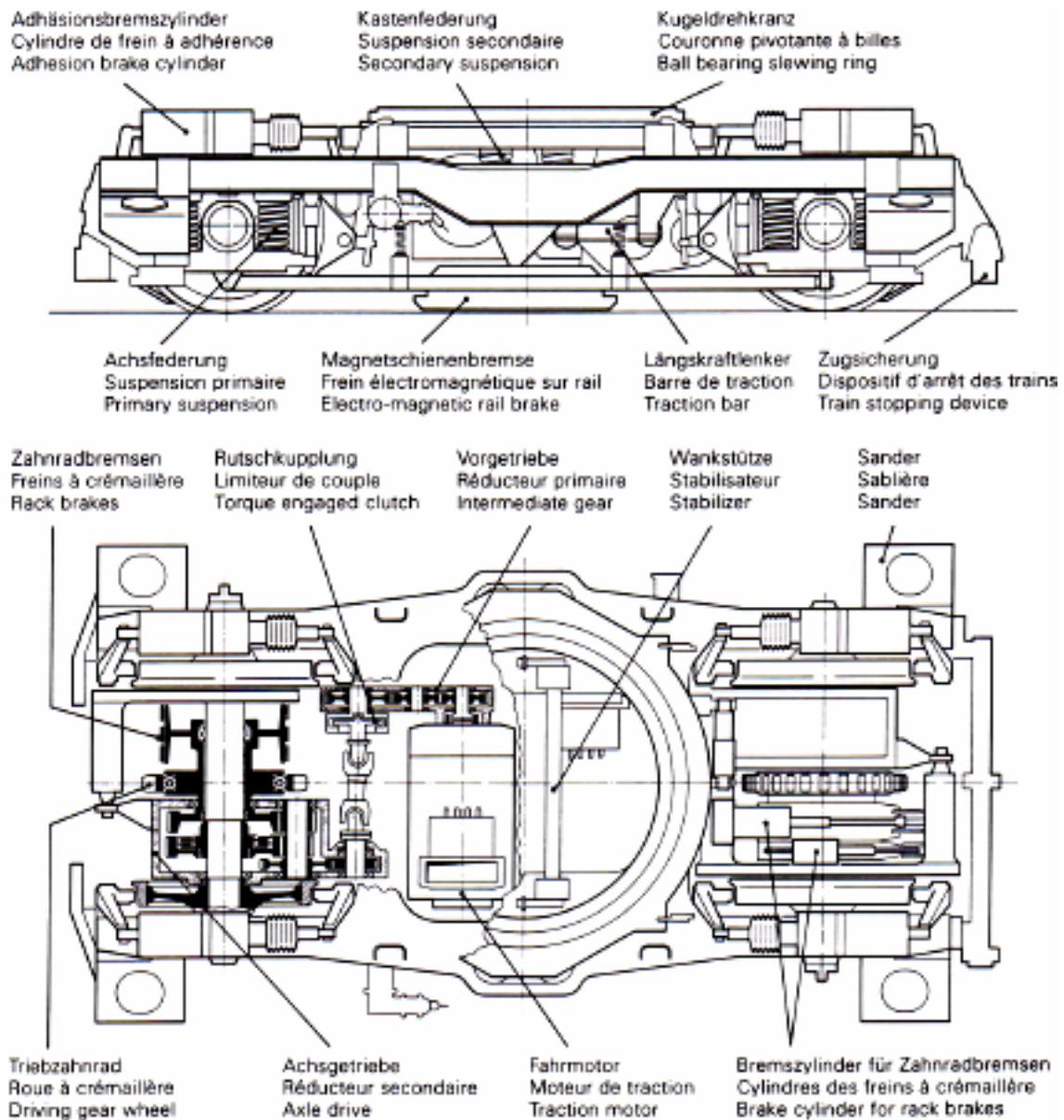


Bogie SLM pour adhérence et crémaillère

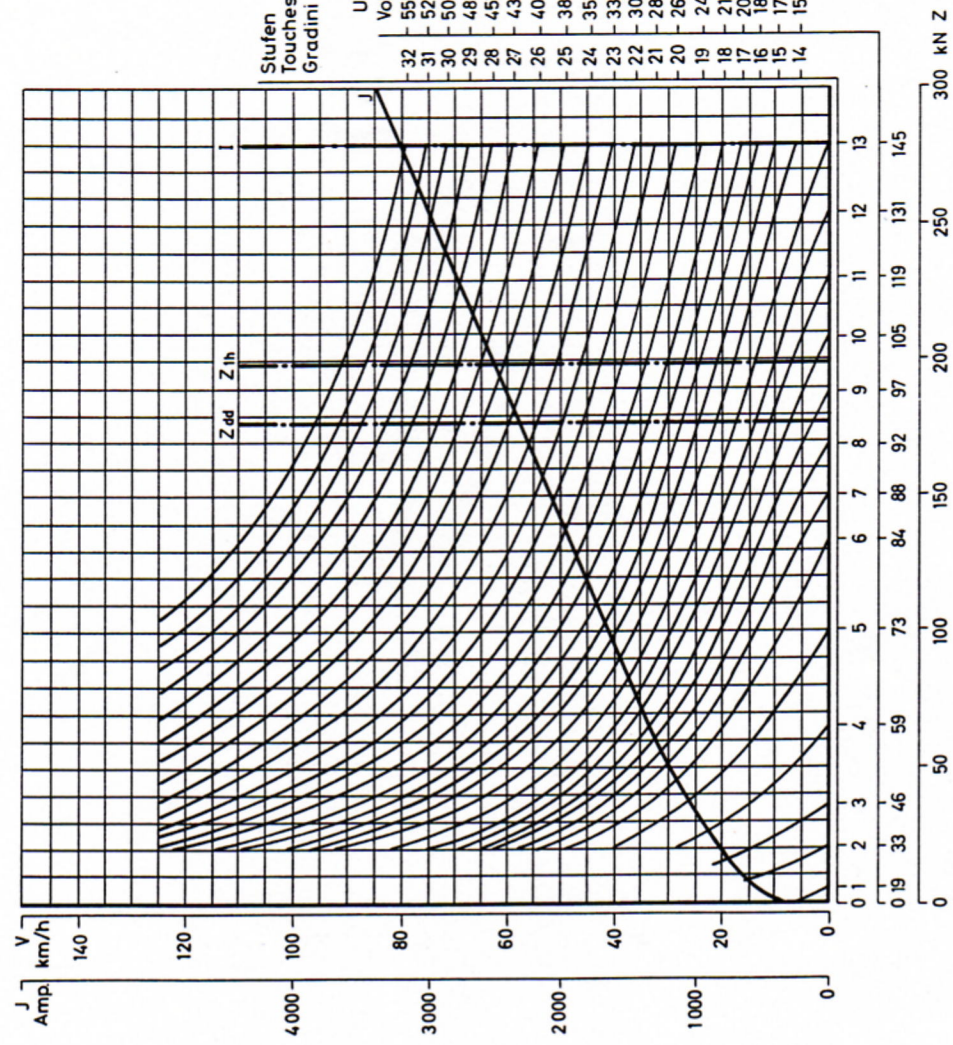
Le bogie à deux essieux représenté ci-dessous est conçu pour un service combiné à crémaillère et adhérence. Sur les tronçons à crémaillère, l'entraînement à adhérence est débrayé.

Ce type de bogie a été appliqué jusqu'ici pour les lignes de chemin de fer suivantes :

- SGA St-Gall–Gais–Appenzell
- MC Martigny–Châtelard
- PJKA Chemins de fer de l'état d'Indonésie

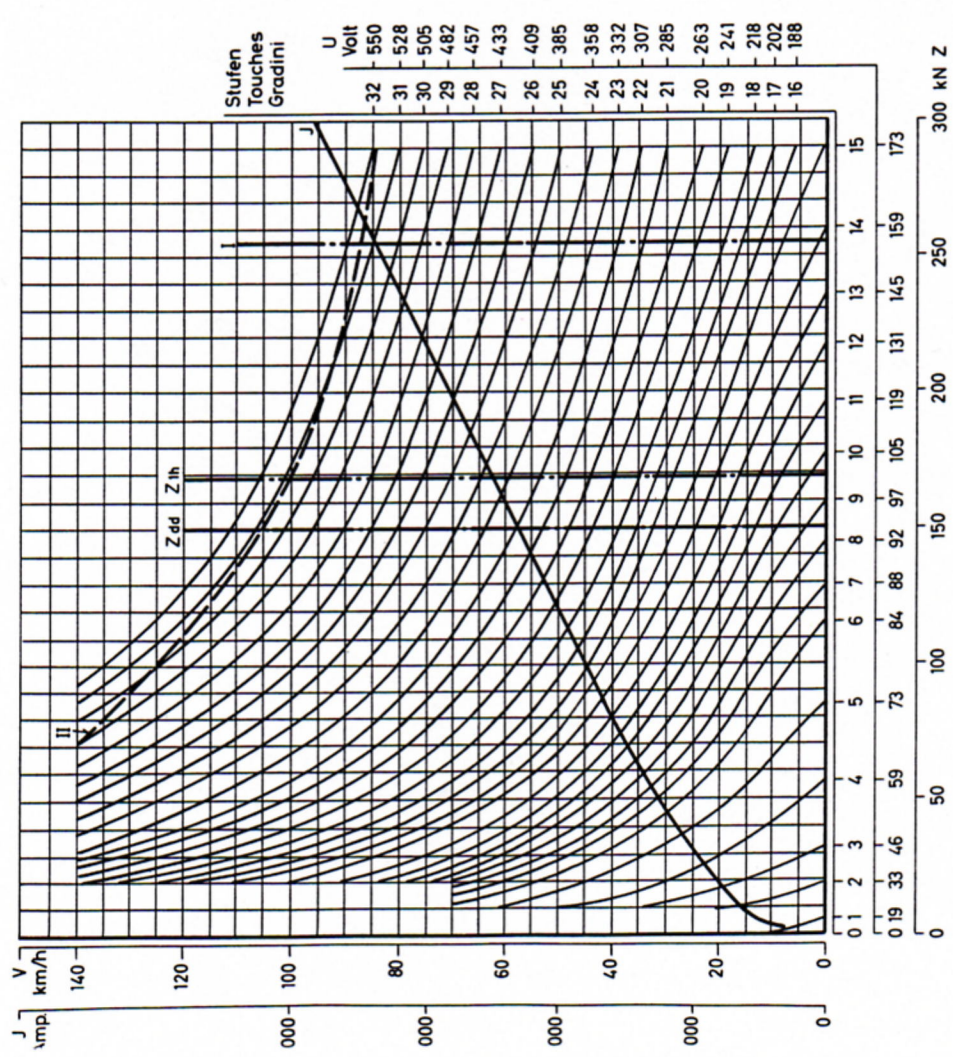


FAHREN, MARCIA



Corrente dei motori in amp. (mass. 3400 amp.)
 Velocità in km/h
 Sforzo di traz. tot. (resp. sforzo di frenatura) alla ruota in kN
 Sforzo di traz. continuo alla ruota 150 kN } Re 4/4 II 177 kN
 Sforzo di traz. uniorario alla ruota 170 kN } 200kN
 Sforzo di traz. mass. con corrente mass 255 kN } 280kN
 Velocità alla tensione nominale dei motori
 Corrente 45' per frenatura elettrica
 Corrente mass. per frenatura elettrica
 Tensione ai motori all'arresto
 Tensione ai motori per corrente unioraria

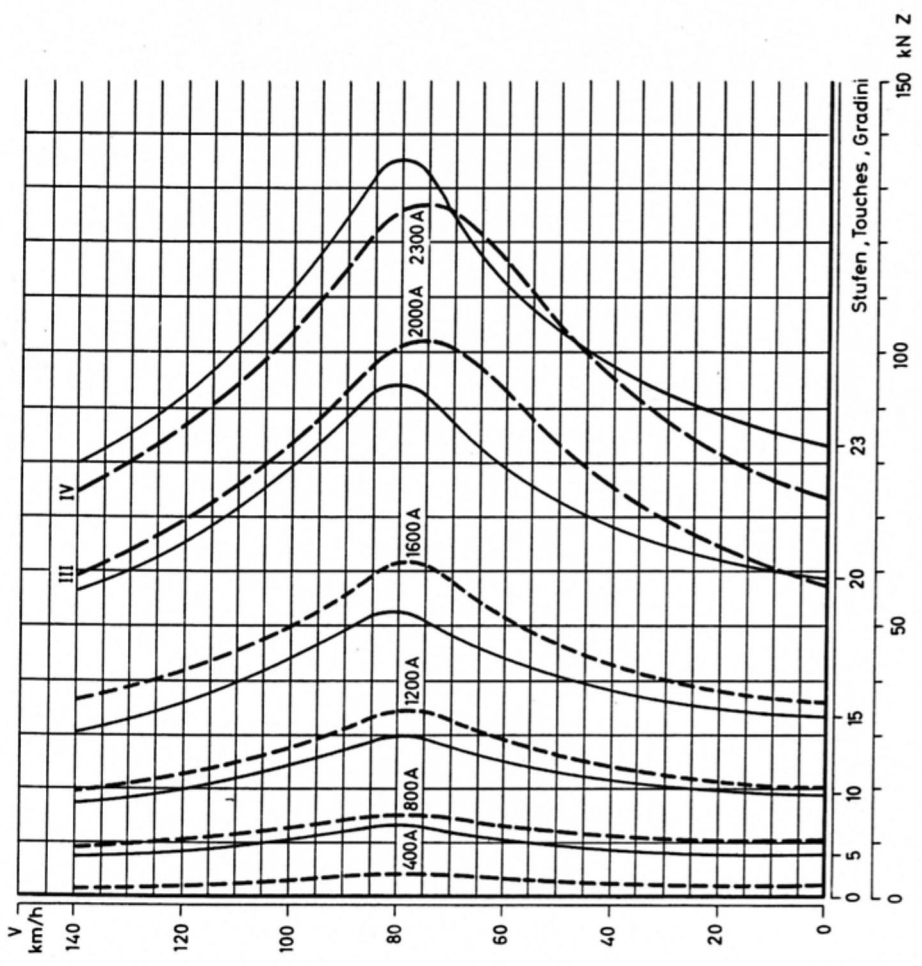
FAHREN, MARCHÉ



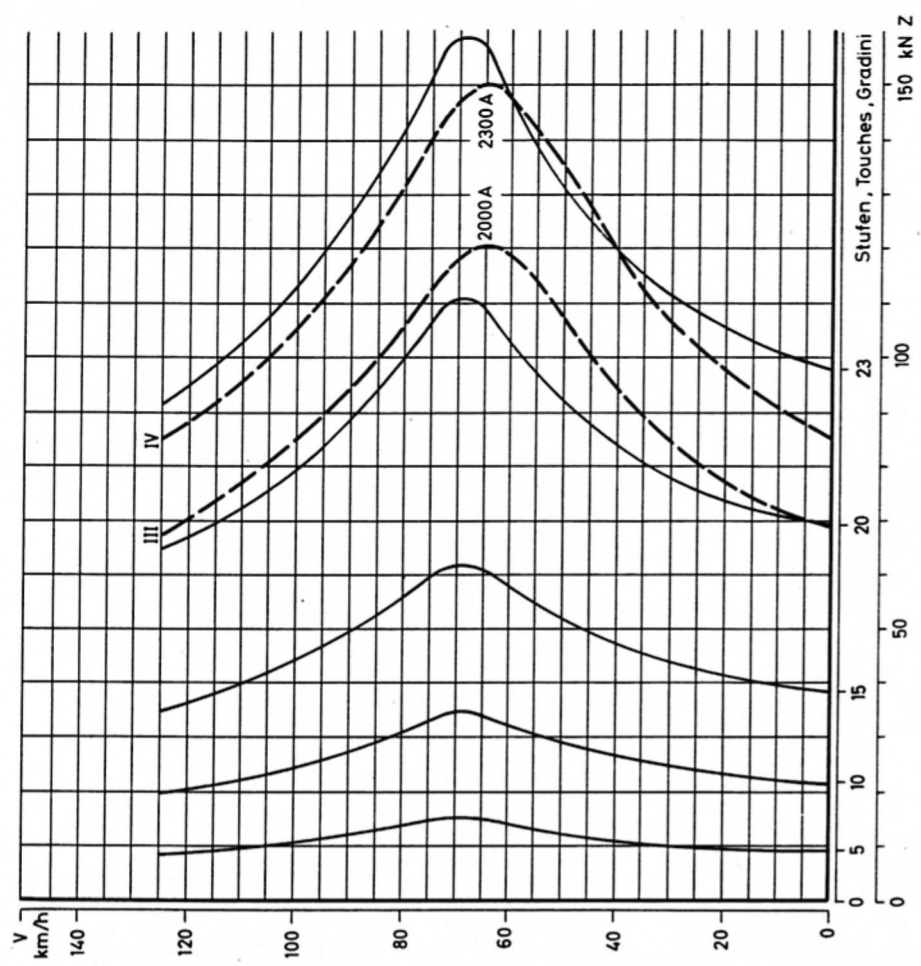
Courant des moteurs en amp. (max. 3400 amp.)
 Vitesse en km/h
 Effort de tract. tot. (resp. effort de freinage) à la jante en kN
 Effort de tract. continu à la jante
 Effort de tract. unihoraire à la jante
 Effort de tract. max. au courant max.
 Vitesse à la tension nominale des moteurs
 Courant 45' en freinage électrique
 Courant max. en freinage électrique
 Tension aux moteurs à l'arrêt
 Tension aux moteurs pour courant unihoraire

J Motorstrom in Ampère (max. 3400 Amp.)
 V Geschwindigkeit in km/h
 Z Tot. Zugkraft (bzw. Bremskraft) am Rad in kN
 Z dd Dauerzugkraft, am Radumfang
 Z lh Stundenzugkraft am Radumfang
 I Max. Zugkraft bei Max. Strom
 II Geschw.-Verlauf bei Nennspg. am Motor
 III 45'-Strom für elektr. Bremse
 IV Max. Strom für elektr. Bremse
 U1 - U9 Spannung am Motor im Stillstand
 U10 - U32 Spannung am Motor bei Stundenstrom

BREMSEN , FREINAGE



BREMSEN , FRENATURA



Spannung am Motor
Strom pro Motor
Leistung pro Motor an der Welle
bei einer Geschwindigkeit

Tension au moteur
Courant par moteur
Puissance à l'arbre par moteur
à la vitesse de

Tensione al motore
Corrente per motore
Potenza all'albero per motore
alla velocità di

dauernd , cont.		1 Stunde, unih. unio.	
Re 4/4 II	Re 4/4 III	Re 4/4 II	Re 4/4 III
525	525	525	525
2300	2300	2485	2485
1113	1113	1195	1195
105	89,2	100	85
		Volt	Volt
		Amp.	Amp.
		kW	kW
		km/h	km/h

Fahrzeugcharakteristik
Caracteristique du véhicule
Caratteristica del veicolo

SBB	ZfW
CFF	TA
FFS	TO
Schweizerische Bundesbahnen	
Chemins de fer fédéraux suisses	
Ferrovie federali svizzere	

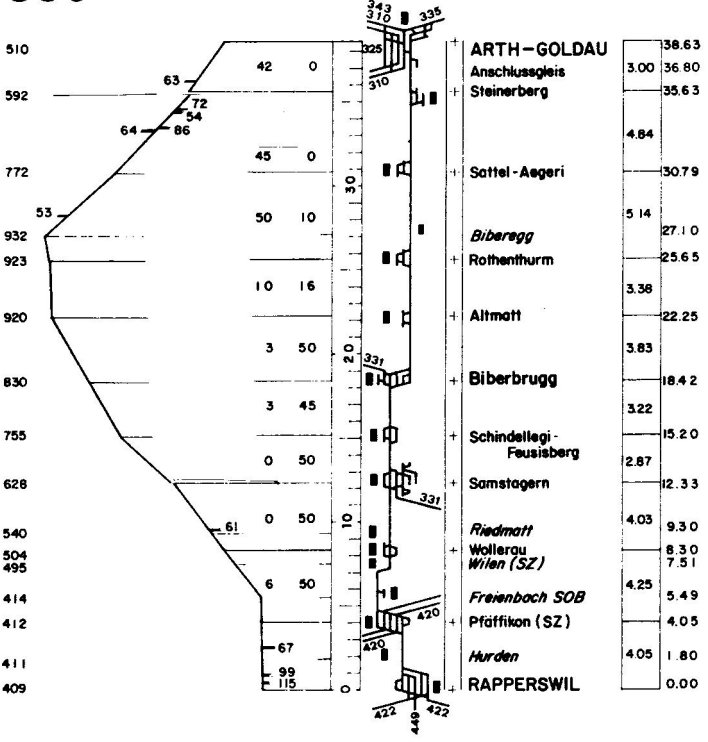
Re 4/4 II 11101-11349
Re 4/4 III 11351-11370

R 430.3

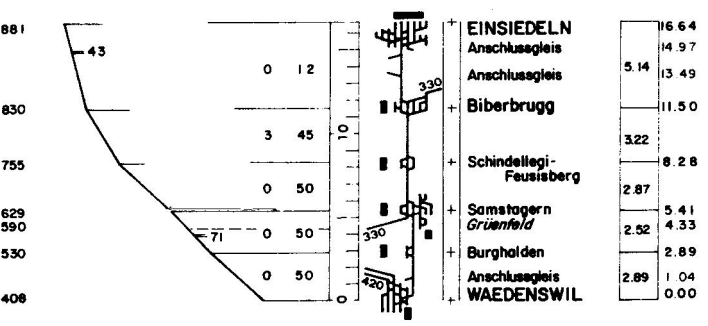
Anlage 8¹

Bern, 12. 10. 1977 Mr
Aend. Mod.
220.40.023.6

330



331



Meter über Meer
 Maximale Neigung ‰
 Kilometrierung
 Gleisbild
 Block
 Stationsdistanz
 Kilometrische Lage

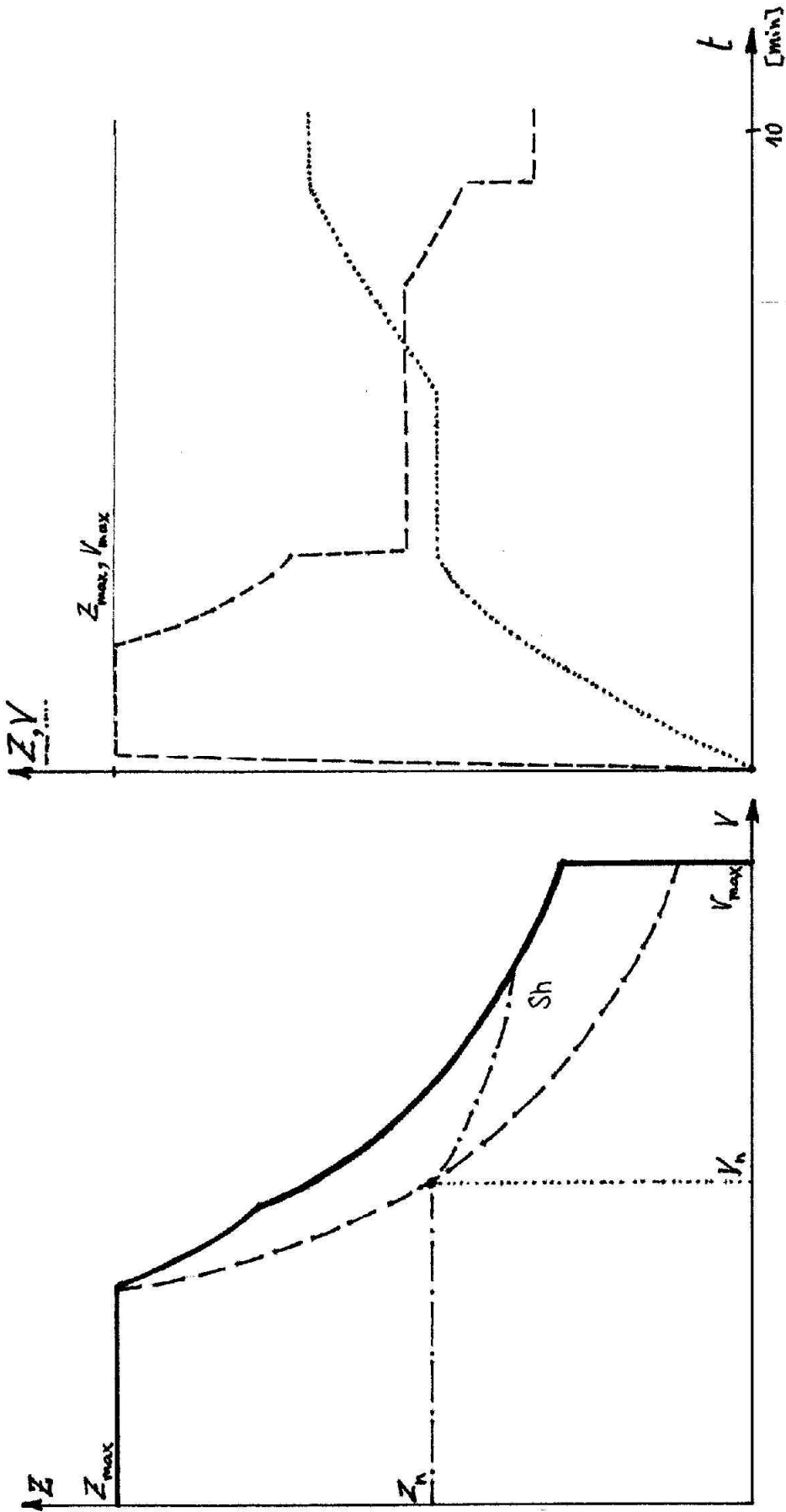
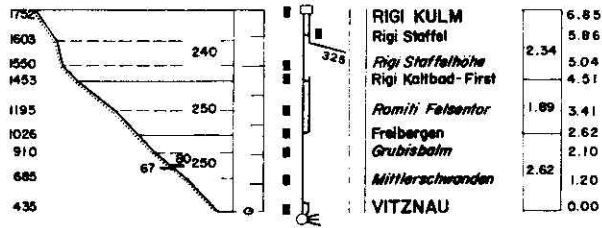


Diagramme de marche

Caractéristique du véhicule
 Sh fonctionnement à champ affaibli et
 tension maximale aux bornes du moteur

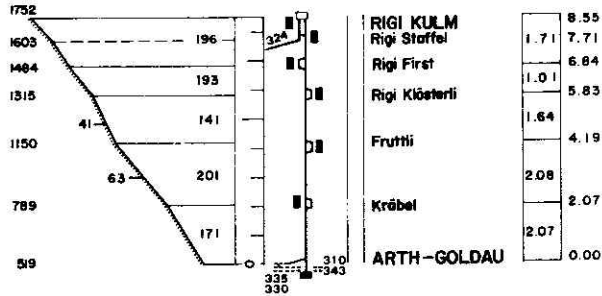
TECHNIQUES FERROVIAIRES
Document accompagnant la question . 44.

324



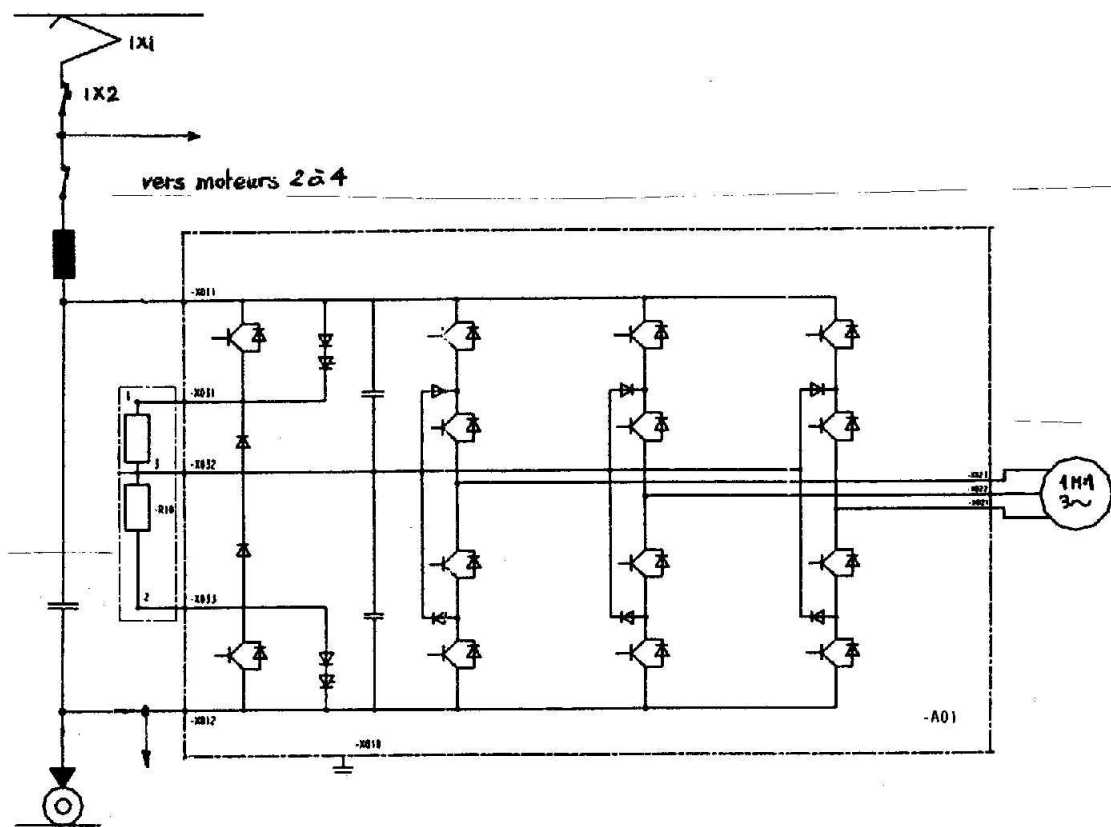
Meier über Meer
Maximale Neigung ‰
Kilometrierung
Gleisbild
Blick
Stationsstation
Kilometer nach Lage

325

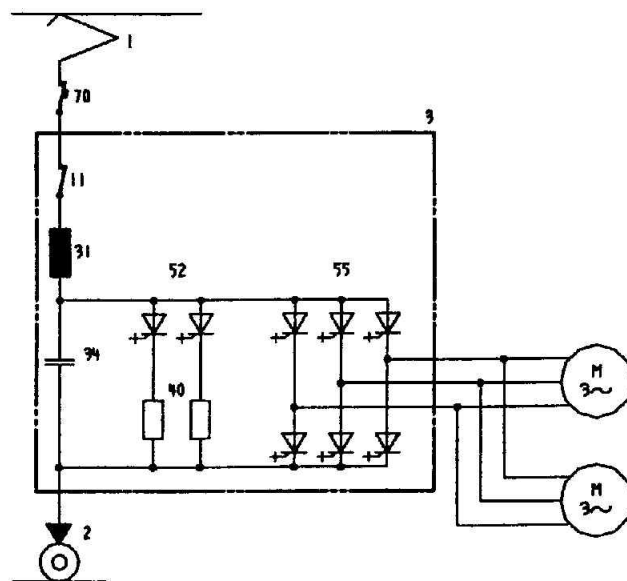


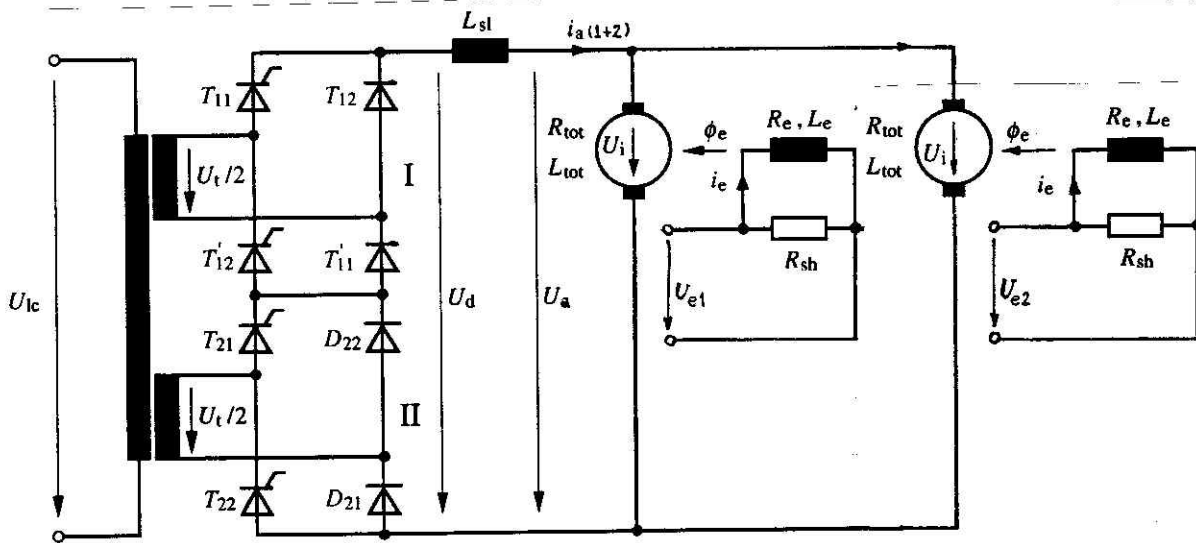
Meier über Meer
Maximale Neigung ‰
Kilometrierung
Gleisbild
Blick
Stationsstation
Kilometer nach Lage

Tramway de Rostock (1994)

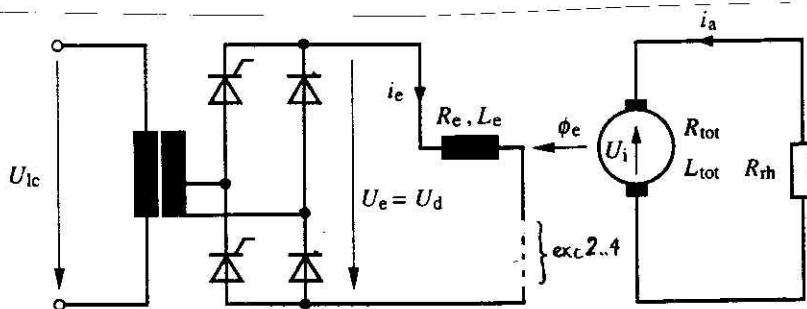


Genève - La Plaine (1994)

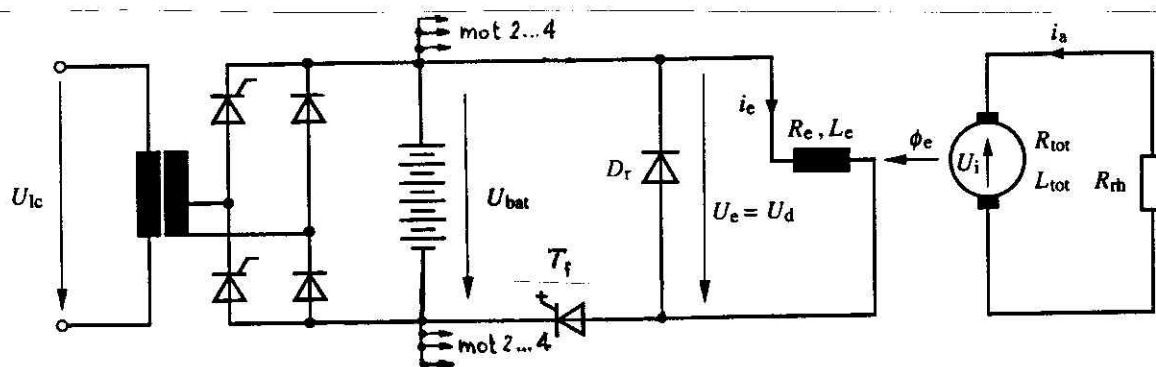




TRACTION (1/2 locomotive)



FREINAGE (1/4 locomotive 90).

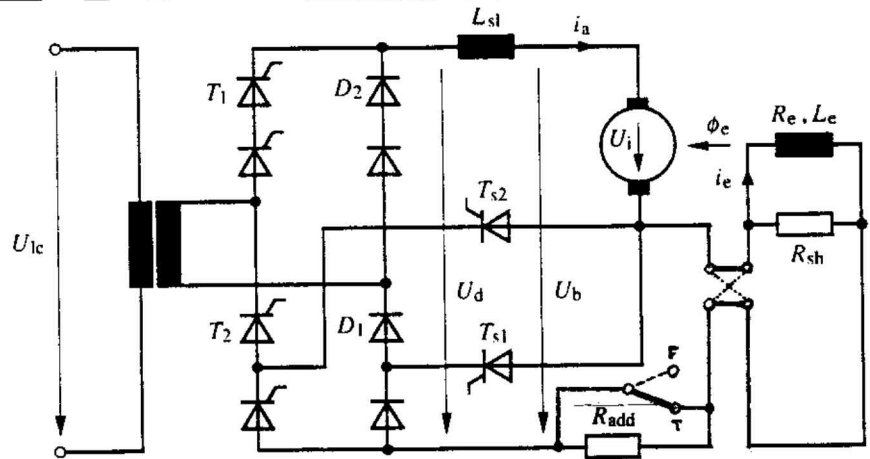


FREINAGE (1/4 locomotive 91).

Remarque: en traction, le circuit d'excitation est le même que pour le freinage.

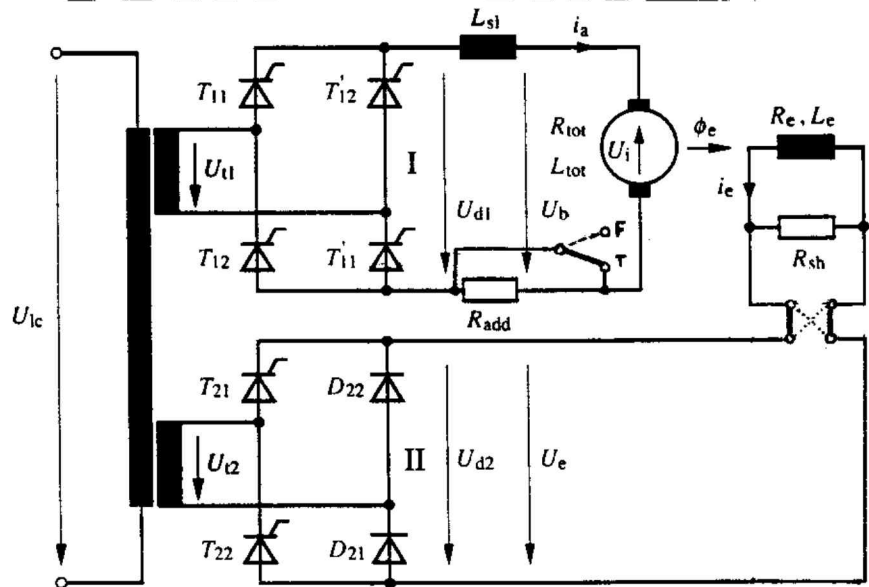
1

Moteur à excitation série



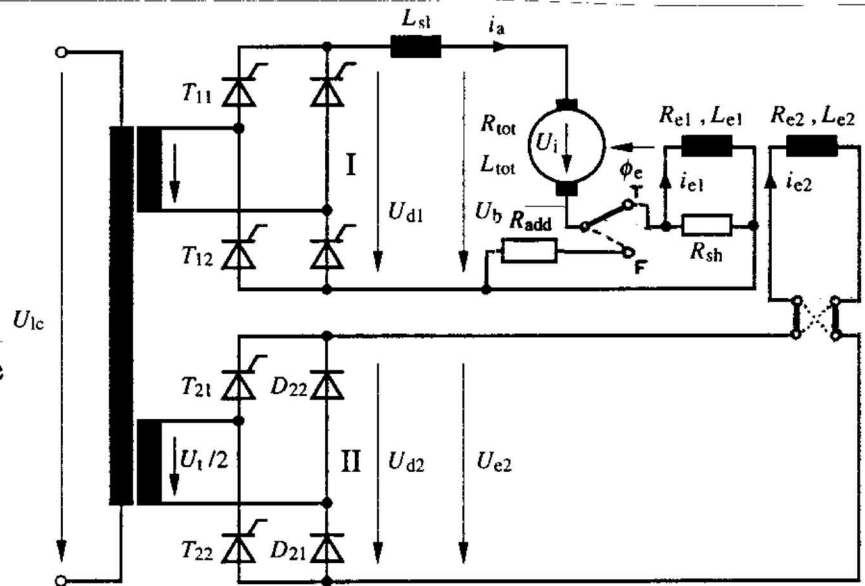
2

Moteur à excitation séparée



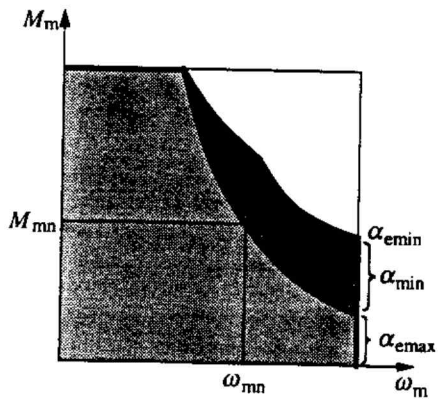
3

Moteur à excitation composite

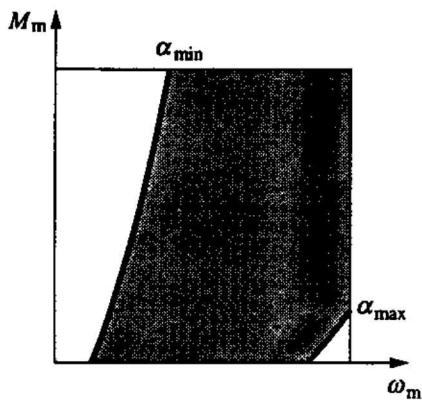


Commutateur traction-freinage

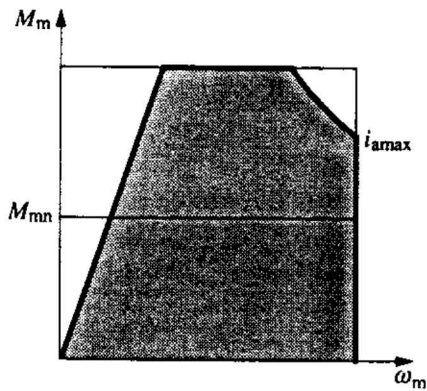
Commutateur de sens de marche



Traction (1 à 3)

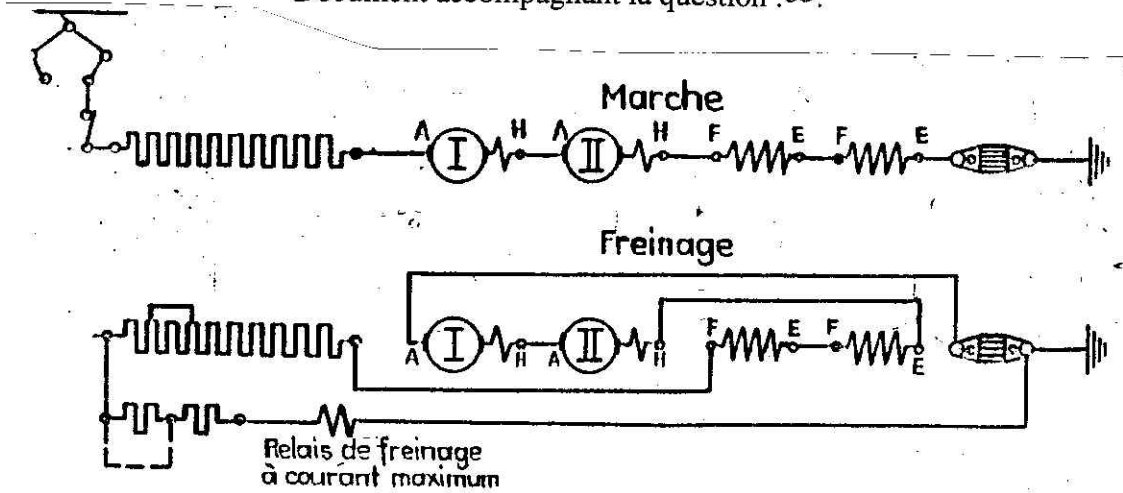


Freinage (1)

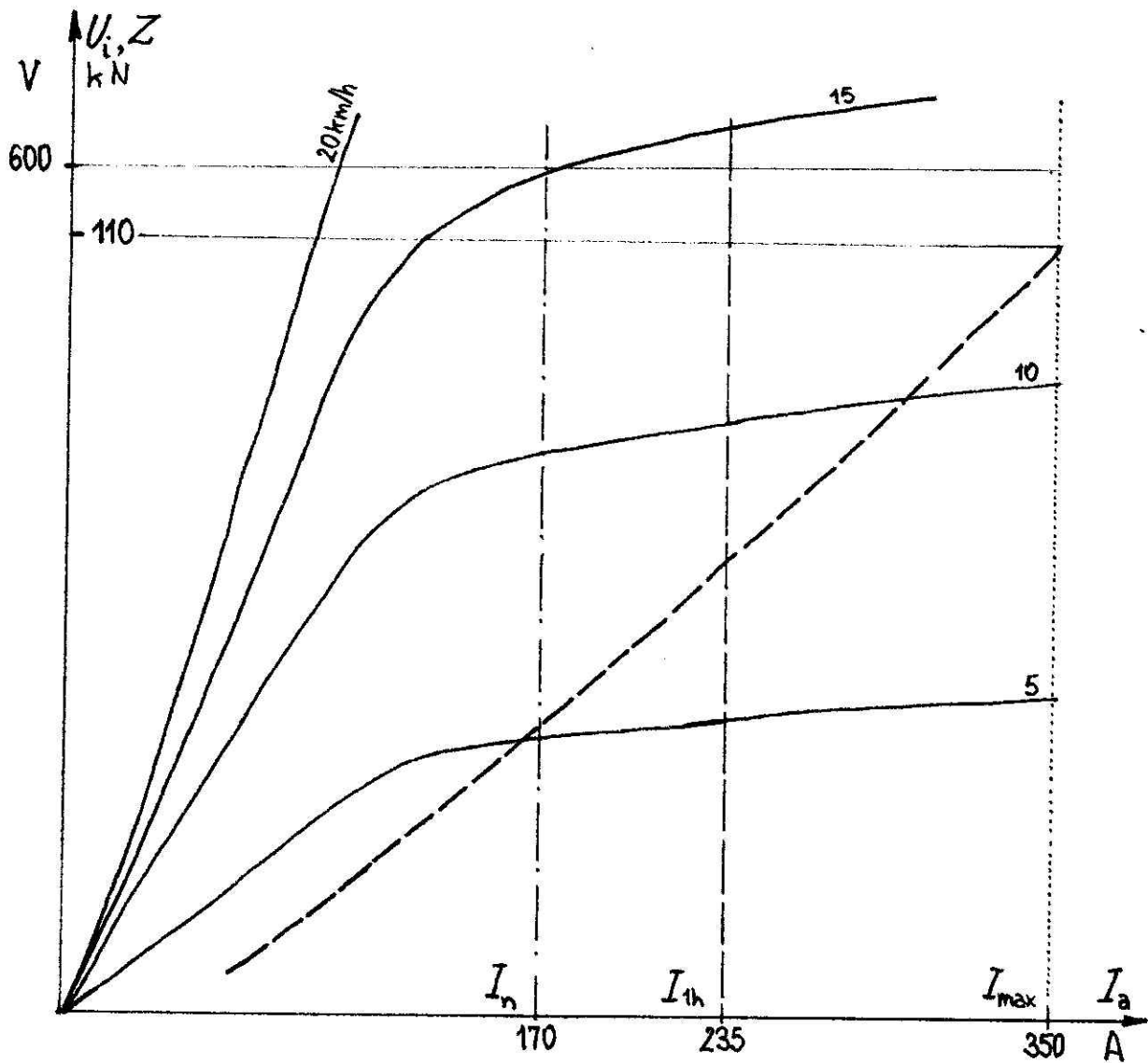


Freinage (2 et 3)

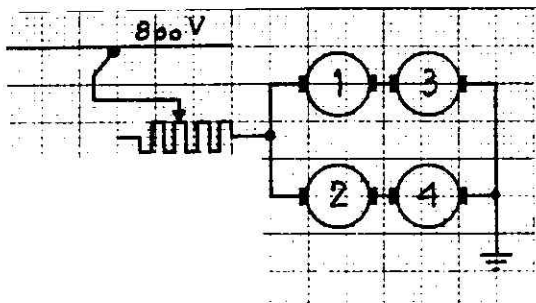
TECHNIQUES FERROVIAIRES
Document accompagnant la question .55.



Résistance d'un moteur à chaud: $R_m = 112,6 \text{ m}\Omega$
Coefficient des masses tournantes: $\xi = 1,25$

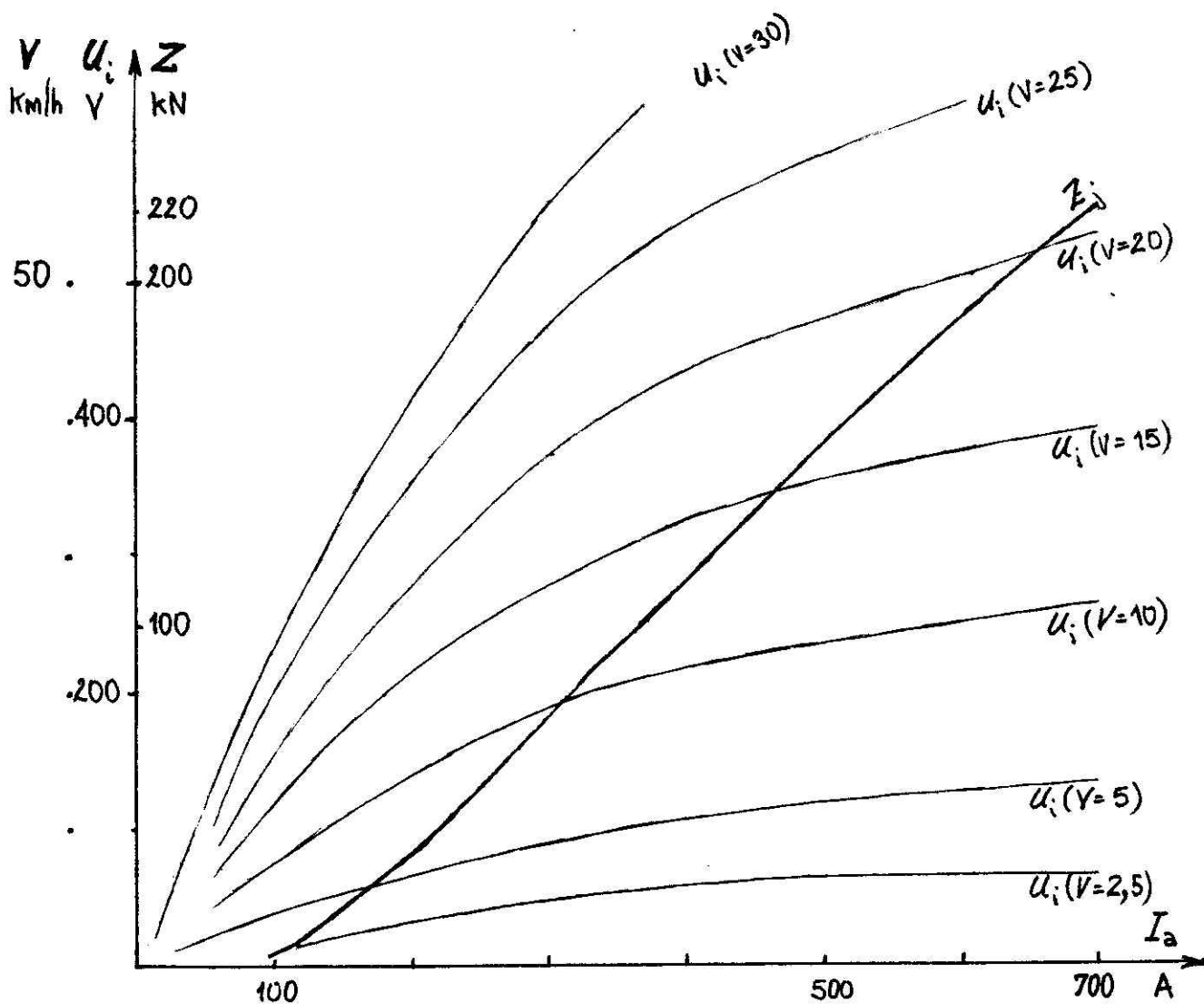


TECHNIQUES FERROVIAIRES
Document accompagnant la question .56

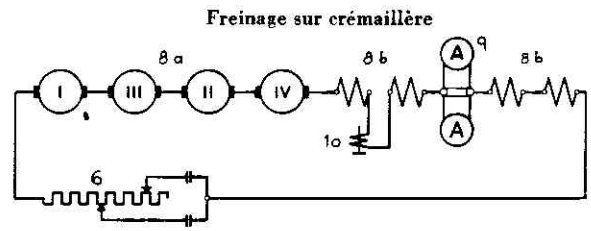
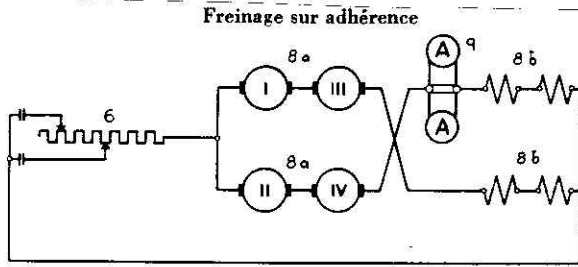


$$R_m = 56 \text{ m}\Omega$$

masse automotrice: 37,7 t coeff. masses tournantes: $\xi = 1,25$
 " voiture-pilote: 15 t " " " $\xi = 1,05$
 voyageurs: automotrice: 63 ; voiture: 60

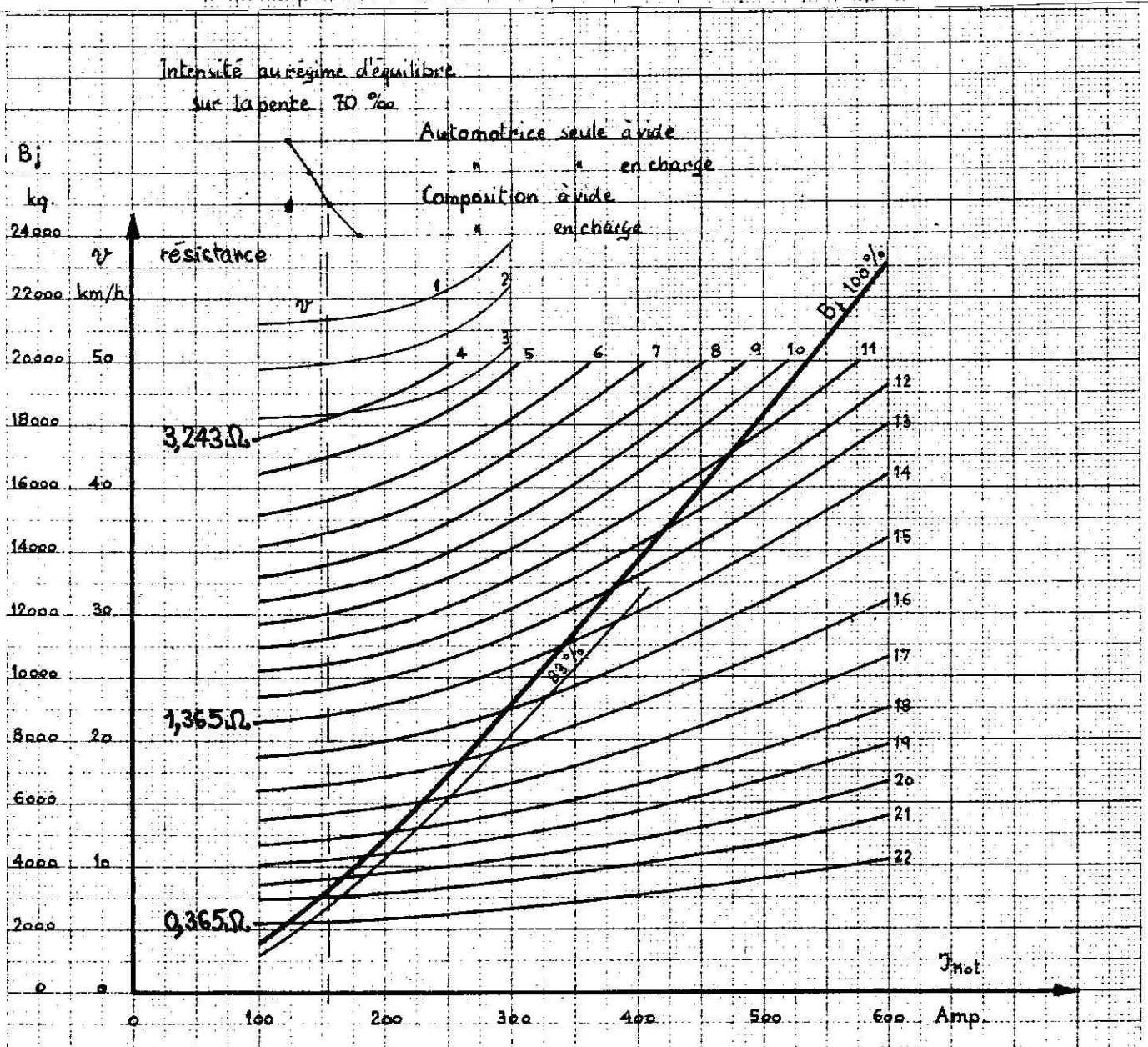


TECHNIQUES FERROVIAIRES
Document accompagnant la question .57.



Résistance d'un moteur à chaud: $R_m = 56,4 \text{ m}\Omega$

Caractéristiques de freinage sur adhérence



TECHNIQUES FERROVIAIRES
Document accompagnant la question .58.

Résistances:

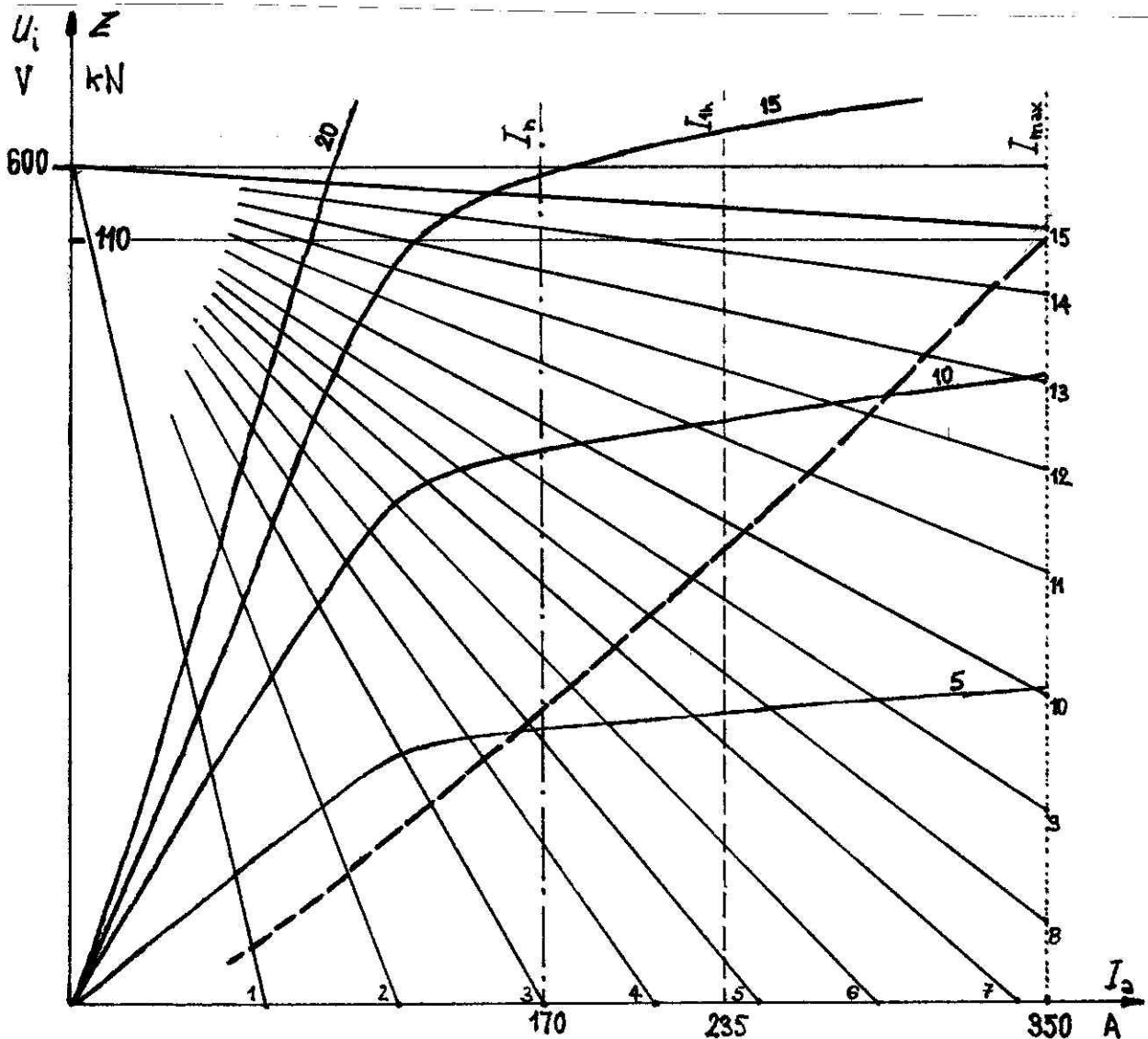
- Moteur: $R_m = 0,1126$ à chaud
- Rhéostat:

cran	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	—
traction	17	10,2	6,8	5,4	4,6	3,9	3,3	2,85	2,4	1,93	1,42	1	0,64	0,28	0	
frein adh.	11,5	8,4	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	Ω
cré.	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	

- Additionnelle:

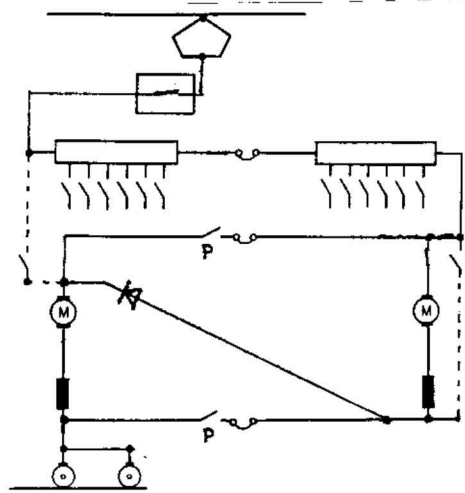
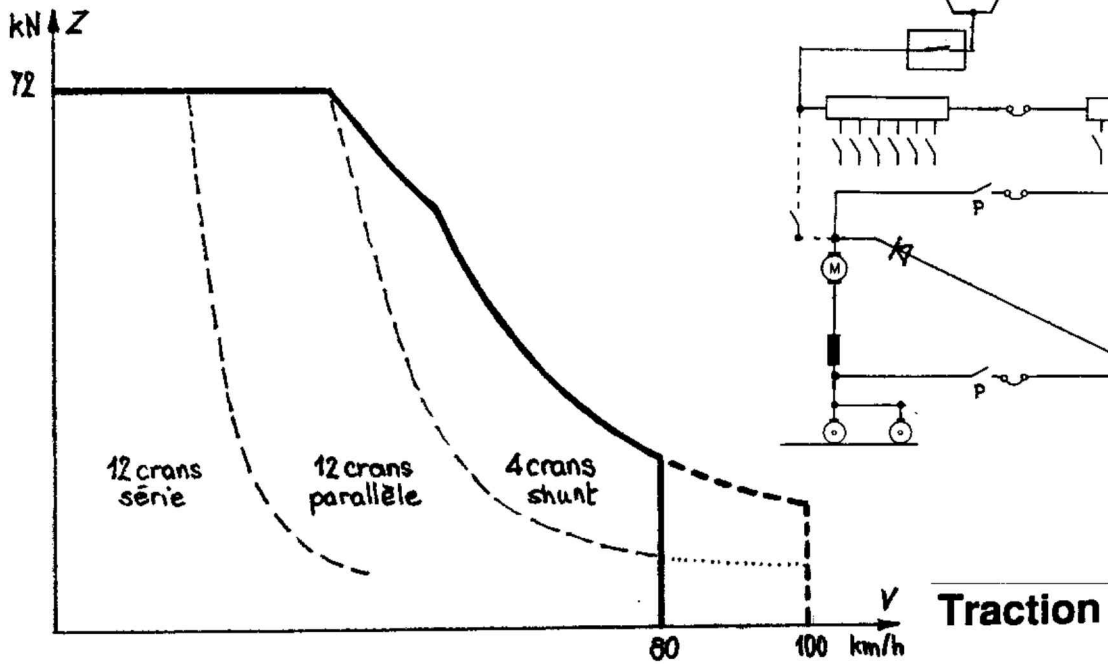
Crémaillère: $R_{add} = 2,3 \Omega$ Adhérence: $R_{add} = 8,3 \Omega$

Tensions:

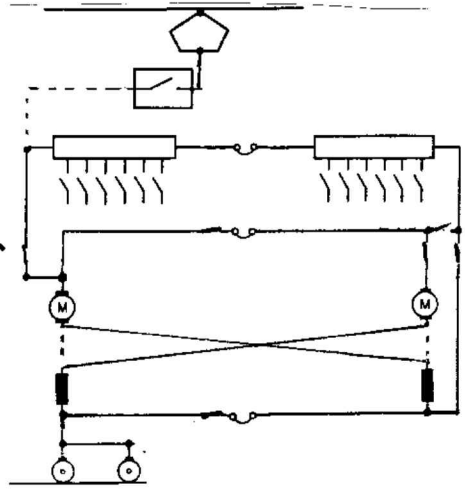
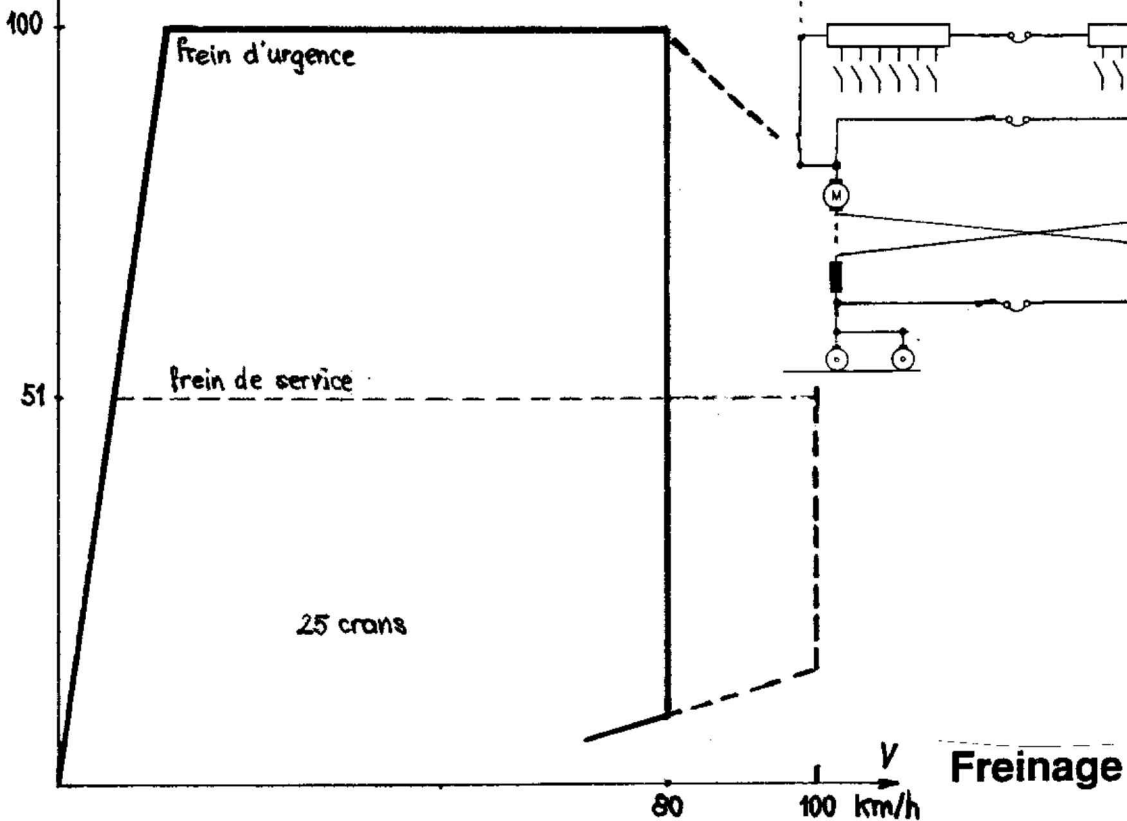


TECHNIQUES FERROVIAIRES
 Document accompagnant la question .59. (page 1)

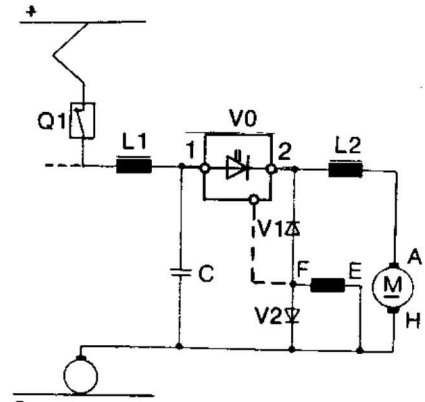
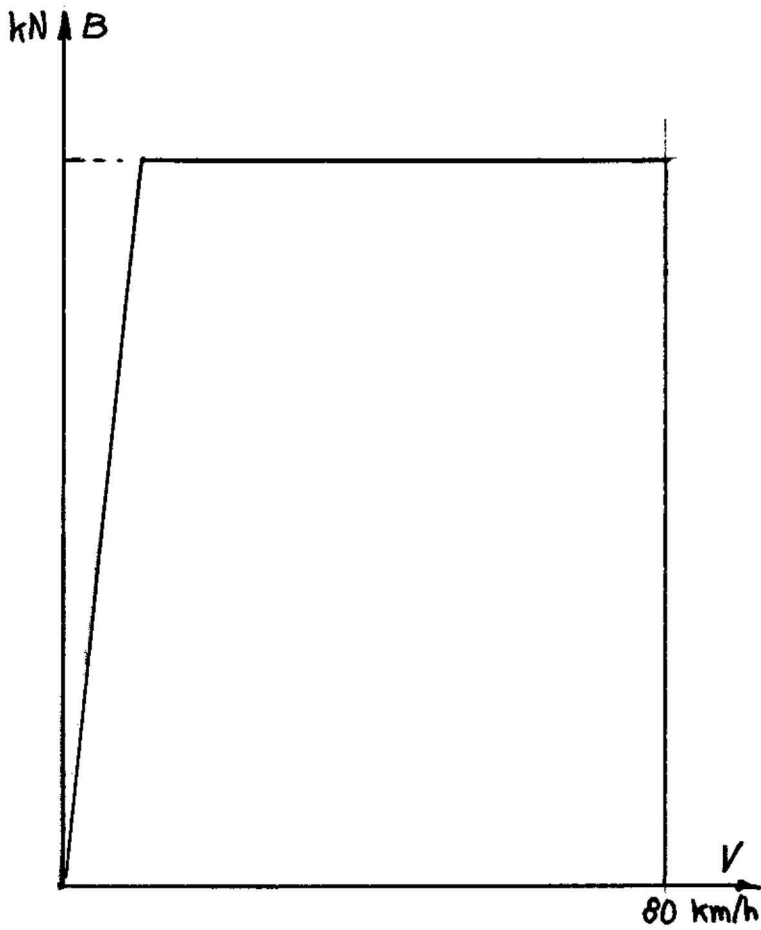
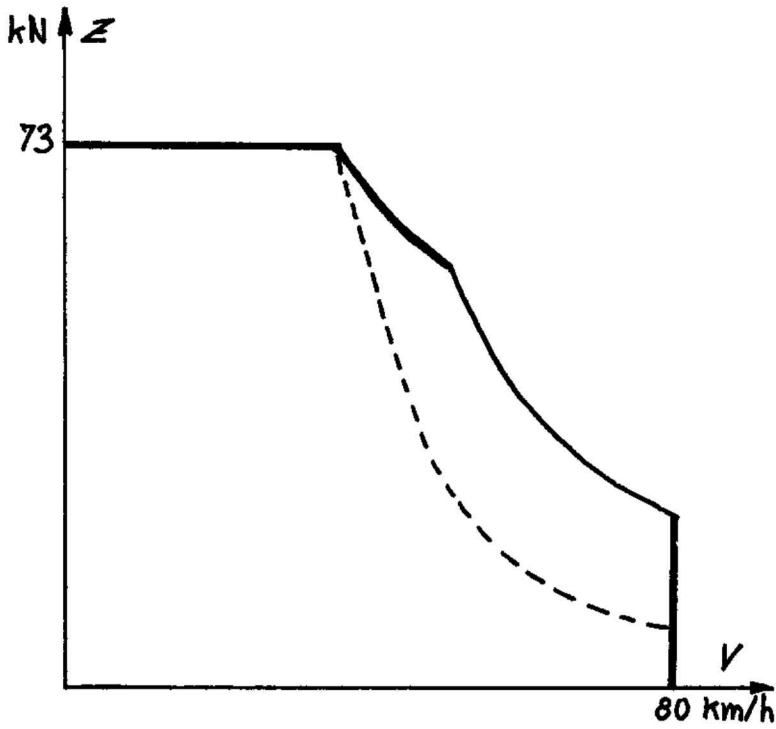
B 80 (B100) 1973 - 1985 Köln, Bonn, Essen...
 P = 440 kW



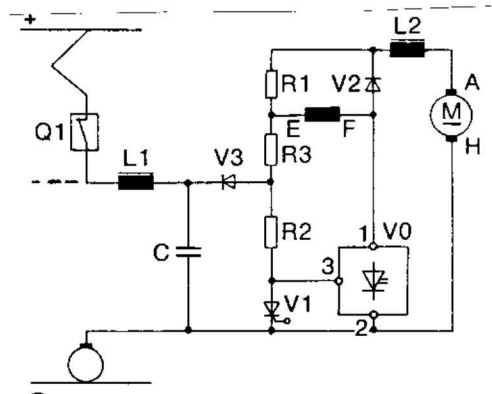
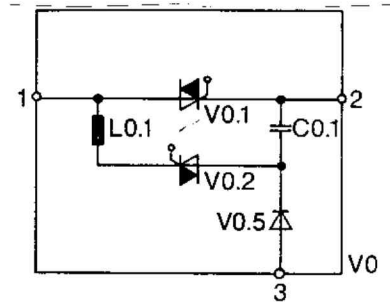
kN B (électrique = 73% ; électropneumatique = 27%)



B 80C Essen... 1981-87
P_e = 440 kW

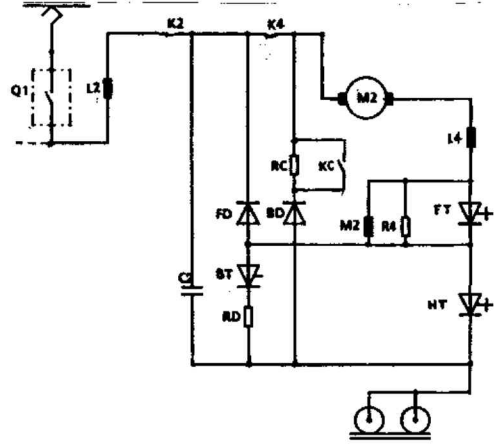
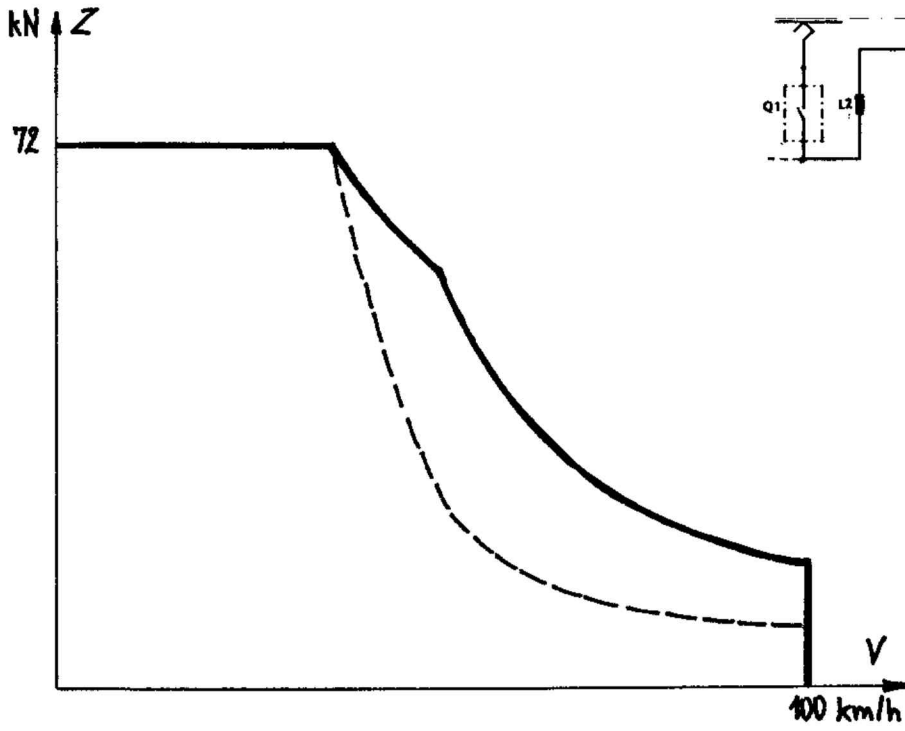


Traction

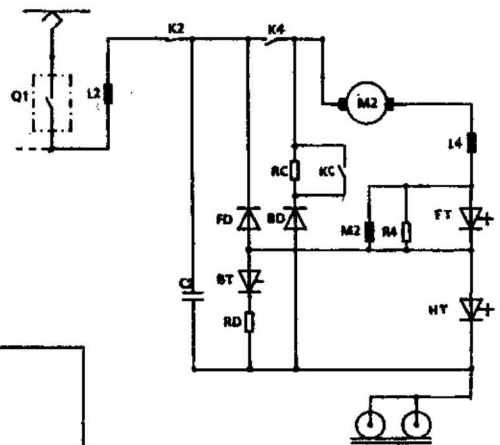
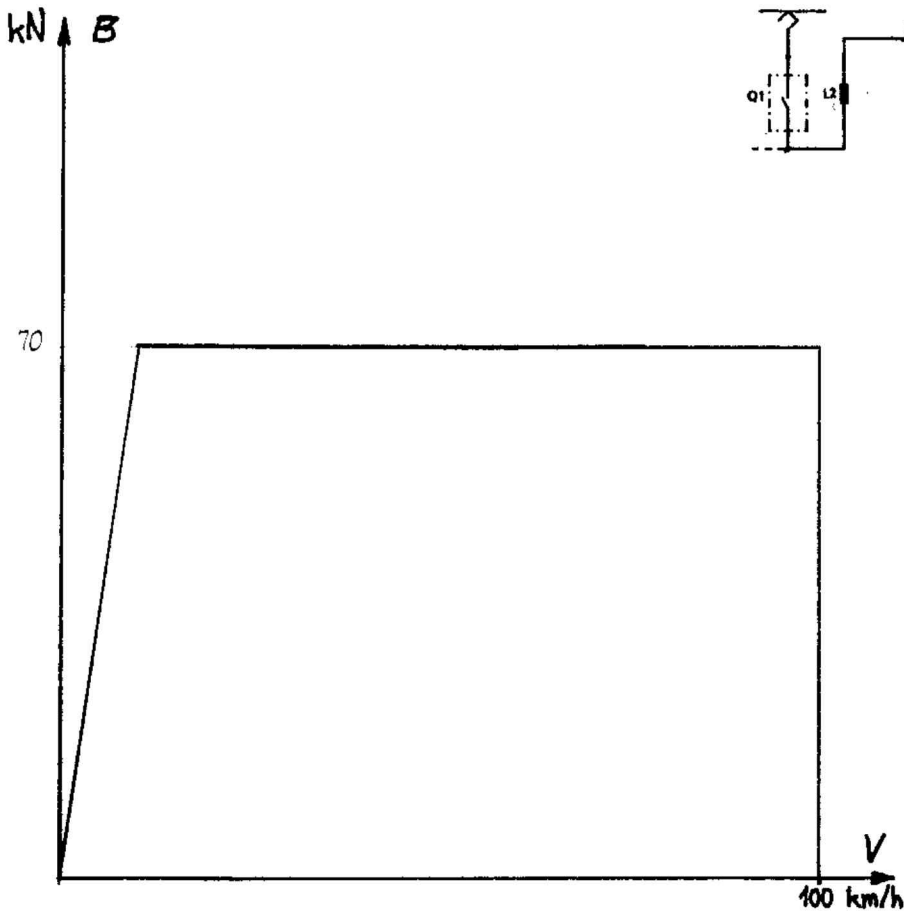


Freinage

B100C Bonn 1992-1993
P = 440 kW

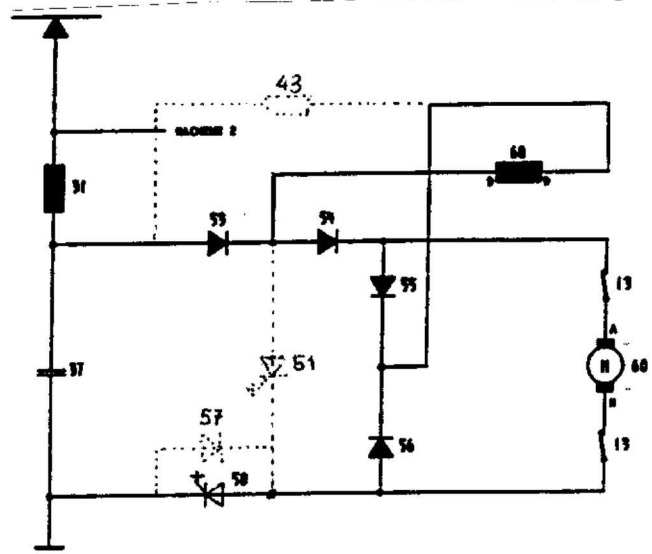
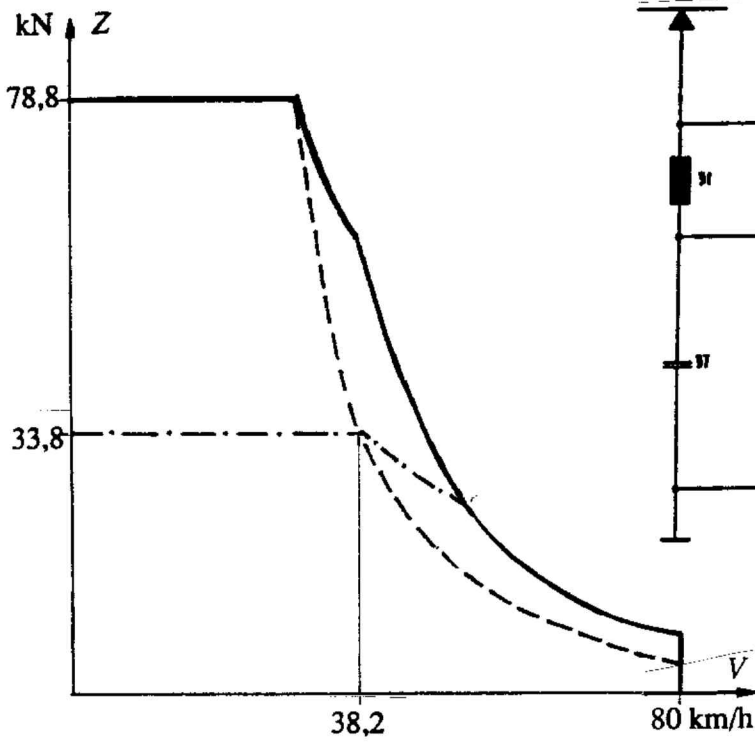


Traction

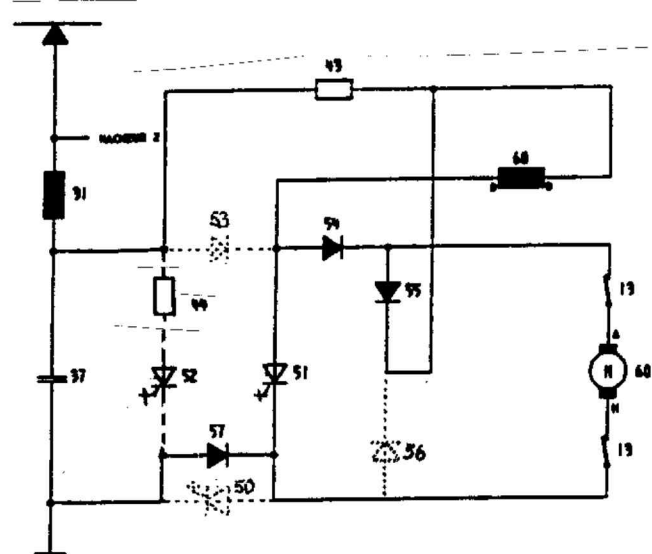
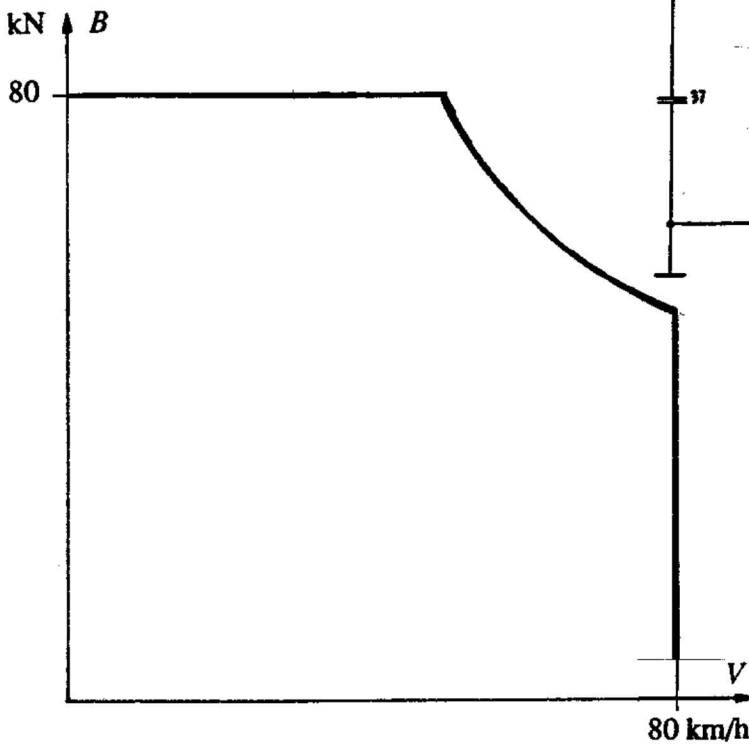


Freinage

Bem 4/6 Lausanne 1991-1995
 $P = 380 \text{ kW}$



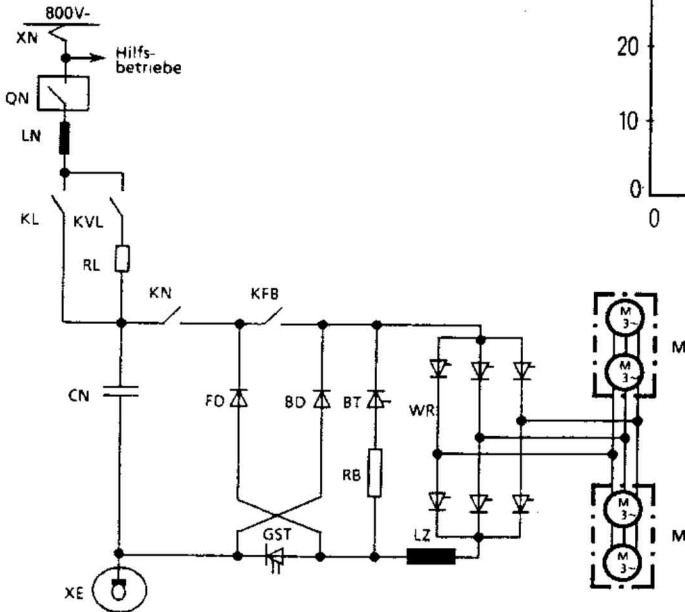
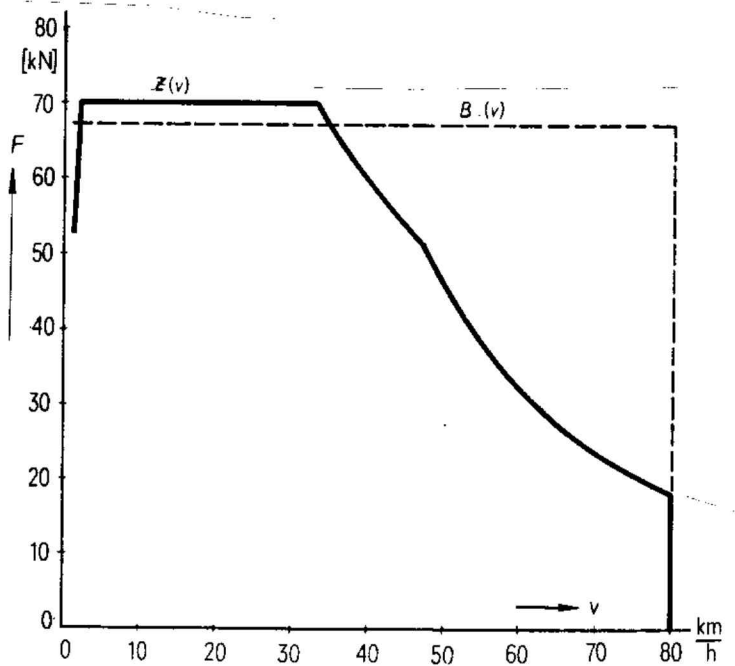
Traction



Freinage

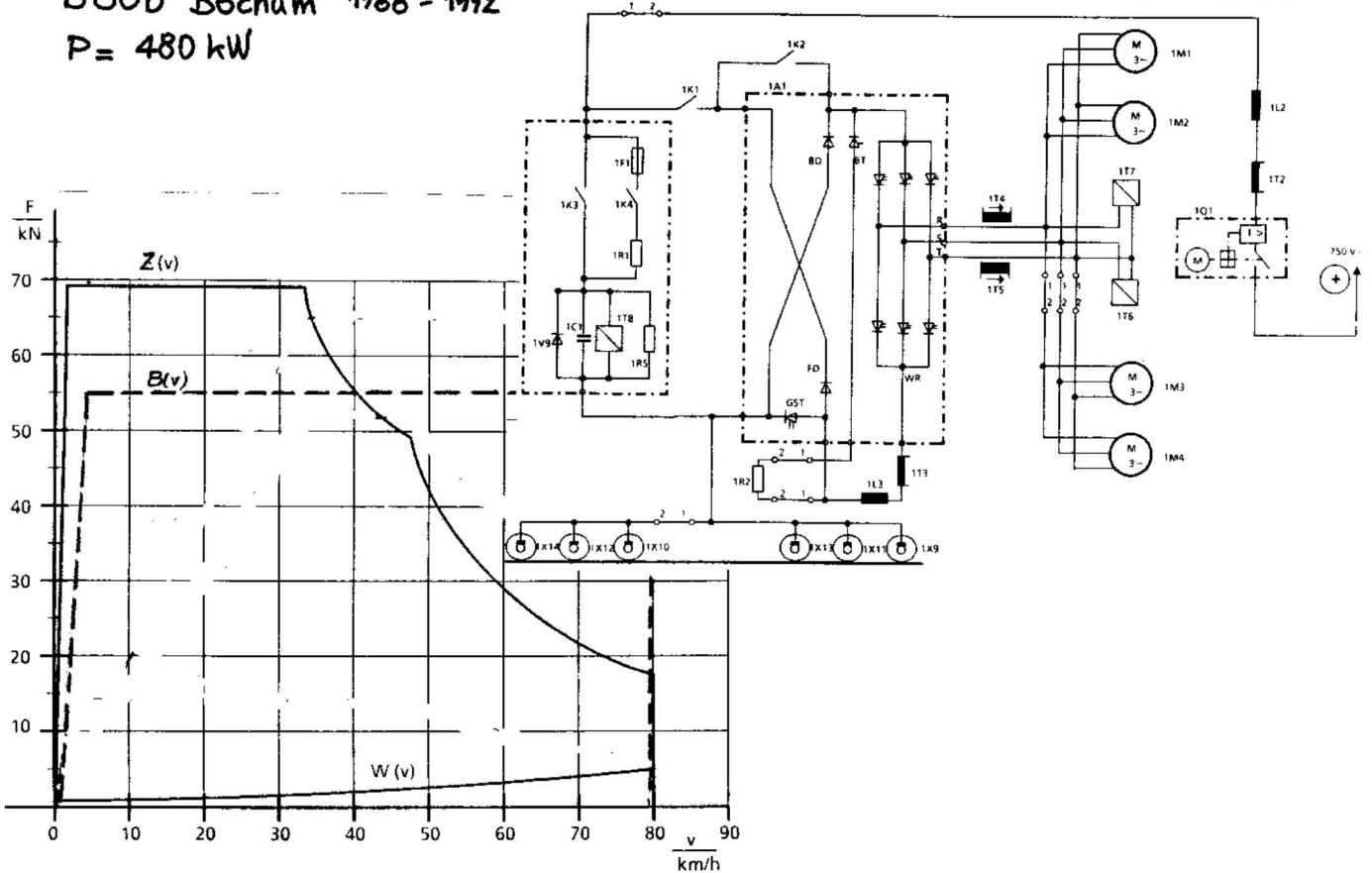
B 80 D Köln 1987-1992

P = 380 kW



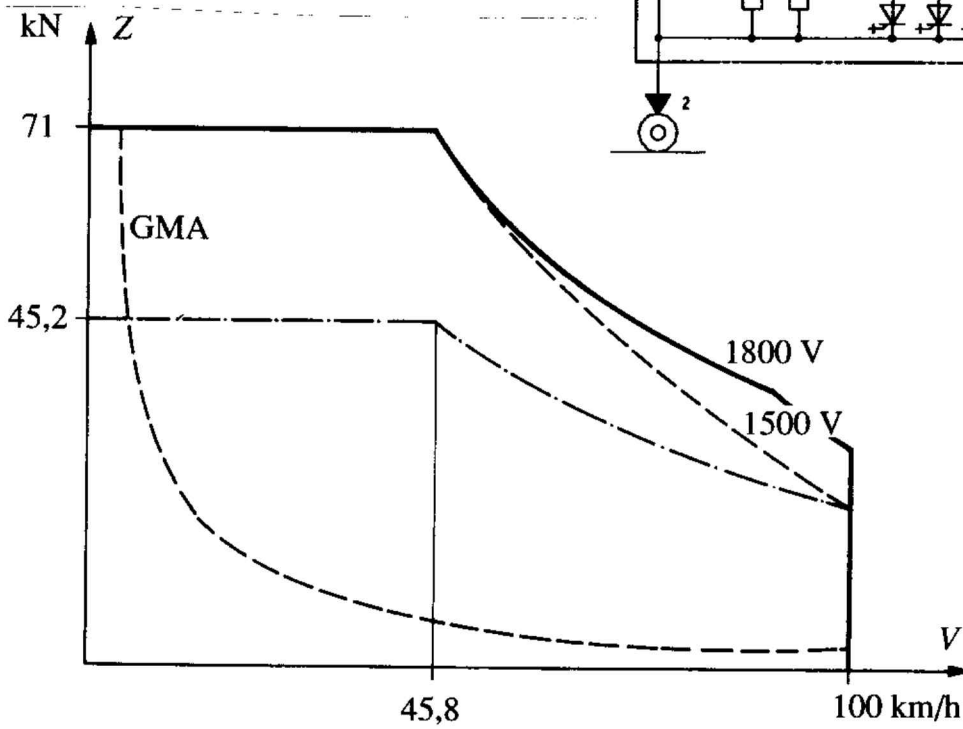
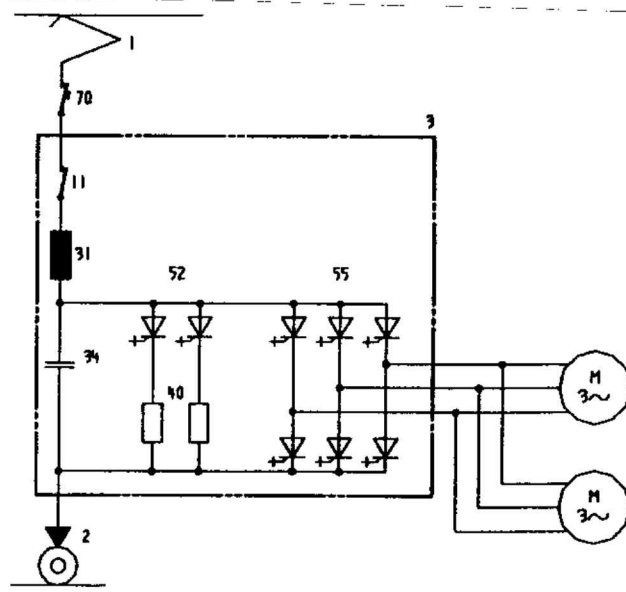
B80D Bochum 1988 - 1992

P = 480 kW

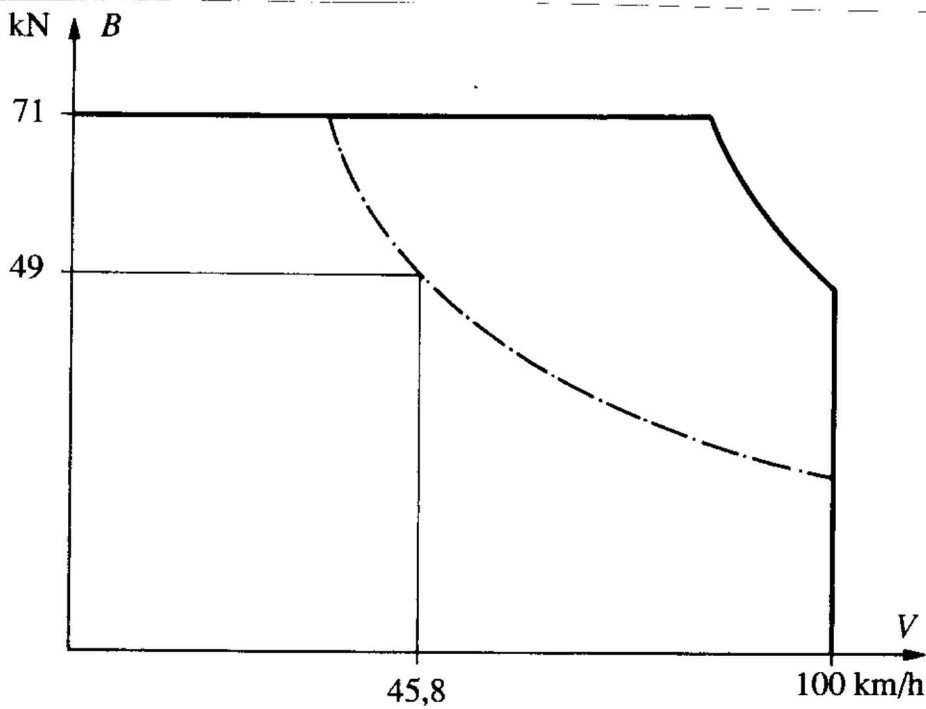


Bem 550 1994

P = 575 kW



Traction



Freinage

TECHNIQUES FERROVIAIRES
Documents pour les exercices N° 70 à 74

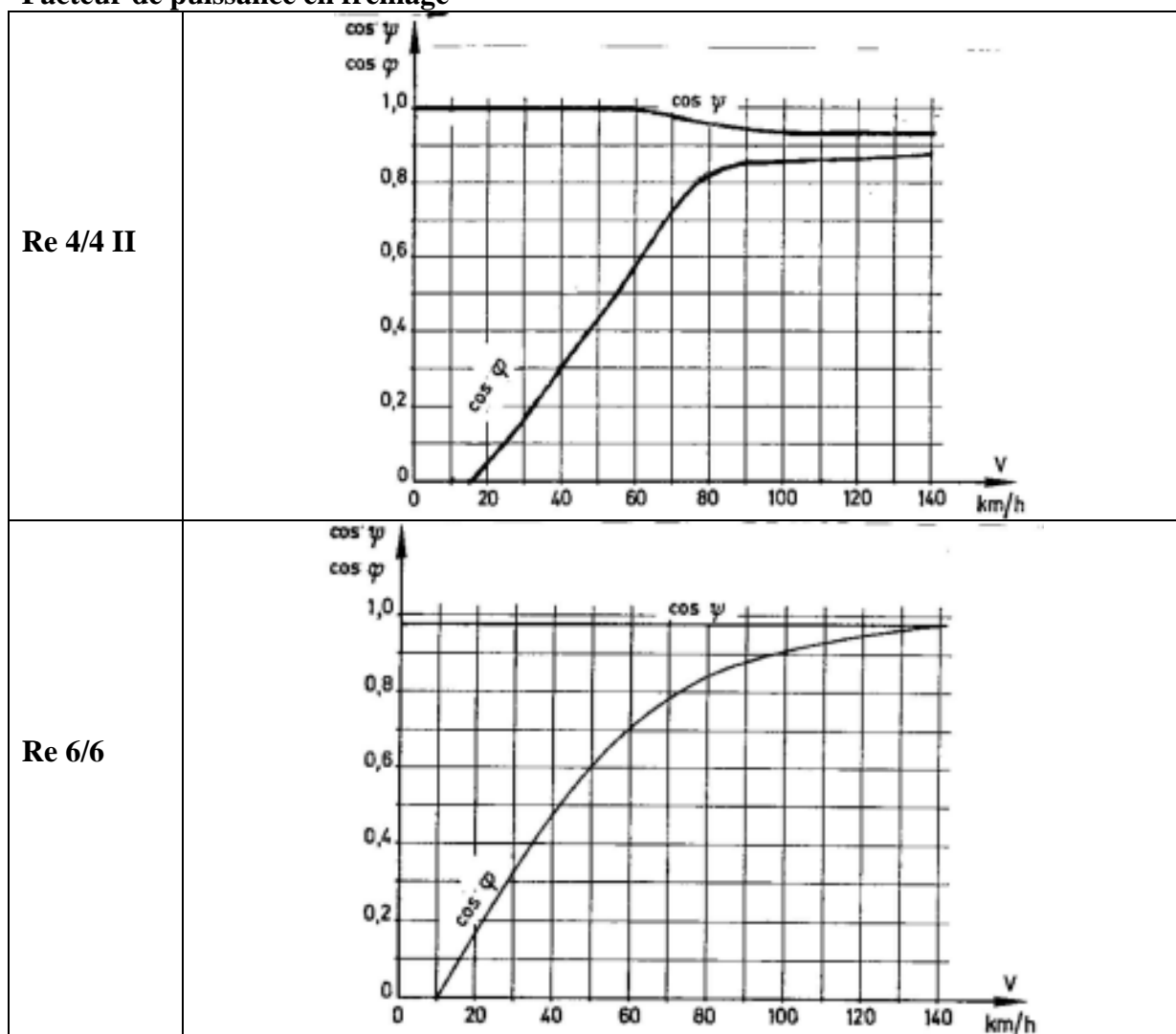
Moteurs

Puissance [kW]	Re 4/4 II		Re 6/6	
	Régime continu	Régime unihoraire	Régime continu	Régime unihoraire
– aux bornes	1207,5	1304	1344	1456
– à l'arbre	1113	1195	1239	1338
– à la jante	1091	1163	1207,4	1300

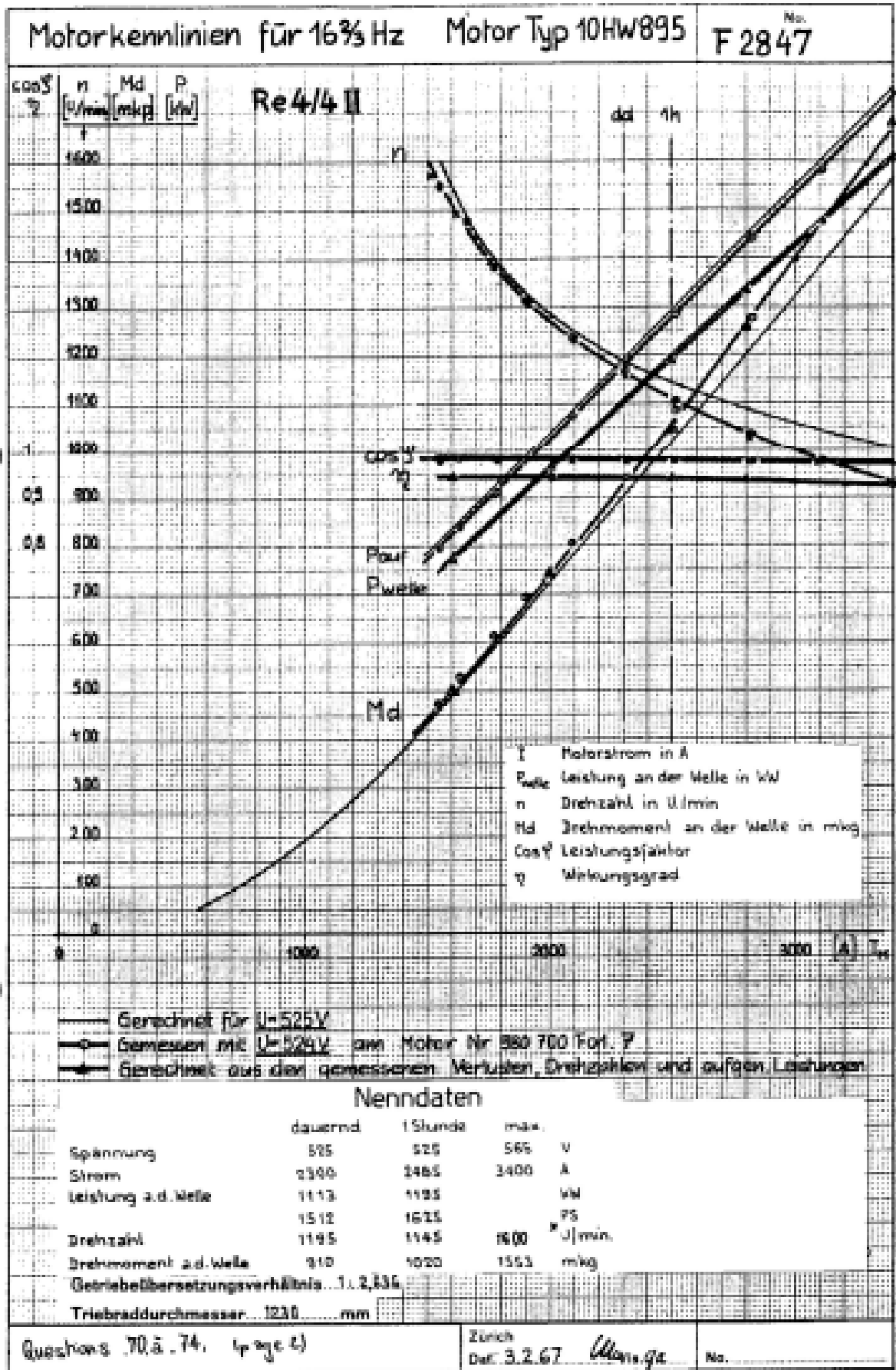
Transformateur etc.

Rendement du transformateur	0,96	0,97
Surpoids pour le frein à récupération [t]	2,5	3,6

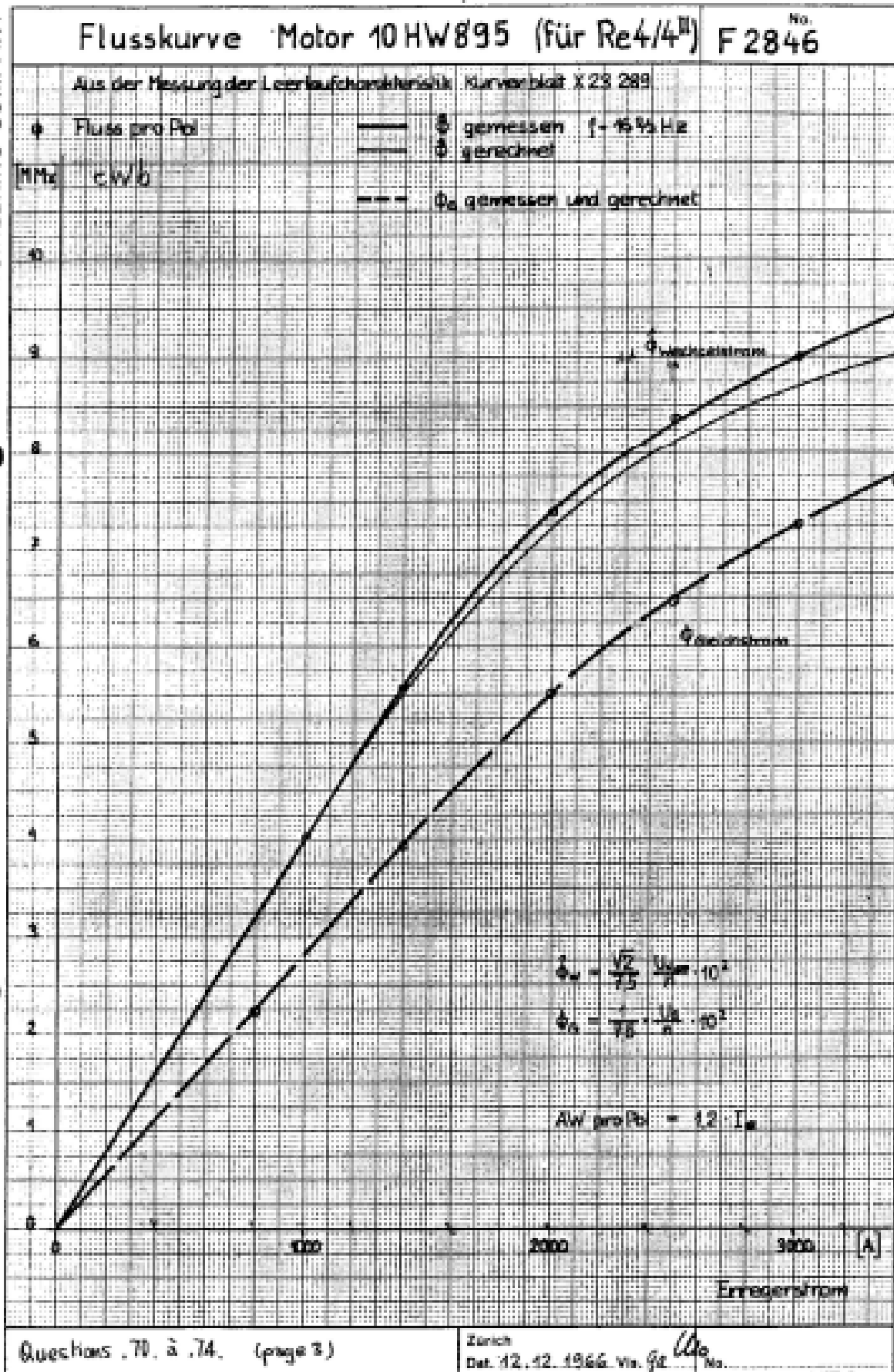
Facteur de puissance en freinage



MASCHINENFABRIK OERLIKON ATELIERS DE CONSTRUCTION OERLIKON OERLIKON ENGINEERING COMPANY



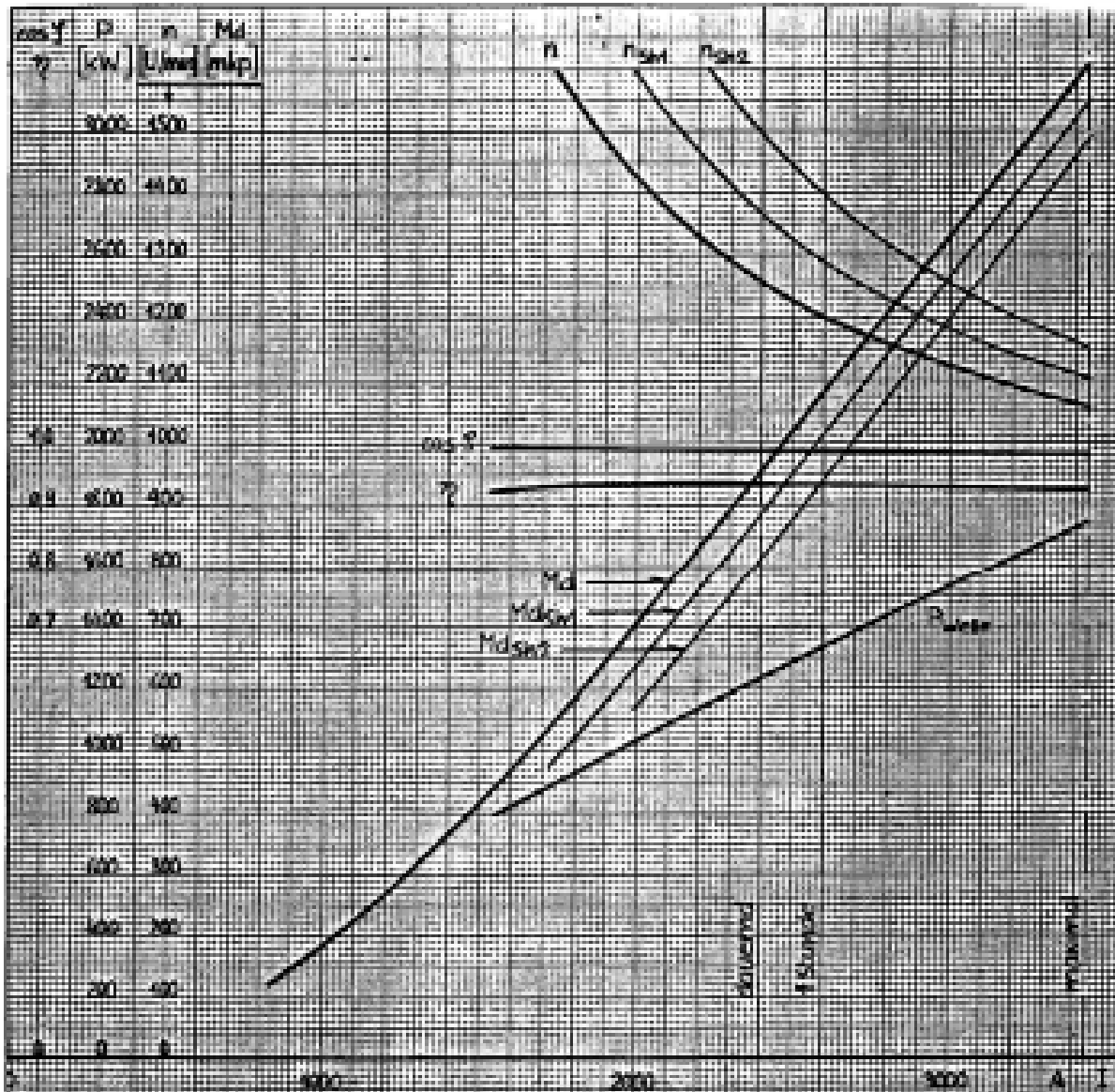
MASCHINENFABRIK OERLIKON ATELIERS DE CONSTRUCTION OERLIKON OERLIKON ENGINEERING COMPANY



Questions .70. à .74. (page 3)

Zürich
 Dat. 12.12.1966 v.m. ge. *W*
 No. _____

TECHNIQUES FERROVIAIRES
Documents pour les exercices N° 70 à 74



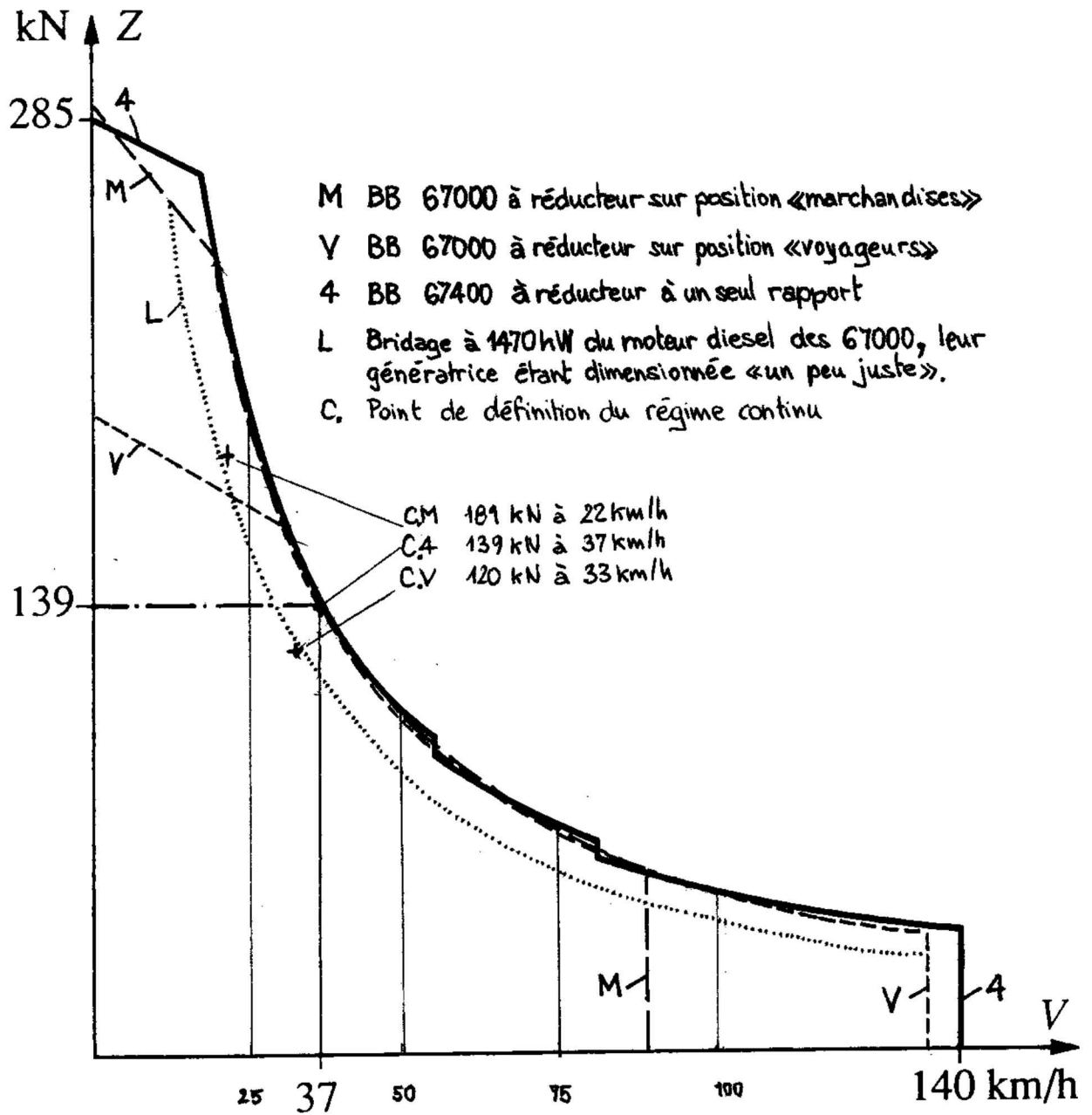
Kurven für konstante Spannung $U = 500 \text{ V}$

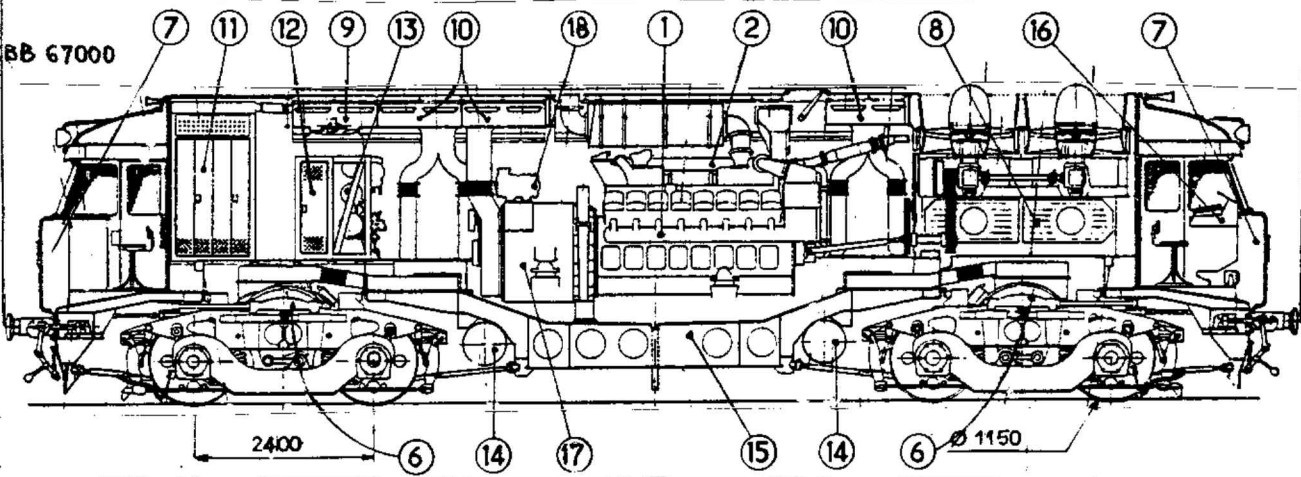
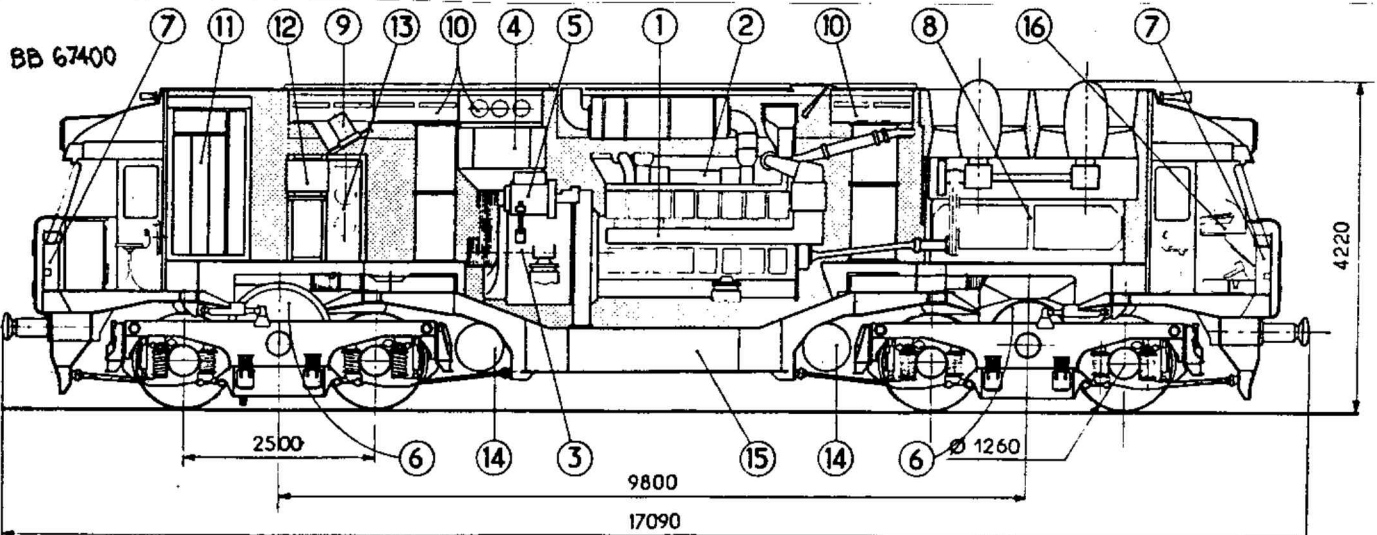
I Motorstrom in A
 P Leistung an der Welle in kW
 n Drehzahl in U/min
 M_d Drehmoment an der Welle in mkg
 $\cos \varphi$ Leistungsfaktor
 η Wirkungsgrad
 Sh_1, Sh_2 Feldschwächstufen
 Getriebeübersetzung 1 : 2,04
 Getriebeverluste nach AIEE
 Trieberraddurchmesser 1230 mm

Nennisten				SBB Re 6/6 Nr. 11601 - 11649
	dauernd	1 Stunde	max	
Spannung	500	500	605 V	SBB Nr. 20.4
Strom	2400	2600	340 A	
Leistung an der Welle	1239	1338	kW	
Drehzahl	1685	1820	PS	
Drehmoment an der Welle	935	1080	1610 mkg	

Brown, Boveri + C. Werk Oerlikon	MOTORKENNLINIEN	P 3212 a
3.8.1970 <i>ga</i> <i>uo</i>	Einphasen-Bahnmotor Trd 12 FHW 7690 $f = 16 \frac{2}{3}$ Hz	Buchst. 70. à 74.

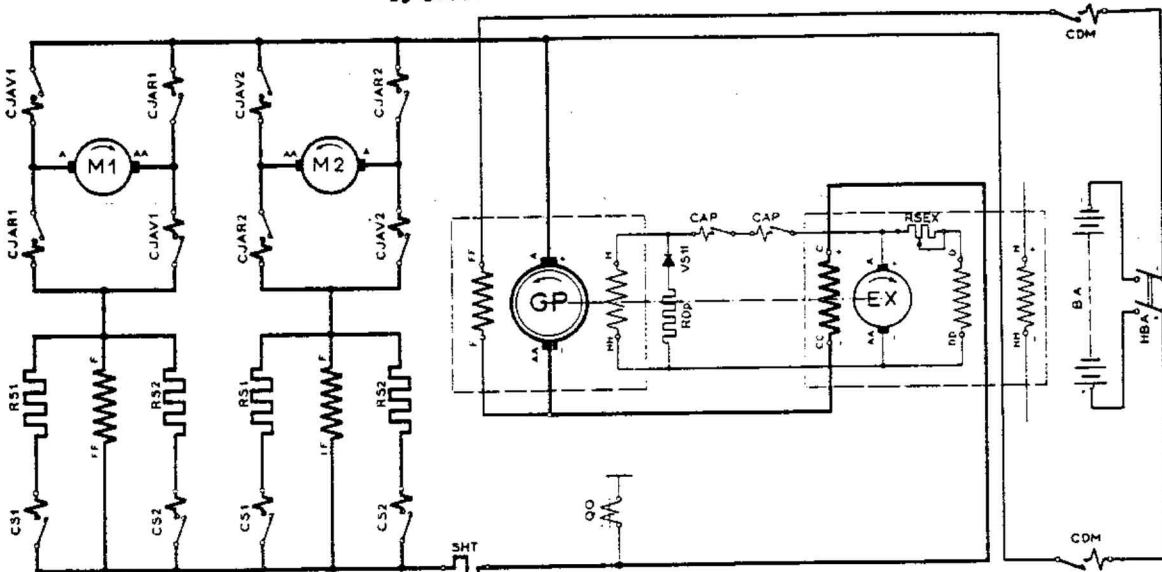
TECHNIQUES FERROVIAIRES
 Document accompagnant la question .60. à .62.



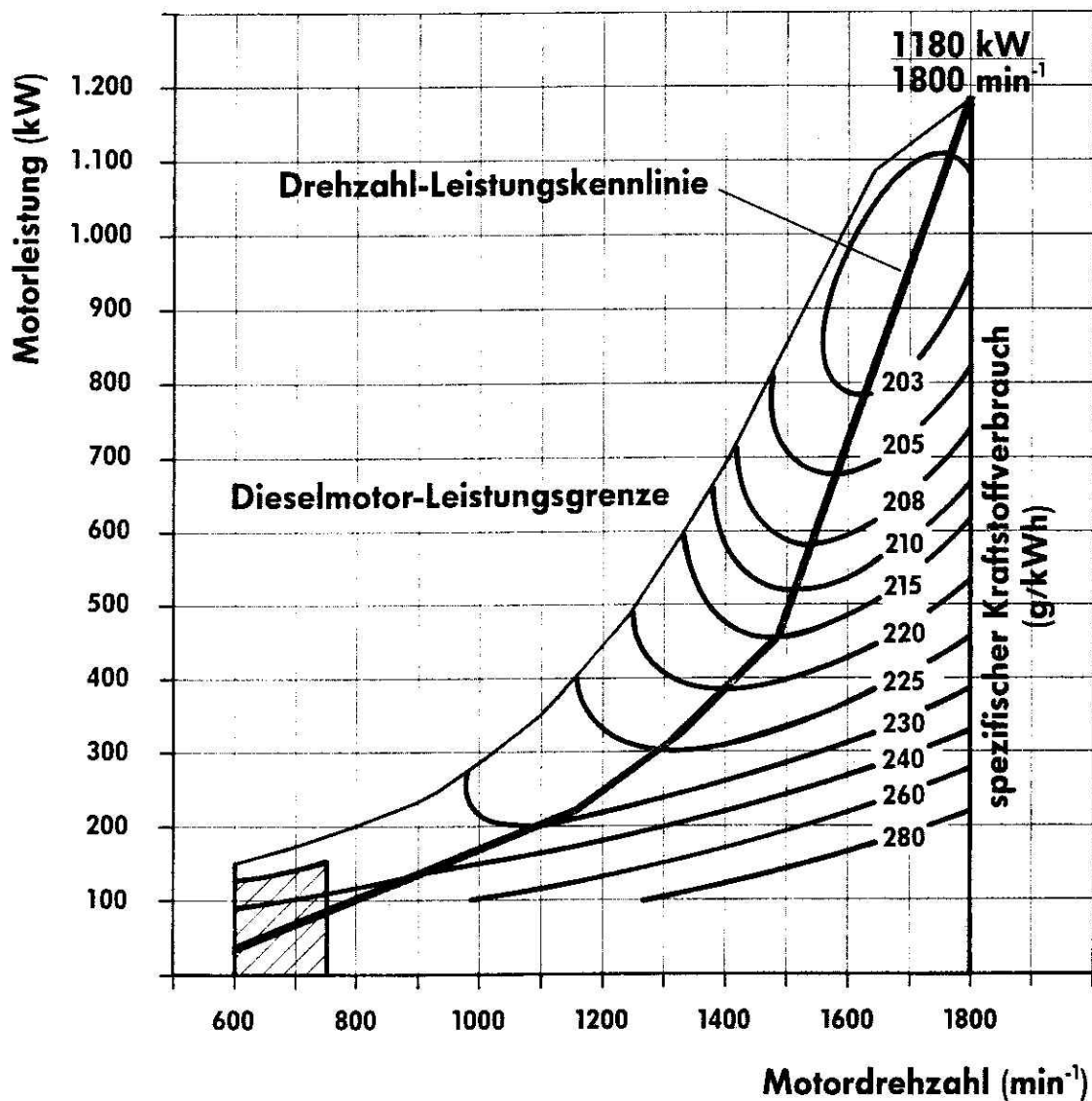


- | | | |
|--|---|---------------------------------------|
| 1. Moteur diesel | 6. Moteurs de traction | 11. Armoire d'appareillage électrique |
| 2. Turbo soufflante de suralimentation | 7. Cabines renforcées | 12. Armoire des accumulateurs |
| 3. Alternateur principal | 8. Bloc de refroidissement | 13. Bloc d'appareillage pneumatique |
| 4. Bloc redresseur | 9. Ventilateur du compartiment machines | 14. Réservoirs d'air comprimé |
| 5. Statodyne double flux | 10. Caissons de filtration d'air | 15. Réservoirs à combustible |
| | | 16. Pupitre de conduite |
| | 17. Génératrice principale | |
| | 18. Génératrice d'excitation | |

BB 67000 - Schéma de puissance



BA. Batterie d'accumulateurs - CAP. Contacteur d'anti-patinage - CDM. Contacteur de démarrage - CJAR 1-2. Contacteurs de marche arrière - CJAV 1-2. Contacteurs de marche avant - CS1-2. Contacteurs de shuntage - EX. Excitatrice - GP. Génératrice principale - HBA. Sectionneur batterie - M1-2. Moteurs de traction - QO. Relais de masse - RDP. Résistance de décharge - RS 1-2. Résistances de shuntage - RSEX. Résistance shunt d'excitation - SHT. Shunt de traction - VS 11. Cellule de blocage
 *720 kW à l'arbre, 782 kW aux bornes.



auxiliaires: $P \approx 50 \text{ kW}$ (non permanents)

rendements : génératrice à excitatrice incorporée

$$\eta_{\text{gén}} = 0,958$$

onduleur triphasé

$$\eta_{\text{ond}} = 0,978$$

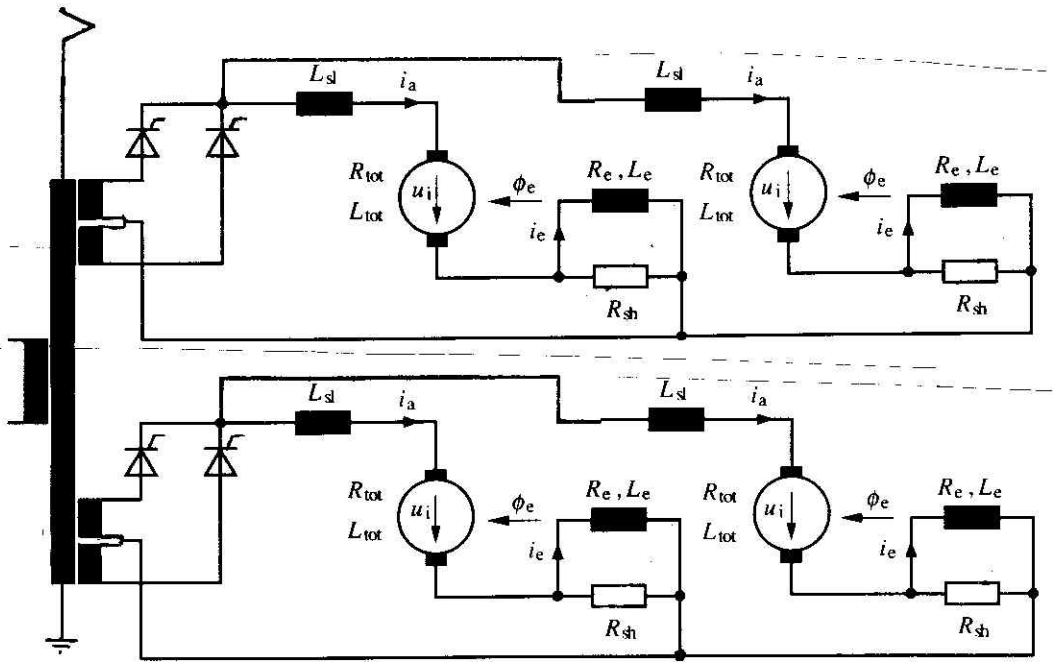
moteur de traction

$$\eta_{\text{mot}} = 0,932$$

transmission

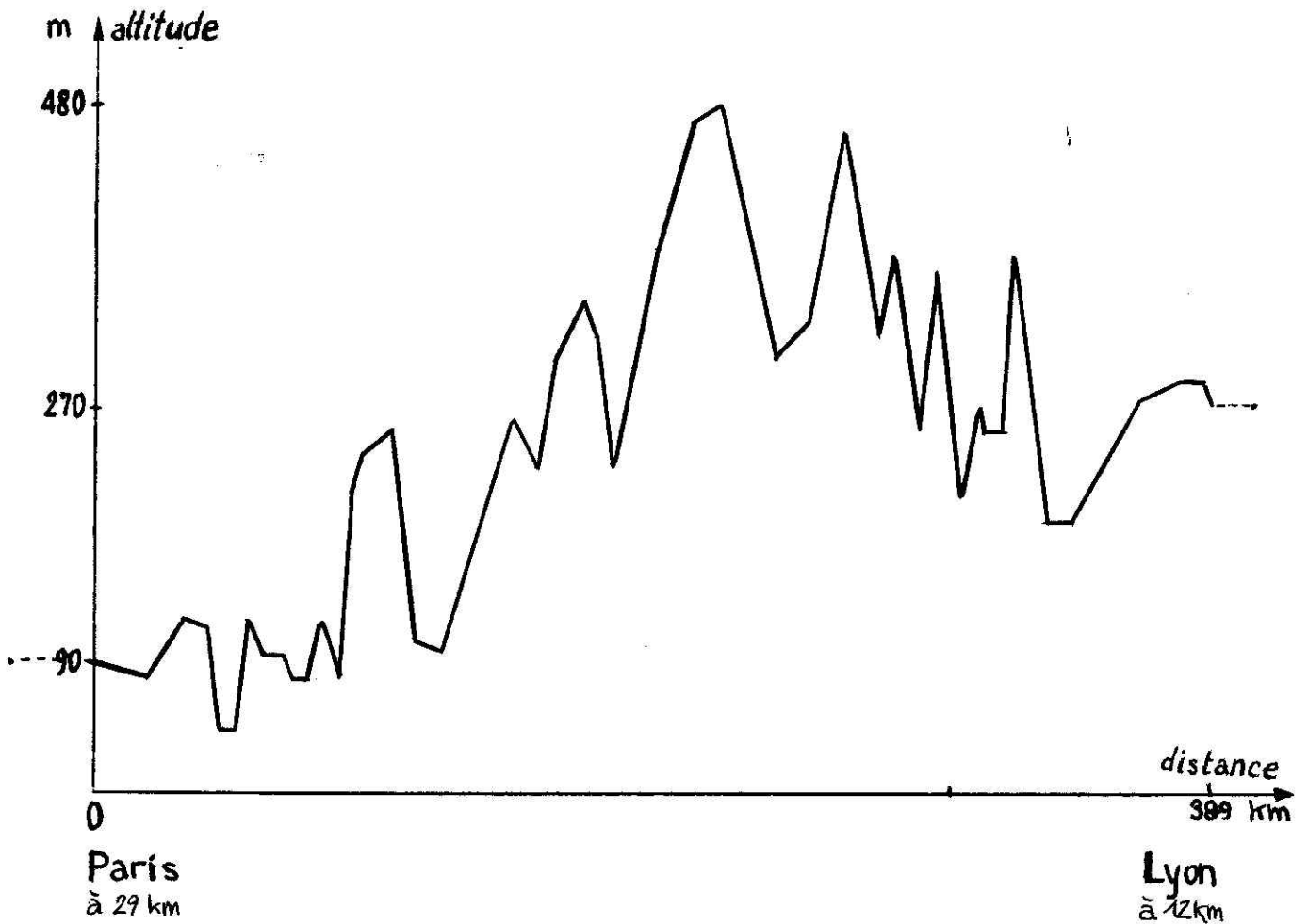
$$\eta_{\text{G}} = 0,987$$

TECHNIQUES FERROVIAIRES
Document accompagnant la question . 75.



Redresseur: montage push-pull.

TECHNIQUES FERROVIAIRES
Document accompagnant la question .77.

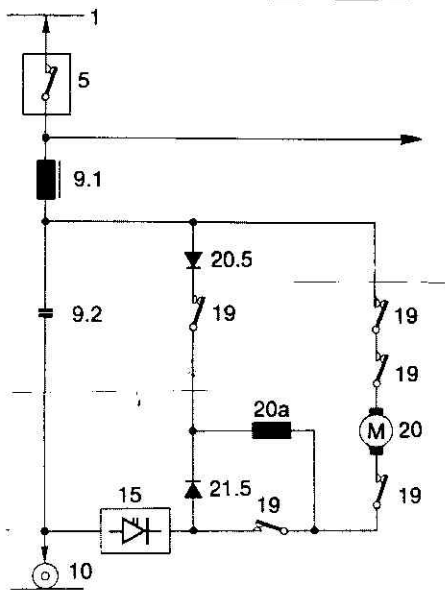


Rampes maximales: +35 ‰, puissance de traction maximale, décélérations de 270 à 220 km/h

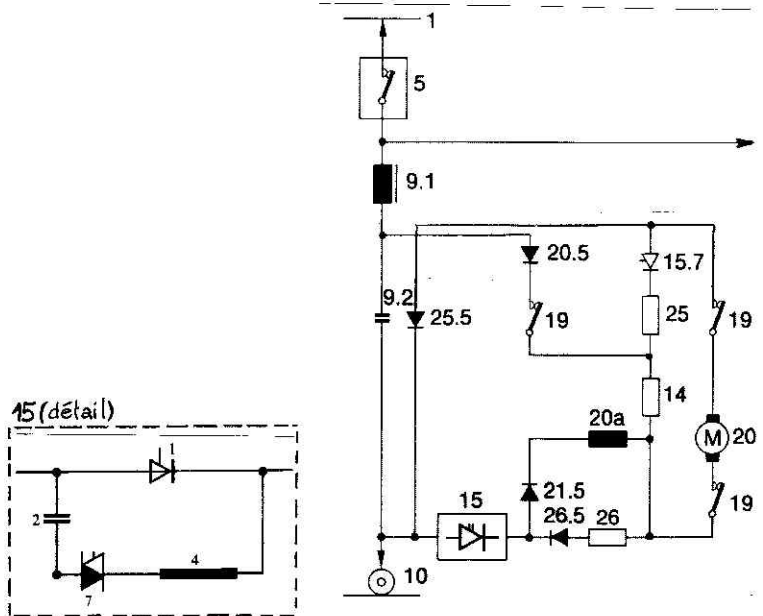
Pentes maximales: -35 ‰, puissance de traction nulle, accélérations de 220 à 270 km/h

TECHNIQUES FERROVIAIRES
Document accompagnant la question .80.

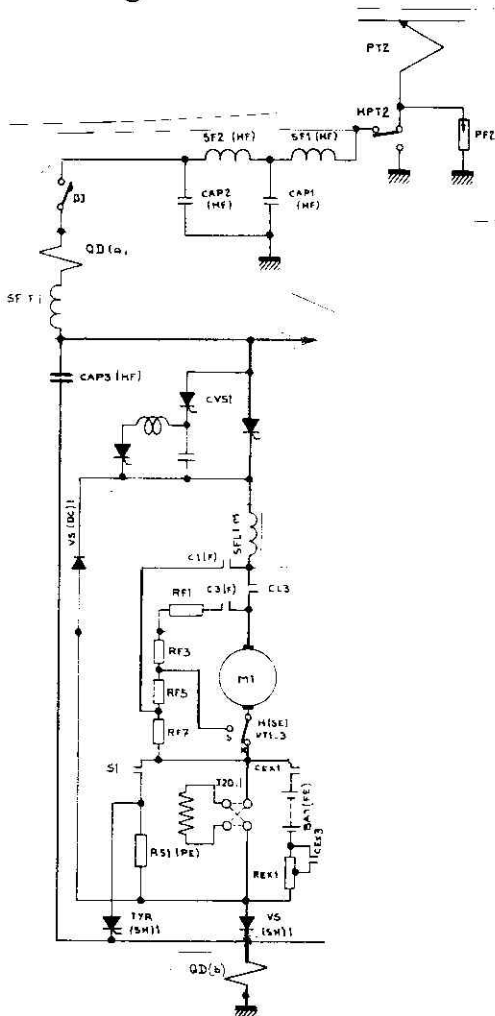
Montage BBC (traction)



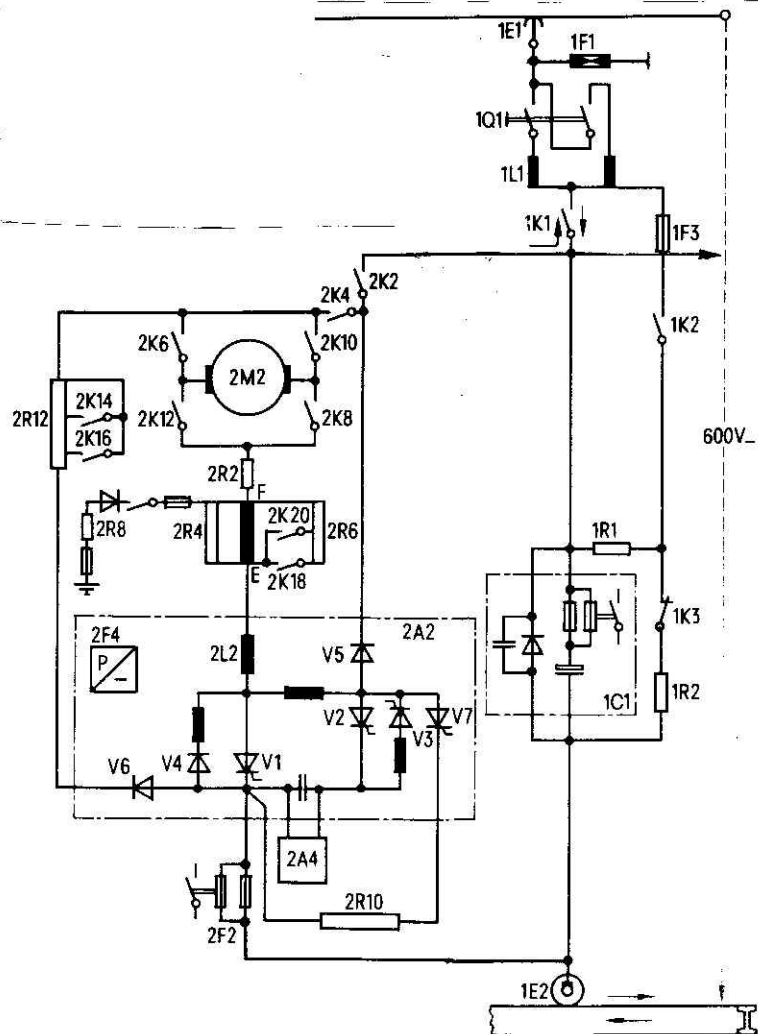
Montage BBC (freinage combiné)



Montage Alsthom



Montage Siemens



TECHNIQUES FERROVIAIRES
Document accompagnant la question .87.

ABDe 8/8 (MOB): En traction et en freinage rhéostatique, les schémas sont inchangés (au verso).

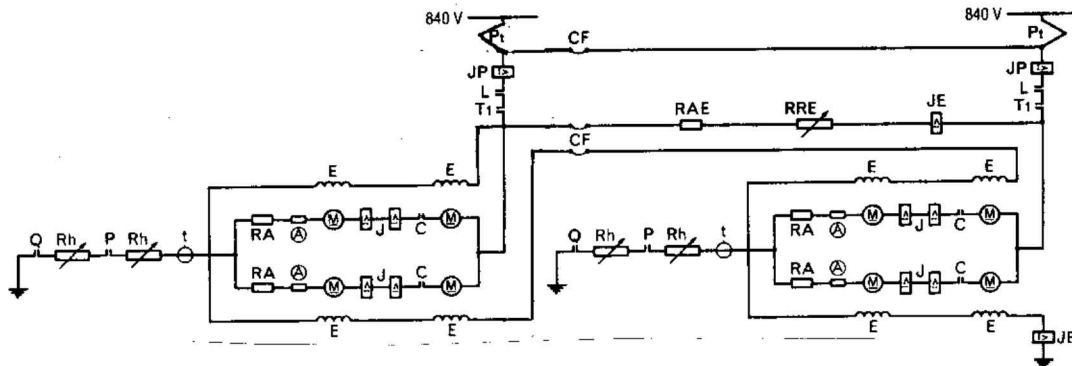


Schéma de puissance (frein à récupération): état d'origine (1968)

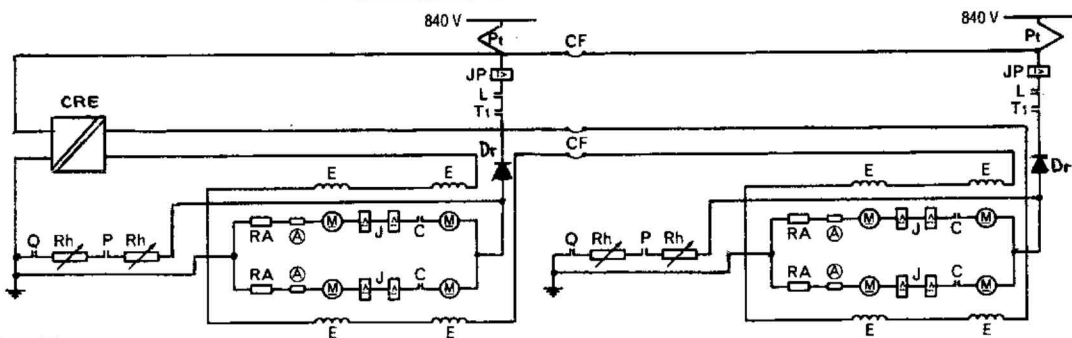
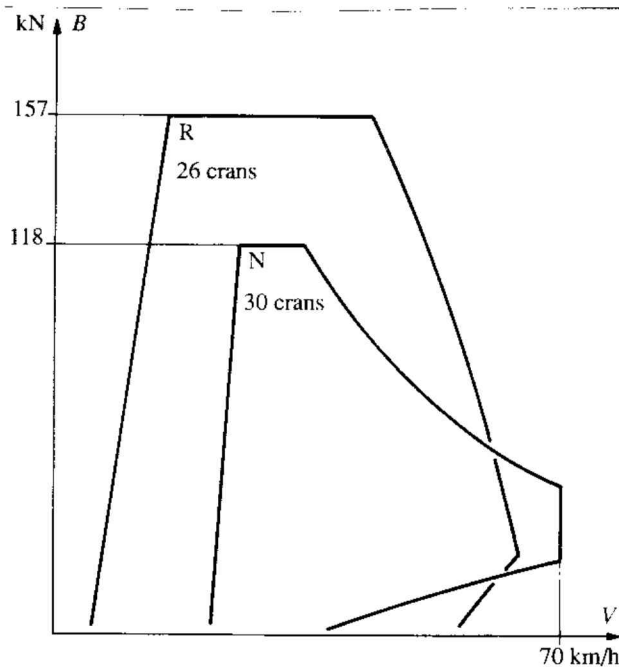
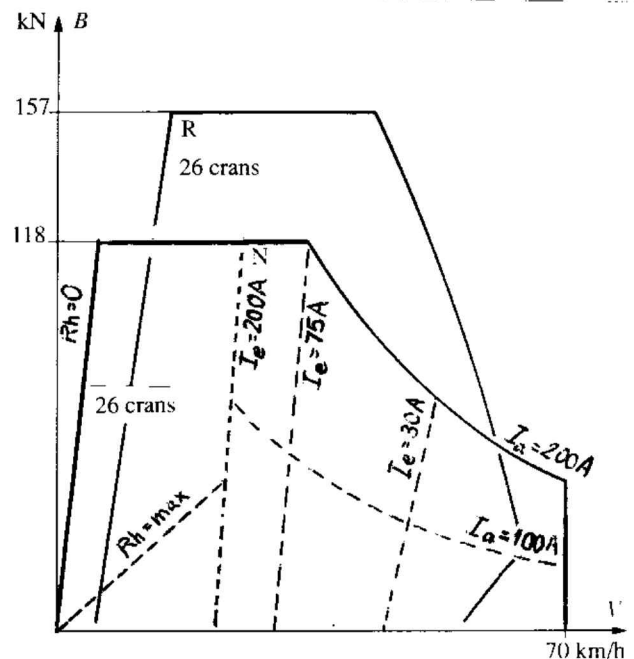


Schéma de puissance (frein à récupération): état après retrofit (1996)



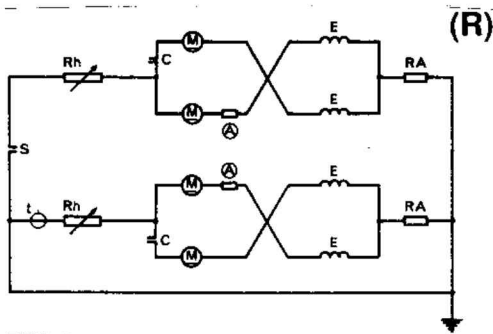
Caractéristiques d'origine
Freinage à récupération (N)



Caractéristiques après retrofit
Freinage combiné (N)

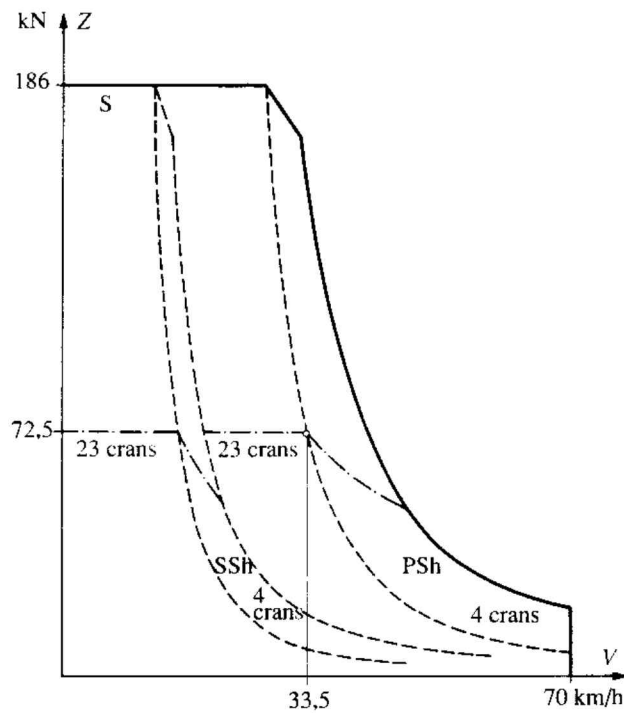
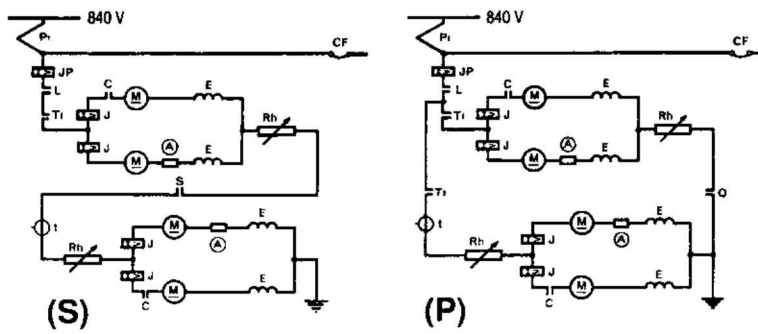
Freinage rhéostatique (R)

Schéma de puissance pour une demi-automotrice :



- CRE convertisseur de réglage d'excitation
- Dr diode de récupération
- E inducteurs des moteurs
- M induits des moteurs
- Rh rhéostat de démarrage et freinage
- RA résistance additionnelle de freinage
- RAE résistance additionnelle d'excitation
- RRE résistance de réglage d'excitation
- P, Q, S, T contacteurs de groupage

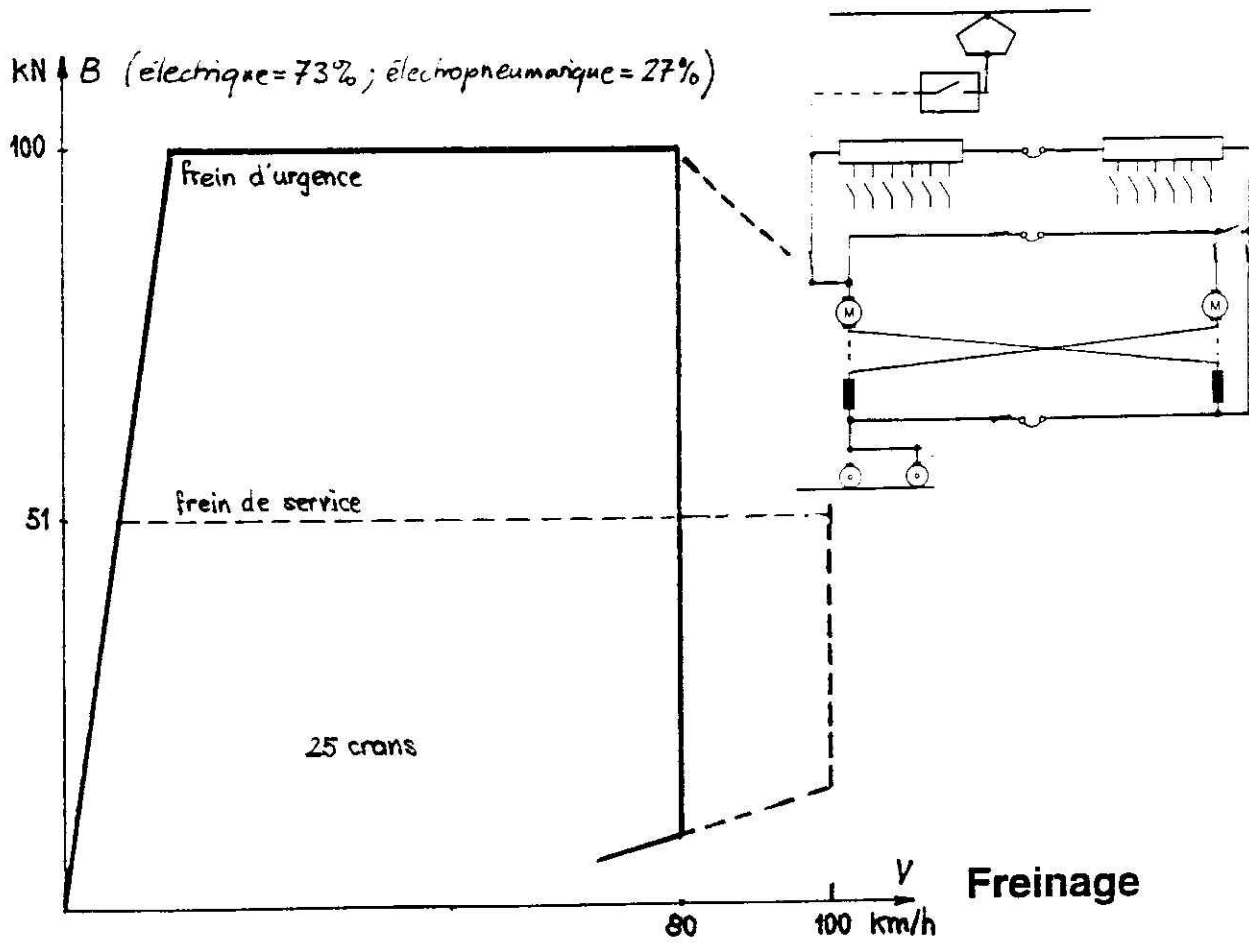
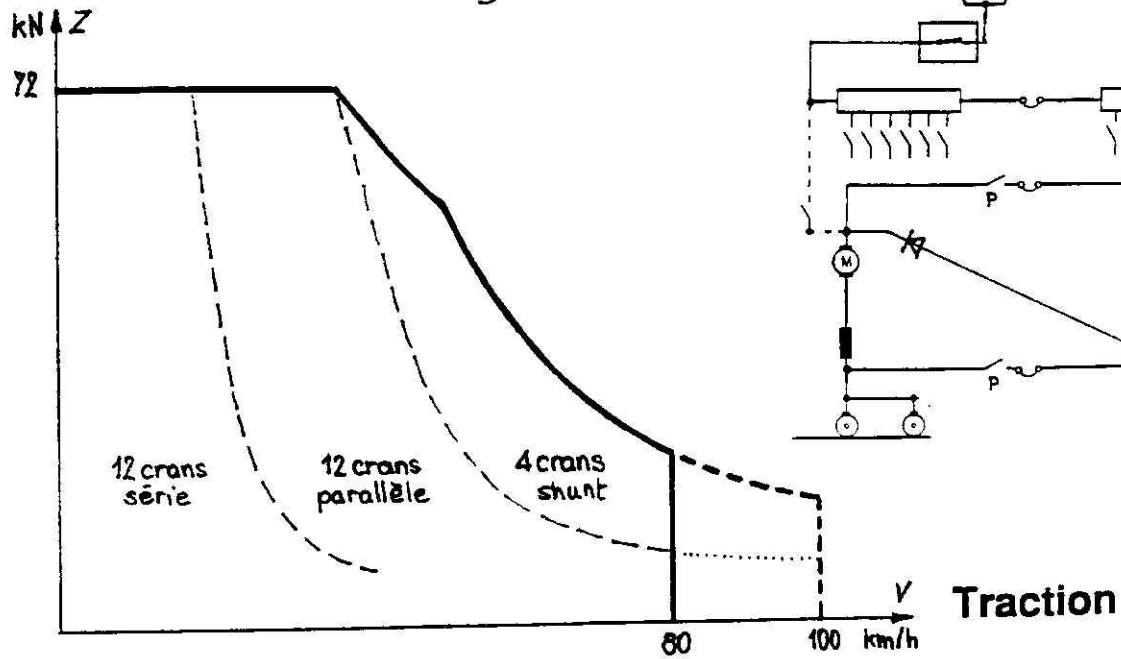
Freinage rhéostatique (R)

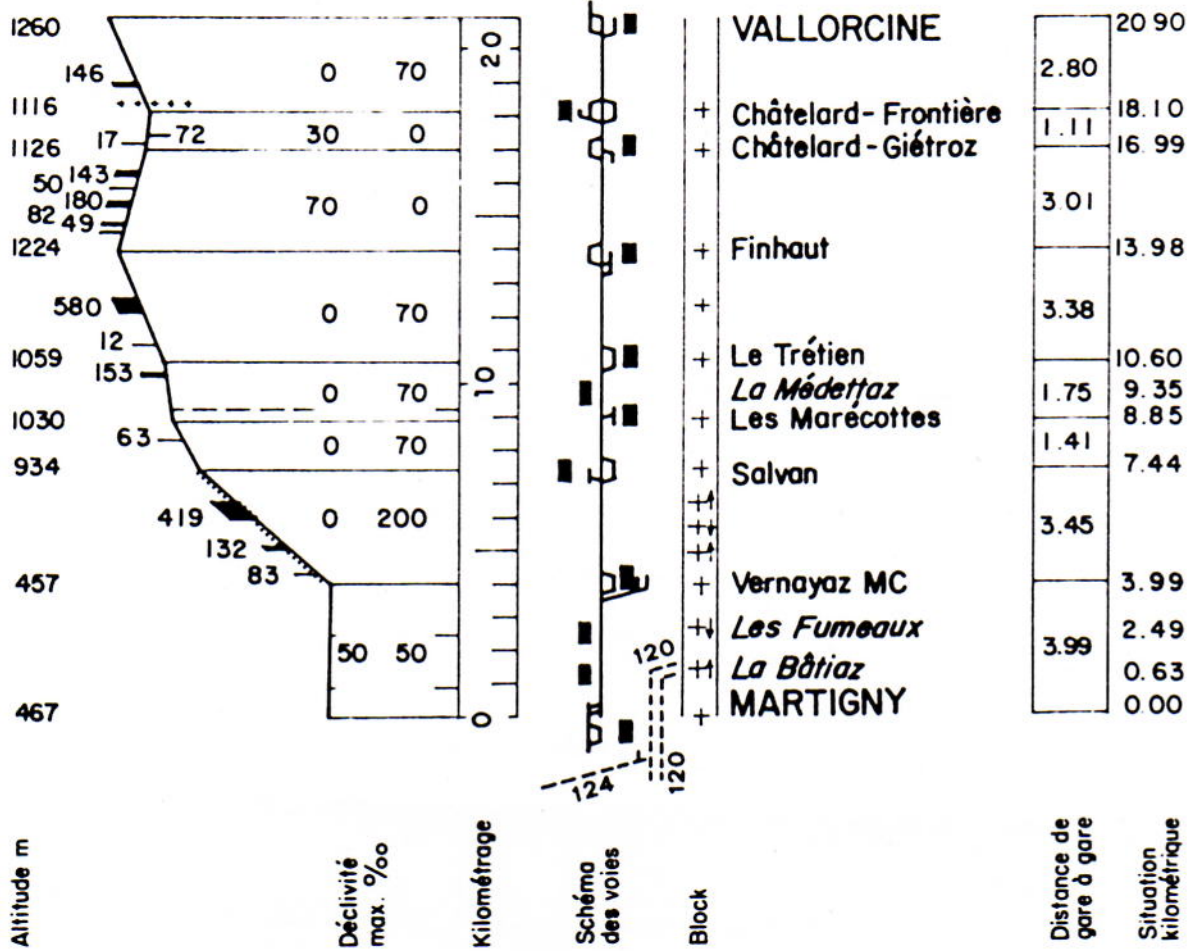


Traction série (S) et parallèle (P)

TECHNIQUES FERROVIAIRES
 Document accompagnant la question 89. (page 1)

B 80 (B 100) 1973 - 1985 Köln, Bonn, Essen...
 P = 440 kW m = 42 t $\xi = 1,08$

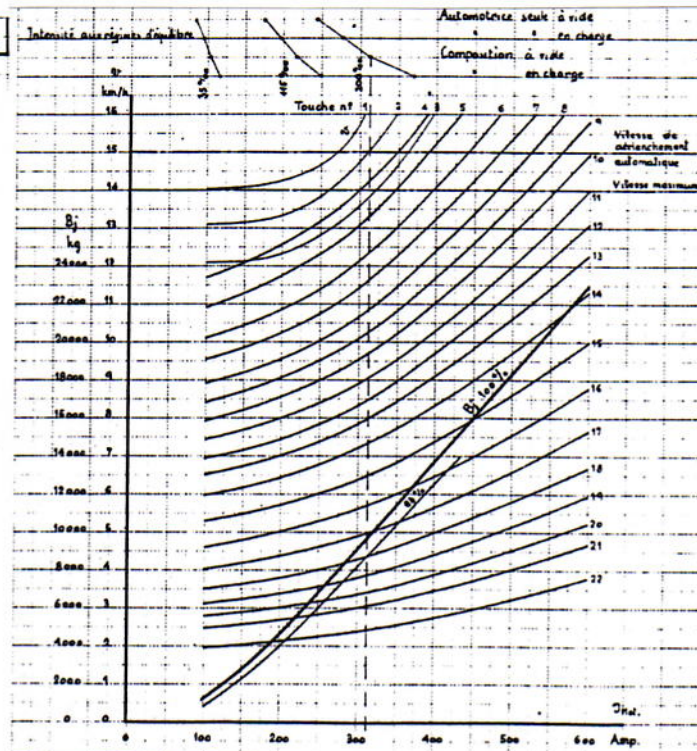
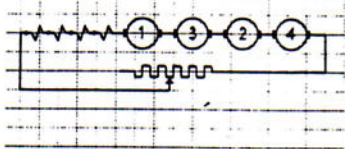




Automotrice à courant continu, type BGFeh 4/A

Moteur TD 347
 Caractéristiques de freinage sur crémaillère:
 v. vitesse en km/h
 Vitesse des moteurs en 1/min = 65,6 x v
 J. et i. courant par moteur
 B_j = effet de freinage total à la jante en kg
 Touches 1, 2, 3 = excitation à 83 %
 Indices 100, 83 = excitation en %

Martigny-Châtellard
 Cde. n° 8090
 Cde. n° 30890



TECHNIQUES FERROVIAIRES

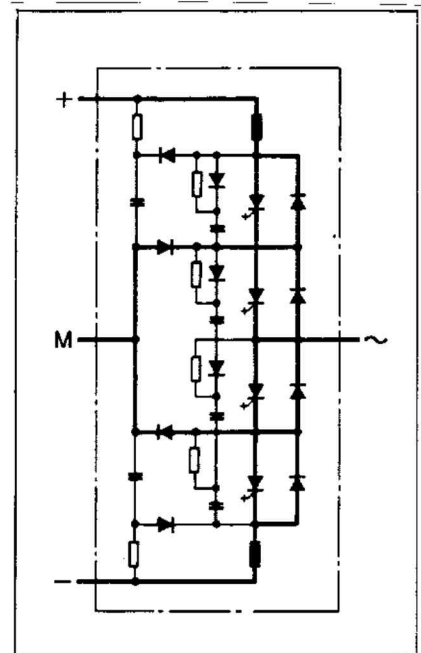
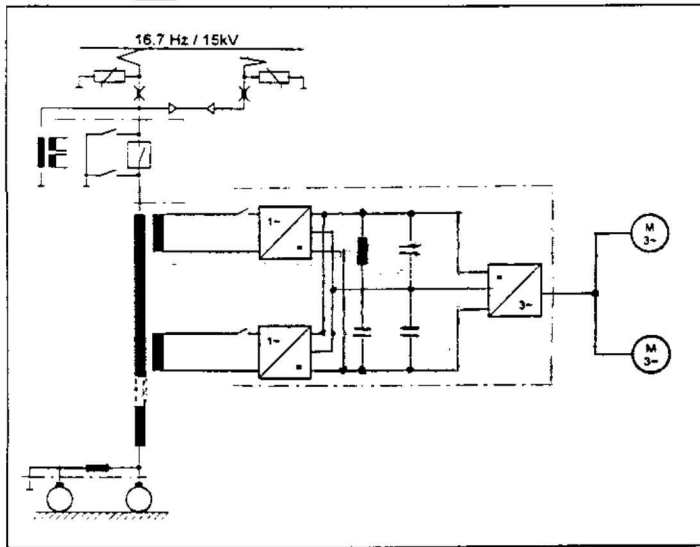
Document accompagnant la question 92 (page 1)

Locomotive puissance
- continue
(- maximale)

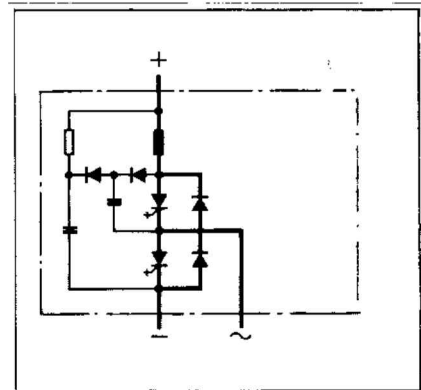
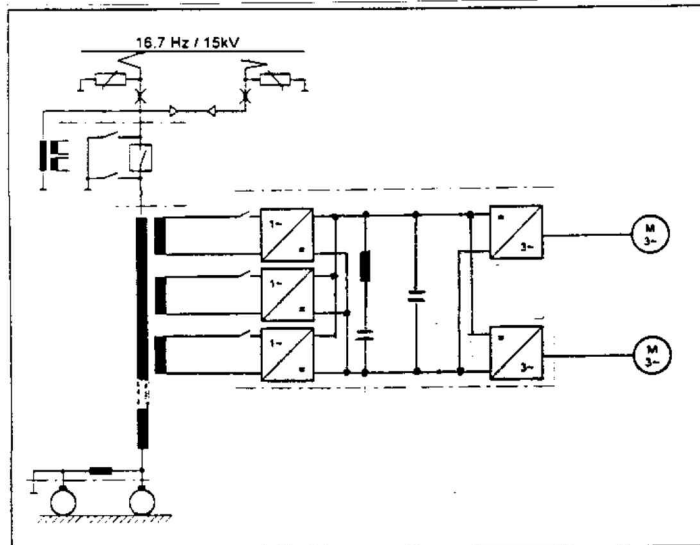
Schéma de puissance
(pour 1/2 locomotive)

Détail d'une branche de convertisseur

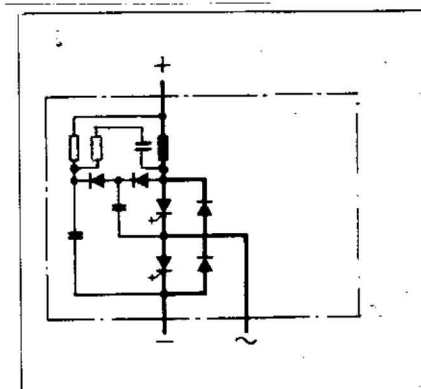
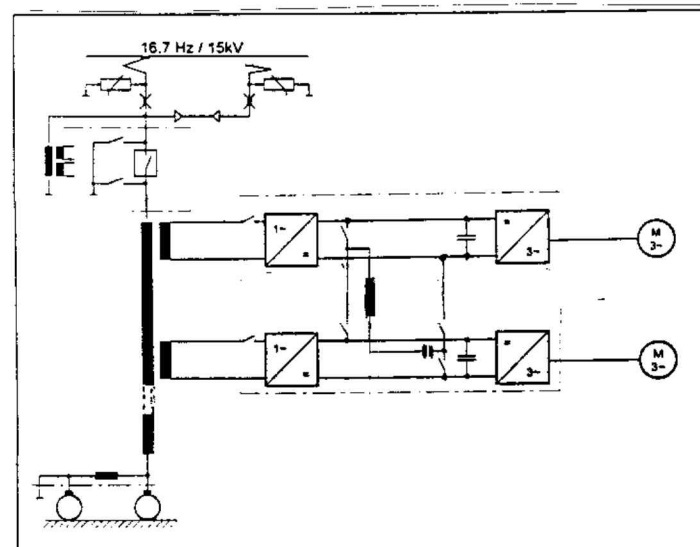
Re 460
CFF
1991
4,7 [MW]
(6,1 [MW])



Re 465
BLS
1994
6,3 [MW]
(7,0 [MW])



101
DB
1997
6,4 [MW]
(6,6 [MW])



TECHNIQUES FERROVIAIRES

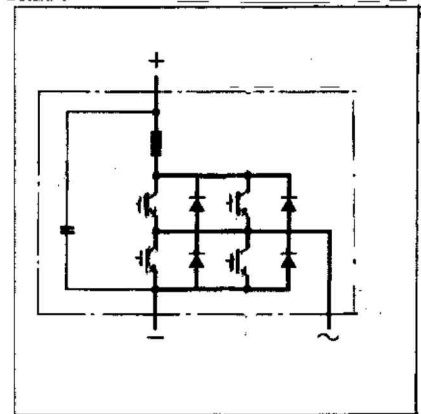
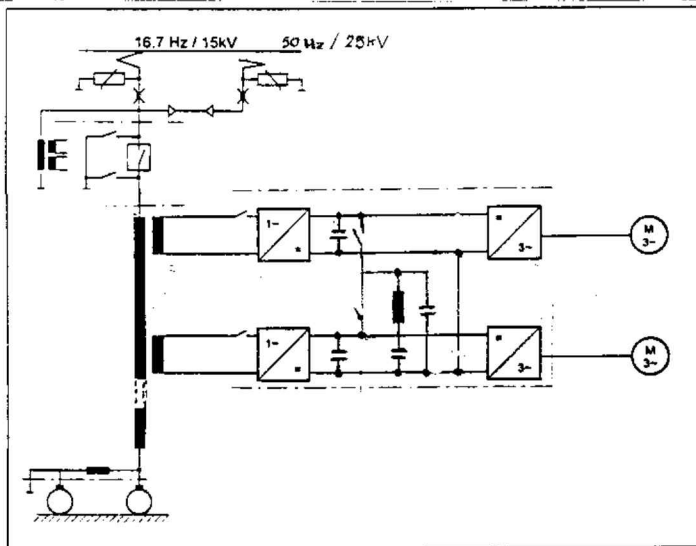
Document accompagnant la question 92 (page 2)

Locomotive puissance
- continue
(- maximale)

Schéma de puissance
(pour 1/2 locomotive)

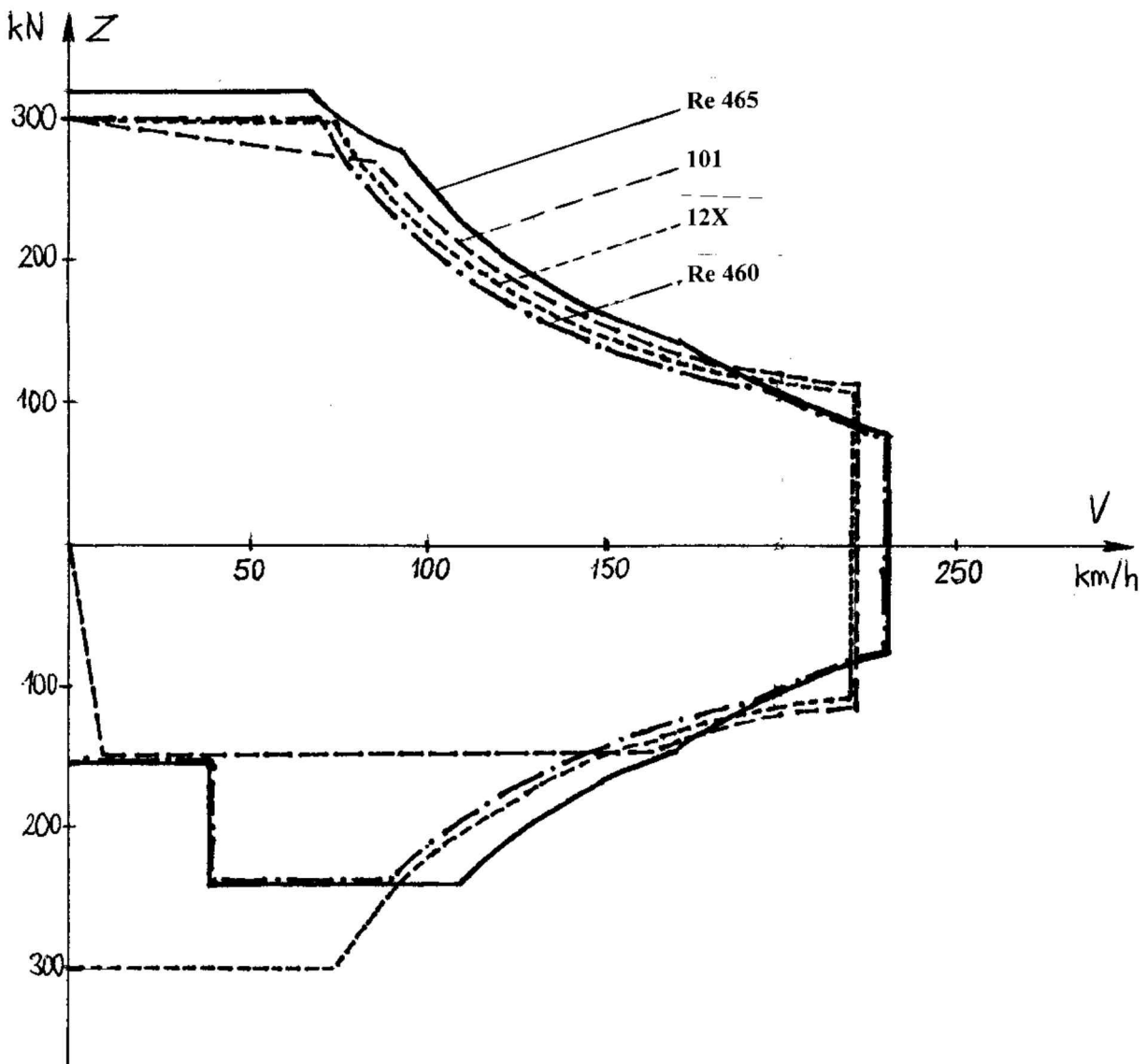
Détail d'une branche de convertisseur

12X
ADtranz
1997
6,0 [MW]
(6,3 [MW])



Remarque: côté transformateur, il y a 3 IGBT en parallèle.

Diagramme d'effort



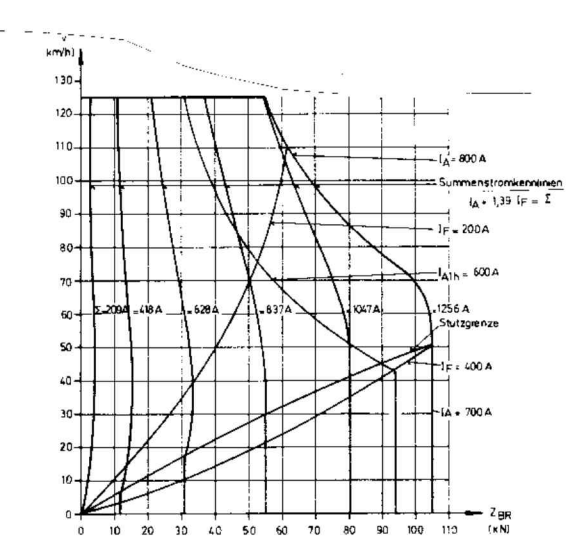
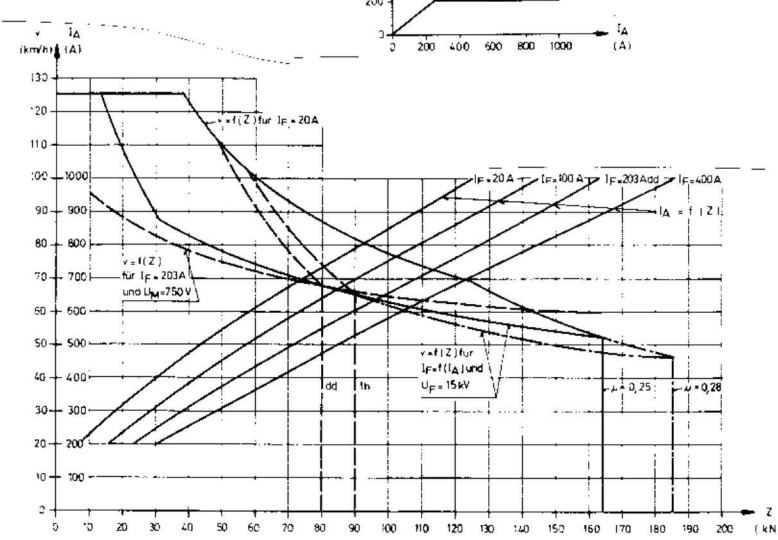
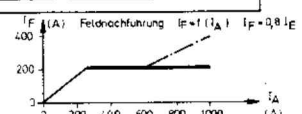
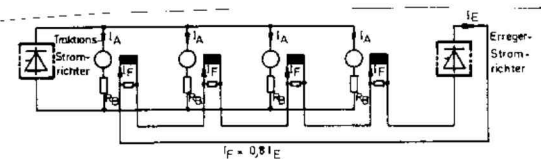
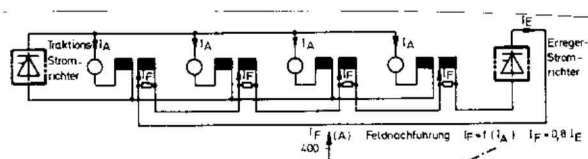
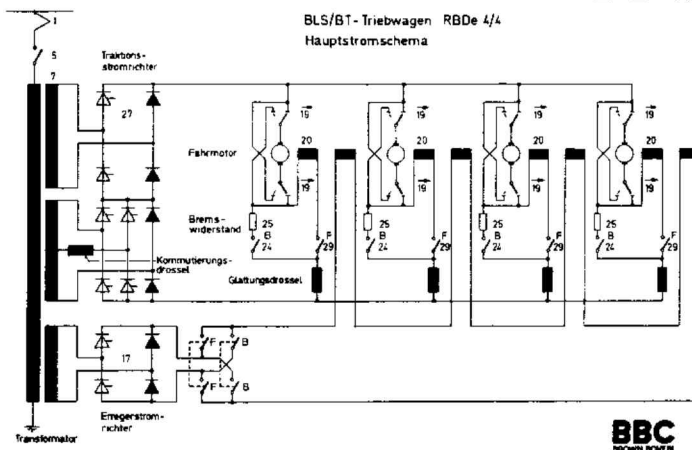
TECHNIQUES FERROVIAIRES

Document accompagnant la question 98

RBDe 565 721 – 742

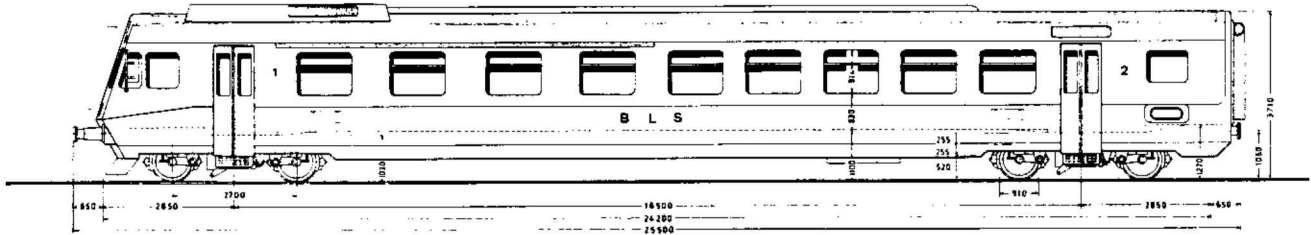
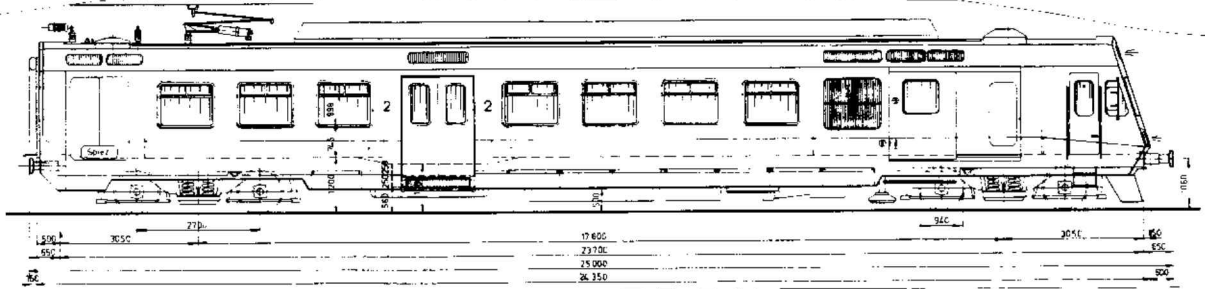
Technische Daten des Triebwagens:

Getriebeübersetzung	1 : 3,95
Leistung an der Motorwelle	dauernd 1 Stunde 1560 KW 1700 KW
Entsprechende Zugkraft am Radumfang bei 203 A Fremderregung	80 kN 89 kN
Entsprechende Geschwindigkeit bei 203 A Fremderregung	68 km/h 65 km/h
Maximale Geschwindigkeit	125 km/h (durch Auswechslung des Getriebes könnten 140 km/h erreicht werden)
Entsprechende Zugkraft	38 kN
Maximale Zugkraft bei 400 A Fremderregung (Ankerstrom 1000 A/Motor)	186 kN
Maximale Bremskraft der elektrischen Bremse	105 kN



TECHNIQUES FERROVIAIRES

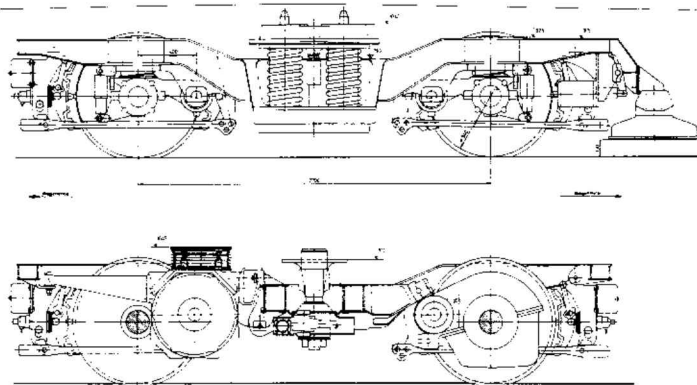
Document accompagnant la question 98



Technische Daten des Pendelzuges:

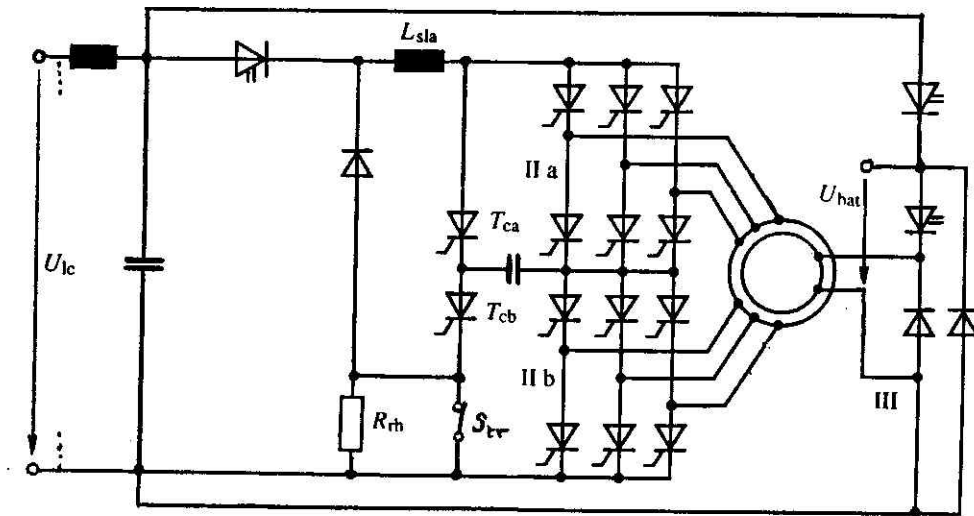
Länge über Puffer des Dreiwagenzuges 76,0 m
 Vielfachsteuerung maximal 3 Pendelzüge
 Zug- und Stossvorrichtungen normal (keine automatische oder Kurzkupplung)

	RBDe 4/4	B	AB1	Pendelzug (dreiteilig)
Gewicht:				
Mechanischer Teil	43,4 t	—	—	—
Elektrischer Teil	26,3 t	—	—	—
Tara	69,7 t	35,0 t	35,8 t	140,5 t
Platzangebot:				
Sitzplätze 1. Klasse	—	—	24	24
Sitzplätze 2. Klasse	55	80	39	174
Sitzplätze im Vorraum	—	6	2	8
Total	55	86	65	206
Raddurchmesser (neu)	940 mm	910 mm	910 mm	
Länge über Puffer	25 m	25,5 m	25,5 m	
Drehgestellachsstand	2,7 m	2,7 m	2,7 m	
Abstand der Drehzapfen	17,6 m	18,5 m	18,5 m	

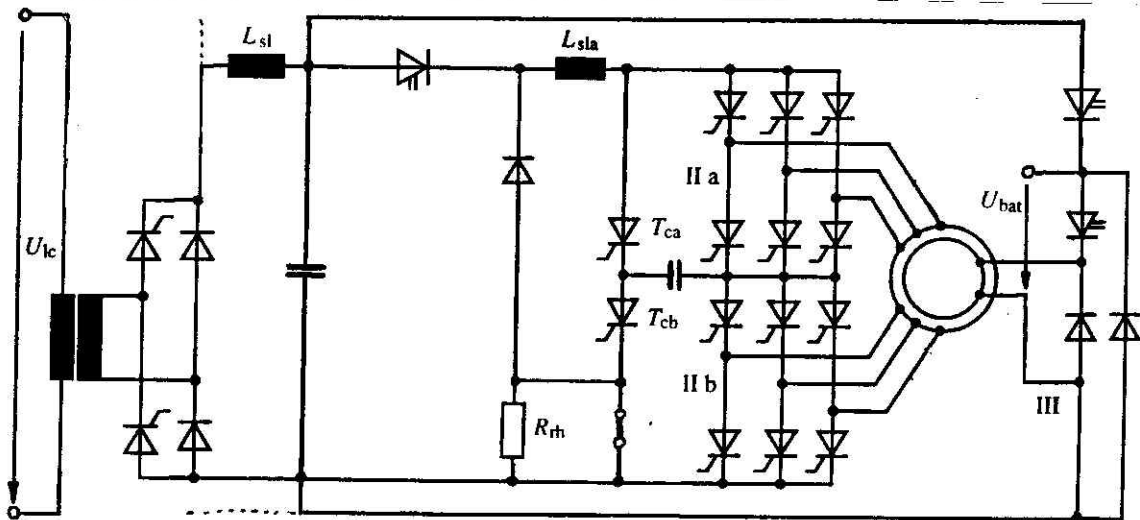


Seitenriss- und Schnittzeichnung des Triebdrehgestells; Achsführung und Primärfederung sind in einer Achslenkerkonstruktion zusammengefasst; Kasten ist auf Flexicoilfedern abgestützt; vier Bremsklötzeinheiten sowie zwei Federspeicherzylinder dienen als Festhaltebremse pro Drehgestell (Zeichnung SWS).

TECHNIQUES FERROVIAIRES
 Document accompagnant la question 99.



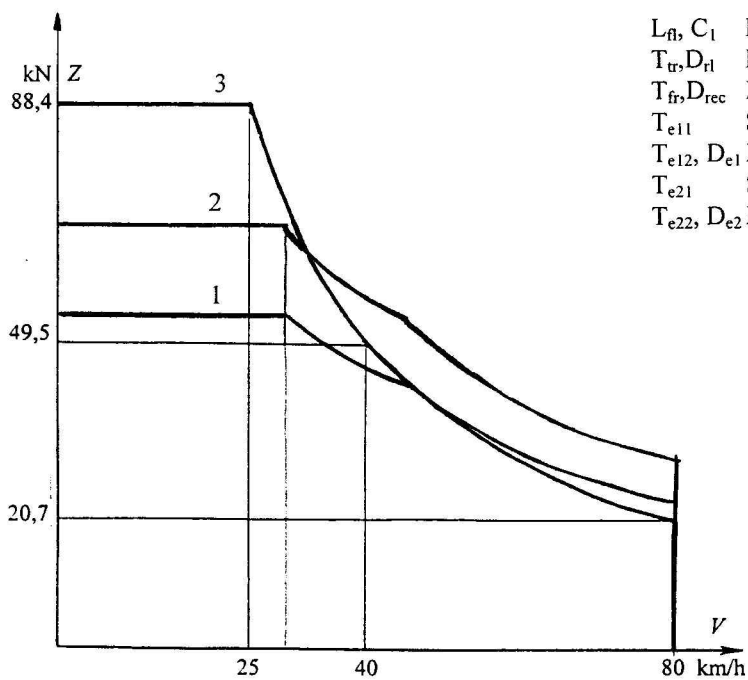
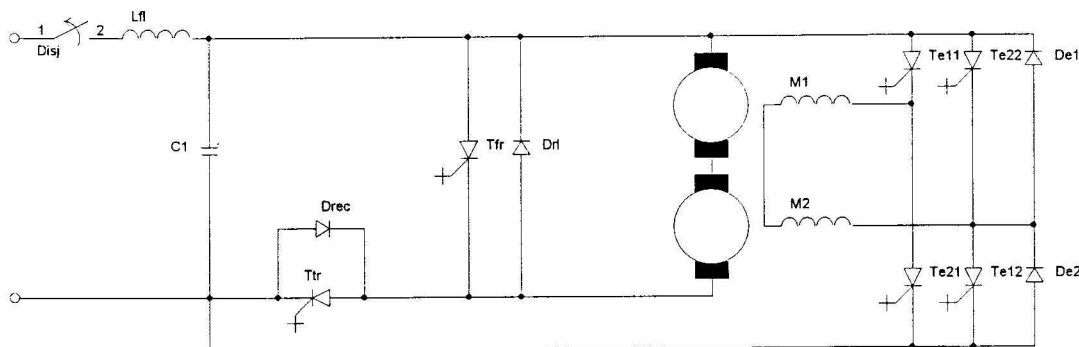
BB 26000 : ligne de contact continue



BB 26000 : ligne de contact monophasée

TECHNIQUES FERROVIAIRES
Document accompagnant la question 102

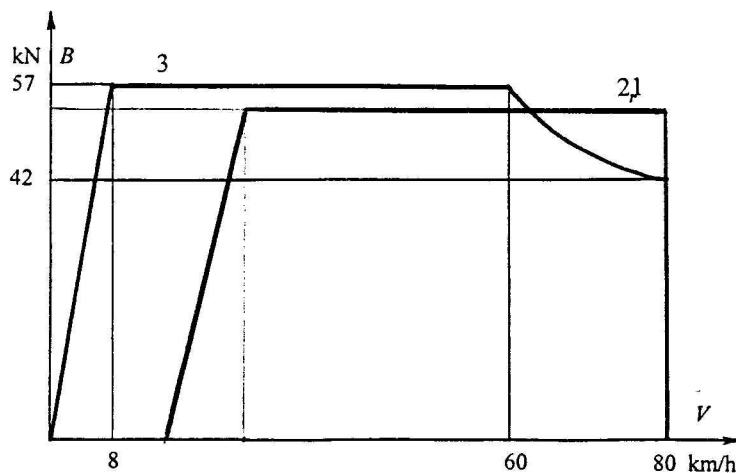
Schéma de puissance VAL206, 2^e série
reconstitué le mieux possible d'après un texte descriptif succinct



- L_{fi}, C_1 Filtre d'entrée
- T_{tr}, D_{rl} Hacheur de traction (GTO)
- T_{fr}, D_{rec} Hacheur de freinage (GTO)
- T_{e11} Sélecteur de sens du courant 1
- T_{e12}, D_{e1} Hacheur d'excitation (sens du courant 1)
- T_{e21} Sélecteur de sens du courant 2
- T_{e22}, D_{e2} Hacheur d'excitation (sens du courant 2)

Traction

- 1 206 1^{ère} série
- 2 206,2^e série
- 3 208



Freinage

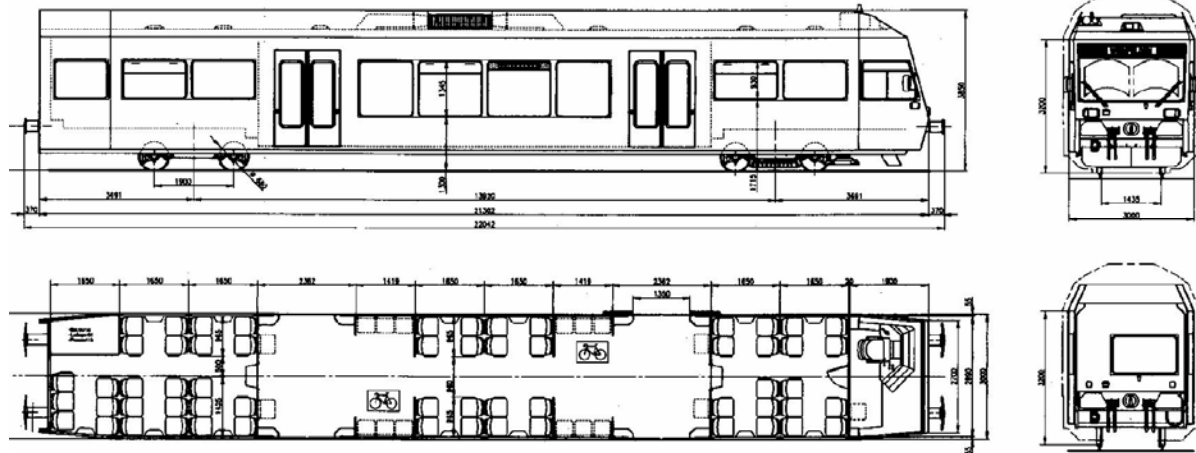
TECHNIQUES FERROVIAIRES
Documents pour l'exercice N°114

Voiture Bt

Masse à vide : 25 t

Masse en charge : 37 t

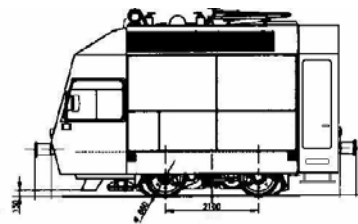
Capacité : 160 places dont 75 assises.



Locomotive He 2/2

Masse : 28 t

Crémaillère : Riggenbach



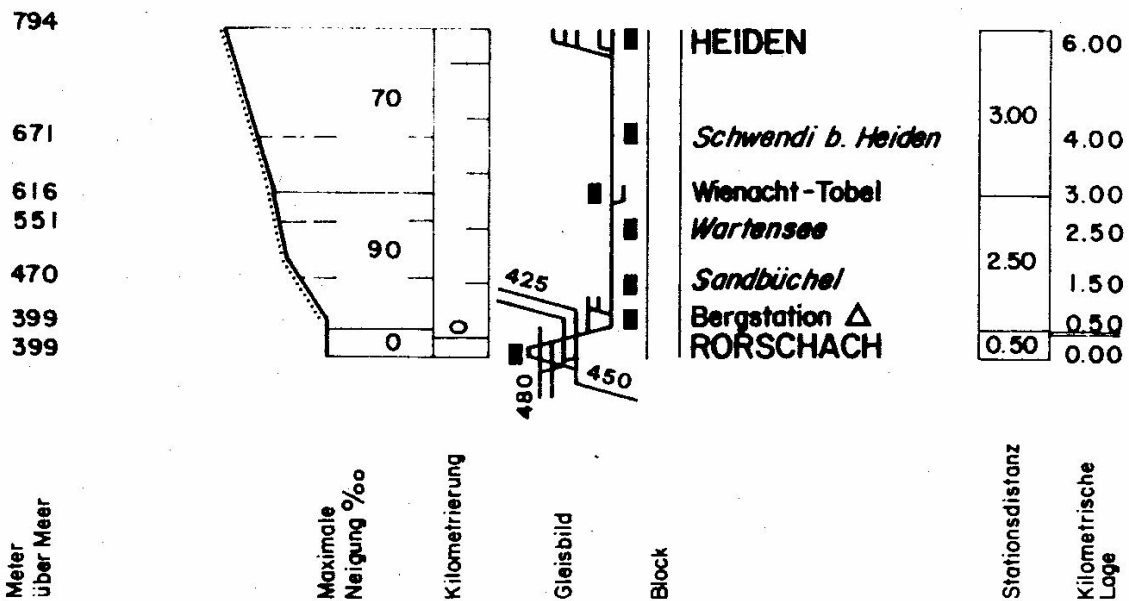
Automotrice RABe 2/6

Masse de l'élément moteur : 22,8 t

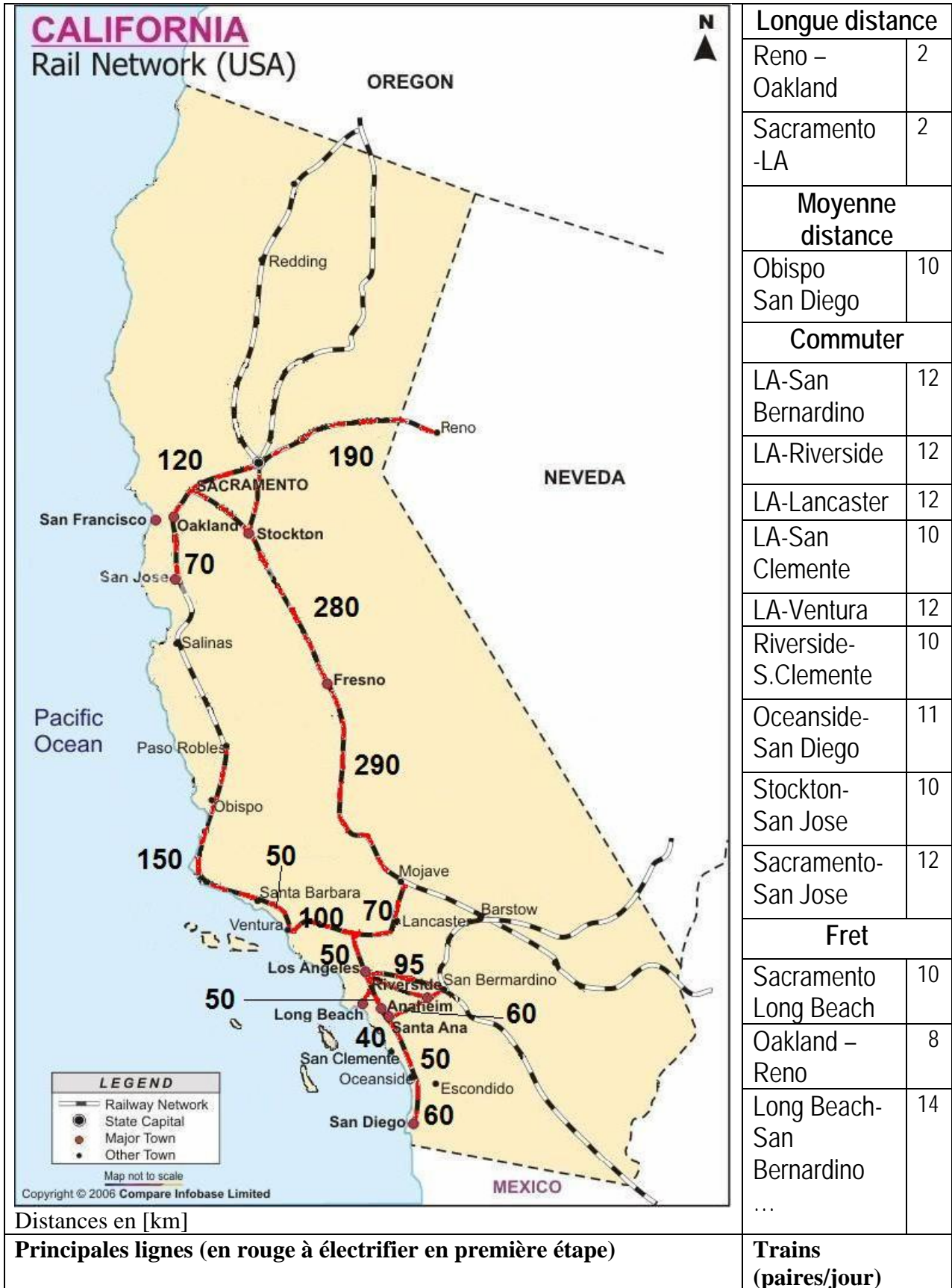
Masse d'un bogie porteur : 4 t

Masse d'une caisse à voyageurs équipée : 13,1 t

Profil de la ligne.

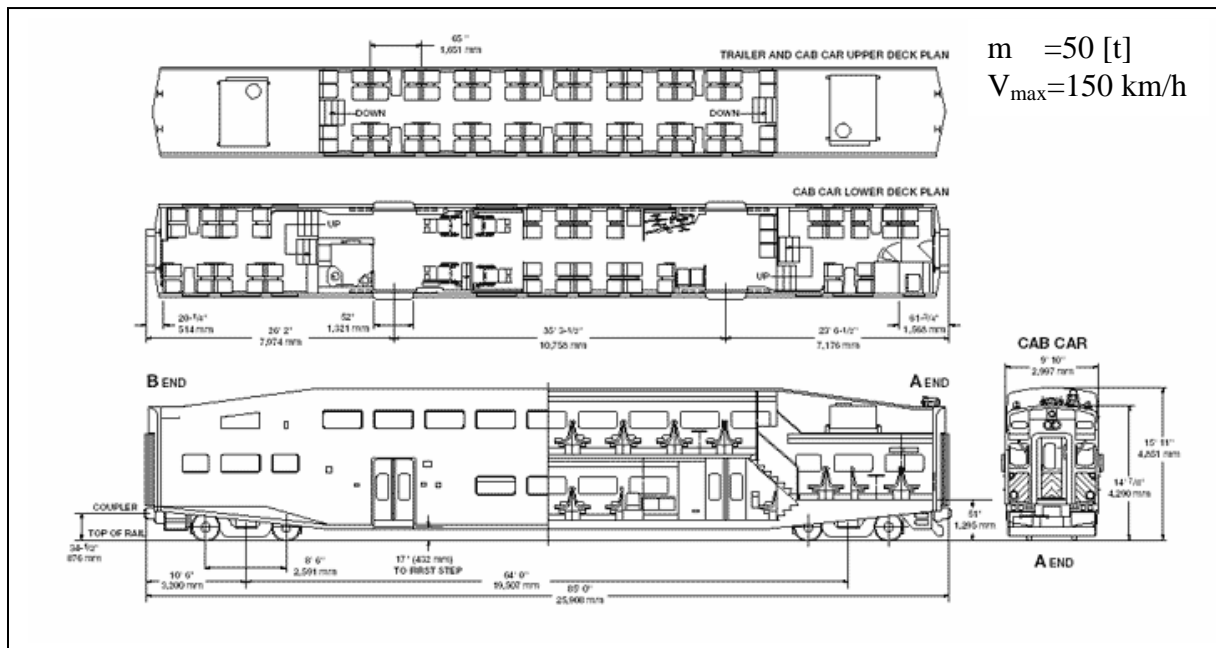


Infrastructures et trafic:



Trains actuels :

Commuter : F59PHI + 3 Bilevel

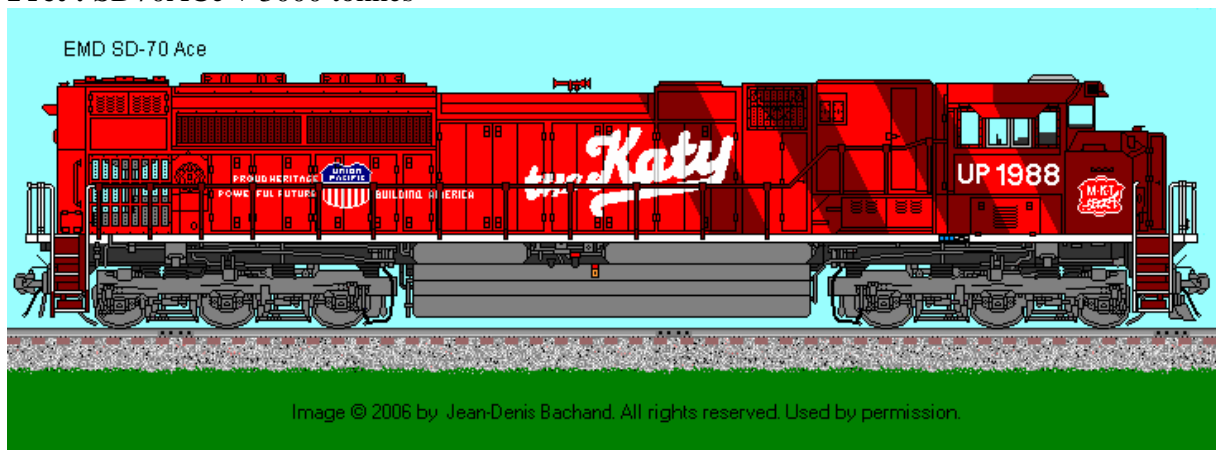


$m = 50$ [t]
 $V_{max} = 150$ km/h



$m = 120$ [t]

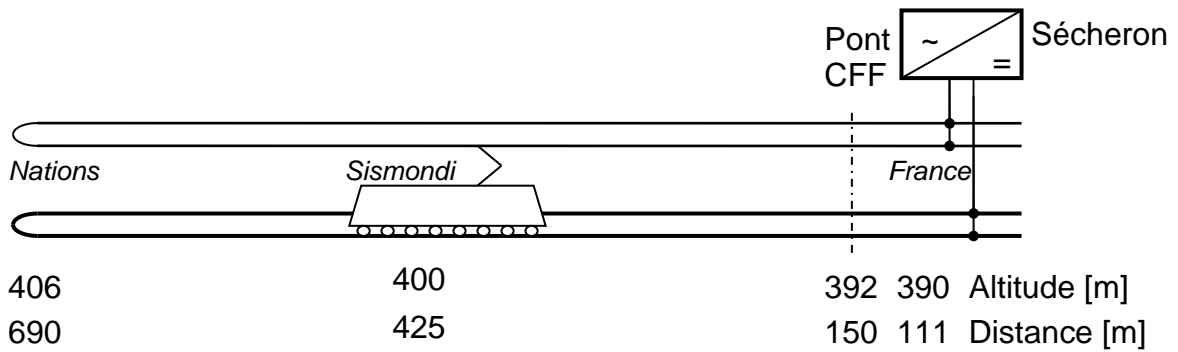
Puissance à la jante en régime continu: 1,2 MW, 169 kN à 25,7 km/h Masse : 120 t
Puissance au diesel : 2,2 MW ; Effort maximal : 290 kN ; Vitesse maximale : 175 km/h
Fret : SD70ACe + 3000 tonnes



Puissance à la jante en régime continu: 2,75 MW, 700 kN à 14 km/h Masse : 185 t
Puissance au diesel : 4,6 MW ; Effort maximal : 853 kN ; Vitesse maximale : 115 km/h

Ligne TPG 15 entre les arrêts Nations et France.

On a représenté une section de ligne alimentée par un contacteur. Le bas de l'avenue de France et la rue de Lausanne sont alimentés par un autre contacteur.



Il s'agit bien d'une ligne à double voie en antenne ; les voies et la ligne de contact sont raccordées à l'extrémité par la boucle du terminus. La figure 10.13 et l'équation (10.17) de *Traction électrique* s'appliquent. On néglige la consommation d'éclairage et des auxiliaires du tram à l'arrêt au terminus.

Résistivité, ligne et voie : $\rho = 60 \text{ m}\Omega/\text{km}$
Tension de sortie de sous-station : $U_{ss} = 630 \text{ V}$.

Locomotive Ge 2/2 : caractéristiques d'un moteur GTM8 de BBC



Moteur serie à courant continu.

Courbes caractéristiques

Type G. T. M 8.

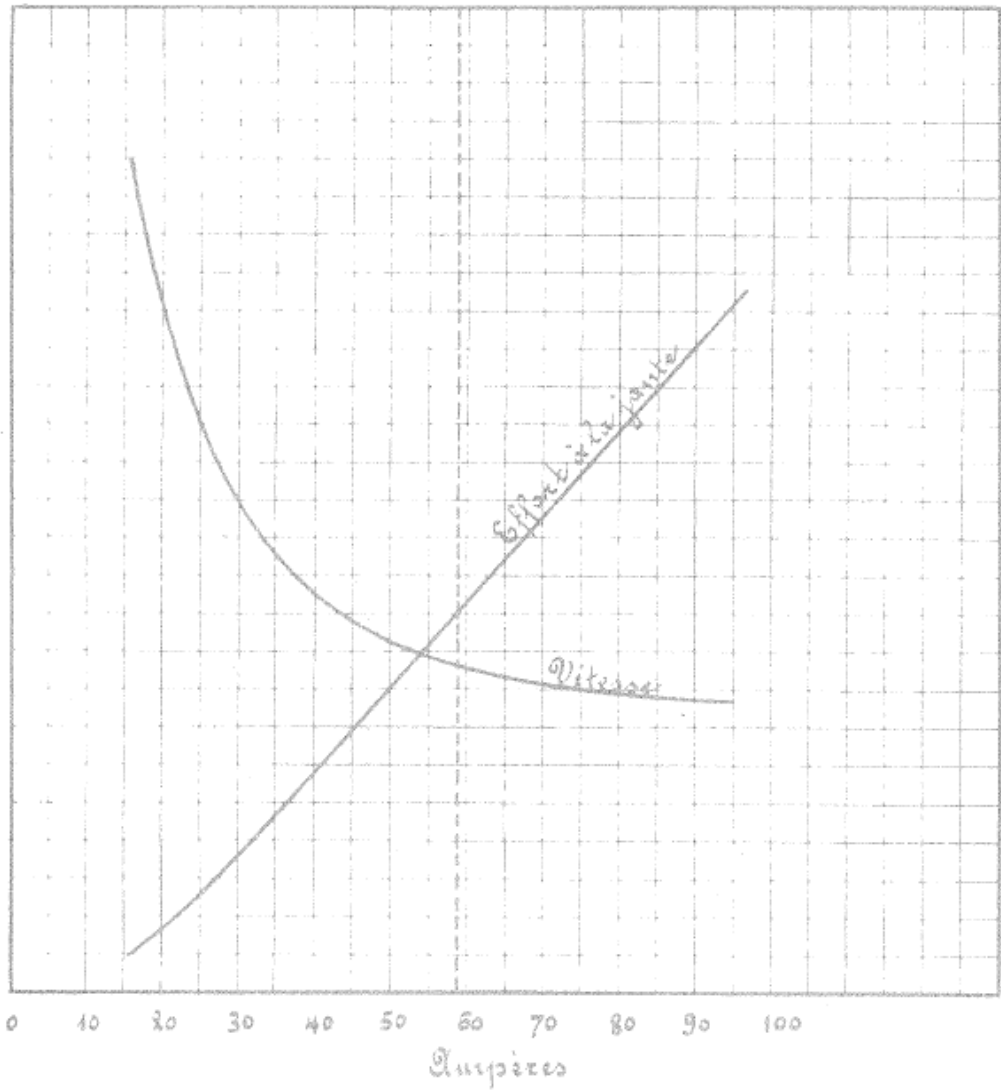
Tension aux bornes	1200 volt
Puissance horaire à l'arbre	85 chx.
Intensité normale	59 amp.
Vitesse à la charge normale	530 km
Résistance ohmique du moteur à chaud	1,4Ω
Rapport d'engrenage	1:5,1
Diamètre des roues	920 mm

Effort de traction à la jante en kg

Vitesse en km/heure

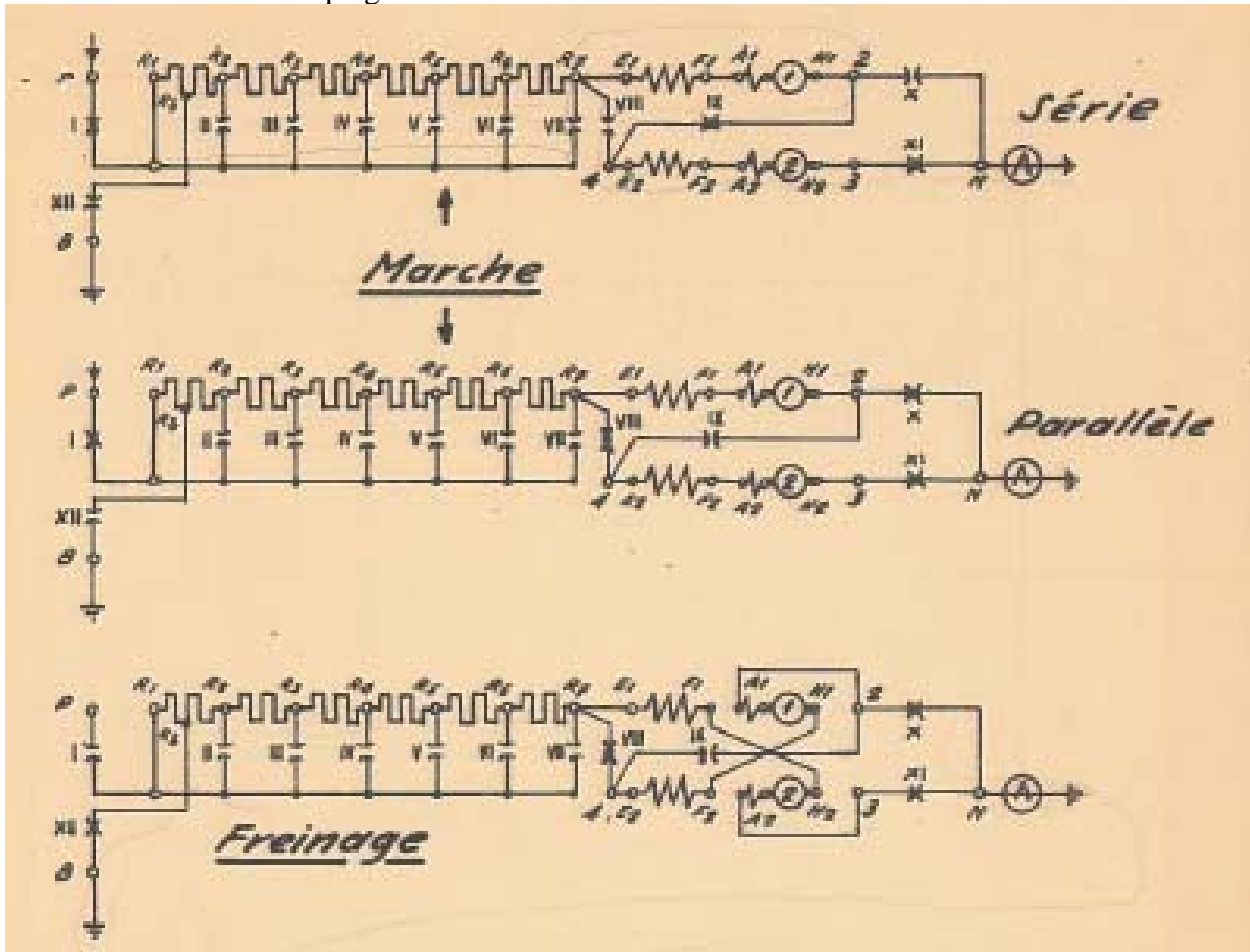
2000
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0

50
40
30
20
10
0



TECHNIQUES FERROVIAIRES
Documents pour exercice 121

Locomotive Ge 2/2 : couplages



Locomotive Ge 2/2 : crans, rhéostat et moteurs.

Traction

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
30.9000	19.8000	13.6000	10.2000	6.3000	2.8000	8.1000	4.2000	2.0000	0.7000	[Ω]

Freinage

1	2	3	4	5	6	7	
22.0000	20.3342	14.1342	10.7342	6.8342	4.6342	3.3342	[Ω]