

# TRACTION ÉLECTRIQUE

## CHEMIN DE FER ÉLECTRIQUE MONOPHASÉ DE LA VALLÉE BREMBANA

La Vallée Brembana, encaissée entre deux ramifications des Alpes, dans la Haute Italie, est excessivement pittoresque et accidentée ; de gros villages y sont disséminés, parmi lesquels San Pellegrino qui est, pendant la saison d'été, l'une des villes d'eau d'Italie les plus fréquentées.

Le mouvement considérable des voyageurs qui s'y produit pendant la saison estivale et le développement industriel de la région avaient, depuis longtemps, rendu nécessaire la création d'un chemin de fer dont la réalisation était arrêtée par les difficultés d'exécution que la ligne présentait. Actuellement ce réseau est en exploitation depuis 1906 ; on y a réalisé avec succès l'une des premières applications en Europe, du système de traction électrique monophasée Westinghouse.

Le chemin de fer de la Vallée Brembana réunit Bergame (247 m. d'altitude) au village de San Giovanni Bianco (400 m. d'altitude) ; sa longueur est de 30 kilomètres.

Outre les gares terminus, il y a sept gares intermédiaires ; toutes sont prévues avec voies de garage et outillées pour le service des marchandises.

La voie est simple, à écartement de 1<sup>m</sup>44, construite en rails de 27 kg. le mètre courant ; le rayon minimum des courbes est de 150 m. ; la pente maximum est de 24 ‰, sur une longueur d'environ 1 km. La nature accidentée du terrain traversé a nécessité de nombreux ouvrages d'art ; le nombre des tunnels est de 17, dont quelques-uns ont une longueur dépassant 200 m. ; la ligne est obligée de franchir le Brembo en plusieurs endroits.

*Station centrale.* — La Station centrale, située en amont de la gare de San Giovanni Bianco, utilise une chute d'eau de 27 m. ménagée sur le Brembo. Elle comprend 3 alternateurs Westinghouse à inducteur tournant 25 périodes, tournant à 500 t. p. m. et de la puissance de 500 kva, commandés chacun à l'aide d'un accouplement semi-élastique par une turbine à axe horizontal de la maison Riva et Moneret, de Milan. Le courant produit est du courant monophasé 6 000 volts 25 périodes, qui est transmis jusqu'à San Giovanni Bianco par une ligne aérienne d'environ 1 km. de longueur. Outre ces trois unités, la Station centrale comprend trois petits groupes électrogènes de 50 HP à courant continu 110 volts, fournissant l'excitation des alternateurs ci-dessus et un groupe alternateur de 50 kva. à 25 périodes avec excitatrice en bout d'arbre pour le service de l'éclairage électrique des gares. L'éclairage des gares est ainsi rendu indépendant du service de la traction. Il est à remarquer cependant que la périodicité et le voltage du service de l'éclairage ont été choisis semblables à la périodicité et au voltage du service de la traction, afin qu'éventuellement le courant des groupes électrogènes de 500 kva. puisse servir également pour l'éclairage.

Le tableau de distribution de la station centrale est constitué par des colonnes métalliques montées près de chaque machine et portant les appareils et interrupteurs nécessaires à la commande de cette machine. Les interrupteurs pour courant alternatif 6 000 volts sont du type à huile et commandés à distance au moyen d'électro-aimants alimentés par le courant continu de l'excitation. Le voltage des alternateurs de traction est réglé automatiquement au moyen d'un régulateur « Tirill ». On obtient une tension sur les barres de

distribution pratiquement constante, quelle que soit la charge et le facteur de puissance.

Le câblage de la station centrale est disposé dans le sous-sol ; il est constitué par des barres de cuivre nu, placées sur isolateurs. Le départ des lignes se fait d'une tour située sur l'un des côtés du bâtiment ; aux différents étages de cette tour sont disposés les interrupteurs généraux de la ligne ainsi que les parafoudres.

*Ligne.* — Le courant à 6 000 volts produit par les alternateurs est transmis directement aux locomotives par une ligne de trolley à 6 000 volts ; de la sorte, aucune sous-station n'est nécessaire. Le fil de trolley, en cuivre de 8 mm. de diamètre, est suspendu à 6 m. au-dessus des rails à un câble porteur en acier au moyen de pendules en fer plat suivant la disposition appelée « construction catenaire ». Normalement les poteaux de la ligne sont en bois de pin injecté au bichlorure de mercure. Le câble porteur est supporté par des isolateurs en porcelaine fixés à des traverses ou des consoles. Sur les ponts on a remplacé les poteaux en bois par des arches métalliques, et dans les gares, en raison de la faible distance entre voies, on a été obligé de supprimer les poteaux intermédiaires et de suspendre les lignes à des poutres métalliques en treillis dont la portée atteint parfois 18 mètres.

La ligne de suspension, en câble d'acier, est supportée à chaque potence par un système de deux isolateurs spéciaux : ces isolateurs peuvent résister à une tension continue de 15 000 volts sous une pluie artificielle et une tension instantanée de 50 000 volts.

Les potences ou traverses sont faites de fers à U jumelés, entre lesquels sont serrés les isolateurs.

Les portées normales de la ligne sont de 35 m. avec flèche au câble porteur de 30 cm., ce qui correspond à une tension de 450 kg. à 0° C. Le nombre de pendules pour cette portée est de 14. En courbes, les portées sont réduites de façon à ce que le désaxement de la ligne ne soit pas supérieur à 50 cm. au total, et des isolateurs d'ancrage sont prévus pour maintenir vertical le plan de suspension du fil. En alignement droit, on a prévu, de place en place, des bras spéciaux dits « antibalançants », pour éviter le balancement du fil de contact en dessous du fil de suspension. Dans les tunnels, les points de suspension de la ligne sont scellés tous les 15 m. dans la voûte ; la hauteur de la ligne au-dessus du plan des rails est de 4<sup>m</sup>50.

Le retour du courant se fait par les rails connectés électriquement au moyen de connexions du système « Chicago », ayant une section de 50 mm<sup>2</sup> ; dans les aiguillages, ces connexions sont faites au moyen de tresses de cuivre d'une section beaucoup plus grande. La mise à la terre des rails est assurée par des plaques de fer galvanisé, disposées dans le sol tous les kilomètres à une profondeur d'environ 1<sup>m</sup>50.

La ligne aérienne comprend en outre : un feeder de même section que le fil de trolley et monté sur les poteaux de la ligne et la ligne d'éclairage composée de deux fils de cuivre de 4 millim. de diamètre. Le feeder est spécialement prévu pour permettre d'isoler une section de la ligne de trolley et d'alimenter les sections adjacentes pendant le même temps.

A cet effet, dans toutes les gares se trouvent disposés, sur des tours en treillis, des postes de sectionnement qui permettent d'isoler en cas de besoin soit les lignes, soit le feeder, au moyen d'interrupteurs à huile, dont la manœuvre est très facile. De plus, entre deux sections de lignes, est prévue une section neutre alimentée par le poste de sectionnement et qui permet d'éviter l'alimentation de la section mise hors service par la section adjacente sous-tension au moment du passage

d'un train remorqué par deux locomotives, chacune d'elles étant sur une section différente et étant cependant connectées électriquement à travers le système à contrôle multiple.

La ligne d'éclairage alimente des postes de transformateurs-abaisseurs de tension établis dans les gares, sur les tours à treillis ou sur deux poteaux jumelés.

*Locomotives.* — Le service des voyageurs et des marchandises est assuré par cinq locomotives à deux boggies équipées de 4 moteurs Westinghouse de 75 chevaux chacun.

Ces locomotives reçoivent le courant à 6 000 volts de la ligne de contact au moyen d'un trolley pantographe, qui permet la marche dans les deux sens sans manœuvre spéciale. Le sabot de contact, en aluminium, est appliqué contre le fil de la ligne au moyen de ressorts métalliques disposés à la base du trolley dans un cylindre mécanique, dit cylindre principal.

En admettant l'air comprimé dans le cylindre, on agit contre les ressorts métalliques et le trolley s'abaisse. Un dispositif de verrouillage à l'air comprimé permet de le fixer dans cette position et d'isoler ainsi complètement la voiture de la ligne. Du trolley le courant passe dans un transformateur placé sur la voiture et ventilé artificiellement au moyen d'un petit ventilateur électrique alimenté par du courant monophasé à 100 volts pris sur l'auto-transformateur.

Ce transformateur est du type auto-transformateur ; une des extrémités de l'enroulement est connecté au rail et l'autre extrémité au trolley.

Le système de contrôle consiste à connecter les moteurs entre la terre et différents points choisis sur l'enroulement ; on gradue ainsi le voltage aux bornes des moteurs, ce qui permet d'obtenir différentes variations de vitesse sans pertes rhéostatiques.

Pour passer de l'une des prises de courant à l'autre sans rompre le circuit ou court-circuiter les enroulements, il a été prévu entre contacteurs du contrôleur des bobines préventives. La commande se fait par le système du contrôle multiple, dont les contacteurs sont actionnés par l'air comprimé. L'admission de l'air aux contacteurs s'effectue par des valves électromagnétiques dont le circuit d'excitation, alimenté par courant monophasé à 50 volts par l'auto-transformateur, est commandé par un petit contrôleur manœuvré par le wattmann de la locomotive.

Les moteurs électriques sont du type monophasé à collecteur ; ils ont une puissance normale de 75 chevaux à 700 tours par minute et attaquent les essieux des roues par simple réduction d'engrenages, de rapport 15/70. Leur construction rappelle celle des moteurs de traction employés sur le courant continu ; ils sont du type série à collecteur avec enroulements compensateurs sur les pôles et circuit résistant formant connection entre bobines et lames d'induit.

Les locomotives comportent un équipement de freins Westinghouse. L'air comprimé nécessaire à la manœuvre du frein, des contacteurs et du trolley, est produit par un compresseur actionné par un petit moteur monophasé.

Les locomotives sont protégées contre les décharges atmosphériques par un parafoudre type « Wurtz » placé sur le toit.

Enfin, sur les enroulements du transformateur, une borne à 500 volts a été prévue pour le service d'éclairage et de chauffage des voitures à voyageurs.

*Essais.* — Les locomotives du poids de 34 tonnes ainsi équipées peuvent remorquer normalement un train de 90 tonnes à une vitesse atteignant 60 km. à l'heure, et un train de 120 tonnes à une vitesse de 18 km. à l'heure sur une

rampe de 2 % ; lors des essais effectués, on a même pu constater que, sur certaines parties du parcours, le poids total du train remorqué pouvait atteindre 140 tonnes. Les essais d'accélération ont montré qu'il était possible d'obtenir des accélérations atteignant et dépassant 50 cm. par seconde.

Le chemin de fer électrique de la vallée Brembana, par son trafic et par le tonnage de ses trains, ne saurait se comparer aux grandes lignes de chemin de fer, mais si l'on tient compte que le système de traction monophasée permet facilement d'équiper des locomotives de 1 000 chevaux et que, d'autre part, le voltage de 6 000 volts au trolley est loin d'être un maximum et pourrait être porté facilement à 12 000, il est indéniable que ce nouveau mode de traction présente un grand intérêt. L'installation du chemin de fer de la vallée Brembana offre, en petit, ce que peut donner l'électricité, et particulièrement le système monophasé appliqué à la grande traction.

A ce titre, cette installation mérite donc de retenir l'attention de tous les Ingénieurs que séduit le problème de l'application de l'électricité à la traction des trains lourds.

X. W.

## ACADÉMIE DES SCIENCES

### MÉCANIQUE ET ÉLECTRICITÉ

*Compoundage des alternateurs au moyen des soupapes électrolytiques.* — Note de M. C. LIMB, présentée par M. Lippmann, séance du 30 janvier 1911.

J'ai indiqué, dans une Note en date du 18 mai 1908, que les alternateurs étaient susceptibles de s'exciter spontanément, sur leur propre induit, par l'intermédiaire de soupapes électrolytiques. Dans une seconde Note, présentée le 6 juillet 1908, je montrais qu'on pouvait conclure, de ce fait, à la possibilité de construire non seulement des dynamos génératrices à courant alternatif, sans excitatrice, mais même des dynamos à courant continu, sans collecteur, au moins théoriquement. Dans le cas des alternateurs, la suppression de l'excitatrice ne présente certainement pas grand intérêt pratique, vu l'importance minime de cette machine auxiliaire ; toutefois les soupapes électrolytiques donnent une nouvelle solution simple de la question du compoundage des alternateurs.

J'ai effectué diverses expériences sur le même alternateur triphasé, de 10 kilovolts-ampères, soit 50 ampères par fil, sous 110 volts composés, qui m'avait déjà servi à ces études.

L'inducteur comportait deux jeux de bobines excitatrices : l'un, le plus important, servait à produire l'excitation principale, 110 volts à vide, au moyen d'un courant continu pris à une distribution générale ; le deuxième jeu de bobines inductrices, de bien moindre importance, formait l'enroulement de compoundage. Les trois conducteurs de départ du courant triphasé traversaient chacun un enroulement de 24 spires de grosse section, placé sur chacun des trois noyaux d'un transformateur triphasé de faible puissance. Les enroulements secondaires de ce transformateur étaient formés de trois bobines de 240 spires de faible section ; le rapport de transformation était donc 1 : 10, réduisant le courant primaire à une valeur convenable pour être supporté par l'enroulement de compoundage de l'alternateur. Les secondaires peuvent être groupés, soit en triangle, soit en étoile, suivant les intensités désirées. Quel que soit le groupement, les trois bornes étaient reliées, suivant le montage ordinaire, à trois paires de soupapes électrolytiques. Enfin le courant redressé sortant de la batterie de soupapes, aboutissait à l'enroulement de compoundage de l'alternateur. Un petit rhéostat, placé en dérivation sur cet enroulement, permettait d'y laisser entrer une portion plus ou moins grande du courant redressé, depuis sa valeur maximum, jusqu'à zéro, cas du rhéostat sur le plot résistance nulle ou court-circuit.