

L'électrification du Chemin de fer d'Yverdon à Ste-Croix

GAVIN, Henri, ingénieur, YVERDON
 Directeur du Chemin de fer d'Yverdon à Ste-Croix

INTRODUCTION

La petite cité industrielle de Ste-Croix, dans le Jura vaudois, a été reliée à la plaine en 1893 par une ligne de chemin de fer à voie étroite, à l'écartement de 1000 mm. La gare d'Yverdon est à l'altitude de 438 m, tandis que celle de Ste-Croix est à 1067 m, ce qui donne une différence de niveau de 629 m sur une longueur totale de 24 km. Il en résulte de fortes rampes, atteignant 44‰ sur des tronçons de plusieurs kilomètres (voir fig. 1). Les courbes à petit rayon, de 100 à 120 m sont nombreuses et cinq tunnels ont été nécessaires pour s'adapter aux conditions topographiques.

Exploitée à la vapeur à l'origine, cette ligne a présenté la caractéristique tout à fait exceptionnelle d'interrompre tout trafic le dimanche pendant les 25 premières années de son exploitation. C'est en 1919 seulement que les trains circulèrent le dimanche. Cette condition avait été posée par M. W. Barbey qui finança la construction de la ligne et qui voulait contribuer ainsi à une meilleure observation du repos dominical.

Au début de la dernière guerre, le matériel roulant présentait de nombreux signes d'usure et il devenait indispensable de le remplacer pour assurer un service d'autant plus important que le trafic routier était quasi paralysé et que la région desservie était occupée par la troupe assurant la protection de la frontière. D'autre part, les difficultés de ravitaillement en charbon étaient considérables. Il fallut donc se résoudre à une transformation radicale de l'exploitation en introduisant la traction électrique. Ce qui fut décidé en 1943.

CHOIX DU COURANT

L'utilisation du courant continu se heurtait à des difficultés du fait de la pénurie de cuivre pour la ligne de contact; les réseaux électriques locaux, très chargés, ne tenaient d'autre part pas à assurer la fourniture, faite de pointes et de trous, de l'énergie nécessaire à la traction. On étudia donc d'emblée une variante à courant monophasé à 15 000 V, 16²/₃ p/s qui semblait inté-

ressante par la possibilité d'utiliser le freinage à récupération d'énergie. L'intensité très faible dans le fil de contact permettait de s'en tirer avec une quantité minimum de cuivre, avantage apprécié à l'époque.

On opta donc pour le courant monophasé, à 15 000 V, 16²/₃ p/s et un contrat fut passé avec les Chemins de fer fédéraux suisses qui acceptèrent de fournir l'énergie en gare d'Yverdon. La station de couplage fut ainsi réduite à un interrupteur de protection, une résistance d'essais de ligne et l'appareillage de comptage d'énergie.

CHOIX DU MATÉRIEL ROULANT

Le nouveau matériel roulant devait permettre de former des trains de 80 t circulant à une vitesse de 45 km/h sur une rampe de 44‰. Il en résulta une puissance horaire de 600 ch et l'on se décida pour l'acquisition de 3 automotrices de 56 places assises (fig. 2 et 3) et de 2 autorails de 40 places qui devaient assurer le service aux heures de faible trafic.

DESCRIPTION DU MATÉRIEL ROULANT

Les caractéristiques des automotrices BCe ⁴/₄ et des autorails BCe ²/₄ sont les suivantes:

Dimensions principales:	BCe ⁴ / ₄	BCe ² / ₄
Longueur hors tampons	18 790 mm	14 640 mm
Hauteur totale sans le pantographe	3 250 mm	3 250 mm
Largeur maximum de la caisse	2 680 mm	2 680 mm
Hauteur du plancher au-dessus des rails	980 mm	980 mm
Distance entre axe des bogies	13 050 mm	8 900 mm
Empattement des bogies moteurs	2 450 mm	2 450 mm
Empattement des bogies porteurs		2 100 mm
Nombre de places 2me classe	8	8
Nombre de places 3me classe les strapontins y compris	49	36

Fig. 1

Profil en long de la ligne du Chemin de fer électrique d'Yverdon à Ste-Croix

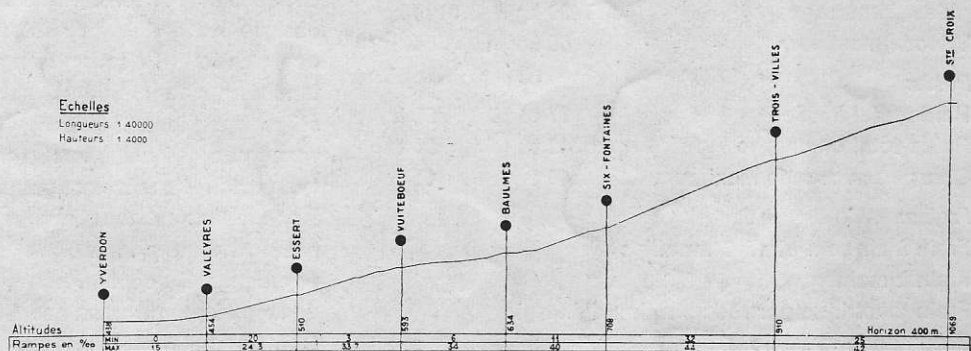


Fig. 2

Automotrice type BCe⁴/₄, 15 kV, 16²/₃ p/s, puissance unihoraire 600 ch

Puissance:

Puissance unihoraire d'un moteur	155 ch	155 ch
correspondant à:		
une tension aux bornes de	215 V	215 V
un courant de	625 A	625 A
une vitesse de	1550 t/min	1550 t/min
Puissance continue d'un moteur	130 ch	130 ch
correspondant à:		
une tension aux bornes de	215 V	215 V
un courant de	520 A	520 A
une vitesse de	1690 t/min	1690 t/min
Nombre de moteurs	4	2
Rapport d'engrenage	1:5,68	1:5,68

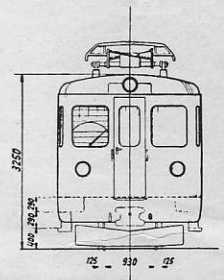
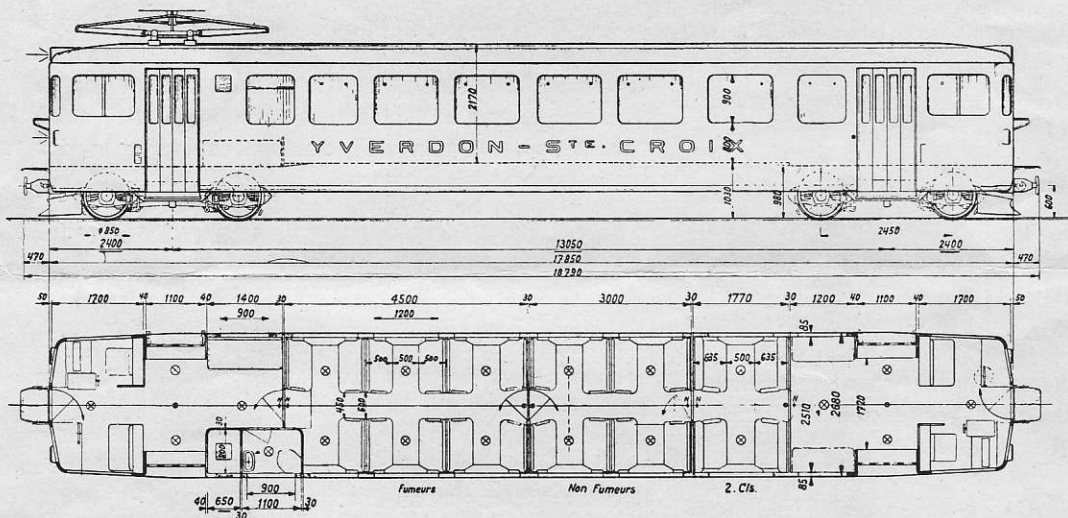


Fig. 3

Elévation et plan d'une automotrice BCe⁴/₄ (fig. 2)

Diamètre des roues à l'état neuf des bandages	850 mm	850 mm
Puissance unihoraire totale aux jantes	600 ch	300 ch
correspondant à la vitesse de et à un effort de traction aux jantes de	45 km/h	45 km/h
Effort de traction maximum lors des démarrages	3600 kg	1800 kg
Vitesse maximum	7400 kg	3700 kg
	65 km/h	65 km/h

Poids:

Poids total à vide	37 t	27 t
Poids total en charge	42 t	31 t
Charge remorquée maximum	40 t	10 t

Freins:

Frein à air comprimé Charmilles		
Frein à main		
Frein électrique par récupération d'énergie		
Commande multiple	oui	oui

a) Partie mécanique

La partie mécanique des automotrices et des autorails a été construite selon les conceptions les plus modernes, de façon à garantir le confort, la sécurité et la légèreté. Elle a été exécutée par la Société Industrielle Suisse à Neuhausen.

La caisse est auto-portante, en tôle d'acier entièrement soudée, ce qui lui confère une très grande rigidité. A chaque extrémité du véhicule se trouve le poste de commande qui occupe la moitié de droite du véhicule, tandis que la moitié de gauche est occupée par un siège à 2 places. Ces dernières sont appréciées des voyageurs qui ont une vue très étendue de tous côtés. Les portes d'accès aux plateformes avant et arrière sont à commande pneumatique et sont assez larges, 1100 mm, pour permettre la montée et la descente rapide des voyageurs. Du côté Yverdon, la plateforme est spacieuse de façon à procurer, en cas d'affluence, 20 places debout. Des crochets pour le transport des vélos se trouvent

également sur cette plateforme qui est munie d'autre part de strapontins pour 6 places assises. L'on passe ensuite à un compartiment de 2e classe de 8 places, puis au compartiment «Non-fumeurs» et ensuite, du côté de la plateforme amont, au compartiment «Fumeurs». La plateforme du côté Ste-Croix est occupée par 2 armoires à matériel électrique et par le W.-C.

Les sièges sont rembourrés et recouverts de similicuir, donc d'une exécution semblable à celle des autocars. Les fenêtres forment de larges baies qui laissent la vue entièrement libre. Les cloisons intérieures entre les compartiments sont vitrées, ce qui fait paraître l'intérieur plus clair et plus vaste. Des tablettes sont placées devant les fenêtres; elles ont été recouvertes de verres de sécurité sous lesquels se trouvent des réclames. On évite ainsi les réclames pendantes sous les porte-bagages.

L'intérieur est exécuté en tons gris, alors que l'extérieur de la caisse est rouge pour la moitié inférieure et crème pour la moitié supérieure.

Les bogies (voir fig. 4) répondent aux conditions d'une bonne suspension. Ils ont un cadre en tôle soudée et une traverse danseuse qui vient s'appuyer sur de forts ressorts latéraux à lames. La liaison entre les boîtes d'essieux et le châssis de bogie se fait par l'intermédiaire de 2 ressorts hélicoïdaux par boîte d'essieu.

Les moteurs sont fixés rigidement au châssis du bogie. Ils attaquent, par un pignon, une roue dentée montée sur un arbre creux à l'intérieur duquel passe l'essieu (Transmission à ressorts Brown, Boveri & Cie) (voir fig. 5)¹⁾. La couronne dentée entraîne l'essieu par l'intermédiaire d'un croisillon qui peut légèrement se déplacer par rapport à la couronne dentée à laquelle il est relié par des ressorts et des surfaces de glissements. Les à-coups des joints de la voie ne sont donc pas transmis au moteur, bien que ce dernier fasse corps avec le bogie. Cette suspension protège l'enroulement contre les destructions mécaniques des isolants et ménage également les balais de charbon.

La voie étant exposée à des chutes de pierres, les

chasse-neige en tôle d'acier de 6 mm restent en place toute l'année et ont à plusieurs reprises déjà protégé efficacement l'appareillage électrique disposé sous le plancher de l'automotrice.

Le frein est du type à air comprimé avec triple-valve Charmilles permettant le serrage et le desserrage absolument progressif du frein (voir fig. 6). Ce frein se caractérise par sa faible consommation d'air comprimé et par la robustesse de ses éléments, la triple-valve travaillant aussi bien à -20°C qu'à $+30^{\circ}\text{C}$ et n'exigeant pratiquement aucun contrôle entre les révisions des véhicules.

La triple-valve Charmilles a été mise en service sur cette ligne en janvier 1945. Il s'agissait là d'une première application pratique qui a donné d'emblée satisfaction. On sait que depuis lors cette triple-valve s'est rapidement développée et qu'elle a été admise dans le trafic international à voie normale. L'équipement de frein comprend essentiellement un réservoir auxiliaire qui alimente le cylindre de frein et un réservoir de commande qui fait travailler la triple-valve en fonction des variations de pression provoquées dans la conduite générale par le robinet du mécanicien. Ce dernier, également de construction Charmilles, fait office de soupape de réduction entre le réservoir principal et la conduite générale;

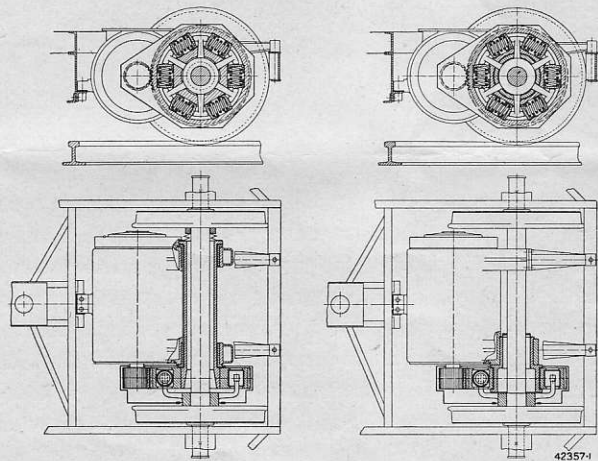


Fig. 5

Transmission à ressorts, système Brown Boveri (à gauche à arbre creux, à droite à tronçon d'arbre creux). Le bogie fig. 4 est équipé de la commande à tronçon d'arbre creux

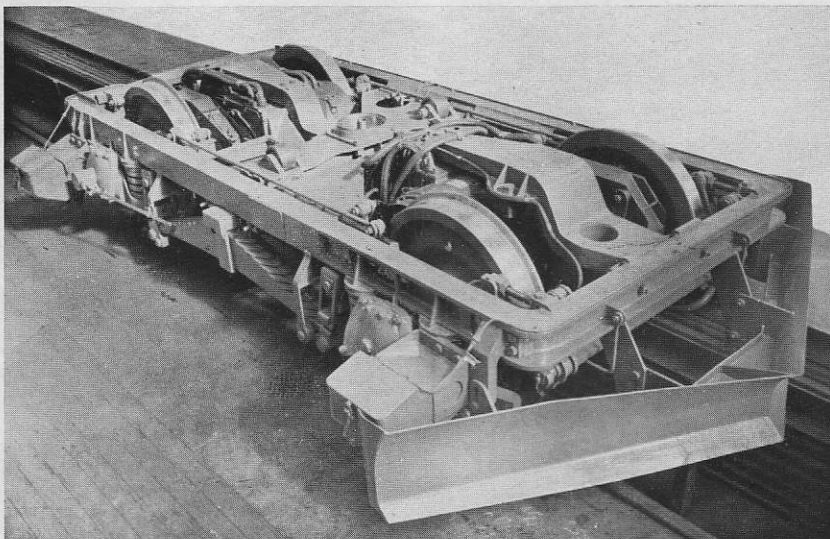


Fig. 4

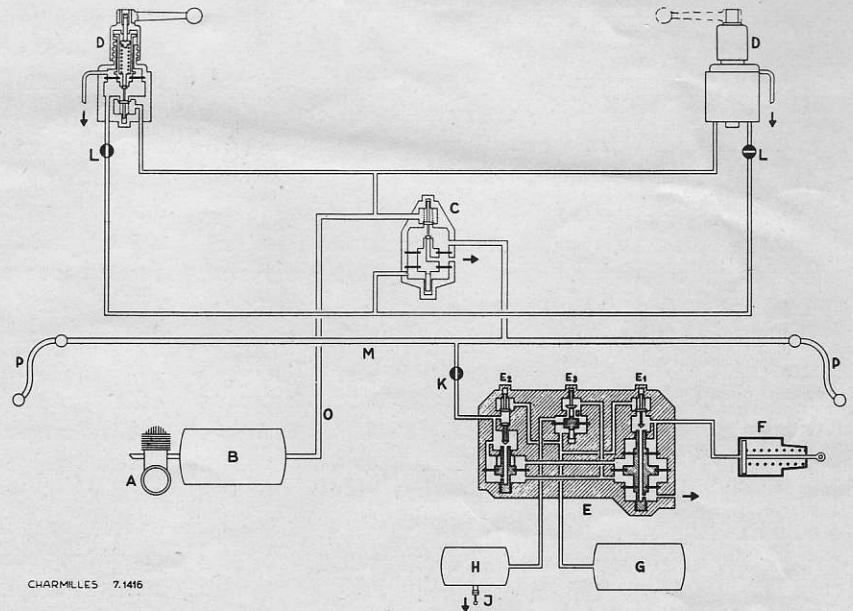
Bogie moteur des automotrices et autorails, construction S.I.S., Neuhausen

¹⁾ Voir «Bulletin de l'Association Internationale du Congrès des Chemins de fer», Bruxelles, mars et juillet 1948, p. 172—176, resp. 409—438, plus particulièrement fig. 146—150 et 190, la fig. 149 montrant précisément un essieu d'automotrice Yverdon—Ste-Croix («La Commande individuelle des essieux», Ad.-M. HUG).

Fig. 6

Schéma du frein Charmilles sur les auto-motrices:

- A compresseur
- B réservoir principal
- C relais 1873
- D robinet de mécanicien 1804F
- E triple-valve type A-1801
- E₁ valve de réglage
- E₂ valve d'égalisation
- E₃ valve de surcharge
- F cylindre de frein
- G réservoir auxiliaire 35L
- H réservoir de commande 15L
- J valve de purge
- K robinet d'isolement du frein
- L robinet d'isolement
- M conduite générale
- O conduite d'alimentation
- P demi-accouplement



CHARMILLES 7.1416

un relais pneumatique a été prévu pour permettre la commande de plusieurs véhicules avec un robinet de mécanicien d'un petit modèle.

La partie mécanique comporte bien entendu les appareils habituels de sablage, de traction et de choc, etc.; la fig. 7 montre la cabine de mécanicien.

b) Partie électrique

L'équipement électrique a été étudié en cherchant à réaliser d'une part une commande aussi simple que possible et d'autre part une exploitation économique. Le profil en long de la ligne (voir fig. 1) montre une pente toujours dans le même sens de Ste-Croix à Yverdon (à part les paliers des gares), sans contre-pente. Il était indiqué de s'efforcer de récupérer l'énergie de freinage en la restituant à la ligne de contact. Les moteurs monophasés fonctionnent donc en génératrices à la descente et permettent ainsi un freinage à la fois très doux et économique. L'équipement électrique a été livré par la S. A. Brown, Boveri & Cie à Baden (Suisse); la fig. 8 en donne le schéma (à gauche, marche en traction; à droite, marche en récupération).

L'énergie est prise au fil de contact à 15 000 V par un pantographe à frotteur en charbon. L'usure du fil de contact est insignifiante depuis la mise en service (janvier 1945). Les charbons du pantographe ont donné de très bons résultats et se sont bien comportés lorsque la ligne est givrée. L'usure est surtout causée par des éléments tels que sectionnements, sectionneurs, croisements qui, s'ils ne sont pas parfaitement réglés, peuvent provoquer des éclats sur les frotteurs des pantographes et non par le frottement sur le fil. Certains charbons n'ont pas encore été changés après 180 000 km.

Le courant primaire passe ensuite par un disjoncteur pneumatique qui représente certainement la protection la plus efficace de l'automotrice. Il s'agit en effet d'un véhicule occupé par les voyageurs et les dégâts qui pourraient provenir par exemple d'un claquage dans le

circuit à haute tension doivent être immédiatement limités. Le disjoncteur pneumatique a le grand avantage de supprimer tout danger d'explosion, de pouvoir être monté dans n'importe quelle position, et surtout d'être extraordinairement rapide, puisque le temps propre de déclenchement est de 0,05 seconde seulement. L'expérience a montré qu'un claquage sur un isolateur est coupé si rapidement qu'il faut un examen très attentif pour trouver des traces de l'arc qui a été supprimé

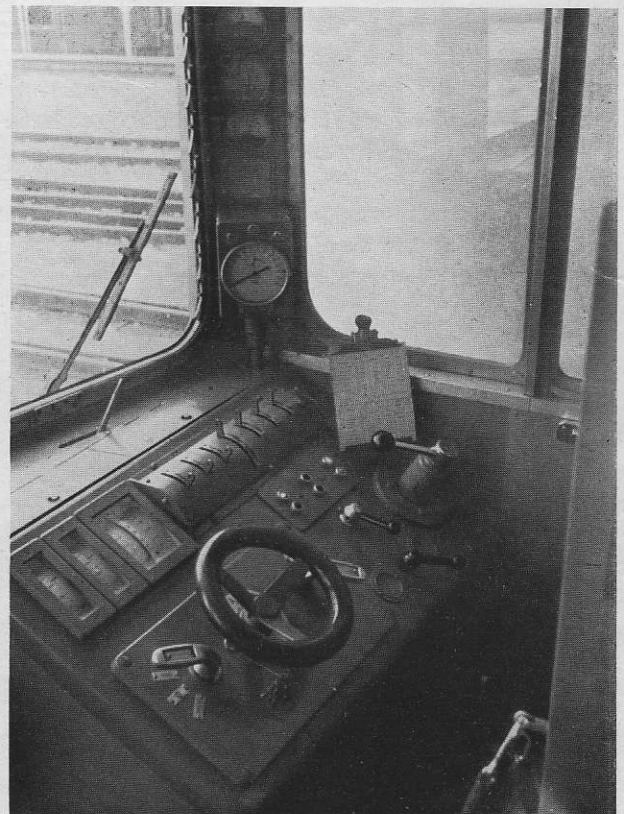


Fig. 7 Cabine de mécanicien

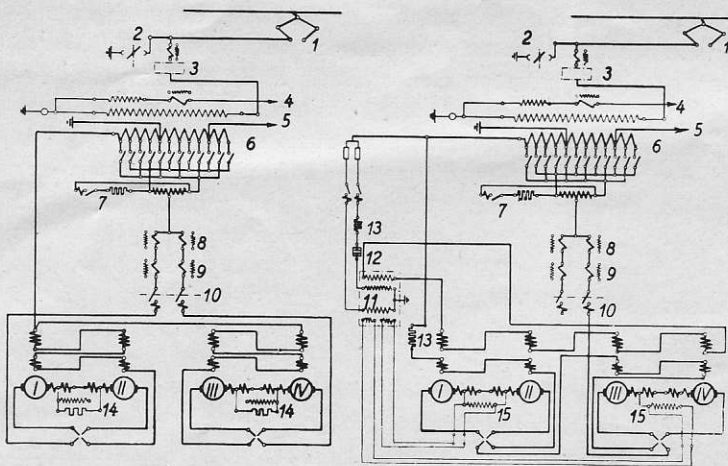


Fig. 8 Schéma de principe de l'équipement électrique

A gauche: marche en traction
A droite: marche en récupération

- 1 = pantographe
- 2 = couteau de mise à terre
- 3 = disjoncteur pneumatique avec transformateur d'intensité
- 4 = circuit de chauffage
- 5 = circuits auxiliaires
- 6 = circuit de traction
- 7 = contacteur de passage avec résistance et bobine de self
- 8 = transformateurs d'intensité pour les ampèremètres
- 9 = transformateurs d'intensité pour les relais
- 10 = contacteurs des moteurs
- 11 = transformateurs auxiliaires pour la récupération
- 12 = condensateur
- 13 = résistance
- 14 = shunt ohmique
- 15 = shunt inductif

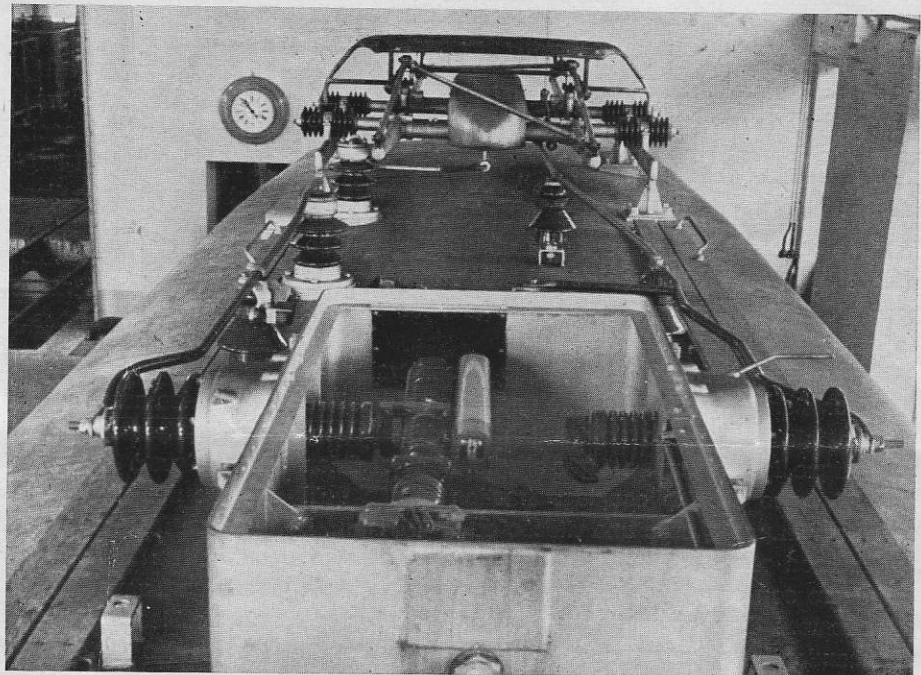


Fig. 9

Toiture d'une automotrice avec interrupteur pneumatique (sans le capot de protection)

instantanément. Cet élément est de la plus haute importance pour une automotrice à haute tension dans laquelle il faut éviter toute conséquence d'un défaut qui pourrait mettre en danger les voyageurs.

Le faible poids du disjoncteur pneumatique (environ 200 kg) et ses possibilités variées de montage facilitent son utilisation dans une automotrice, car il peut être placé sans difficulté sur le toit du véhicule (voir fig. 9); une commande à main, de secours, facile à manœuvrer de l'intérieur de l'automotrice, permet d'enclencher le disjoncteur lors de la mise en marche après un long arrêt au dépôt durant lequel la réserve d'air comprimé s'est épuisée.

Le courant à haute tension est amené sous l'automotrice par une conduite isolée et protégée par un canal de tôle, traversant le W.-C. Le transformateur principal, à 12 prises, réduit la tension de 15 000 V à des tensions secondaires de 99 à 570 V. Il a une puissance nominale de 430 kVA pour les circuits de traction, de 100 kW pour

le chauffage du train et de 30 kW pour les services auxiliaires, à 220 V.

Le transformateur est d'une exécution nouvelle, dans laquelle le noyau magnétique est composé de tôles disposées radialement, comme des quartiers d'oranges. Cette construction est très ramassée et aplatie. C'est un avantage apprécié pour les transformateurs de traction placés sous le plancher du véhicule. En outre, la disposition des bobines est telle que la circulation de l'huile est plus active que dans les constructions habituelles; les surcharges ne risquent pas de provoquer des échauffements localisés. Le refroidissement se fait par circulation naturelle de l'huile qui passe dans des radiateurs placés latéralement, de façon à être balayés par le courant d'air pendant la marche du véhicule.

Les moteurs des automotrices ont une puissance horaire de 114 kW et un poids de 850 kg. Ils sont auto-ventilés; l'air frais est aspiré de l'extérieur par des jalousies ménagées sur chaque côté du véhicule. Un

point délicat pour le moteur monophasé consiste à réaliser une bonne commutation. Après la période de rodage et le ponçage des collecteurs, la commutation est bonne en traction et en récupération.

Nous ne nous arrêtons pas à la description des divers appareils électriques et signalerons simplement que le graduateur de tension est à commande électrique et que les contacteurs sont à commande électro-magnétique.

Une caractéristique de ces automotrices réside dans le dispositif de récupération d'énergie. Le schéma de récupération est tel que les moteurs sont excités séparément à $16\frac{2}{3}$ p/s par un transformateur auxiliaire. Les moteurs ont ainsi une caractéristique dérivation (alors qu'ils travaillent comme moteurs-série dans le régime de traction). La vitesse est pratiquement constante sur une touche déterminée, indépendamment des variations de la pente. Ce couplage est particulièrement avantageux dans le cas d'une longue pente à sens unique. Si, à un changement de pente, par exemple à une entrée en gare en palier, le wattmann ne change pas de touche, le moteur cherche à maintenir la vitesse constante et travaillera même en moteur si cela est nécessaire. Le freinage en récupération peut être utilisé jusqu'à une vitesse de 11 km/h et il s'est révélé utile même sur des pentes de 5‰, plus particulièrement pour les entrées en gare.

On pouvait craindre la difficulté que présenterait pour le mécanicien l'obligation de faire une mise en parallèle chaque fois qu'il passe de traction en récupération. En pratique, la manœuvre est très simple. Le mécanicien quitte la gare avec le couplage traction et dès qu'il arrive sur la pente, avec une vitesse de 30–35 km/h, il ramène son commutateur à gradins à la position zéro. Il prépare son couplage de récupération par le simple déplacement d'une manette puis place le volant de commande du graduateur de tension sur la position 1. Un double voltmètre lui permet alors de lire simultanément la tension du moteur et celle de la prise du transformateur. Le graduateur est ensuite amené sur la position correspondant à la tension du moteur. Dès que l'égalité est obtenue, on ferme le circuit avec la même manette que celle utilisée pour la préparation des circuits de récupération. Le réglage de la vitesse se fait exactement comme en traction, c'est-à-dire que la vitesse augmente avec les gradins du graduateur de tension et vice-versa. Cette mise en parallèle, d'une grande simplicité, s'est révélée très sûre en pratique et n'a jamais donné lieu à des difficultés. L'énergie est récupérée avec un facteur de puissance très voisin de 1. L'effort de freinage est donc porté à la valeur maximum pour l'échauffement normal des moteurs.

Il est intéressant de relever ici que, sur une ligne présentant une longue pente, toujours dans le même sens, la récupération d'énergie à la descente est non seulement avantageuse par l'économie qui en résulte dans l'usure des sabots, mais aussi au point de vue de la consommation d'énergie. Des mesures effectuées sur une longueur de 4,4 km, à 43,6‰, ont montré que l'énergie débitée par les moteurs à la descente représente en moyenne 50,8% de l'énergie absorbée par les moteurs sur le même tronçon à la montée. Ce chiffre s'entend pour le circuit des moteurs, abstraction faite de toute consommation des services auxiliaires. Il est évident qu'en pratique, du fait qu'on ne peut pas toujours freiner seulement par voie électrique, qu'on doit observer un horaire et circuler donc à vitesse variable, le rendement ne sera pas si élevé; il peut être estimé, dans nos conditions, à 30%.

Les autorails $BCe^{2/4}$ ne diffèrent des automotrices $BCe^{4/4}$ que par leurs dimensions plus réduites (voir le tableau dans la description du matériel roulant) et par le fait qu'un seul bogie est moteur. Mais ce bogie et tout l'appareillage électrique sont interchangeables avec les éléments correspondants des automotrices. On s'est efforcé toutefois de supprimer tout ce qui peut gêner la vue à l'intérieur; les parois intérieures sont vitrées et la carrosserie se rapproche très sensiblement de celle de l'autocar, d'où la désignation d'autorails.

Tant les autorails que les automotrices sont pourvus de l'équipement nécessaire à la commande multiple. Des prises à 61 conducteurs relient les circuits de commande des véhicules moteurs. La commande multiple peut se faire aussi bien entre 2 autorails qu'entre un autorail de 300 ch et une automotrice de 600 ch. Quelques voitures à voyageurs sont équipées de prises multiples et de câbles de commande et peuvent être insérées entre 2 véhicules moteurs de façon à former des compositions en navette. La formation normale en commande multiple se compose de deux autorails avec une voiture entre eux, soit au total 140 places assises (voir fig. 10 et 12).

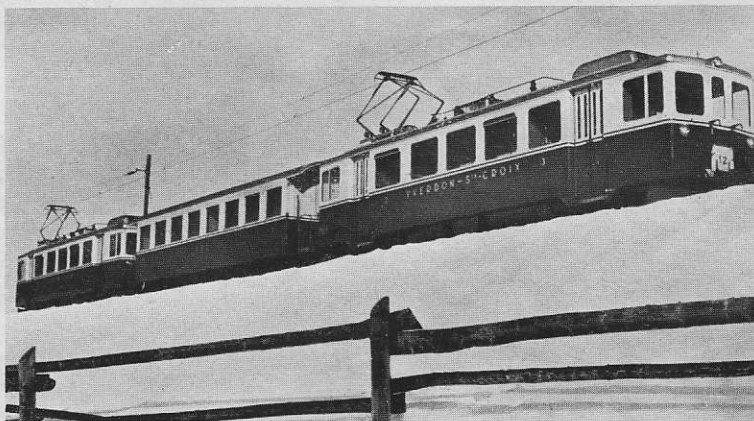


Fig. 10 Composition à commande multiple, avec 2 autorails $BCe^{2/4}$, 15 kV, $16\frac{2}{3}$ p/s

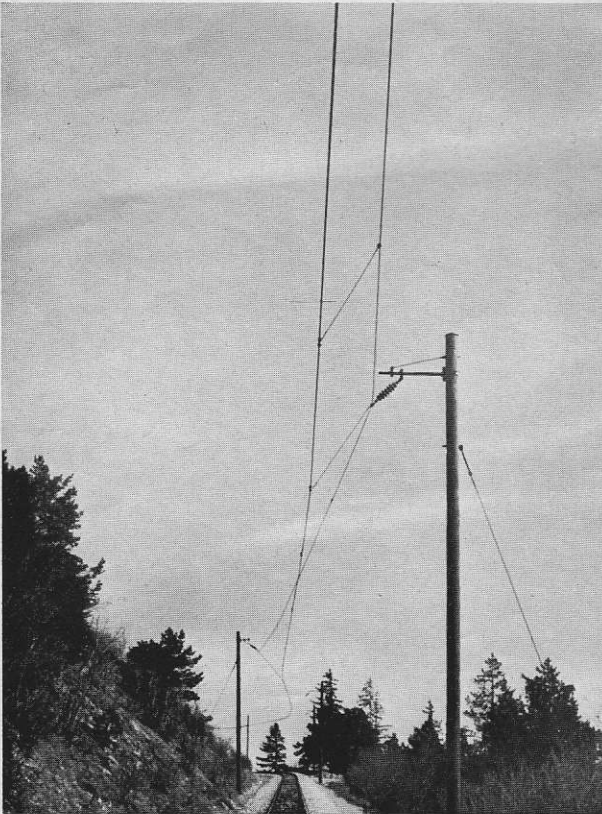


Fig. 11 Ligne de contact à suspension caténaire inclinée, sans retenues latérales

LIGNE DE CONTACT

La pénurie de cuivre qui régnait en 1944 avait conduit à envisager un fil de contact en acier zingué. Par la suite, il fut possible d'obtenir une certaine quantité de cuivre et l'on utilisa du fil bimétallique (44% de cuivre avec un noyau d'acier de 56%). La rigidité du fil d'acier imposait au constructeur des conditions particulières auxquelles il fallait satisfaire en donnant à la ligne une très grande souplesse. C'est pourquoi on adopta un système de suspension caténaire inclinée même dans les alignements.

L'obligation d'utiliser un fil de contact bimétallique (acier-cuivre) posait en effet un problème au constructeur, car il fallait chercher à lutter contre la rigidité du fil en adoptant une suspension particulièrement élastique. Les « points durs » devaient être évités. Ces points durs se rencontrent essentiellement au droit des suspensions verticales et des retenues latérales. La ligne de contact, exécutée par la S. A. Kummler & Matter à Zurich, a été conçue de façon à supprimer toute suspension verticale et toute retenue latérale, en réalisant une suspension caténaire inclinée aussi bien dans les alignements que dans les combes (voir fig. 11). La construction en courbe est connue, mais celle en alignement l'est moins; dans ces tronçons, les poteaux sont placés alternativement à droite et à gauche de la voie et le câble porteur passe ainsi d'un côté à l'autre du tracé. Le fil de contact est suspendu au câble porteur par des sus-

pensions inclinées, puisque les alignements se décomposent en quelque sorte en une succession de courbes à droite et à gauche. Les suspensions tournent autour de leur point d'attache et ne sont pas soulevées verticalement comme dans le caténaire ordinaire où, malgré les précautions prises, elles opposent une résistance. Le soulèvement du fil est beaucoup plus régulier et le contact est partout excellent.

A titre d'exemple, si l'on mesure la hauteur du fil par rapport à un repère fixe sur le toit de l'automotrice, on constate une flèche de 15—20 mm entre deux poteaux distants de 60 m. La tension dans le fil de contact, réglée par des contrepoids, est de 700 kg. Les sections ont environ 1200 m de longueur. L'absence de retenues latérales et la disposition judicieuse des isolateurs au bout des consoles ont eu pour effet d'éviter les courts-circuits provoqués par les oiseaux qui ne peuvent pas se placer entre fil et terre, ni salir l'isolateur en stationnant au-dessus.

Le comportement contre le vent de ce type de ligne sans retenue latérale est bon à condition que le distancement entre poteaux ne dépasse pas 45 à 50 m dans les endroits exposés au vent. A noter que l'alternance des poteaux donne l'impression aux voyageurs que les poteaux sont très éloignés, donc pas gênants pour la vue, ce qui a de l'importance dans le cas particulier, à la partie supérieure de la ligne.

Les sectionnements, réalisés avec le même principe de suspension, donnent un passage excellent d'un fil à l'autre.

Quatre années d'exploitation ont démontré que cette suspension, d'apparence très légère et élégante, répond à toutes les exigences. L'usure pratiquement nulle du fil bimétallique est un facteur fort important, car une fois la couche de cuivre usée sous le fil, on sera obligé de changer le fil, bien que sa section soit encore presque intacte.

INSTALLATIONS ACCESSOIRES

Téléphone

L'ancienne installation téléphonique, dont les fils longeaient la voie a dû être démontée à cause de l'induction dangereuse qui provenait de la ligne de contact à 15 000 V, 16²/₃ p/s. Au lieu de placer un câble coûteux le long de la voie, on a préféré louer aux PTT un circuit à deux fils sur lequel les appareils des gares ont été branchés en parallèle. Mais ce qui est intéressant à noter, c'est que l'appel des stations se fait au moyen d'un système sélectif tel qu'en composant un numéro avec le disque d'appel, on ne déclenche que la sonnerie de l'appareil désiré. L'ancien système avec appel conventionnel, selon le code Morse, a pu ainsi être supprimé.

SIGNAUX

Les signaux d'entrée des gares ont été réalisés par la Compagnie elle-même. L'alimentation est faite par le réseau d'éclairage. Le fonctionnement est le suivant:



Fig. 12 Composition à commande multiple. A l'arrière-plan, le lac de Neuchâtel et les Alpes

le signal ayant été mis sur la position ouverte (vert) pour l'entrée du train, il se produit automatiquement une commutation à la position fermée (rouge) au passage du train et un klaxon retentit dans le bureau du chef de gare qui doit arrêter ce signal acoustique en plaçant la manette de commande sur «rouge». Le schéma est conçu de façon à ne pas avoir d'interruption dans le circuit des relais: une bobine de self est mise en série avec le relais; elle est munie d'un enroulement secondaire à basse tension qui est relié d'une part à un rail isolé et d'autre part à la terre; les essieux court-circuitent cet enroulement ce qui fait baisser l'impédance apparente de la self et provoque le fonctionnement du relais. Ce système s'est révélé parfaitement sûr au cours de 3 ans de service. Les défauts de fonctionnement dus par exemple à une insuffisance de l'isolation du rail (pluie, neige, etc.), sont évités grâce à la faible tension utilisée au rail, tandis que le passage des essieux garantit une mise en court-circuit de l'enroulement secondaire de la self. Le fonctionnement a été aussi sûr avec le rail isolé qu'avec une simple pédale à ressort.

En cas de disparition momentanée de la tension du réseau d'alimentation des signaux, ces derniers sont commutés de façon à reprendre obligatoirement et

automatiquement la position rouge au moment du retour de la tension. Le klaxon retentit et attire l'attention de l'agent de service.

Toutes les lanternes d'aiguilles, les signaux de ralentissement, les signaux «Sifflez», etc., ont été exécutés avec du Scotchlite, produit réfléchissant dont les avantages sont bien connus.

La traction électrique a été introduite sur la ligne d'Yverdon à Ste-Croix le 25 janvier 1945. Le matériel a répondu aux conditions imposées aux constructeurs et il a assuré dès lors un service serré puisque les automotrices ont parcouru chacune près de 200 000 km, à l'heure actuelle. La traction en courant monophasé peut donc être appliquée avec autant de succès à une exploitation secondaire et avec des véhicules de 600 et 300 ch que sur les réseaux principaux à voie normale. Malgré le poids plus grand de l'appareillage électrique, la dépense en énergie électrique reste très réduite et s'élève en chiffre rond à 500 000 kWh par année pour un trafic moyen de 10 000 000 tkm sur une ligne à forte rampe. La consommation moyenne (montée-descente), compte tenu de la récupération, du chauffage des services auxiliaires, s'élève ainsi à 50 Wh/tkm, valeur peu élevée pour une ligne aussi accidentée.

Extrait du fascicule No. 5-6/1949 «ECONOMIE ET TECHNIQUE DES TRANSPORTS»
numéro spécial du XXVIII^e Congrès International des Transports Publics (U. I. T.), Stockholm

EDITIONS A. GROB S. A. — ZÜRICH