ÉLECTRICITÉ

L'électrification des chemins de fer en Suisse

(SUITE ET FIN)

par G. KOLOVITCH, Ingénieur I. E. G.

Résultats obtenus par les deux locomotives mises en essai sur la ligne de St-Gothard

A défaut des résultats précis d'exploitation qui auraient été d'un très grand intérêt, nous exprimerons ici l'impression générale ressentie surtout au point de vue technique, impression qui a été très satisfaisante. Personnellement, lors d'un voyage d'étude effectué à bord de ces locomotives et sur la ligne du Saint-Gothard, nous avons pu constater la souplesse de conduite de ces unités, les plus puissantes du monde, et indirectement l'avantage incontestable de la traction électrique sur les lignes de montagne. Le train express que nous remorquions avait en effet un certain retard qu'il a fallu rattrapper et, en dépit de 680 tonnes remorquées, nous avons pu gravir une rampe de 27 ‰ pendant plusieurs kilomètres à 75 km/h., en dépassant ainsi exceptionnellement la vitesse maximum normale de marche de 60 km/h.

La plus puissante locomotive du monde la n° 11.851 qui, comme nous l'avons dit, a été équipée par les Ateliers de Construction OERLIKON, a parcouru avec succès, depuis sa mise en exploitation, déjà plus de 180.000 km.

La locomotive n° 11.801, de BROWN, BOVERI & C^{ie} a donné pleine satisfaction en service, elle compte déjà à son actif plus de 280.000 km. D'excellents résultats ont été atteints, en particulier, avec le système de contrôle à haute tension qui a été livré par B. B. C. pour les deux locomotives du Gothard. La locomotive n° 11.801 a parcouru les 280.000 km., sans que le commutateur à échelons, dont une partie se trouve directement dans la cuve du transformateur, ait eu à subir aucune révision. Les frais d'entretien pour le contrôle électrique de cette locomotive sont donc excessivement diminués par l'introduction du système de réglage à haute tension. On conçoit donc, que, comme le service technique de B. B. C., a pu le prévoir en proposant ce matériel, la révision des appareils de contrôle à haute tension n'ait pratiquement à s'opérer que tous les trois ans, lors de la révision générale de la locomotive.

Cette innovation dans le contrôle des locomotives est sans aucun doute d'un intérêt incontestable. Certes, on n'aurait pu s'attendre à un résultat aussi satisfaisant, surtout avec des organes aussi délicats, si l'on avait conservé pour des unités aussi puissantes le réglage habituel sur le circuit basse tension.

Signalons encore la satisfaction générale sur les résultats satisfaisants obtenus avec la récupération, sur cette ligne au tracé si sévère. Après un service d'exploitation aussi impeccable, on ne peut nier que le freinage électrique ait conquis définitivement droit de cité, dans le cas de la traction monophasée, le système où il pouvait surtout être en butte à des objections touchant notamment le facteur de puissance, sa dépendance du fil de contact et d'autres points litigieux encore.

En fait, les deux locomotives considérées sont munies du système de freinage à récupération, fourni pour les deux unités, par les Ateliers de Construction OERLIKON et leur fonctionnement en récupération a donné entière satisfaction.

Quelques considérations sur les chemins de fer privés

Bien que le pourcentage des voies ferrées exploitées par les Chemins de fer Fédéraux représente plus de 54 % de l'ensemble des réseaux suisses, 77 % du même réseau à voie normale et qu'ils assurent 90 % du mouvement du tonnage kilométrique brut, donc qu'ils constituent l'ensemble le plus important au point de vue de l'exploitation. Toutefois, les réseaux exploités par les Compagnies privées ne manquent pas d'intérêt, surtout au point de vue technique. Il s'agit, la plupart du temps, de lignes de montagne, au tracé très accidenté, qui impose pour le matériel roulant des conditions techniques très spéciales.

Pour ces réseaux privés, la traction électrique s'imposait tout particulièrement. Ce sont d'ailleurs eux qui l'ont inaugurée en électrifiant la ligne du Loetschberg qui fut en Suisse le premier réseau d'électro-traction de grande envergure et peut être considérée comme la plateforme d'essai de l'électrification des lignes de montagne à grand trafic (fig. 24).

Si l'importance du trafic de certaines lignes secondaires est relativement faible, il n'en reste pas moins que leur réalisation représente un véritable chef-d'œuvre technique. C'est bien le cas du Chemin de fer de la Bernina, (fig. 25). Ce chemin de fer à adhérence atteint en Europe l'altitude la plus élevée, puisque gravissant dans son parcours, relativement faible de 60 km., la somme des différences extrêmes de niveau de 2.428 m., et ce avec des rampes maxima de 70 ‰ et une rampe moyenne de 40 ‰. Ajoutons à cela d'autres difficultés du tracé : 42 % de sa longueur sont en courbe, dont le rayon est inférieur à 200 m., les plus petits rayons étant de 40 à 50 m. ; d'autres part, la voie est obstruée par d'abondantes chutes de neige qui atteignent quelquefois une épaisseur de plus de 5 m. Le fait qu'en hiver la température descend à —30° n'est pas fait pour faciliter une exploitation régulière, et si l'on y arrive, c'est grâce à un matériel très bien étudié qui honore, à juste titre, les réalisateurs.

L'électrification de la Suisse se poursuit progressivement. Même les lignes secondaires au trafic très faible tendent à se conformer au plan général et sous peu, les réseaux suisses seront électrifiés au coefficient 100 %. Dans cette dernière étape de l'électrification, le problème se présente sous un autre aspect économique : étant donné le faible rapport de ces lignes en comparaison des frais exigés pour la transformation, le facteur crucial pour l'électrification est représenté par l'établissement

En nous attachant au réseau des Chemins de fer Fédéraux, nous avons présenté les quelques types caractéristiques des unités de leur parc, en choisissant ceux qui comportent des

D'autre part, la transmission par bielles semble devoir céder définitivement le pas à la commande individuelle des essieux, qui, rendue possible par l'électrification assurément coûteuse, augmente en contre-partie les avantages de cette dernière par rapport à la traction à vapeur.

Nous donnerons brièvement la description d'une unité fournie en 1927 par les Ateliers de SECHERON à Genève, ses

Photo Sécheron

Vu l'importance des problèmes qui se posent, ainsi qu'il résulte des considérations qui précèdent, il nous semble utile

caractéristiques remplissant, avec un minimum de poids, absolument toutes les conditions du programme imposées par la Direction des Chemins de fer. Le projet de cette unité fut accepté et, une fois réalisée, elle donna toute satisfaction, soit : remorquer un train de 560 tonnes à la vitesse de 50 km/h. sur une rampe de 27 ‰, vitesse qui doit pouvoir atteindre 75 km/h. pour le service des express, en dépit du grand nombre de courbes que comporte le tracé de la ligne.

PARTIE MÉCANIQUE

Rappelons que ce fut la première locomotive à laquelle on appliqua la commande individuelle des essieux, les moteurs étant rigidement fixés sur le châssis et le diamètre des roues motrices ne dépassant pas 1.350 $\frac{m}{m}$. Cette unité très réussie avait, à l'époque de sa mise en service, qui n'est d'ailleurs pas très reculée, affirmé plusieurs « records ». C'était alors, en effet, avec ses 4.500 ch., la plus puissante locomotive monophasée du monde ; mais, elle reste encore l'unité où l'économie dans l'utilisation des matériaux a été poussée le plus loin, car le poids par cheval, en régime unihoraire, n'est que de 31 kg. 4.

Les caractéristiques principales de la locomotive, type I AAA-AAA I, sont les suivantes : (fig. 26)

Longueur entre tampons.....	20.260	m/m
Empattement total.....	16.800	—
Diamètre des roues motrices.....	1.350	—
— — — porteuses.....	960	—
Rapport de transmission des engrenages.	5.866	—
Vitesse de marche normale	50	Km/h
— — maximum.....	75	—
Puissance à la jante à 50 Km/h { unihoraire... ..	4.500	ch.
{ continue	3.700	—
Effort de traction à la jante { unihoraire... ..	24.300	Kg.
{ continu	20.000	—
Effort de traction à la jante au démarrage.	34.000	—
Poids de la partie mécanique.....	77.000	—
— — — électrique.....	64.000	—
— en service.....	114.600	—
— adhérent.....	114.600	—

Fig. 25.— Train remorqué par la locomotive AA + AA N° 82, sur la ligne du chemin de fer de la Bernina. Photo Sécheron

de décrire brièvement quelques types de locomotives en service sur les lignes privées des réseaux suisses, en ne nous arrêtant que sur les particularités qui les caractérisent, des types courants en exploitation.

**Locomotive type IAAA-AAAI de la ligne
du Loetschberg**

L'importance du trafic sur la ligne, le tracé de celle-ci et les exigences économiques d'exploitation, qui interdisent l'em-

La caisse de la locomotive repose sur deux bogies qui se composent chacune d'un essieu porteur bissel et de trois essieux moteurs. Chaque essieu moteur est attaqué par un moteur jumelé ; l'arbre creux tourne dans des paliers venus de fonte avec la carcasse du moteur et entraîne les roues motrices par l'intermédiaire de la commande élastique à ressorts, système SECHFRON, système de commande individuelle qui a été appliqué pour la

Un support à rouleaux, placé entre le bissel et l'essieu moteur extérieur, contribue à la répartition correcte du poids sur les roues.

La locomotive est munie du frein automatique et modérable WESTINGHOUSE, ainsi que des freins à main actionnés par manivelle et agissant sur les roues du bogie voisin de la cabine d'où la manœuvre est effectuée.

Fig. 26.— Elévation et plan de la locomotive IAAA-AAAI

première fois à ce type de locomotive. Son avantage principal entre tous est d'utiliser au mieux l'espace disponible à l'intérieur des roues motrices, ce qui permet d'employer des ressorts beaucoup plus longs que dans les autres commandes semblables et d'être ainsi soumis à une contrainte plus faible. Il consiste en trois paires de ressorts élémentaires, rendus solidaires deux à deux de l'arbre creux par une attache commune ; les six extrémités opposées sont au contraire fixées à la roue mo-

La locomotive est munie aussi du freinage électrique rhéostatique.

PARTIE ELECTRIQUE

Le courant de ligne à 15 000 v. et 16 2/3 période est capté par deux pantographes (ces derniers sont caractérisés par leur grande stabilité latérale et par l'emploi de deux ressorts de traction seulement), (fig. 28) passe par deux sectionneurs, inter-

Fig. 27.— Caisse de la locomotive type IAAA-AAAI soulevée au-dessus des trucs moteurs

Photo Sécheron

trice. Nous verrons par la suite que l'avantage précité sera surtout appréciable dans les locomotives faisant le service sur les lignes de montagne à courbures de très faible rayon et sur les lignes à voies étroites.

La caisse repose sur les bogies par l'intermédiaire de deux pivots à crapaudine, qui se trouvent placés entre les essieux moteurs extérieurs des bogies (fig. 27).

calés entre chaque pantographe et l'interrupteur principal, (ce qui permet d'isoler une des deux prises de courant), traverse ensuite l'interrupteur principal à commande électro-pneumatique pour aboutir au transformateur connecté en autotransformateur, muni à la basse tension de douze prises pour l'alimentation des moteurs et des services auxiliaires.

Commande des Moteurs. — Ce qui, à notre avis, caracté-

prise le mieux ce type de locomotive, c'est la commande des moteurs. Le principe de la commande des six moteurs jumelés est entièrement nouveau. Il a eu un succès réel et a donné des

Photo Sécheron

Fig. 28. — Prise de courant à pantographe

résultats très satisfaisants. Mais, comme nous avons pu le constater, il n'a pas constitué un précédent marquant dans la construction des unités puissantes qui ont suivies.

Étant donné l'effort de traction considérable nécessaire et la variation de celui-ci dans de grandes limites vu les diverses conditions de marche auxquelles la locomotive est astreinte, il a fallu adopter une graduation aussi fine que possible de la tension aux bornes des moteurs. On a été ainsi conduit à prévoir 24 positions de démarrage et de marche.

La prévision des sérieuses difficultés que la commande électro-pneumatique, qui pourtant a fait ses preuves, présentait avec

un nombre prohibitif de circuits auxiliaires de commande et de verrouillage, a fait pencher la décision des constructeurs vers la nouvelle commande mécano-pneumatique, système Meyfarlk, qui, en conservant les valves pneumatiques, continue à bénéficier des avantages de la commande électro-pneumatique. Elle assure, en outre, les avantages de la commande purement mécanique en éliminant l'action des valves pneumatiques par le moyen d'électro-aimants, pour l'effectuer mécaniquement à la main. (fig. 29)

Les 24 contacteurs qui constituent la batterie de commande ont chacun leur cylindre à air comprimé et la valve pneumatique correspondante.

Le système de commande est unique pour tout l'ensemble et est constitué par un arbre à cames qui, par sa rotation, provoque l'ouverture et la fermeture des valves. Un verrouillage mécanique protège chaque contacteur contre l'enclenchement intempestif de tous les autres et s'oppose à ce que les bobines de réactance soient branchées sous une tension exagérée. On aboutit à ce résultat au moyen d'un système très simple : chaque came est munie d'un doigt d'arrêt qui, en butant contre un levier de verrouillage, immobilise l'arbre à came tant que le contacteur à déclencher n'est pas arrivé dans la position ouverte.

La simplicité du système ne lui enlève aucune des propriétés nécessaires au bon fonctionnement, mais fort probablement de ce fait même, ne fait que les accroître. En effet, la pression sur les contacts est énergique, les manœuvres d'enclenchement et de déclenchement sont rapides et leur durée est indépendante de la vitesse à laquelle le mécanicien actionne le controller.

Le rapport des engrenages coniques qui transmettent le mouvement a été choisi de façon que le passage d'une touche à la suivante corresponde à un quart de tour du volant à main. Il est d'ailleurs pratiquement impossible au mécanicien de s'arrêter sur une position intermédiaire. Le couple exigé pour la commande est minime (fig. 30). Le problème de l'interrup-

Fig. 29. — Commande à main des contacteurs pneumatiques

Photo Sécheron

tion instantanée du courant de tous les moteurs a été résolu d'une façon très simple, bien qu'à première vue, il semble assez ardu. En effet, il suffit au mécanicien de pousser sur un bouton pour que l'arbre à cames, qui était maintenu dans la position lui rendant possible la commande des valves, soit déplacé de façon que toutes ces valves soient dégagées et tous les contacteurs déclenchés.

Ce nouveau système de commande avait déjà fait ses preuves car, en effet, avant d'être définitivement adopté sur cette puissante unité, les Chemins de fer Fédéraux avaient autorisé les

Fig. 30. — Diagramme des forces de la commande à main

Kraft in Kg am Handrad von 15 cm Radius : Efforts en kgs au volant de 15 cm. de rayon. — Fahrstellung : Position de marche — Drehung : Sens de rotation. — A. Hupferantrieb ohne Punktion, B. Hupferantrieb mit Punktion : A) Commande des contacteurs avec crans d'arrêt ; B) Commande des contacteurs sans crans d'arrêt. — Schaltwinkel am Handrad in Grad : Angle de déplacement du volant en degré. — Schaltstufe 90 : Déplacement pour 1 touche : 90°.

Ateliers de SECHERON d'en monter un exemplaire sur une de leurs locomotives, qui a ainsi fonctionné en service normal pendant deux ans, en donnant entière satisfaction.

Moteurs de Traction. — Ils sont du type série compensé à pôles auxiliaires shuntés. Chaque groupe, attaquant un essieu moteur, est constitué par deux demi-moteurs hexapolaires qui sont connectés à demeure en série et transmettent le couple à l'arbre creux par deux roues latérales à dentures obliques.

La puissance unihoraire est de 700 Ch. à la jante des roues motrices et ce, à une vitesse de 50 Km/h. (fig. 31).

Les moteurs sont réversibles. S'ils reçoivent du courant alternatif d'excitation, cette propriété est utilisée pour le freinage rhéostatique, dans cette locomotive, dont le poids total peut être ainsi freiné. L'excitation est réglée par le jeu des mêmes contacteurs qu'on emploie pour la marche normale. Le circuit de chaque groupe des deux moteurs jumelés comporte un relais à maximum de courant, qui peut fonctionner aussi bien en marche que pendant le freinage.

Locomotive AA-AA N° 82 du chemin de fer de la Bernina

Nous avons signalé, au début de cette seconde partie de notre étude l'intérêt technique que présente l'équipement de cette ligne. Pour qu'on s'en rende mieux compte encore, nous rappellerons les conditions imposées par la Direction des Chemins de fer de la Bernina, pour la soumission des projets de locomotives :

Écartement de la voie..... 1 m.
Pression par essieu..... 11 tonnes.

Vitesse maximum..... 50 Km/h.
Nature du courant continu

Tension à la ligne de contact $\left\{ \begin{array}{l} 800 \text{ V. en moyenne} \\ 1.100 \text{ V. au maximum} \\ 550 \text{ V. au minimum} \end{array} \right.$

Charge à remorquer sur rampe de 70 ‰ à la tension moyenne de 800 V. et à la vitesse de 20 Km/h., 47 tonnes.

On doit pouvoir faire parcourir avec cette charge et pendant les fortes chaleurs d'été, quatre fois le trajet Poschiavo-Grüsu-Poschiavo (33 Km en rampe de 70 ‰ avec arrêt de cinq minutes aux stations terminus et une course Poschiavo-Prouresina-Poschiavo (75 Km, 6 en rampe de 70 ‰, sauf 10 Km à 37 ‰ faire démarrer le train de cette composition cinq fois sur rampe de 70 ‰ et sur toutes les pentes.

Le poids total de la locomotive doit être freiné au moyen du freinage rhéostatique. Toutes ces conditions doivent être

Fig. 31. — Courbes caractéristiques du moteur jumelé

Dauer Leistung : Régime continu. — Stunden Leistung : Régime horaire. — Fahrstufe : Position du combinatoire. — Klemmenspannung pro Zwillingsmotor : Tension en charge par moteur jumelé.

satisfaites sans que les limites d'échauffement admises soient dépassées.

Des conditions particulières qui précèdent : démarrage d'un train de 47 tonnes en rampe de 70 ‰ sur courbe éventuelle de 45 m. de rayon, il en résulte qu'au démarrage, la locomotive doit développer un effort de traction à la jante de 12.800 Kg. (correspondant à un coefficient d'adhérence sur les rails de 0,29, qui est assez élevé et qui ne se vérifiera pas toujours sans sablage, croyons-nous. C'est donc une limite qu'il convient, pour plus de sécurité, de majorer).

La locomotive doit être munie de chasse-neige fixes très robustes à l'avant et à l'arrière, ainsi que des freins suivants :

1°) Frein à vide, système Hardy, comprenant un dispositif spécial pour le freinage de la locomotive ;

2°) Frein mécanique à la main, agissant sur chaque boggie indépendamment ;

3°) Frein rhéostatique pour le freinage en service normal ;

4°) Frein électro-magnétique sur rails, prévu comme frein de secours.

Les conditions sont dures et les efforts à développer considérables, certainement trop souvent voisins des limites d'adhérence admissibles, ce qui doit faire prévoir de fréquentes possibilités de patinage, inconvénient de la plus haute importance, qui, à première vue, semble ne pouvoir être limité que par l'emploi de bielles entre les essieux de chaque boggie.

La commande individuelle, avec le montage habituel, des moteurs de traction en série, exigé aux faibles vitesses et pour des couples élevés, ferait prévoir l'éventualité d'une répartition trop inégale de la charge pour chaque groupe moteur, ce qui les exposerait trop aisément au danger de patinage. D'autre part, le faible diamètre des roues motrices rendait dif-

les qualités requises par le service auquel elle fut destinée. Nous rappelons ci-après ses principales caractéristiques (fig. 32)

Longueur entre tampons.....	14.400 mm.
Empattement total.....	10.000 —
Empattement des boggies.....	2.200 —
Hauteur maximum.....	3.740 —
Largeur maximum.....	2.500 —
Diamètre des roues motrices.....	975 —
Rapport de transmission des engrenages.....	1/7 —
Poids de la partie mécanique.....	26.120 Kg.
Poids de l'équipement électrique.....	17.280 —
Poids en service (poids adhérent).....	44.000 —
Puissance unihoraire totale à la jante à la tension de 800 V. et à la vitesse de 16 Km/h.....	600 Ch.
Puissance totale continue à la jante à la tension de 800 V. et à la vitesse de 20 Km/h.....	500 —
Effort de traction maximum à la jante au démarrage.....	12.800 Kg.

2423

Fig. 32 — Vue générale de la locomotive type AA-AA N° 82

Photo Sécheron

ficile l'application de la commande individuelle. Ces considérations justifient le grand nombre de projets soumis, prévoyant la transmission du couple par bielles.

Toutefois, les Ateliers de SECHERON présentèrent un projet d'une locomotive, type AA - AA à commande individuelle : leur système se prêtait particulièrement bien à l'emploi de roues motrices de faible diamètre. Ce système élastique entraîne un autre avantage très appréciable, c'est celui de l'amélioration des conditions d'adhérence, qui fut tout d'abord constatée d'une façon empirique au cours d'observations faites en service avec divers types de locomotives. Ces observations sont confirmées par les conclusions théoriques positives auxquelles aboutissent les études très détaillées de M. HANS LENK, Dr Ing., qui montra d'une façon très claire, que l'accouplement élastique a pour effet d'augmenter le temps pendant lequel la roue a la possibilité lors d'un d'un commencement de patinage, de reprendre le contact avec le rail, grâce aux mouvements oscillatoires dus à la présence de l'accouplement. Pour obvier à l'inconvénient provenant du montage électrique en série des moteurs, les constructeurs ont choisi une solution satisfaisante et très acceptable en appliquant aux quatre moteurs de traction, le couplage en parallèle sur la tension de la ligne, déjà pour la vitesse de 5 Km/h.

La locomotive n° 82, type AA - AA présente bien toutes

PARTIE MÉCANIQUE

Le pont et la caisse de la locomotive reposent sur deux bogies ; chaque bogie comporte deux moteurs jumelés attaquant chacun un essieu moteur. D'autre part, chaque bogie est pourvu d'un chasse-neige fixe de construction robuste dont la partie inférieure peut être abaissée à une distance de 40 mm. des rails, pour le déblaiement de la voie. Des ailes en tôle, mobiles autour des charnières et dont l'inclinaison est réglable de l'intérieur de la cabine, ont pour but d'augmenter de 2.500 mm. à 3.200 mm. la largeur du chemin ouvert dans la neige.

Les pivots, autour desquels se meuvent les boggies, sont placés sur un prolongement prévu à l'extrémité du bogie opposé au chasse-neige, ce qui permet de grands déplacements relatifs de la caisse par rapport aux bogies, dans les courbes de très petits rayons. La répartition de la charge sur les roues et la stabilité de la caisse de la locomotive dans le sens latéral sont obtenues au moyen d'appuis à ressorts, fixés à l'extérieur des longerons des bogies, de part et d'autre d'un axe transversal passant par les pivots.

Les deux grands réservoirs affectés au freinage par le frein à vide, système Hardy, sont fixés sous le pont, tandis que les autres organes et les conduites sont placées à l'intérieur de la caisse, pour les soustraire au gel. Les supports de guidage des

patins des freins électro-magnétiques sont fixés directement aux paliers des essieux ; ils ne sont donc pas soumis aux variations de hauteur, due au jeu des ressorts de suspension, comme ce serait le cas si ces supports étaient fixés aux longerons des boggies. Ce frein de secours permet de freiner rapidement le train en pente de 70 ‰.

EQUIPEMENT ELECTRIQUE

L'étude des couplages des moteurs entre eux et le calcul des résistances de démarrage ont fait l'objet de soins minutieux en vue d'obtenir une accélération du train aussi régulière que possible. Pour éviter les chocs auxquels le train pourrait être sujet lors du changement de couplage des moteurs,

Les moteurs de traction sont du type jumelé, à ventilation forcée, et se composent chacun de deux moteurs série à 4 pôles auxiliaires, logés dans une carcasse commune absolument fermée.

La régulation des moteurs s'exécute au moyen d'une commande mécano-pneumatique, système SECHERON, qui a été décrite plus haut. La batterie des contacteurs est constituée par douze éléments qui sont tous pourvus de bobines de soufflage magnétique pour l'interruption des arcs de rupture du courant.

L'inverseur de marche des quatre moteurs jumelés est constitué par quatre tambours doubles, actionnés électro-pneumatiquement par un seul dispositif de commande comprenant

Fig. 33. — Schéma simplifié des circuits du courant principal

G_1 = Premier couplage : les inducts I-II, III-IV, V-VI, VII-VIII de chaque moteur jumelé sont couplés en série, les moteurs jumelés de chaque bogie sont groupés en parallèle les deux bogies sont couplés électriquement en parallèle.
 G_2 = Deuxième couplage : tous les inducts d'un bogie sont couplés en parallèle : les deux bogies sont couplés électriquement en parallèle.
 G_3 = Freinage sur résistances : les inducteurs de chaque moteur jumelé sont couplés en série et leurs inducts sont connectés en parallèle les moteurs jumelés de chaque bogie sont couplés en parallèle les connexions entre inducts et inducteurs de deux bogies sont croisées.
 L_1, L_2 = Contacteurs de l'interrupteur principal — N, P, B, S, E = contacteurs de marche — 1 à 7 = Contacteurs de freinage — a, b, c, d = shunteur. — R_1 à R_8 = Résistance de démarrage et de freinage. — W_1, W_2 = Résistances-shunts. — I-II, III-IV, V-VI, VII-VIII = Moteurs de traction (moteurs jumelés). — D = Bobine de réactance. — U = parafoudre. — T = Sectionneur de prise de courant. — St = Prise de courant.

on effectue celui-ci au moyen du système de connexion des circuits des moteurs dit « transmission par pont » (fig. 33).

Au démarrage, les deux inducts de chaque moteur se sont couplés en série, tandis que les quatre moteurs jumelés sont branchés en parallèle sur le courant principal. On a donc le couplage série parallèle. A une certaine vitesse, on change le couplage pour permettre d'atteindre des vitesses plus élevées ; à ce moment, on passe au couplage parallèle, dans lequel tous les inducts sont connectés en parallèle. Ces deux montages donnent deux vitesses économiques qui peuvent être multipliées par quatre en agissant sur les moteurs au moyen de shunts par affaiblissement du flux de ceux-ci (fig. 34).

quatre cylindres, dans lesquels est admis l'air comprimé, distribué par trois électro-valves.

Les shunts sont actionnés par un dispositif de commande à distance qui prévoit quatre positions, ce qui donne, comme nous l'avons vu, les huit régimes de marche économique.

Pour le freinage rhéostatique, les inducteurs de chaque moteur jumelé sont connectés en série, tandis que les inducts sont connectés en parallèle, (fig. 33 schéma G 3).

Les deux moteurs jumelés de chaque bogie sont donc connectés en parallèle.

Pour obtenir une répartition égale du freinage, les connexions

entre induits et inducteurs des moteurs des deux boggies sont croisées. Le montage adopté pour les connexions de freinage assure une excitation très uniforme et permet, en outre, un freinage de secours automatique, en cas de recul du train en

Fig. 34. — Courbe des efforts de traction en fonction de la vitesse de la locomotive

rampe quel que soit le cran sur lequel se trouve le contrôleur de commande des moteurs.

Le freinage électro-magnétique à patins sur rails comprend huit électro-aimants exerçant une pression totale sur la voie de 27.200 Kg.

Locomotives à commande individuelle élastique des essieux - Type B₀ - B₀.

Un type de locomotives, réellement en faveur pour l'électrification des réseaux secondaires, est bien celui-ci, qui se distingue des autres surtout par le choix de moteurs complètement suspendus et par l'emploi du système de transmission du couple par arbre creux et accouplement à ressorts. Les ateliers de Sécheron qui ont déjà livré un nombre important de ces unités, ont acquis une expérience remarquable de ce type, qu'ils s'attachent à perfectionner du reste encore, depuis 1927, date à laquelle ils ont fourni une locomotive type pour les Chemins de fer fédéraux autrichiens. Ceux-ci estimant avoir eu satisfaction complète, l'ont adoptée définitivement pour leurs réseaux. Les résultats concluants obtenus avec ce type d'unité en service décidèrent le Chemin de Fer à voie étroite de St-Georges-de-Commiers à La Mure et de La Mure à Gap, en France, à commander des motrices de ce type pour leur ligne à courant continu à 2.400 V.

Une des dernières séries du même type mise en exploitation

est celle des chemins de fer Bodensee-Toggenburg (fig. 35), livrée en 1932 et 1933. Les conditions imposées par ce réseau peuvent se résumer comme il suit : Composition normale des trains de 312 tonnes avec rampe maximum de 18,5 ‰, ce qui exige un effort de traction de 7.300 kg. La vitesse maximum normale en service doit être de 75 km/h. exceptionnellement 80 Km/h.

Étant donné le nombre important d'arrêts en cours de route, pour satisfaire aux exigences des horaires, une accélération de 0,32 m/sec. doit être prévue, ce qui exige un effort de démarrage de 12.900 Kg. Cet effort de démarrage correspond

Fig. 35. — Locomotive B₀ B₀ du chemin de fer Bodensee-Toggenburg

Photo Sécheron

lui-même à des pointes d'effort de 16.000 Kg., condition utile pour atteindre l'accélération voulue au cas où la composition du train serait de 462 tonnes.

Dans l'établissement d'un projet répondant aux conditions ci-dessus, et surtout à celles signalées plus haut : économie maximum sur le prix de revient et d'entretien, un point semblait devoir prêter le flanc aux critiques, nous voulons parler du système de transmission du couple, et par conséquent, de la suspension des moteurs.

En dépit de l'économie qui résulterait de l'emploi de la suspension des moteurs, types tramway, étant donné la puissance relativement peu élevée mise en jeu, on s'est toutefois arrêté au système Sécheron des moteurs entièrement suspendus, avec dispositif spécial de transmission ménageant à l'essieu un certain jeu par rapport au moteur.

Le point de vue économie est assez bien sauvegardé avec ce système qui, d'autre part, entraîne par son application tous les avantages que nous avons eu l'occasion de signaler pour les types précédents.

PARTIE MÉCANIQUE

La caisse repose sur deux boggies, dont les deux essieux sont moteurs, au moyen d'un groupe de ressorts elliptiques à lames. Pour assurer l'amortissement dans les mouvements de lacet du bogie, des appuis latéraux à ressorts supportent une partie du poids de la caisse. Aux extrémités des deux bogies sont montés des cylindres à air comprimé avec pistons, qui permettent de compenser en partie l'effet de décharge produit par l'effort de traction sur l'essieu avant de chaque bogie. La suspension des bogies sur les essieux s'effectue par des ressorts à lames reposant sur les boîtes d'essieux.

Les caractéristiques principales sont les suivantes :

Système d'alimentation : Courant monophasé 15.000 V, 16 2/3 période.

Écartement de la voie.....	normal
Longueur entre tampons.....	12.000 mm.
Distance entre pivots des bogies.....	5.840 —
Empattement des bogies.....	2.900 —
Diamètre des roues motrices	1.040 —
Rapport de réduction des engrenages.....	$\frac{1}{4.2}$
Poids de la partie mécanique.....	33.000 Kg.
Poids de l'équipement électrique	29.000 —
Poids total.....	62.000 —
Puissance à la jante à 55 Km/h. en régime uni-horaire.....	1.600 Ch.

Chaque pantographe peut, comme d'ordinaire, être isolé au moyen d'un sectionneur correspondant. Un interrupteur de mise à la terre permet d'isoler l'interrupteur principal qui est protégé par un relais de courant maximum. Le transformateur à gradins comporte 11 prises au secondaire qui permettent, au moyen du contacteur de graduation, de capter une tension variable de 0 à 780 volts pour les moteurs de traction. Ceux-ci sont branchés, comme d'ordinaire, sur les transformateurs par l'intermédiaire de trois bobines de réactance. (fig. 36).

Les moteurs sont connectés à demeure deux à deux en série afin de diminuer le courant dans les appareils et dans le secondaire du transformateur. Pour éviter les risques de surtension

Fig. 36. — Schéma de connexions du circuit principal des locomotives B₀ B₀ du chemin de fer Bodensee-Toggenburg

1. Pantographes. — 2. Sectionneurs de pantographes. — 4. Sectionneurs de mise à la terre — 5. Interrupteur principal. — 5 a. Transformateur d'intensité — 6. Introduction de courant. — 7. Transformateur à gradins. — 8. Transformateur d'intensité. — 13. Contacteurs de graduation. — 18. Transformateur d'intensité. — 19. Inverseur. — 20. Moteur de traction. — 21. Shunt de commutation des moteurs de traction. — 29. Contacteur de séparation. — 32. Contacteur de chauffage. — 33. Transformateur d'intensité. — 35. Accouplements de chauffage — 36. Prise pour les circuits auxiliaires.

La locomotive est munie du frein Westinghouse automatique et modérable, agissant sur les huit roues, au moyen d'un seul sabot par roue.

ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE

Aucune particularité saillante à signaler dans ce type qui ne l'ait été dans ce qui précède.

et d'emballement qui pourraient se produire en cas de patinage, du fait de ce mode de couplage, chaque groupe de moteurs est muni d'un dispositif de sécurité qui fait fonctionner un avertisseur, puis, quelques secondes après, déclenche l'interrupteur principal, lorsque la tension n'est plus répartie également entre les moteurs.

Les moteurs employés ont les caractéristiques suivantes : (fig. 37).

	Régime	
	unipolaire	continu
Puissance à la jante.....	400 Ch.	300 Ch.
Effort de traction	1.965 Kg.	1765 Kg.
Vitesse	1.175 t/min.	1.175 t/m.
Intensité	1.110 amp.	1.035 amp.
Tension aux bornes.....	314 V.	302 V.

* * *

En terminant cette petite étude documentaire, nous man-
querions à notre devoir si nous n'exprimions ici toute notre
gratitude à notre cher Maître, le Professeur Louis BARBILLON,
qui a bien voulu faciliter nos voyages d'études et par ses précieux
conseils a rendu ceux-ci pour nous particulièrement profitables.

Nous adressons aussi l'expression de nos vifs remerciements
à la direction Technique des Chemins de fer Fédéraux, qui a
bien voulu nous autoriser à prendre contact avec leur matériel
en exploitation ainsi qu'aux Sociétés de Constructions qui ont
bien voulu faciliter la publication de cette étude en mettant
à notre disposition leurs clichés ainsi que de fort précieux
compléments de documentation.

Fig. 37. — Courbes caractéristiques des moteurs

Z = Effort de traction à la jante sur kg. — V Vitesse du véhicule en
km./h. — η = Rendement du moteur et des engrenages. — P_1 courant en
régime continu. — P_2 = Courant en régime unihoraire. — Les courbes V
tiennent compte de la chute de tension dans le transformateur et dans les
bobines de passage — La courbe V 302 donne la vitesse en km.h pour
une tension constante de 302 volts aux bornes de chaque moteur.

DOCUMENTATION

Les turbo-alternateurs de grande puissance à 3.000 tours

Il n'y a guère longtemps, on considérait les turbo-alter-
nateurs de 20.000 KVA à 3.000 tours comme une puissance
limite pour de telles vitesses.

La Revue *Jeumont* de Juillet-Septembre 1933 et la Revue
Sciences N° 3, 1933 donnent toutes deux la description de turbo-
alternateurs d'une puissance respective de 72.000 et de 80.000 KVA
installés le premier à la Centrale de St-Denis de la Société d'Elec-
tricité de Paris, le deuxième à la Compagnie Belge Interescaut.

Ces deux revues donnent les détails de construction de ces
machines qui ont soulevé des problèmes mécaniques et élec-
triques qui n'ont pu être résolus que par l'emploi de matériaux
appropriés de qualité exceptionnelle.

L'équilibrage, la résistance des bobinages, la ventilation
ont fait l'objet d'études spéciales, quoique traitées un peu diffé-
remment par les deux constructeurs.

L'électrification des réseaux de chemins de fer d'intérêt général

L'idée directrice qui a conduit au plan d'électrification des
chemins de fer en 1920 était de subvenir à l'insuffisance de pro-
duction des mines françaises, en utilisant l'énergie hydraulique.

L'électrification des chemins de fer a entraîné la construction
d'usines hydrauliques et de réseaux de transport et de distri-
bution, dont la présence a facilité la construction de nouvelles
usines.

Le problème de l'électrification des chemins se fer consiste
uniquement pour eux à savoir si l'opération sera rémunératrice.
Il s'agit donc d'établir un bilan entre la traction à vapeur et la
traction électrique.

A l'heure actuelle on peut sur le réseau du Midi compter une
moyenne de consommation de 22 kg de charbon par kilomètre de
train. Il faut tenir un compte exact de la valeur du charbon, car
sur les lignes à grand trafic, des variations en apparence minimes
du prix du charbon peuvent avoir une grosse influence sur le bilan.

Les réseaux ferroviaires peuvent produire eux-mêmes leur
courant électrique, ou l'acheter à un secteur. Dans ce dernier
cas, ils évitent des immobilisations de capitaux et permettent
souvent aux sociétés de production d'améliorer leur rendement
et leur facteur d'utilisation.

On peut compter un tarif de 0 fr. 12 par kilowatt-heure haute
tension. Pour comparer exactement la traction électrique et la
traction à vapeur, il faut tenir compte de l'augmentation de vitesse

et de tonnage qu'apporte l'électrification et comparer des trains
identiques comme tonnage et vitesse.

Les frais de nettoyage et de graissage ne sont en traction élec-
trique que 55 à 60 % de ceux de la traction à vapeur. Il en est
de même pour les réparations et l'entretien.

L'économie sur le personnel est de 25 à 30 %. La tendance se
généralise de n'avoir qu'un seul conducteur sur les locomotives
électriques en les munissant du dispositif dit « d'homme mort ».

L'effectif des locomotives des parcs peut être réduit à 40 %
de celui des locomotives à vapeur.

Les charges de capital représentent une grosse part du bilan
(57 % des charges annuelles). Aussi doit-on bien choisir le moment
de contracter les emprunts. De nombreux frais doivent encore
figurer au bilan : modification du chauffage des trains, éclairage
des voies, modification des [gares, déplacement des lignes de
télécommunication, etc.

Pour les lignes situées loin des usines hydroélectriques, il peut
être intéressant d'avoir recours à des stations comportant des
moteurs Diesel accouplés à des génératrices à courant continu.

On tend de plus en plus à installer des sous-stations automa-
tiques qui n'ont besoin que d'un seul surveillant pour toute la
journée et où toute fausse manœuvre est évitée. Les redresseurs
à vapeur de mercure ayant un très bon rendement, un faible
encombrement et pas de parties tournantes se prêtent parfai-