L'ouvrage est fermé de toutes parts, on peut cependant y pénétrer par une trappe en tôle emboutie ménagée à la partie supérieure et fermée au moyen de deux cadenas différents dont les clefs ont été remises respectivement aux deux parties de telle sorte que la trappe ne puisse être ouverte qu'avec leur consentement mutuel. Une couche de terre gazonnée recouvre l'ensemble.

Les dépenses ont atteint le chiffre de 12 200 francs. Il est considérable eu égard à l'importance des travaux exécutés qui comprennent environ 60 mètres cubes de maçonnerie ou de béton et 1 600 kilos de fer ou d'acier. Pour s'expliquer l'élévation des dépenses, il faut retenir que les conditions d'exécution étaient absolument anormales et différentes de celles que l'on est habitué à rencontrer.

Ainsi le ciment qui vaut dans la vallée de l'Isère environ 4 ou 5 francs les 100 kilos (suivant la qualité) revenait à pied d'œuvre à 17 ou 18 francs ; l'on en a employé 22 000 kilos ; il a fallu créer le chemin d'accès ; les terrassements et autres travaux étaient payés à l'heure, aucun entrepreneur n'ayant voulu se charger à prix fait de travaux aussi exceptionnels et, comme les déblais comportaient l'extraction de blocs de rocher volumineux et l'emploi de la mine, le travail quotidien, malgré la surveillance organisée, n'était pas considérable ; les manœuvres étaient payés 0 fr. 50 l'heure, les mineurs 0 fr. 60, les maçons 0 fr. 70, la journée d'un mulet 12 francs. Le mètre cube de maçonnerie au ciment est revenu à 150 francs ; à titre de comparaison l'on peut compter qu'une maçonnerie semblable dans la plaine de Grenoble aurait coûté environ 50 francs, les transports à 2 300 mètres d'altitude ont donc triplé le prix de revient ; la majoration aurait été encore plus forte s'il avait fallu remonter de la vallée de l'Isère le sable comme le ciment (1), mais l'on a pu fort heureusement trouver sur place un sable à peu près satisfaisant ainsi que le gravier pour béton et la totalité de la pierre.

L'exemple de l'ouvrage du partage des eaux montre dans quelle proportion les conditions économiques du travail se modifient avec l'altitude et la distance aux centres d'approvisionnement, il ne paraît pas sans quelque intérêt à une époque où les constructions en montagne se multiplient (refuges alpins, prises d'eaux industrielles, ouvrages militaires, etc.) et nous espérons que l'exposé qui vient d'en être donné pourra peut-être quelquefois être consulté avec fruit.

Depuis sa construction qui remonte à quatre ans aujourd'hui, l'ouvrage n'a éprouvé aucune avarie et il semble permis d'espérer que, moyennant un léger entretien, notamment la visite et la peinture périodiques des fers, il pourra se maintenir dans des conditions satisfaisantes.

Grenoble, le 20 novembre 1898.

R. DE LA BROUSSE,

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

(1) Dans la construction du fort du Saint-Eynard (1 300 m. d'altitude), l'on a dû payer 30 francs le mètre cube de sable remonté de la vallée de l'Isère où il vaut couramment 3 francs.

Chemin de fer Électrique Montreux-Oberland Bernois

Dans son important article sur le chemin de fer électrique de la Valteline (1), M. Courbier nous montrait, par un exemple devenu classique, le courant triphasé triomphant du courant continu qui jusqu'alors avait été presque exclusivement employé pour la traction électrique. Nous avons cru intéressant de décrire ici l'installation du chemin de fer électrique Montreux-Oberland Bernois où, après une étude approfondie, le courant continu a été préféré malgré la longueur assez grande du parcours (62 kms de Montreux à Zweisimmen) et malgré la puissance assez considérable des automotrices (160 HP pour les anciennes et 260 HP pour les nouvelles).

Avec le triphasé on a bien l'avantage très appréciable d'avoir automatiquement, en rampe comme en palier, une vitesse des trains à peu près constante sans recourir à un freinage mécanique et d'éviter ainsi dans les descentes une grande usure des bandages et des sabots. Cet avantage n'est certes pas à dédaigner pour un chemin de fer présentant de longues et fortes rampes, comme c'était le cas.

Un autre avantage des moteurs à courant triphasé réside dans la disparition du collecteur, point délicat des moteurs à courant continu, avantage qui maintenant est en somme assez faible car on arrive très bien, à l'heure actuelle, avec une construction soignée et un moteur bien étudié, à établir des collecteurs pouvant fournir un long et pénible service.

Fig. 1. — Profil en long de la ligne.

Il est en outre possible, avec le triphasé, de restituer aux descentes, lorsque les moteurs tournent au-dessus du synchronisme, une partie de l'énergie à la station génératrice ; mais le principal avantage du triphasé se trouve dans les stations de transformation devenues infiniment plus simples, d'un prix d'établissement bien inférieur et d'un entretien très réduit, une surveillance permanente n'étant pas nécessaire.

Enfin, comme pour le chemin de fer de la Valteline et la ligne d'essai de Marienfeld à Zossen, l'emploi pratique de la haute tension directement dans les voitures permet, pour les lignes de long parcours, une réduction importante des frais d'établissement par la diminution du poids de cuivre des conducteurs et la suppression ou le plus grand espacement des sous-stations, tout en permettant l'emploi de locomotives de grande puissance.

Malgré ces avantages, les conditions locales ont fait préférer le courant continu à la tension de 750 volts pour le chemin de fer de Montreux-Oberland Bernois.

Les fortes variations du profil en long auraient exigé pour les moteurs triphasés l'adoption de deux vitesses différentes : soit en couplant deux moteurs en cascade, ce qui aurait donné un rendement assez médiocre à moins d'employer comme à la Valteline une faible fréquence ; soit en faisant varier le nombre des pôles des moteurs, mais on tombait alors dans une très grande complication

(1) Voir *La Houille Blanche* d'octobre 1903.

annulant toute la simplicité offerte par l'équipement à courant triphasé.

Les moteurs à courant continu en série conviennent bien mieux que ceux à courant triphasé sur les profils présentant de fortes rampes, car leur vitesse variant en sens inverse de l'effort de traction qu'ils ont à fournir la puissance qu'ils absorbent est beaucoup plus constante, et ils n'exigent pas de la station génératrice, comme les moteurs triphasés, une puissance considérable pour gravir les fortes rampes. D'autre part, une baisse de tension n'a d'autre effet sur eux que de ralentir un peu leur vitesse, tandis que pour les moteurs triphasés le courant absorbé augmente très rapidement d'intensité pour compenser la

possibilité de réparer en marche la ligne à courant continu en ayant soin d'isoler simplement l'ouvrier de la terre, il est certain que la faculté de pouvoir rattraper facilement les retards avec les moteurs à courant continu en augmentant leur vitesse, constitue un avantage qui, dans le cas actuel, avait bien son intérêt, cette ligne étant appelée à un trafic considérable et très variable suivant les saisons et les conditions climatiques.

Le chemin de fer de Montreux-Oberland Bernois relie par un tracé des plus pittoresques Montreux à Zweisimmen en passant par Les Avants et Montbovon (1).

La longueur totale de son parcours est de 62,14 kilomèt.

Fig. 2. — TRAIN PRÈS DE LA STATION DE CHATELARD.

diminution de puissance que produit sur eux une baisse de tension (1). Le moteur peut même décrocher si la diminution de tension est trop considérable. Or c'est précisément au moment où le train s'engage sur une rampe, et exige par suite plus de puissance, que l'appel énorme de courant qui se produit alors entraîne une chute de tension.

L'emploi d'une forte batterie d'accumulateurs permet en outre avec le continu de constituer une réserve importante pouvant parer aux surcharges et rendant la puissance fournie par l'usine génératrice à peu près constante. Ce fut certainement un des avantages qui a influencé le plus dans le choix du courant.

Enfin, sans parler de la supériorité du continu sur le triphasé pour la ligne de trolley, bien plus simple à établir surtout pour les aiguillages et les croisements, et de la

Par la ligne de Spiez-Erlenbach-Zweisimmen, qui à cette dernière station se raccorde avec la ligne que nous décrivons, on peut à l'heure actuelle communiquer directement de Montreux avec Thoun, c'est-à-dire du fond du lac Léman avec cette magnifique contrée de l'Oberland; on a ouvert ainsi un passage rapide et agréable aux nombreux touristes attirés chaque année par la beauté de ces régions.

(1) Le chemin de fer électrique de la Gruyère dont les stations terminus sont à Palézieux et à Montbovon, traverse toute la riante contrée de la Gruyère en passant par Bulle et Châtel-Saint-Denis. Sur les 46,600 kms de son parcours on est loin de rencontrer les difficultés qui donnent à celui de Montreux un si grand intérêt. La rampe maximum est de 32,1 ‰ et dans les courbes le rayon le plus faible est de 100 mètres.

Par le mode employé pour la distribution de l'énergie électrique (courant continu à 750 volts et prise de courant par archet), par la construction de la voie et par la disposition du matériel roulant,

(1) On sait que pour une même intensité la puissance d'un moteur triphasé est proportionnelle au carré de la tension.

A Montbovon (1), d'autre part, vient se souder la ligne du chemin de fer électrique de la Gruyère et à la station de Chamby un embranchement descend jusqu'à Vevey, mettant cette ville particulièrement industrielle en rapport direct avec la ligne de Montreux-Oberland Bernois.

Le coût de la ligne Montreux-Zweisimmen a été estimé à 13 050 000 fr., dont 5 900 000 pour la partie Montreux-Montbovon qui a 22,14 kms (soit 267 000 fr. le km), et le reste, soit 7 150 000 fr., pour le tronçon Montbovon-Zweisimmen qui a 40 kms (soit 178 800 fr. le km.).

Le premier tronçon est relativement plus cher que l'autre, à cause des nombreux travaux d'art, du transport difficile des matériaux, et du percement de plus de 3 000 ms de tunnels.

Le capital a été souscrit en actions comme il suit :

Dans le canton de Vaud.

Subvention de l'Etat.....	Fr. 1 073 600
Communes, particuliers.....	» 2 224 000

3 297 600

Dans le canton de Fribourg.

Subvention de l'Etat.....	Fr. 300 000
---------------------------	-------------

Dans le canton de Berne.

Subvention de l'Etat.....	Fr. 2 800 000
Communes, particuliers....	» 542 500

3 342 500

Soit, au total, pour les actions, un capital de Fr. 6 940 100

Fig. 3. — DISPOSITION DE LA CAISSE DES VOITURES AUTOMOTRICES.

il ressemble beaucoup au chemin de fer que nous décrivons et, comme lui d'ailleurs, a été entièrement établi pour toute la partie électrique par la Société Alioth.

L'usine hydro-électrique de Montbovon, avec celle d'Hauterive comme secours, l'alimente en énergie par du courant triphasé à 8 000 volts transformé en continu dans les quatre sous-stations de Châtel-Saint-Denis, Semsales, Albeuve et Bulle. Chacune de ces sous-stations renferme trois groupes moteurs-générateurs, dont un de réserve, et une batterie d'accumulateurs. Dans les trois premières la puissance de chacun des groupes est de 70 kws, dans celle de Bulle elle atteint 170 kws.

Les voitures automotrices sont actionnées chacune par 4 moteurs de 35 HP pour les anciennes et par 4 moteurs de 80 HP pour les nouvelles. Ces dernières sont destinées à former les unités motrices de grands trains pesant jusqu'à 130 tonnes et pouvant gravir la rampe de 32 ‰ à la vitesse de 17 kms à l'heure. L'équipement et la construction de ces voitures sont semblables à ceux des automotrices du chemin de fer de Montreux.

Le capital souscrit en obligations réalisant une somme de 6 300 000 a été souscrit par un consortium de banques baloises, bernoises, genevoises et vaudoises.

Le capital réuni pour la construction du chemin de fer était donc de Fr. 13 240 100.

Le chemin de fer de Montreux est remarquable surtout par les difficultés que les ingénieurs eurent à surmonter pour construire et placer sur les automotrices, roulant sur des voies n'ayant qu'un mètre d'écartement, des moteurs suffisamment puissants pour faire gravir à des trains assez lourds la rampe du tronçon Montreux-Montbovon qui, pendant 13 kms, reste constamment entre 60 et 67 ‰ et nécessite dans tout ce parcours une puissance de 210 à 230 HP. Il a été fait entièrement pour la partie électrique par la Société d'électricité Alioth qui, dans nos régions, avait déjà eu du succès au chemin de fer du Fayet-Chamonix où elle avait fourni tous les moteurs.

C'est cette Société aux usines si importantes de Lyon, et surtout de Munchenstein, près de Bâle, qui a bien voulu nous fournir les renseignements nécessaires à la composition de cet article.

Toute l'infrastructure et la superstructure de la ligne, y compris les travaux d'arts, ont été confiées à l'entreprise générale de MM. Boyaux et C^o, à Montreux.

On peut diviser la ligne de Montreux à Zweisimmen en deux tronçons. Celui de Montreux à Monthovon dont la partie Montreux-Les Avants a été la première ouverte au trafic, le 17 décembre 1901, et celui de Monthovon à Zweisimmen. Le point culminant de toute la ligne est placé dans le second tronçon à 1 280 ms d'altitude. Dans le tunnel

avec un débit de 6 m³ possède quatre unités de 1 200 HP et deux de 600 HP ; celle d'Hauterive avec une chute de 57 ms et un débit de 22 m³ pourra donner 12 000 HP.

Le courant triphasé est produit directement par les alternateurs à la tension de 8 600 volts composés et à la fréquence de 50 périodes.

Le cadre de cet article ne nous permet pas de nous étendre davantage sur ces deux importantes installations. Conçues d'après les données et les exigences les plus modernes, elles ont été entièrement exécutées par la Société d'Electricité Alioth, ainsi non seulement l'installateur de toute la partie électromécanique du chemin de fer mais encore des centrales qui l'alimentent de courant.

Fig. 4. — VUE D'UNE VOITURE AUTOMOTRICE.

de Jaman, le plus long de tout le parcours avec ses 2 450 ms de longueur, se trouve à l'altitude de 1 115 ms le point le plus élevé du premier tronçon (1).

Le tableau placé à la fin de cet article donne les caractéristiques importantes de la ligne ; nous nous bornerons ici à décrire en détail la partie Montreux-Les Avants qui est la plus intéressante et celle qui a présenté le plus de difficultés techniques à résoudre.

L'énergie nécessaire à la traction pour toute la ligne est fournie par l'usine électrique de Monthovon à laquelle, en cas de nécessité, celle d'Hauterive sert de secours. Ces deux usines fournissent également l'énergie au chemin de fer de la Gruyère.

L'usine de Monthovon alimentée par une chute de 67 ms

Le courant triphasé pour être transformé en continu à 750 volts est envoyé dans les sous-stations de Chamby, Monthovon, Rougemont et une quatrième au km 57,5.

Chacune de ces sous-stations comprend trois groupes moteurs génératrices de 140 à 170 kws chacun et une batterie d'accumulateurs de 300 à 400 ampères-heure.

En parlant du tronçon Montreux-Les Avants, nous décrivons en détail celle de Chamby.

TRONÇON MONTREUX-LES AVANTS

Tracé et infrastructure de la ligne. — Le tronçon Montreux-Les Avants comporte des courbes d'un rayon minimum de 40 ms. Le maximum de pente y atteint 67 ‰ et se présente presque continuellement. Aussi sur les 10 kms 9 de longueur de cette partie de ligne la pente moyenne atteint 54 ‰. Pour un chemin de fer à simple adhérence c'est une moyenne extraordinaire et ce chiffre explique

(1) La station de Montreux est à 398 ms au-dessus du niveau de la mer, la gare des Avants à 974 ms, celle de Monthovon à 800 ms, et enfin celle de Zweisimmen à 945 ms.

les conditions anormales et les grandes difficultés dont on a déjà parlé.

La conduite du tracé sur les escarpements compris entre Montreux et la coupure des Avants présentait de sérieuses difficultés pour un chemin de fer à adhérence nécessitant un grand développement pour franchir une différence de niveau de près de 600 ms. Ces difficultés étaient encore accrues par la nécessité de desservir convenablement les villages situés sur ces pentes tout en réduisant le plus possible la longueur du tracé pour diminuer les expropriations dans des vignobles de grande valeur. En outre, entre les stations les plus éloignées, il fallait autant que possible prévoir de courtes parties de ligne à faible pente pour que, si un train devait éventuellement s'arrêter en route, il pût reprendre sa vitesse sans causer de trop grands à-coups de courant dans les moteurs et les génératrices.

Fig. 5. — Tracé de la ligne entre Montreux et Les Avants.

Cette partie Montreux-Les Avants a nécessité deux tunnels en hélice d'une longueur respective de 185 et 138 ms, un viaduc de 9 arcs près de Montreux, trois plus grands en courbe et six plus petits au-dessous des Avants, enfin quelques ponceaux et un grand nombre de murs de soutènement.

Les parois des tranchées, qui ont un fruit de 1/5, sont distantes l'une de l'autre de 4^m50 au niveau des traverses.

Les poteaux sont disposés de façon que, même en courbe, il y ait entre eux et la caisse des voitures un espace libre d'au moins 70 cms.

Le tracé est indépendant sur toute la longueur de la ligne.

Les stations de croisement sont Fontanivent, Chernex et Chamby. Leur jonction a été déterminée en considération de l'horaire graphique.

Superstructure. — La voie ferrée dont l'écartement est de 1 mètre est formée de rails d'acier du type Vignole, d'une longueur moyenne de 10^m5 et pesant 24 kgs 3 le mètre courant. Ils reposent sur des traverses en fer aux extrémités légèrement inclinées dont on fait en Suisse un assez fréquent usage.

Longues de 1^m67 et pesant 35 kgs 5, ces traverses sont au nombre de 12 par longueur de rail dans les alignements et de 13 dans les courbes, ce qui représente des écartements respectifs d'axe en axe des traverses de 91 et 83^{cm}5 environ.

L'écartement des traverses aux joints des rails est de 50 cms.

Pour obtenir une meilleure stabilité de la superstructure, les traverses sont, dans les courbes, recouvertes de ballast jusqu'au champignon des rails. Ce système cependant n'a pu être appliqué qu'en partie, car dans le tronçon Chamby-Les Avants, les abondantes et fréquentes chutes de neige en hiver nécessitent pour le passage du chasse-neige un parfait dégagement des rails.

Dans les courbes de 50 ms de rayon et au-dessous on a donné aux rails un surécartement de 20 mms et exceptionnellement de 24 mms. Dans ces courbes, le devers de niveau des rails atteint 70 mms ce qui suppose une vitesse maximum de 24 kms à l'heure.

Entre deux courbes de sens opposé on a intercalé un alignement de 10 mètres au moins.

Etant donné le poids assez considérable des voitures, les fortes rampes presque continues pendant tout ce tronçon, les courbes de petit rayon et la nécessité d'assurer au joint des rails un éclissage électrique durable et parfait, on a dû veiller tout particulièrement à la solidité et à la stabilité de la superstructure de la voie.

Ligne de contact et feeders d'alimentation. — L'emploi d'un rail de contact avait été étudié d'une façon approfondie, mais les abondantes chutes de neige dans cette région pendant la longue durée de l'hiver lui ont fait préférer la ligne de contact aérienne.

Cette ligne qui est formée de deux fils de cuivre de 8 mms de diamètre est construite pour prises de courant par archet. Elle est disposée alternativement de part et d'autre de l'axe de la voie afin de répartir uniformément l'usure sur toute la partie frottante de l'archet. Cette partie, longue de 1^m25, est constituée par une épaisse barre d'aluminium facilement renouvelable.

La ligne de contact étant double et chaque automotrice pourvue de deux archets, le courant arrive ainsi à la voiture par quatre points à la fois, avantage très important dans le cas actuel où l'intensité réclamée par les moteurs est souvent considérable. Avec l'archet, en outre, la construction des croisements est simplifiée et les manœuvres dans les gares rendues plus faciles, l'archet se retournant de lui-même chaque fois que l'on change de sens de marche.

Les poteaux de la station de Montreux sont en fer et espacés le plus possible, pour ne pas trop nuire à l'esthétique du milieu. Les poteaux en bois sont employés sur la ligne en pleine voie, où la hauteur des fils de contact au-dessus du champignon des rails est de 4^m8 et atteint 6 ms dans les haltes, les croisements et les passages à niveau.

Dans les tunnels où la clef de voûte est de 4^m45 au-dessus du niveau supérieur des rails, la ligne de contact a dû être abaissée à 4^m15 et même 3^m95, afin que dans les tunnels présentant des courbes de petit rayon l'archet, qui est alors presque horizontal, ne vienne pas frotter contre les parois de la voûte.

L'effort exercé par l'archet sur la ligne atteint, dans ce cas, 3 kgs 5, ce qui, quoique acceptable, est assez élevé.

Le montage de la ligne aérienne constitue certainement un des travaux les plus difficiles de ce genre. En plusieurs endroits, le terrain présentait des difficultés considérables pour la pose des poteaux. Les courbes multiples et le grand déplacement latéral de l'archet dans ces courbes ont nécessité un nombre relativement considérable de poteaux, de supports, d'ancrages et de fils auxiliaires, pendant que les rampes fortes et continues obligeaient de faire traîner le char de montage par des chevaux.

Des interrupteurs partagent la ligne en tronçons de 1 km 5 et sont d'une grande utilité en cas de réparations urgentes. Tous sont toujours fermés, sauf ceux de Chamby.

Des parafoudres à cornes, en aussi grand nombre que les interrupteurs, préservent la ligne.

Le retour du courant se fait par les rails dont la section de 3120 mm² offre au courant un passage encore moins résistant que la ligne aérienne. L'éclissage électrique est assuré par le système Harald Brown, consistant à mainte-

Ligne à haute tension reliant l'usine génératrice de Montbovon à la sous-station de Chamby. — Cette ligne a une longueur de 14 kms environ. Elle est constituée par 3 fils de 6 mms de diamètre, montés sur isolateurs et poteaux en bois. Les isolateurs sont à une distance verticale de 25 cms les uns des autres et sont disposés en triangle. L'écartement moyen des poteaux est de 35 ms.

Cette ligne offre un intérêt tout particulier, parce qu'elle traverse le col de Jaman, dont l'altitude est de 1550 ms environ et qui est couvert, pendant l'hiver, de masses de

Fig. 6. — INTÉRIEUR DE LA SOUS-STATION DE CHAMBY.

nir par des anneaux élastiques et des brides un amalgame de haute conductibilité sur les extrémités des rails préalablement nettoyées à l'émeri.

Tous les 200 mètres un fil de cuivre soudé aux deux rails les relie transversalement.

Sur la partie Chatelard-Chamby seulement, on a ajouté aux rails un conducteur de retour d'une section de 150 mm² et monté sur les poteaux du feeder d'alimentation.

Le section du feeder d'alimentation a été déterminée pour que deux trains de 40 tonnes chacun, montant de Montreux vers Chamby à 12 minutes d'intervalle, ne produisent qu'une chute de tension de 18 à 20 % au maximum. Ces conditions ont nécessité une section de 250 mm² jusqu'au Chatelard et de 125 mm² de ce point à Montreux, y compris le conducteur de contact de 100 mm². Les lignes de contact et d'alimentation sont reliées tous les 200 ms

neige considérables. Aussi, depuis octobre jusqu'en mai, la visite de la ligne est très difficile. Jusqu'à présent, cependant, ces conditions n'ont pas eu d'inconvénients.

Des parafoudres sont placés sur la ligne, tant à la sortie de l'usine génératrice qu'à l'entrée de la sous-station; ces derniers sont des parafoudres à cornes. Les parafoudres des stations génératrices sont à courant d'eau, ce qui équilibre les différences statiques mais conduit, il est vrai, à une certaine perte de courant.

Dans la sous-station, en plus des parafoudres à cornes se trouvent des parafoudres système « Alioth ». Ces appareils, pendant les violents orages de ces derniers étés, ont été soumis à de sévères épreuves où ils se sont montrés d'un effet aussi prompt qu'absolument sûr.

Sous-station de Chamby. — L'emplacement de cette sous station à 7 kms 2 de Montreux, a été adopté parce qu'il

permet d'abord de réduire au minimum la longueur du feeder d'alimentation se dirigeant vers Montreux, en coupant en ligne directe les grands lacets de la ligne Chamby-Montreux, et qu'il se trouve ensuite à proximité de l'endroit où s'adoucit la forte montée derrière Les Avants.

Fig. 7. — Caractéristiques d'un groupe transformateur de courant.

Les génératrices sont montées sur isolateurs et entourées d'un plancher isolant pour préserver le personnel. Elles sont excitées en dérivation.

Le manchon d'accouplement à courroie est élastique et isolant ; cette courroie est calculée de façon à céder à un à-coup trop violent (court-circuit, etc.), afin de préserver la machine.

L'enroulement du rotor des moteurs asynchrones comporte des bagues de démarrage avec un dispositif permettant de les mettre en court-circuit. L'enroulement du stator à 8000 volts est logé dans des tubes en micanite dont l'isolement a été éprouvé au triple de la tension normale. Suivant l'habitude de l'usine Alioth, l'enroulement lui-même a été essayé à la masse au double de sa tension normale, c'est-à-dire à 16000 volts pendant 10 minutes.

Les dynamos permettent un fonctionnement sans étincelles et sans décalage des balais entre les limites de la marche à vide et de celle à pleine charge à 750 et 1000 volts.

Pour atteindre ces résultats avec un prix de revient raisonnable, il a fallu réaliser les conditions suivantes : petit nombre de pôles, champ magnétique intense, induit extrêmement réduit dans ses dimensions et ventilation naturelle excellente.

Les génératrices sont à carcasse en acier portant 6 pôles venus de fonte, sur lesquels sont vissées les pièces polaires. Le diamètre de l'induit est de 1000 m/m et celui du collecteur de 480 mms.

Elles supportent sans la moindre difficulté, comme l'usage l'a confirmé, des surcharges pouvant s'élever à 170 kws. Aussi, dans l'exploitation du tronçon Montreux-Les Avants, il n'a pas été jusqu'ici nécessaire, sauf dans les cas tout à fait exceptionnels, de mettre simultanément en service plus d'un groupe de machines, celui-ci aidé de la batterie d'accumulateurs pouvant actionner à la fois deux trains complètement chargés.

Fig. 8. — SCHÉMA DES CONNEXIONS DES NOUVELLES VOITURES AUTOMOTRICES.

Les groupes de commutation sont, au Chamby, au nombre de trois, formés chacun d'un moteur asynchrone triphasé de 210 HP fonctionnant directement à 800 volts composés et entraînant, par un manchon d'accouplement à la vitesse de 430 tours, une génératrice à courant continu de 140 kws pouvant donner, sous 750 et 1000 volts, respectivement 187 et 140 ampères.

Ajoutons que la capacité de la sous-station de transformation normalement surchargée, en donnant 670 kws sans le groupe de réserve, permet la montée simultanée sur ce tronçon de quatre trains complets composés chacun de deux voitures. On peut transporter ainsi, en même temps, 450 personnes dans la direction des Avants, en supposant toutefois que deux trains se trouvent au-dessus et deux

au dessous de Chamby, se succédant à 12 minutes d'intervalle.

Sans compter qu'étant possible à la descente d'augmenter sans inconvénient le nombre normal de voitures par train, et en admettant le même nombre de trains normaux dans le sens Les Avants-Montreux, on peut arriver au transport simultané de 900 personnes.

Pour suppléer ou venir en aide aux groupes de transformation, dans le cas d'interruption de courant primaire ou d'affluence extraordinaire de voyageurs et pour parer aux brusques démarrages, on a installé dans deux salles superposées une puissante batterie d'accumulateurs.

Cette batterie, fournie par la fabrique de Marly (Suisse), est du système Pollak. Formée de 360 éléments, elle offre une capacité de 368 ampères-heure et peut se décharger en une heure. Les éléments, montés sur un même plau, sont placés dans des locaux bien éclairés et bien ventilés, où tout a été combiné pour faciliter les visites et l'entretien, point capital pour assurer à toute batterie d'accumulateurs une longue durée.

La batterie a déjà rendu de grands services en facilitant la visite de la ligne primaire, et en aidant à réduire d'une manière très appréciable le prix de l'énergie.

Il n'y a pas de réducteur sur la batterie, celle-ci étant couplée directement aux dynamos. Lorsque la tension aux bornes des dynamos vient à baisser par suite d'une demande de courant un peu importante, la batterie, en charge jusqu'alors, entre en action et travaille en parallèle avec génératrices dont la puissance peut les rester ainsi à peu près constante.

Le schéma que nous donnons de la sous-station nous dispensera de décrire le tableau de distribution où l'on rencontre tous les appareils usuels : interrupteurs à huile, disjoncteurs à maxima et à minima, etc.

L'éclairage de la sous-station est réalisé par des lampes dérivées sur des groupes de 60 éléments environ de la batterie. Un tableau spécial permet d'égaliser successivement la charge des différents groupes. Les conducteurs de lumière isolées à l'okonite sont placés dans les murs.

Enfin un pont roulant de 5 tonnes permet de faciliter les réparations éventuelles.

Matériel roulant. — La partie la plus intéressante de toute l'entreprise est celle relative à l'agencement électrique du matériel roulant.

Les exigences du tracé ont fait abandonner dès le début l'emploi de locomotives électriques proprement dit, comme par exemple celles du chemin de fer d'Orléans.

Les fortes rampes du parcours auraient exigé en effet un poids considérable des locomotives pour déterminer une adhérence suffisante à la remorque d'un convoi un peu chargé, d'où consommation importante d'énergie et la grande variation du trafic de cette ligne fréquentée surtout par des touristes aurait obligé souvent une locomotive puissante à ne remorquer qu'une voiture parfois presque vide.

Les voitures automotrices permettent par contre aux heures de peu d'affluence de ne faire circuler qu'un seul

véhicule à la fois, et aux moments de presse, le poids des voyageurs augmentant l'adhérence de l'automotrice lui permet de remorquer avec plus de sécurité des véhicules supplémentaires.

Les voitures automotrices en service sont de deux types : les unes avec un compartiment pour les bagages et la poste, les autres sans compartiment postal. Dans la largeur des véhicules sont ménagées quatre places et un couloir central. Elles peuvent contenir 52 à 56 voyageurs.

Ces voitures sont montées sur bogies. Pour pouvoir passer par les plus petites courbes du tracé qui ont 40 m. de rayon, et ne tolérer qu'un jeu latéral de 20 mm, on a trouvé que l'empattement d'essieux des bogies ne pouvait

Fig. 9. — MOTEUR DE 65 CHEVAUX, OUVERT.

dépasser 1^m95. Quand la limite maximum de cet empattement n'est pas fixée par le faible rayon des courbes, il est naturel de tenir cette longueur aussi grande que possible pour augmenter la stabilité et faciliter la construction et la mise en place des moteurs. Dans le cas présent on a dû réduire l'empattement à 1^m90 pour pouvoir franchir les courbes à la vitesse maximum, et même dans les nouvelles voitures on a pu arriver à réduire cet empattement encore de 10 cms.

Les voitures sont toutes munies d'un tampon central à fourchette et d'un accouplement central formé par une chaîne à vis. Un câble d'acier offrant une résistance à la rupture de 18 000 kgs a été ajouté comme secours.

Moteurs et équipement électrique. — Les quatre essieux sont commandés chacun par un moteur de 40 HP pour les anciennes voitures et de 65 HP pour les nouvelles.

Les moteurs qui sont suspendus par le nez sont placés à l'intérieur des bogies, c'est-à-dire entre les deux essieux. Cette disposition, tout en empêchant les bogies de basculer, diminue le moment de la force qui agit dans les courbes pour presser les bandages des roues contre les rails. On obtient ainsi une marche sans à-coups qui ménage énormément la superstructure et le véhicule.

Chaque moteur attaque son essieu par un engrenage droit, présentant un rapport de réduction de 1 : 4,85 pour les anciennes voitures et de 1 : 4,33 pour les nouvelles.

Les moteurs devaient réaliser les conditions suivantes : Sur une rampe de 67 ‰, un train de 41 tonnes devait marcher à la vitesse de 18 à 19 kms à l'heure. En palier, un train de 52 tonnes devait atteindre la vitesse de 36 kms. Sur les faibles pentes, à la vitesse de 40 kms, le moteur ne devait pas faire plus de 1 100 tours à la minute pour éviter les effets de la force centrifuge sur les induits.

Sur une rampe de 67 ‰ le poids à déplacer atteignant

Les nouveaux moteurs sont capables de fournir, comme l'ont montré les essais, un travail consécutif durant un temps de 3 heures 1/4 :

La première heure..... 57,5 kws = 75 HP
La deuxième — 37,5 kws = 51 HP
La 3^e + 15 minutes..... 47 kws = 64 HP

La température des enroulements ne dépassant pas 47° au-dessus de l'ambiante, le moteur pourrait donc bien marcher encore une heure de plus sans atteindre une température dangereuse. Le collecteur fonctionne parfaitement sans étincelles. Ces résultats ont dépassé les exigences du cahier des charges.

Ces nouveaux moteurs sont bobinés pour 750 volts. Leur isolement est réalisé avec un soin tout particulier. Pour éviter que des étincelles ne sautent des balais à la paroi de la carcasse, l'intérieur de la carcasse est garni d'isolant du côté du collecteur. Les porte-balais sont doublement isolés de la carcasse.

Les bobines inductrices sont, en plus de l'isolement ordinaire, entourées de toile isolante et séparées de la carcasse et des pièces polaires lamellées par une couche de carton isolant comprimé.

Pendant les essais les moteurs ont été soumis, aussitôt après 3 heures de marche, à une tension alternative de 2 000 volts.

Toutes les bobines sont rapidement et facilement interchangeables, la carcasse du moteur pouvant être ouverte. Les prises de courant au collecteur sont constituées par deux balais de trois charbons qui fonctionnent indépendamment les uns des autres. On a pu éviter de cette façon la formation d'étincelles au collecteur qui présente une grande largeur.

Le collecteur comprend 185 lames dont l'isolement est excessivement soigné.

Grâce à son mode de fabrication cet organe n'a rien à redouter, même des hautes températures.

Le poids du moteur atteint 1 360 kgs sans le jeu d'engrenages.

Dans les premières voitures automotrices les moteurs sont groupés deux par deux en série et chacun d'eux travaille donc à la moitié de la tension, c'est-à-dire à 375 volts. Ces groupes peuvent être mis à leur tour en série. Dans ce dernier cas, la tension aux bornes de chaque moteur n'est donc que le quart de 750 volts. La première disposition (parallèle) correspond à la pleine vitesse et la seconde (série) à la demi-vitesse.

Dans les nouvelles voitures, les connexions des moteurs avec le contrôleur sont telles que dans la première position les moteurs sont en série deux par deux, et dans la deuxième ils sont tous les quatre en parallèle.

Pour obtenir la grande variation de vitesse que doivent présenter les moteurs on a prévu pour la dernière position (parallèle directe) un shuntage du champ des moteurs. Cette position du contrôleur ne doit être employée cependant que dans les moments où l'effort de traction est faible.

En cas d'avarie à l'un des moteurs, le groupe correspondant peut être mis hors circuit, ou bien on peut aussi mettre rapidement en court circuit le moteur avarié, ce qui se fait généralement plutôt que d'immobiliser tout un groupe et de nuire ainsi à la bonne adhérence tout en surchargeant les autres moteurs.

Il est évident que dans ce cas les trois moteurs doivent être montés tous en série ou tous en parallèle, autrement celui qui serait seul sous toute la tension tendrait à prendre une vitesse plus grande que celle des deux autres.

La facilité et la rapidité avec lesquelles peut se faire cette mise hors circuit du moteur avarié sont, dans les nouvelles voitures, très remarquables.

Un système spécial permet de trouver le moteur qui

Fig. 11. — Caractéristiques d'un moteur.

41 000 kgs l'effort de traction est donc de 41 (67 + 8) = 3 080 kgs (1), ce qui correspond à une puissance aux jantes de 222 HP et aux moteurs de 265 HP environ.

Ce n'était assurément pas une tâche facile que de construire pour des automotrices à voie d'un mètre des moteurs satisfaisant à des conditions si difficiles, en ne disposant que d'un écartement d'essieux proportionnellement très petit et d'une place très limitée sur les bogies. Les constructeurs de wagons et surtout les ingénieurs de la Société Alioth ont eu là à résoudre un problème des plus difficiles, et qui n'avait pour ainsi dire jamais encore été envisagé.

(1) La résistance à la traction qui, en ligne droite, n'atteint que 7 à 8 kgs va jusqu'à 11 à 12 kgs par tonne dans les courbes de 40 ms de rayon.

L'adhérence est également bien diminuée dans les courbes. Ainsi dans les courbes de 40 ms de rayon, le coefficient d'adhérence n'est que de 0,12, alors que les constructeurs de locomotives admettent généralement 0,16 pour ce coefficient, sans compter qu'avec les locomotives on a les coups de piston qui favorisent le patinage.

peut offrir un court circuit et de vérifier facilement si le montage est exact.

Les contrôleurs sont facilement accessibles. Ils permettent les marches avant et arrière et sont munis d'une puissante bobine de soufflage magnétique.

Dans la construction des moteurs et des contrôleurs on a mis en œuvre tout ce qui devait leur permettre de répondre aux plus grandes exigences, ainsi qu'aux progrès les plus récents réalisés dans cette partie.

Avant le contrôleur se trouve un fusible principal de 320 ampères environ et un disjoncteur à maxima réglé à 280 ampères. Sur le toit de la voiture est disposé un parafoudre à cornes avec une self. Ces parafoudres ont à plusieurs reprises montré leur utilité.

pentes peut, bien entendu, être augmentée; sur les faibles pentes où la vitesse diminuerait, le frein à vide est seul utilisé.

Sur les pentes de 67 ‰ la vitesse peut être réduite jusqu'à 4 kms.

Le frein magnétique système Schiemann est à action directe sur les rails. Il comporte, disposés entre les roues des bogies, quatre sabots formés chacun de sept noyaux entourés de spires dans lesquelles le courant peut être lancé. Les quatre sabots sont connectés en série dans les anciennes voitures et pour annuler l'effet de l'extra courant de rupture on les met hors circuit en les fermant sur un shunt sans induction.

Dans les nouvelles voitures, pour réduire la self-induc-

FIG. 11. — BOGIES DES VOITURES AUTOMOTRICES.

Freinage. — Les automotrices sont pourvues des freins suivants :

- 1° Frein à main ;
- 2° Frein continu à vide système Hardy ;
- 3° Frein électromagnétique agissant sur les rails système Schiemann ;
- 4° Frein électrique obtenu par la mise en court circuit des moteurs sur des résistances (nouvelles voitures).

Etant données les vitesses assez grandes exigées sur les fortes pentes, le circuit des moteurs doit être fermé sur des résistances extraordinairement fortes.

Elles permettent à une automotrice sans remorque de descendre les pentes de 40 ‰ à une vitesse de 25 kilomètres.

Avec des convois plus chargés la vitesse sur les mêmes

tion, les quatre sabots sont groupés en parallèle et mis en série avec une résistance.

Les sabots, disposés à deux centimètres au-dessus des rails, sont directement suspendus aux boîtes des essieux par l'intermédiaire de ressorts à boudin, ce qui permet de régler leur hauteur au fur et à mesure de l'usure des bandages. Ce système de suspension permet aux sabots de suivre les courbes des rails.

A une vitesse de 28 kms, sur une pente de 67 ‰, un convoi composé de deux voitures a pu être arrêté à l'aide du frein Hardy, sur une distance minimum de 22 ms environ. Avec l'emploi simultané des freins Hardy et électromagnétique, le convoi peut être arrêté au bout de 15 ms.

Le frein magnétique est encore capable d'arrêter à lui seul, sur la même rampe, une voiture de vingt-six tonnes complètement chargée et marchant à une vitesse de 4 kms.

On ne peut en attendre une plus grande efficacité, car, avec le peu de place dont on dispose, le nombre des lignes de force est nécessairement assez vite limité par la saturation du fer.

Le frein à vide système Hardy est employé sur toutes les voitures.

Les automotrices sont munies de deux cylindres dont les pistons peuvent donner une force de 1 000 kgs chacun. Le rapport des leviers de commande des sabots étant de 1:8,8, ces derniers exercent sur les roues une pression totale correspondant à environ 78 % de la tare des voitures, soit 67 % de leur poids à pleine charge.

TABLEAU RÉCAPITULATIF DES PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DE LA LIGNE.

TRONÇONS	Montreux Monthovon	Montbovon Zweisimmen	Montreux Zweisimmen
<i>Ligne :</i>			
Longueur de la ligne.....	22,14 km.	40 km.	62,14 km.
Différence d'altitude entre les stations terminus.....	402 m.	145 m.	547 m.
Rampe maximum.....	67 ‰	40 ‰	67 ‰
Rayon des plus petites courbes.....	40 m.	80 m.	40 m.
Nombre de stations ou haltes.....	14	12	26
Distance moyenne entre deux stations.....	1,53 km.	3,34 km.	2,39 km.
<i>Superstructure :</i>			
Ecartement de la voie.....	1 m.	1 m.	1 m.
Hauteur des rails.....	110 m/m	110 m/m	110 m/m
Poids des rails par mètre.....	24,3 kg.	24,3 kg.	24,3 kg.
Longueur des traverses.....	1,67 et 1,80 m.	1,80 m.	1,67 et 1,80 m.
Nature des traverses.....	fer fondu	hêtre et chêne injectés.	»
Poids des traverses métalliques.....	35-38 kg.	»	»
Poids par mètre de la voie y compris les traverses.....	92-94 kg.	»	»
Rayon de courbure des aiguilles.....	50	80	50-80
<i>Matériel roulant :</i>			
Voitures automotrices (nombre).....	6	6	12
Voitures remorques (nombre).....	3	6	9
Places des voitures automotrices.....	52-56	52-56	52-56
Tare des automotrices.....	22 500 kg. - 24 500 kg.	22 500 kg. - 24 500 kg.	22 500 kg. - 24 500 kg.
Poids mort par place.....	432-402 kg.	432-402 kg.	432-402 kg.
Places des voitures remorques.....	48	48	48
Tare des voitures remorques.....	9 600 kg.	9 600 kg.	9 600 kg.
Poids mort par place.....	200 kg.	200 kg.	200 kg.
Puissance et nombre des moteurs des anciennes automotrices..	4 × 40 HP	4 × 40 HP	4 × 40 HP
Puissance et nombre des moteurs des nouvelles automotrices...	4 × 65 HP	4 × 65 HP	4 × 65 HP
Nombre de wagons à marchandises.....	10	6	16
Nombre de wagons servant au transport des bois.....	2	2	4
Chasse neige.....	1	2	3
Tare des wagons à marchandises.....	6 800-7 880 kg.	6 800-7 880 kg.	6 800-7 880 kg.
Charge utile admissible.....	6000-5000 kg.	10 000 kg.	5000-10 000
Longueur des automotrices au-dessus des tampons.....	13,86 m.	13,86 m.	13,86 m.
Largeur extérieure des automotrices.....	2,70 m.	2,70	2,70
Empattement fixe des essieux des automotrices.....	1,80-1,90 m.	1,80-1,90 m.	1,80-1,90 m.
Empattement fixe des essieux des voitures remorquées....	1,20 m.	1,20 m.	1,20 m.
Longueur totale de ces voitures au-dessus des tampons...	11,30 m.	11,30 m.	11,30 m.
Locomotives à vapeur de réserve.....	»	2	2
Poids en service de ces locomotives.....	»	23 tonnes	23 tonnes
Force de traction de ces locomotives.....	»	3 500 kg.	3 600 kg.
Composition normale maximum des trains à la montée...	{ 1 automotrice 1 remorque	{ 1 automotrice 2 remorques	» »
Contenance correspondante des trains.....	104 voyageurs	152 voyageurs	»
Poids brut des trains.....	41 tonnes	55 tonnes	»
Vitesse admissible.....	15-35 km. à l'heure	25-40 km. à l'heure	15-40 km. à l'heure

Le vide qui peut atteindre 52 cms est produit par une petite pompe actionnée par un moteur-série de 6 HP.

Le frein à vide, dont le fonctionnement est automatique et continu, a pour avantages : un effet doux mais prompt, sans choc et égal pour tous les véhicules du convoi ; des frais d'entretien minimes et une grande simplicité.

Lorsque deux automotrices forment un même train la conduite ne se fait qu'à la première voiture, mais les deux

moteurs du frein Hardy et les deux freins magnétiques peuvent être commandés simultanément par le wattman.

L'éclairage et le chauffage des véhicules sont électriques et absorbent ensemble une puissance d'environ 20 HP. Le chauffage peut prendre trois intensités différentes.

Voitures de remorque. — Les voitures de remorque à voyageurs et à bagages sont à bogies. Celles des voya-

Fig. 11. — COURBES DE CONSOMMATION DE COURANT RELEVÉES DANS LES QUATRE SOUS-STATIONS ALIMENTANT LE CHEMIN DE FER MONTEUX-OBÉRLAND BERNOIS.

geurs, comme les automotrices, comprennent deux classes, mais elles n'ont pas de compartiments pour les bagages. Elles peuvent contenir 48 voyageurs et pèsent à vide 9,6 tonnes. L'éclairage et le chauffage, qui sont électriques, se font par l'intermédiaire de câbles flexibles reliés aux automotrices.

Toutes les voitures de remorque sont pourvues du frein à vide Hardy et du frein à main à huit sabots.

Pour que l'action des sabots de frein reste uniforme malgré la grande différence de poids des voitures en

Pour le retour, le trajet Zweisimmen-Montreux ne demande que 2 heures 55 minutes.

Pendant l'année 1902, sur le tronçon Montreux-Les Avants, on a transporté plus de 100 000 voyageurs et environ 1 680 tonnes de marchandises.

Les frais d'exploitation, y compris le prix de revient de l'énergie électrique, se sont montés à 1 fr. 40 par train-kilomètre.

La recette moyenne s'est élevée pendant cette année à 0 fr. 1122 par voyageur-kilomètre et 1 fr. 85 environ par

Fig. 12. — SOUS-STATION DE CHAMBY ET ENTRÉE DU TUNNEL HÉLICOÏDAL.

charge et à vide, on fait varier proportionnellement la pression que les sabots exercent sur les roues en disposant un levier à poids dont la position doit être changée avec la charge du véhicule et en ajoutant un réservoir provoquant l'augmentation de l'effort exercé par le frein Hardy.

Résultats d'exploitation. — Le temps total nécessaire aux trains directs pour effectuer le parcours complet se décompose comme suit :

Montreux-Les Avants	40 minutes
Les Avants-Monthovon.....	32 »
Monthovon-Zweisimmen,....	112 »

Montreux-Zweisimmen, y compris les arrêts, 184 minutes = 3 heures 4 minutes.

train-kilomètre. Pour les marchandises, cette recette a atteint 0 fr. 46 par tonne-kilomètre.

Le nombre d'habitants sur le tronçon Montreux-Les Avants est de 20 000 environ.

P. BERGEON, *Ingénieur*,
Ancien élève de l'Ecole Supérieure d'Electricité.

Dans le prochain numéro nous donnerons la description de la transformation de la traction à vapeur par la traction électrique sur le chemin de fer de Liverpool à Southport.