Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 100 (1974)

Heft: 4

Artikel: La ligne de Berne-Lötschberg-Simplon: réalisation récentes et tâches futures

Autor: Weibel, Jean-Pierre

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-72092

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

La ligne Berne-Lötschberg-Simplon : réalisations récentes et tâches futures

par JEAN-PIERRE WEIBEL

Il y a quelques semaines, alors que se précisaient les menaces sur notre approvisionnement en pétrole, M. Desponds, président de la Direction générale des CFF, faisait ici le point de la situation de nos chemins de fer nationaux. Il convient toutefois de relever que la Suisse compte également de nombreux chemins de fer privés. Certains d'entre eux n'offrent pas seulement un caractère touristique, mais jouent un rôle important dans le développement économique de régions entières et complètent ainsi le réseau des CFF. Par exemple, les chemins de fer rhétiques, dans un grand canton à l'écart du réseau CFF, viennent au premier rang des chemins de fer privés suisses par la longueur totale de leur réseau.

Une comparaison entre les prestations des CFF et des dix plus importantes compagnies de chemins de fer privés souligne cette complémentarité :

Chemin de fer	Longueur du réseau (km)		Prestations fournies en 1972	
			Voyageurs (millions de voyageurs-km)	Marchandises (millions de tonnes-km)
Chemins de fer rhétiques	RhB	393	185,8	40,5
Berne-Lötschberg-Simplon (avec MLB)	BLS	116	190,6	297,8
Bodensee-Toggenbourg	BT	66	65,4	12,7
Soleure-Zollikofen-Berne	SZB	37	65,9	1,8
Berne-Neuchâtel . . .	BN	43	51,3	16,8
Emmental-Berthoud-Thoune	EBT	76	48,6	22,1
Gurbetal-Berne-Schwarzenbourg . .	GBS	52	42,6	6,4
Chemins de fer fribourgeois	GFM	98	21,5	7,4
Vereinigte Huttwil-Bahnen	VHB	68	18,3	12,9
Mittel-Thurgau-Bahn.	MThB	42	15,6	6,7
Total		977	705,6	425,1
Chemins de fer fédéraux	CFF	2913	8306	6703

On constate que les réseaux privés sont moins chargés que celui des CFF. Le Lötschberg constitue une exception en ce qui concerne le trafic des marchandises, ce qui s'explique par la part importante du transit : 88 % du tonnage transporté en 1972. Les échanges internationaux représentent trois quarts du transit par cette ligne, le reste intéressant le trafic avec le Valais, le reste de la Suisse ou les importants entrepôts de Frutigen.

La loi fédérale du 15 octobre 1897, instituant les Chemins de fer fédéraux, confiait à la Confédération la construction et l'exploitation des lignes d'intérêt national. Une exception subsiste, la compagnie de droit privé exploitant la ligne du Lötschberg, qui joue non seulement un rôle national mais international sur l'axe ferroviaire nord-sud (fig. 1). Etant donné le regain d'importance des chemins de fer pour l'économie du pays, il nous a semblé intéressant de consacrer une étude au BLS. Les Chambres fédérales auront probablement à se prononcer cette année sur un crédit destiné à introduire la double voie sur toute la ligne du Lötschberg. Ces travaux, qui constituent le projet le plus important pour le BLS, sont seuls à même d'assurer à relativement bref délai une augmentation substantielle de la capacité de transit dans notre pays. D'autres problèmes techniques sont également à résoudre par le BLS dans les domaines de l'infrastructure, de la traction et de l'exploitation.

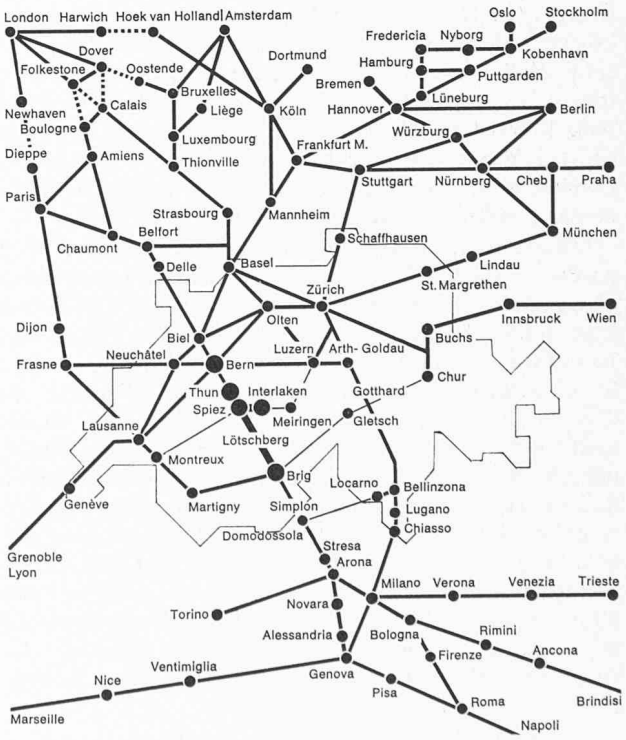


Fig. 1. — Position de la ligne du Lötschberg dans les communications européennes.

Historique

Dès l'apparition du chemin de fer dans notre pays, le problème de la traversée des Alpes a occupé les esprits des politiciens aussi bien que des ingénieurs. Alors qu'une telle liaison était de toute évidence une affaire de portée internationale, son établissement s'est heurté d'emblée à d'innombrables querelles de clochers dans notre pays, malgré la concurrence de tracés situés à l'est de la Suisse. La constellation politique européenne encore mouvante ne contribuait guère à clarifier les conceptions. Au chapitre de la petite histoire, relevons que la première concession accordée en Suisse pour la traversée des Alpes l'a été pour un tracé empruntant le Lukmanier et prévoyant un tunnel de 6 km entre le val Cristallina et le val di Campo. Comme pour d'autres projets, la longueur des discussions et la guerre en Italie lui furent fatales.

C'est à cette époque que se situe la naissance de l'idée d'une traversée des Alpes bernoises : en 1864 fut fondé à Berne un comité du Chemin de fer du Grimsel. Cette ligne se serait raccordée aux chemins de fer bernois à Meiringen et à ceux de la Suisse occidentale à Oberwald.

La publication la même année d'une expertise démontrant la rentabilité de la ligne du Gothard ainsi que les positions prises par les pays intéressés à la ligne transalpine mirent fin à trente ans de spéculations et d'efforts divergents en donnant définitivement la préférence au Gothard. Parmi les concurrents malheureux d'alors, citons outre le Grimsel et le Lukmanier : le Splugen, le Simplon, et hors de Suisse, le Brenner et le Mont-Cenis.

Dès lors, une fois la ligne du Gothard construite, pourquoi le projet des Alpes bernoises n'a-t-il pas été abandonné ?

D'une part, les dépassements considérables des coûts estimés pour la construction du Gothard avaient conduit à abandonner pour un temps la réalisation de la voie d'accès Lucerne-Immensee, rendant caducs les frais engagés par Berne dans la ligne Berne-Lucerne — où les exigences de l'exploitation avaient déjà été sacrifiées à des considérations économiques pour l'établissement du tracé — et allongeant considérablement l'accès au Gothard pour le trafic au départ de Berne. A ce sujet, il faut se souvenir que, par la loi sur les chemins de fer de 1852, la Confédération s'était privée de toute influence sur le développement du réseau ferroviaire.

D'autre part, un groupe français avait obtenu en 1852 du canton du Valais une concession pour la construction d'un chemin de fer suivant la vallée du Rhône pour aboutir à un tunnel du Simplon : la Ligne d'Italie. Le tronçon Le Bouveret-Sion était réalisé en 1860 et, l'année suivante, la construction du tronçon Lausanne-Villeneuve du Chemin de fer de la Suisse occidentale assurait une liaison Sion-Genève. La faillite de la Ligne d'Italie mit momentanément fin au projet du Simplon. Toutefois, le Chemin de fer de la Suisse occidentale, qui avait acheté aux enchères ce qui existait de la Ligne d'Italie, prolongea le tracé jusqu'à Brigue. La fusion en 1889 des compagnies Suisse occidentale-Simplon et Jura-Berne-Lucerne relança l'idée du percement du Simplon, mentionnée expressément dans le contrat de fusion. Le financement de ce projet fut assuré en 1898, notamment grâce à l'appoint de la Banque cantonale bernoise.

Pour Berne, le Simplon ne présentait un intérêt que s'il était directement accessible du nord. (Ce qui avait également été compris par certains promoteurs d'un tunnel du Grand-Saint-Bernard, avec accès par le val Ferret, qui proclamaient que, pour Vaud et le Valais, « l'ennemi, c'était le Simplon ! »)

En outre, un décret cantonal bernois de 1891 avait suscité la construction de divers chemins de fer d'intérêt local, conditionnant déjà partiellement le tracé d'un raccord avec la ligne du Simplon :

1872 Därligen-Interlaken (« Bödelibahn »),
1874 Interlaken-Bönigen,
1901 Spiez-Frutigen,

ce dernier prolongeant la ligne Berne-Thoune ouverte en 1859 par le Chemin de fer central suisse.

La loi de 1872 ayant enfin assuré à la Confédération la haute main sur les chemins de fer, ce sont les Chambres qui, le 23 décembre 1891, accordèrent à un groupe bernois la concession pour la construction d'une ligne à voie normale Frutigen-Viège. Sans entrer dans le détail des variantes examinées lors du choix d'un tracé, mentionnons qu'il a été établi selon les mêmes caractéristiques générales que celui du Gothard, notamment en ce qui concerne la pente maximum de 27 $^0/_{00}$ et le rayon des courbes, de 280 m au moins.

Le financement du Lötschberg fut rendu très difficile par le refus des Chemins de fer fédéraux, issus de la nationalisation de 1903, de participer à la construction de la ligne. Les raisons invoquées étaient la rentabilité insuffisante du projet et la concurrence faite à la ligne du Gothard. Aujourd'hui, personne ne regrettera que ce refus n'ait pas empêché la construction de la ligne du Lötschberg, les responsables des CFF moins que quiconque !

Narrer les péripéties qui ont marqué la réalisation du Lötschberg de 1906 à sa mise en service le 15 juillet 1913 dépasserait le cadre de cet article. Il faut toutefois mentionner deux décisions capitales pour le rôle que devait jouer cette ligne : celle d'exploiter la nouvelle liaison en traction électrique dès le début (15 kV ; 15 Hz ; monophasé) et celle de percer le tunnel principal pour la double voie.

Alors que les expériences accumulées avec le système d'électrification choisi allaient entre autres déterminer celui des CFF (15 kV ; $16^2/_3$ Hz ; monophasé), la capacité assurée au tunnel devait se révéler capitale pour le rôle de la nouvelle ligne sur le plan international. Il est peu vraisemblable qu'il eût été possible de trouver les moyens financiers de doubler ultérieurement un tunnel à simple voie.

Développement de la ligne du Lötschberg

Les promoteurs du Lötschberg lui avaient dévolu deux rôles principaux : celui de chemin de fer touristique et celui de voie de transit pour les marchandises. Les expériences de la première année de service avaient à peine confirmé la validité des conceptions techniques choisies que la première guerre mondiale vint tarir ces deux sources de revenus. De plus, la pénurie générale de charbon, en réduisant considérablement le trafic sur les lignes adjacentes, exploitées à la vapeur, empêchait le Lötschberg de profiter des avantages de l'électrification.

L'issue de la guerre posait d'autres problèmes : l'Alsace et la Lorraine étant redevenues françaises, le passage de la frontière franco-suisse à Delle, jusqu'alors la meilleure route entre Paris et Berne, perdait de son importance au profit de Bâle, située sur les voies d'accès au Gothard.

Néanmoins, l'après-guerre fut marquée par une nette augmentation des recettes (fig. 2). L'inflation de 1922

vint une fois de plus faire sentir la vulnérabilité du BLS aux fléchissements de la conjoncture. Le relèvement qui suivit fut annihilé par la crise de 1929, jusqu'à ce que la dévaluation du franc suisse, en 1936, permette à l'économie de notre pays de reprendre des forces. Enfin, la concurrence croissante de l'automobile privait les chemins de fer, mal protégés faute de législation adéquate, de recettes substantielles. L'intervention des pouvoirs publics s'avérait indispensable pour assurer l'avenir de l'entreprise. Deux trains de mesures d'assainissement décidées en 1923 et en 1932 ont permis de libérer la compagnie de charges compromettant son existence.

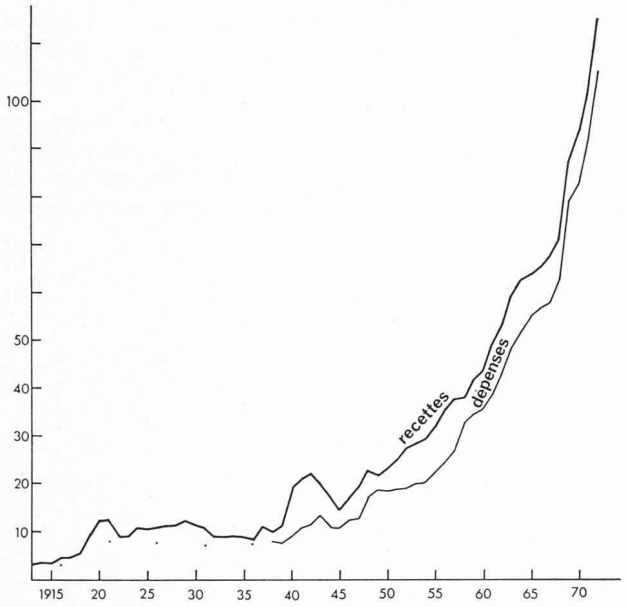


Fig. 2. — Evolution des comptes d'exploitation du BLS (en millions de francs). Dans les charges sont inclus dès 1958 les amortissements ordinaires et dès 1969 les frais de personnel des réseaux coexploités (BN, SEZ, GBS).

Lors du troisième assainissement de 1942, rendue possible par la loi fédérale sur l'aide aux chemins de fer privés de 1939, la situation de base était bien meilleure. L'électrification du réseau suisse permettait désormais au BLS d'assumer un rôle national, aussi en temps de guerre, justifiant l'aide fédérale. Cette dernière permit notamment le rachat d'obligations pour un montant de 20,5 millions de francs. A l'issue de cet assainissement, le capital-actions du BLS se présentait de la façon suivante :

Confédération	Fr. 7 048 200
Canton de Berne	» 23 842 200
SNCF *	» 6 200 000
Communes et entreprises de transport	» 1 527 000
Capitaux privés	» 20 747 600
Total	Fr. 59 365 000

* Cette part est actuellement en mains privées suisses

Les excellents résultats obtenus par le BLS depuis la fin de la guerre, malgré la concurrence montante du transport routier et l'impitoyable escalade des coûts, démontrent que l'aide de la Confédération était bien placée (fig. 2 et 3).

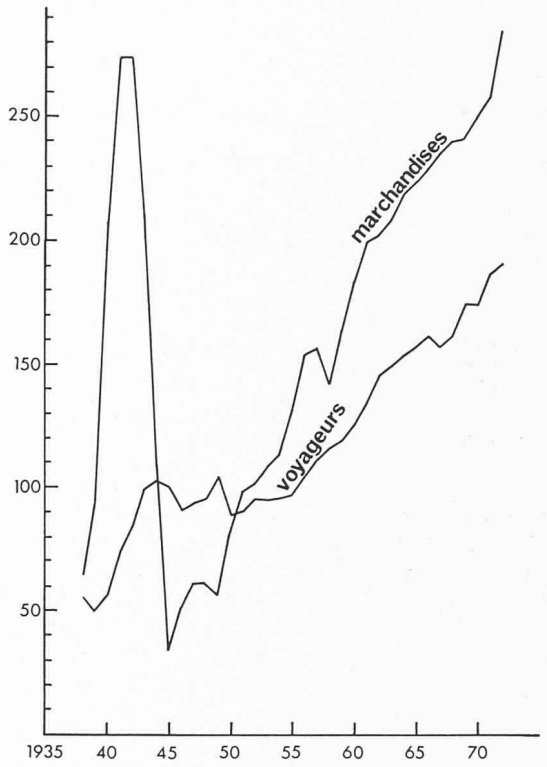


Fig. 3. — Evolution des prestations de trafic au cours des 25 dernières années (en millions de voyageurs-km, resp. millions de tonnes-km).

La part croissante des charges du personnel dans les frais d'exploitation (fig. 4) a conduit à une rationalisation toujours plus poussée, mais nécessitant d'importants investissements.

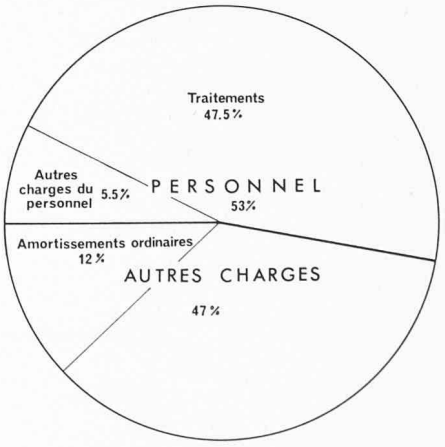


Fig. 4. — Répartition des charges d'exploitation (le poste « frais de personnel » comprend les charges de personnel des compagnies coexploitées).

Le transport d'automobiles accompagnées à travers le tunnel du Lötschberg a pris un essor considérable ces dernières années. Il a constitué une source de revenus supplémentaires appréciables, mais a également demandé la construction de matériel roulant et d'une infrastructure bien adaptée à cette tâche particulière (fig. 5).

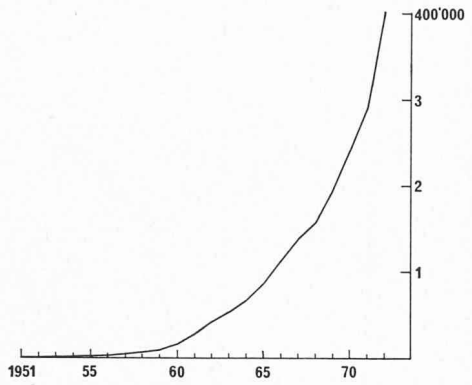


Fig. 5. — Développement du transport d'automobile accompagnées à travers le tunnel du Lötschberg.

La situation est moins satisfaisante sur les lignes coexploitées, soit Berne-Neuchâtel, le Simmental et Gurbetal-Berne-Schwarzenbourg. Malgré la rationalisation assurée par l'exploitation de ces réseaux par le BLS, leur déficit va croissant. Du fait qu'il s'agit surtout de liaisons de caractère régional et touristique, et que leur principal trafic est déficitaire (travailleurs, écoliers), seule une redistribution importante des transports assurés par le rail et la route pourrait améliorer cette situation.

Le développement important de la banlieue de Berne et des localités avoisinantes a incité le BLS à entreprendre une étude pour une amélioration de ses prestations, notamment à destination de Belp et de Bümpliz Nord-Brünnen par le doublement des voies existantes, et en direction de Schwarzenbourg par l'aménagement de la ligne et de l'horaire. Cette étude portait également sur le matériel roulant correspondant, qui serait composé de rames réversibles. Le coût élevé nécessaire à la réalisation de ce projet, qui serait un des éléments des transports urbains nécessaires à l'agglomération bernoise, empêche actuellement qu'il entre dans une phase concrète. Son avenir pourrait bien être lié à l'évolution dans le domaine de l'énergie.

Aujourd'hui, l'avenir du BLS est bien assuré. Néanmoins les tâches qui l'attendent dépassent ses propres forces. Avant d'étudier ces problèmes, il est intéressant de voir quelle a été l'évolution technique parallèle à l'assainissement financier.

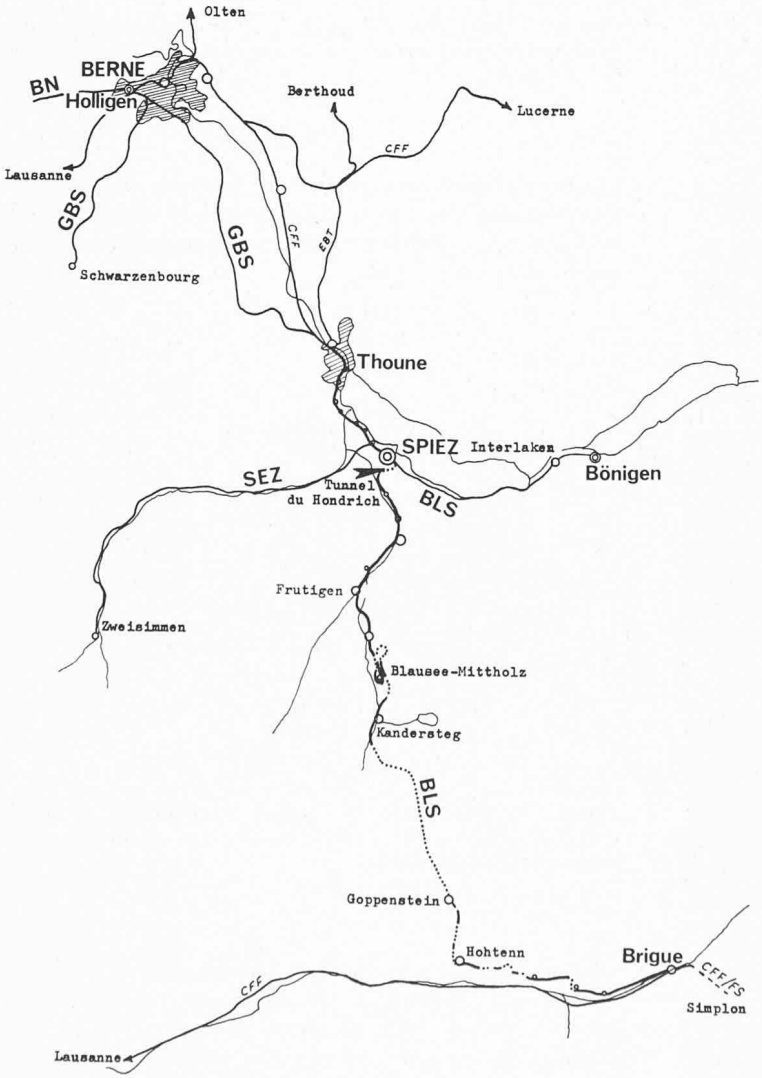


Fig. 6. — Carte du réseau BLS et des lignes coexploitées.

Berne : Siège du BLS.
Spiez : Ateliers et dépôt de la traction.
Holligen : Dépôt de la traction.
Bönigen : Ateliers et dépôts des wagons et des voitures.

La traction électrique sur la ligne du Lötschberg

La ligne du Lötschberg présente une configuration posant des exigences très précises au matériel de traction. Alors que le tronçon Spiez-Frutigen ne pose pas de problème ardu au point de vue traction, celui conduisant de Frutigen à Brigue comporte une déclivité moyenne de 21 ‰ (sauf dans le tunnel principal) et une valeur maximale sur certains tronçons, atteignant plusieurs kilomètres, de 27 ‰ (fig. 6 et 7). Les exigences qui en découlent expliquent pourquoi le BLS a toujours fait procéder et participé au développement de locomotives particulières à son réseau et situées à l'avant-garde dans le domaine de la traction électrique. Suivre ces étapes du BLS, c'est un peu parcourir l'histoire des locomotives électriques à alimentation haute tension monophasée.

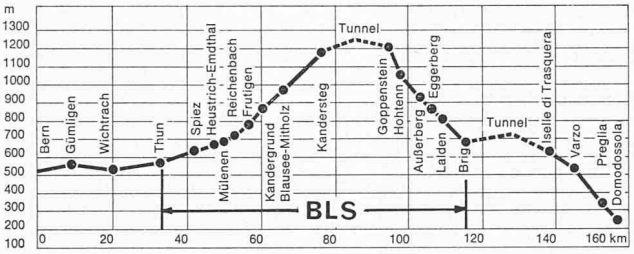


Fig. 7. — Profil de la ligne du Lötschberg et des lignes d'accès.

Etant donné les modestes expériences disponibles lorsque la décision fut prise en 1908 d'adopter *ab initio* la traction électrique sur toute la ligne, ce choix ne manquait pas d'audace. Le cahier des charges établi pour la soumission de prototypes n'aurait pu être rempli par des locomotives à vapeur qu'en traction multiple :

Effort à l'attelage : 10 000 kg à 40 km/h sur une rampe de 27 ‰, soit une puissance d'environ 1900 ch.

Le prototype Ce 6/6 construit par Oerlikon et SLM Winterthour démontra de façon convaincante que la traction électrique était à même de remplir cette tâche (fig. 8). Les résultats obtenus conduisirent au développement et à la commande d'une série de 13 locomotives Be 5/7, d'une puissance de 2500 ch en régime d'une heure et demie, qui étaient les plus puissantes locomotives électriques construites jusqu'alors. Malgré certaines maladies d'enfance, le choix de ce type était excellent, puisque les deux dernières machines ne furent retirées du service qu'en 1964, après plus de 50 ans d'activité (fig. 9).

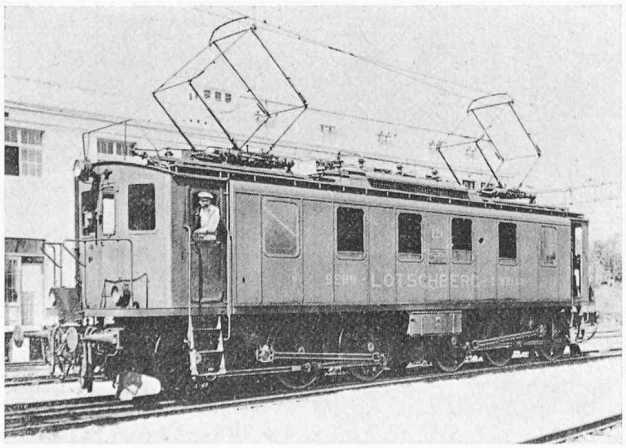


Fig. 8. — La première locomotive électrique du BLS : prototype Ce 6/6 (photo BLS).

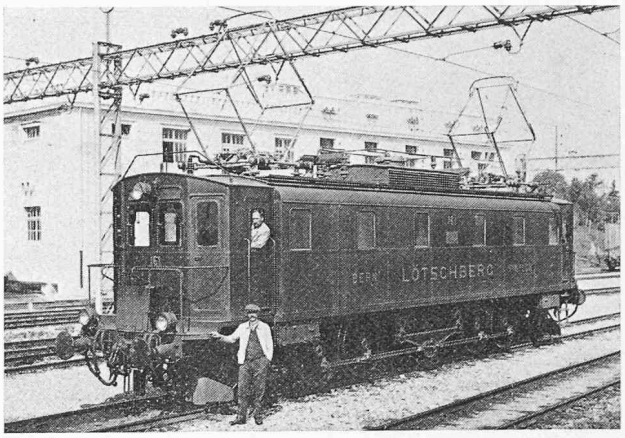


Fig. 9. — Locomotive Be 5/7. 13 machines de ce type ont assuré l'essentiel de la traction sur le Lötschberg de 1913 à la fin des années 30 (photo BLS).

L'augmentation du poids des trains et l'accélération souhaitée du trafic, sans recours à la traction multiple sur les rampes nord et sud, incitèrent le BLS à préparer en 1924 l'achat de nouvelles locomotives, sur la base du cahier des charges suivant :

Remorquage d'une charge de 550 tonnes à 50 km/h sur rampe de 27 ‰, vitesse maximale 75 km/h.

L'expérience des CFF avait montré que l'entraînement individuel des essieux permettait d'atteindre une meilleure utilisation de l'adhésion que l'entraînement par bielles ; le BLS, soucieux également d'éviter les défectuosités causées par ce dernier, spécifia l'entraînement individuel. Là aussi, la maison suisse auteur de la partie électrique du projet retenu, les Ateliers de Sécheron, réussit un coup de maître, puisque la nouvelle machine remorqua 600 t sur rampe de 27 ‰, sans avoir atteint le plafond de ses performances. Il convient de relever que le fabricant de la partie mécanique, Ernesto Breda S.A. à Milan, avait efficacement contribué à atteindre le rapport poids/puissance remarquable pour l'époque de 31,4 kg/ch. Là encore, le choix du BLS fut judicieux, puisqu'au cours de différentes transformations, le type Be 6/8 développant 4500 ch à 50 km/h, ayant une vitesse maximale de 75 km/h, devait se muer en locomotives Ae 6/8 de 6000 ch à 70 km/h, avec une vitesse maximale de 100 km/h. Elles sont restées longtemps les locomotives simples les plus puissantes du monde. Les huit unités acquises entre 1924 et 1943 sont encore en service. Il est intéressant de relever que la cinquième machine de ce type, livrée en 1939, introduisait la position assise pour le mécanicien, qui devait se généraliser. De plus, l'effort esthétique fourni par le fournisseur de la partie mécanique des quatre dernières unités, SLM à Winterthour, a été particulièrement heureux : il s'agit certainement d'une des plus belles locomotives électriques jamais construites (fig. 10).

L'augmentation de la vitesse intervenue sur le réseau des CFF se révéla également souhaitable sur le Lötschberg, spécialement entre Berne et Thoune, où les trains du BLS utilisent le réseau des CFF. L'utilisation des lourdes Ae 6/8 n'était pas rationnelle, étant donné le poids modeste des convois au moment où a commencé à se faire sentir la nécessité d'augmenter la vitesse, à partir de 1941.

Une fois de plus, les caractéristiques requises par le cahier des charges du BLS pour un nouveau type amenèrent les constructeurs à réaliser des progrès décisifs :

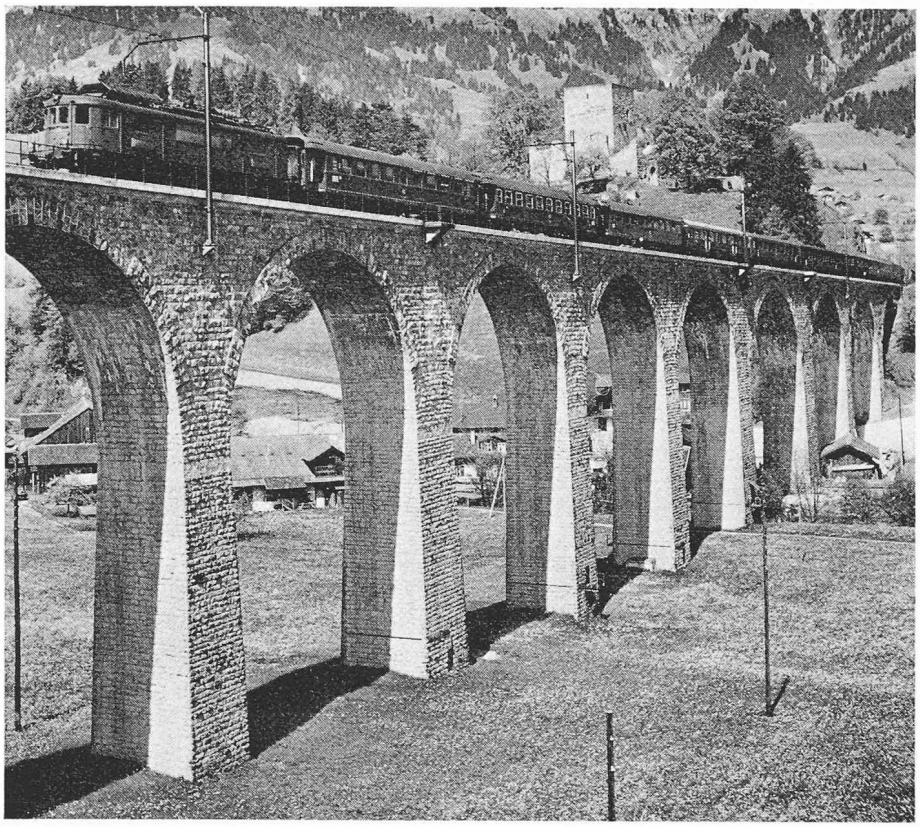


Fig. 10. — Locomotive Ae 6/8 remorquant un train international sur le viaduc de la Kander en amont de Frutigen. L'ouvrage en béton précontraint pour la seconde voie sera construit à 15 m en aval, soit à droite du viaduc existant (photo F. Marti/BLS).

Remorquage d'une charge de 650 tonnes à 90 km/h sur une rampe de 10 ‰ et à 75 km/h sur une rampe de 15 ‰ ; remorquage d'une charge de 400 tonnes à 75 km/h sur rampe de 27 ‰ ; vitesse maximale : 125 km/h.

Le résultat obtenu par BBC et SLM représente une étape capitale dans le développement de locomotives à haute vitesse. Utilisant des bogies et un système de transmission à disque et arbre de torsion nouveaux, ne présentant pas d'essieu porteur grâce notamment au faible poids de la caisse autoporteuse soudée, atteignant une puissance unihoraire de 4000 ch pour un poids propre de 80 tonnes, le nouveau type Ae 4/4 inaugurait une ère nouvelle et, comme l'a écrit un spécialiste français : « Sa descendance, avouée ou non, est des plus considérables. » Elle a été abondamment décrite dans les revues spécialisées du monde entier (fig. 11).

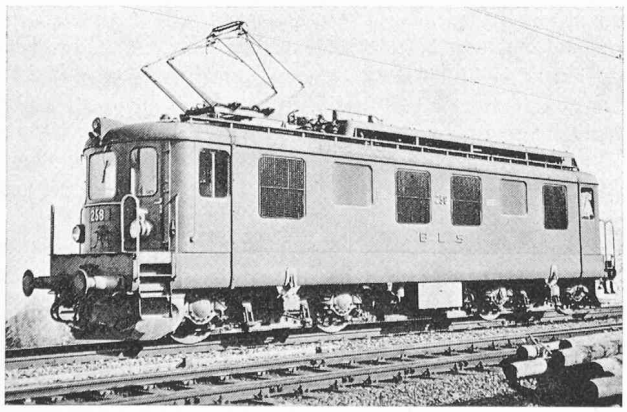


Fig. 11. — Locomotive Ae 4/4, dont une des tâches principales est aujourd'hui la traction des convois d'automobiles accompagnées, entre Kandersteg d'une part et Goppenstein, Brigue ou Iselle d'autre part (photo W. Ritschard/BLS).

Moyennant quelques adaptations, deux locomotives de ce type associées en une machine double non divisible formèrent le type Ae 8/8 de 8800 ch unihoraires, permettant de remorquer *900 tonnes à 75 km/h sur rampe de 27 ‰*. Les cinq locomotives de ce type, dont deux ont été obtenues par l'accouplement de 4 Ae 4/4 existantes, ont constitué un puissant renfort, face à l'augmentation constante du tonnage en transit par le Lötschberg (fig. 12).

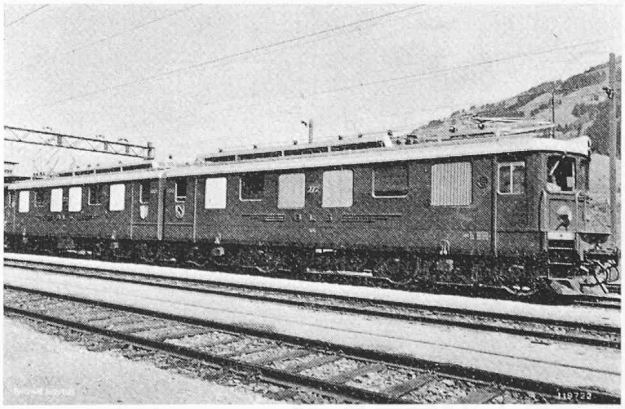


Fig. 12. — Locomotive Ae 8/8 de 8800 ch (photo BLS).

En 1962, le BLS mit au point un cahier des charges pour le remplacement du type Ae 6/8 pour la traction des trains rapides lourds, puis plus tard des convois de marchandises. Le cahier des charges demandait :

Remorquage d'une charge de 600 tonnes à 75 km/h sur rampe de 27 ‰, vitesse maximale d'au moins 125 km/h.

Les progrès enregistrés dans la construction permettaient de penser que la puissance requise de plus de 6000 ch pouvait être atteinte pour une configuration et un poids identiques à celle du type Ae 4/4. Le problème principal était d'assurer la transmission de l'effort correspondant entre les roues et le rail dans toutes les conditions. L'emploi de moteurs alimentés par des redresseurs en courant pulsé, la possibilité de shunter rotors et stators de sorte à répartir de façon optimale la puissance entre les essieux délestés lors de l'accélération et les autres, de même que le couple important et régulier fourni par ces moteurs à bas régime, ont efficacement contribué à assurer l'adhésion souhaitée. La transmission basse de l'effort sur l'attelage et le délestage pneumatique des essieux arrière de chaque bogie lors du démarrage sont également à mentionner.

Les essais de la machine fournie par BBC et SLM, au cours desquels ont été effectués des démarrages avec une charge remorquée de 660 tonnes en rampe de 27 ‰, ont rapidement confirmé la parfaite adaptation de cette machine aux conditions de la ligne du Lötschberg. La commande initiale de deux locomotives Re 4/4 a successivement été augmentée à 5, 13, 20 puis 29 unités, dont 20 sont déjà en service. Il s'agit du modèle commandé en plus grand nombre par le groupe BLS, ce qui montre bien le caractère universel de son utilisation (fig. 13).

Fig. 13. — Locomotive Re 4/4 remorquant un convoi entre Blausee et Kandergrund. On aperçoit à l'arrière-plan à droite les filets de protection et d'alarme en cas de chutes de pierre, mis au point par le BLS et les Câbleries de Brougg. Lorsqu'une pierre rompt une maille du filet, constitué de conducteurs électriques, le courant est interrompu dans la ligne de contact (photo W. Ritschard/BLS).

Depuis 1973, la charge remorquée autorisée en rampe de 27 ‰ est de 630 tonnes pour une machine de ce type.

Sa puissance unihoraire de 6780 ch en fait la locomotive à quatre essieux la plus puissante du monde. Utilisée en double traction, elle permettra de remorquer des trains de 1250 tonnes sur les rampes du Lötschberg, une fois introduit l'attelage automatique. Les attelages actuels limitent le poids tracté à 1100 tonnes.

Il est à remarquer que les types Ae 4/4 et Re 4/4 sont équipées de circuits de commande permettant de coupler en unités multiples deux locomotives de même type, possibilité utilisée pour la traction de trains lourds de voyageurs et de marchandises.

Une exception est constituée par la Re 4/4 161, qui a été transformée pour expérimenter la commande par thyristors. Pour des caractéristiques par ailleurs inchangées, elle permet un réglage continu de l'effort de traction, ce qui permet une adaptation idéale aux conditions rencontrées. Lors d'essais en Autriche, entre autres, il a été possible de démarrer sans peine et d'accélérer une charge de 708 t jusqu'à la vitesse autorisée, sur une pente de 25 ‰.

L'obstacle immédiat à une utilisation généralisée de la commande par thyristors vient des courants parasites engendrés sous forme d'harmoniques dans les circuits de télécommunication et de commande des signaux le long de la voie, perturbant sérieusement le fonctionnement de ces systèmes. Par des modifications de ces installations, le BLS les a rendu insensibles aux signaux parasites et permis ainsi l'engagement sans restriction de la machine 161 de Thoune à Brigue et d'Interlaken à Zweisimmen. Des modifications apportées aux circuits de la locomotive ont réduit considérablement la génération d'harmoniques.

Sur le plan de la traction, cette machine a confirmé toutes les prévisions, ce qui a conduit le BLS à adopter la commande par thyristors pour certains de ses tracteurs par exemple. Pour les locomotives de ligne, il semble que se dessinent des possibilités plus révolutionnaires, permettant l'utilisation de moteurs sans collecteurs [1].

Dès le début de son exploitation, le BLS a utilisé des automotrices pour ses liaisons touristiques et de caractère local. Parmi les nombreux types mis en service depuis 1913, le plus souvent avec un succès marqué aussi bien du point de vue de l'exploitation que par l'écho rencontré auprès des voyageurs, il convient de mentionner le modèle lourd Be 4/4. Bien qu'il ait été acquis pour la ligne Berne-Neuchâtel, il a été conçu par SIG Neuhausen et les Ateliers de Sécheron, en étroite collaboration avec le service de la traction du BLS, pour permettre son utilisation également sur le Lötschberg. D'une puissance de 2000 ch pour un poids de 68 tonnes, l'automotrice Be 4/4 permet de transporter 60 voyageurs et de remorquer 200 tonnes en rampe de 27 ‰ et 300 tonnes sur 18 ‰, et elle atteint une vitesse maximale de 110 km/h. Equipées de la commande à distance, les trois machines de ce type peuvent être couplées en unités multiples ou incorporées à des rames réversibles. Leur construction a servi de base pour le développement de la série d'automotrices RBe 4/4 des CFF, réalisées en 82 exemplaires, ainsi que de toute une gamme d'automotrices pour divers chemins de fer privés de notre pays. Ainsi se confirmait une fois de plus le rôle de pionnier joué par le BLS dans la construction de locomotives (fig. 14).

Tous les types mentionnés ci-dessus ont vu le jour grâce à une collaboration intense entre les constructeurs et les

[1] W. Grossmann, Berne : « Die Thyristor-Stromrichter-Lokomotive Re 4/4 161 der Berner Alpenbahn-Gesellschaft Bern-Lötschberg-Simplon (BLS). » *Schweizerische Bauzeitung*, 91e année, no 14, 5 avril 1973. (Cet article existe également en tiré à part à la SEATU, case postale 630, 8021 Zurich.)

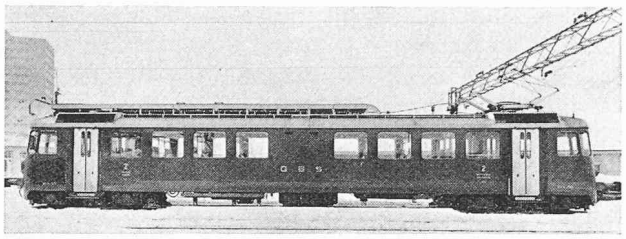


Fig. 14. — Automotrice lourde Be 4/4 du GBS (photo BLS).

spécialistes du BLS. Ces derniers peuvent s'appuyer sur l'expérience considérable accumulée notamment par les ateliers que la compagnie entretient à Spiez. Malgré leurs dimensions modestes, ils assurent à la fois la fonction de dépôt et d'ateliers de la traction. Alors que le premier département exécute les contrôles périodiques, durant en règle générale un jour, entre lesquels les locomotives parcourent de 28 000 km (Ae 6/8) à 55 000 km (Ae 4/4, Ae 8/8 et Re 4/4), le second effectue les révisions R_1 à R_3 ainsi que les normalisations et des transformations pouvant être très importantes. Les modifications apportées aux véhicules de traction découlent le plus souvent des expériences faites en exploitation ou lors de l'entretien et sont conçues et mises au point par les services du BLS. L'équipement des ateliers de Spiez, bien adapté aux exigences de l'entretien et de l'amélioration du matériel de traction, permet également de participer à la construction de nouveaux véhicules par la livraison d'éléments importants, voire de réaliser entièrement certains véhicules de service. Ces activités ont beaucoup contribué à la mise au point de locomotives bien adaptées au caractère particulier de la ligne du Lötschberg et à ses conditions d'exploitation parfois très dures pour le matériel roulant.

L'entretien du parc de matériel roulant est également assuré par le dépôt de Holligen et par les ateliers de Bönigen, ces derniers étant responsables des voitures et des wagons et ayant participé de façon prépondérante à la réalisation des trains-navettes utilisés pour le transport des automobiles à travers le Lötschberg.

L'évolution des charges remorquées admissibles a permis d'augmenter considérablement le tonnage des convois de marchandises circulant sur le Lötschberg, mais a aussi posé des problèmes de traction de plus en plus ardus. La figure 15 montre comment cette évolution s'est répercutée sur la composition des convois, en fonction des moyens de traction disponibles. La nécessité d'intercaler actuellement une locomotive dans les trains dont le poids dépasse 1100 tonnes demande un surcroît de manœuvre et l'utilisation d'une liaison radio entre la machine de tête et celle intercalée, la traction multiple n'étant pas possible. De plus deux mécaniciens sont nécessaires pour la conduite. L'introduction de l'attelage central automatique, permettant une charge beaucoup plus élevée, simplifiera considérablement l'exploitation, puisqu'un convoi de 1900 tonnes pourra être tracté par trois Re 4/4 en unités multiples, commandées par un seul mécanicien.

L'achat de 29 Re 4/4 par le groupe BLS permettra d'assurer la majorité des tâches de traction ces prochaines années, aussi bien dans l'optique du doublement de la voie que dans celle du retrait progressif des Ae 6/8 du service régulier à cause des charges qu'impose leur entretien.

Type	Nombre	Poids en service (t)	Effort de traction maximal à la jante (kg)	Puissance unihoraire (ch)	Vitesse maximale (km/h)	En service	Constructeurs (Partie électrique) (Partie mécanique)
Ce 6/6	1	90		2000 à 42 km/h	70	1910-1968	MFO SLM
Be 5/7	13	107		2500 * à 50 km/h	75	1912-1964	MFO, BBC SLM
Ae 6/8	8	140	36 000	6000 à 70 km/h	100	1926-	Sécheron Breda, SLM
Ae 4/4	4 (8)	80	22 000	4000 à 76 km/h	125	1944-	BBC SLM
Ae 8/8	5	160	46 000	8800 à 76 km/h	125	1959-	BBC SLM, BLS
Re 4/4	29	80	32 000	6780 à 78 km/h	140	1964-	BBC SLM
Be 4/4	3	68	13 000	2000 à 70 km/h	110	1953-	Sécheron SIG
ABDe 4/8	13	85-96	6 000-11 000	960-1600 à 75 km/h	110-125	1945-	Sécheron, BBC SIG, BLS

* En régime de 1,5 h.

MFO : Ateliers de construction, Oerlikon
BBC : Brown, Boveri & Co, Baden
Sécheron : Ateliers de Sécheron, Genève
SLM : Fabrique suisse de locomotives, Winterthour
Breda : Ernesto Breda, Milan
SIG : Société industrielle suisse, Neuhausen
BLS : Ateliers de la traction du BLS, Spiez

Caractéristiques principales des véhicules de traction les plus importants du groupe BLS.

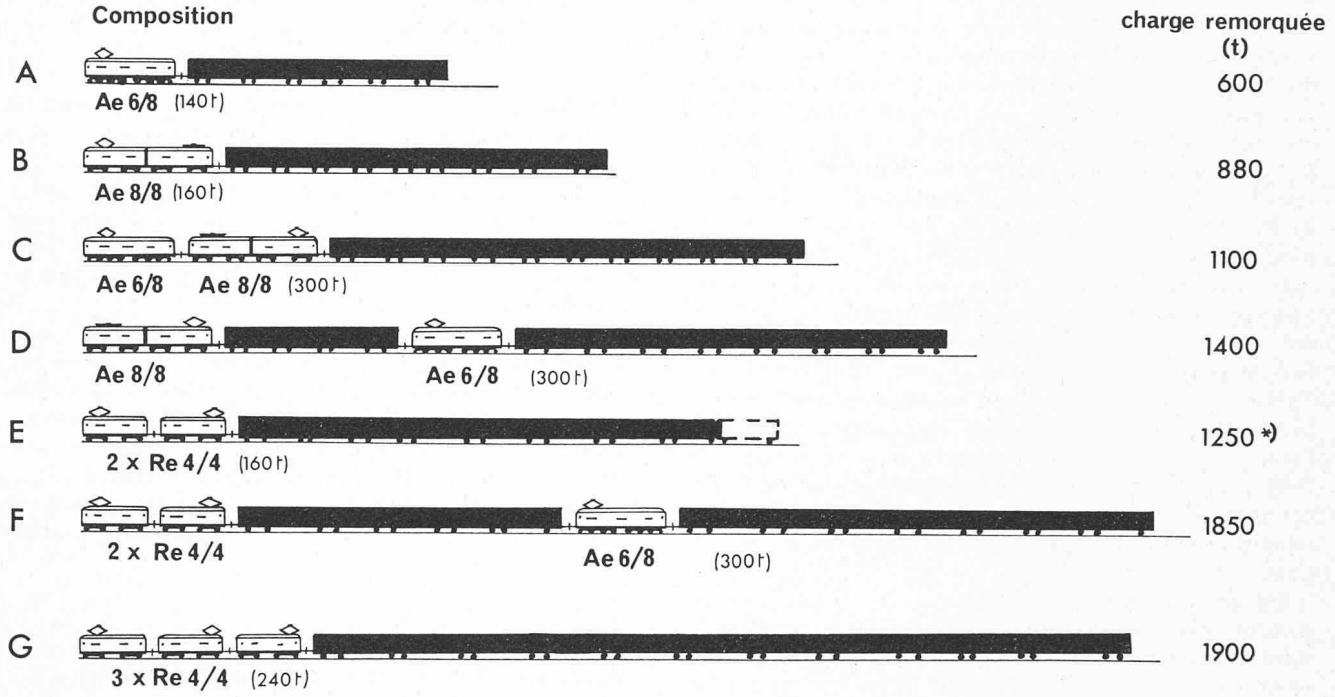


Fig. 15. — Traction des convois de marchandises sur la ligne du Lötschberg :

A Jusqu'en 1957
B A partir de 1958
C A partir de 1958
D A partir de 1958
E A partir de 1973 *) provisoirement limité à 1100 t
F A partir de 1973
G Après l'introduction de l'attelage central automatique (1980-1985)

Les compositions C, D et F ne permettent pas la conduite en unités multiples et demandent 2 mécaniciens.

Fourniture d'énergie

L'augmentation passée et future des prestations, notamment dans le trafic de marchandises, ne pose pas seulement des problèmes de traction, mais aussi d'énergie. La compagnie BLS ne possède pas de moyens propres de production d'électricité et dépend des Forces motrices bernoises. L'énergie qu'elle consomme est fournie par les centrales de Spiez et de Kandergrund ainsi que par l'importante sous-station de Wimmis. La puissance disponible actuellement est de 40 000 kW environ. Or, en 1972, la charge *moyenne* du réseau BLS était de 8000 kW, et la traction de trains lourds selon la composition G de la figure 15 demandera environ 20 000 kW à la caténaire, sur des tronçons atteignant plusieurs kilomètres. Actuellement, la circulation de tels trains devrait être programmée pour éviter toute simultanéité.

Il faut relever que les Forces motrices bernoises avaient toujours été en mesure de couvrir sans difficulté les besoins du BLS, de sorte que la nécessité du freinage par récupération ne s'est jamais fait sentir et qu'aucune locomotive n'est équipée de ce système.

L'apport d'énergie est essentiellement assuré par la sous-station de Wimmis. Pour couvrir les besoins accrus, spécialement sur la rampe sud, deux solutions sont envisagées. L'augmentation de la puissance disponible à Wimmis en constitue la condition commune. D'une part, il est prévu de construire une ligne à haute tension de Wimmis à Gampel, d'autre part de connecter la sous-station de Wimmis avec celle des CFF à Berne. Cette dernière solution permettrait une meilleure souplesse par des échanges avec les CFF. Il serait par exemple concevable que l'appoint nécessaire à la rampe sud soit fourni par ces derniers à Brigue, évitant ainsi la construction d'une ligne à haute tension onéreuse. En tout état de cause, la réalisation prochaine de la double voie Frutigen-Brigue demandera l'établissement de priorités dans la fourniture d'énergie en attendant l'indispensable appoint des centrales nucléaires.

Infrastructure

Il n'est pas question de traiter ici en détail tous les problèmes de l'infrastructure de la ligne du Lötschberg. Notre propos est surtout de montrer les plus importants d'entre eux en cours d'étude ou de solution.

Nous l'avons vu, le manque d'intérêt des CFF pour la construction de la ligne empêchait de financer la réalisation du tracé en double voie. Heureusement, une décision importante a facilité la tâche ultérieure des responsables de la ligne, en liant l'attribution d'une subvention fédérale au percement du tunnel principal pour la double voie. De plus, il était demandé de procéder lors de la réalisation des rampes Frutigen-Kandersteg et Goppenstein-Brigue à des préparatifs en vue du doublement ultérieur de la voie. Sur ce point, le résultat est moins heureux ; le percement des tunnels à leur gabarit définitif est aujourd'hui bien plus malaisé qu'il l'aurait été avant la mise en service de la ligne et les remblais présentent une qualité médiocre due autant à l'exécution qu'au temps écoulé depuis lors.

Le doublement de la ligne étant impossible pour le BLS sans appoint financier extérieur, des mesures s'imposaient pour améliorer la capacité sans attendre ce qui serait

une œuvre de longue haleine. Une première étape a été l'introduction de la double voie de Spiez à Frutigen, à l'exception du tunnel du Hondrich. (Le doublement de ce dernier avait été devisé à 10 millions de francs.) La double voie part donc du portail sud du tunnel existant et ne présente désormais plus de courbes d'un rayon inférieur à 360 m, évitant ainsi aux trains de marchandises des variations de vitesse particulièrement indésirables. Près de Reichenbach, le remplacement d'un ouvrage en acier datant de la construction de la ligne par un pont en béton précontraint a permis un assainissement simultané de la ligne du chemin de fer et de la route cantonale. La sécurité des voyageurs a été considérablement améliorée par l'aménagement de passages sous-voies dans toutes les stations, comme par ailleurs sur le reste de la ligne jusqu'à Brigue. Les travaux de cette étape, commencés en automne 1961, ont été achevés en 1964. Le long de ce tronçon, le BLS assure l'entretien et l'aménagement de plusieurs cours d'eau, à commencer par la Kander. Ces charges représentent un montant annuel de près d'un million de francs.

L'augmentation du trafic amène à la saturation de la gare de Spiez. C'est pourquoi on procédera prochainement à l'aménagement de la voie d'accès au tunnel du Hondrich, côté Interlaken, dans le cadre de l'extension des installations de voie du dépôt et des ateliers pour décharger les installations actuelles de la gare.

Aujourd'hui, les trains les plus lourds circulant sur le Lötschberg atteignent près de 1500 tonnes, ce qui dépasse la résistance des attelages actuels et exige qu'une locomotive soit intercalée dans le convoi, dont la longueur peut atteindre 700 m environ. Les stations où doivent s'arrêter de tels trains sont équipées de voies de longueur suffisante. Il est toutefois indésirable de faire arrêter inutilement un train lourd, spécialement sur les fortes pentes des rampes d'accès au tunnel. Cela a conduit à allonger encore les voies de croisement dans les stations, qui atteignent aujourd'hui les valeurs suivantes :

Kandergrund	705 m
Blausee	1671 m
Felsenburg	833 m
Hohtenn	782 m
Ausserberg	1566 m (fig. 16)
Lalden	894 m

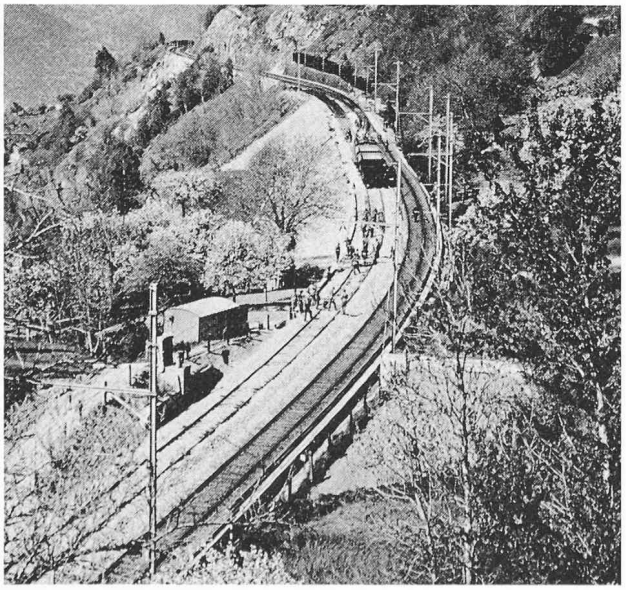


Fig. 16. — Construction d'une voie d'évitement de 1566 m à Ausserberg, sur la rampe sud (photo BLS).

La commande et la disposition des signaux permettent l'entrée simultanée sans danger de trains circulant en sens inverse. La commande automatique et coordonnée des signaux, ainsi que des indications de vitesse à observer par les trains, données le long du parcours par le personnel des stations, permet le croisement de certains trains sans qu'aucun des deux ait à s'arrêter, ce qui améliore considérablement la fluidité du trafic.

Toutes les stations secondaires de la ligne Thoune-Brigue ont été équipées pour permettre soit la commande automatique par les trains du déroulement du trafic, la commande à distance à partir d'une station principale comme Spiez, Kandersteg et Goppenstein ou par le personnel dur place. Cela permet une exploitation permanente et une économie sensible de personnel, ces stations n'étant plus desservies que de jour par des agents pour le trafic local.

Doublement de la voie : Frutigen-Kandersteg et Goppenstein-Brigue

Ce projet concerne encore 43 % de la ligne Spiez-Brigue. Les dispositions prises lors de la construction de la ligne pour les tronçons exécutés en simple voie sont les suivantes :

Tunnels

Lorsque la roche était compacte et ne nécessitait pas de revêtement, on s'est contenté de dégager la partie du profil nécessaire à la simple voie (fig. 17 a). Là où le revêtement de la voûte était indiqué, un profil comprenant la voûte et ses appuis, en plus de la simple voie, était exécuté (fig. 17 b). Ce n'est que dans sept tunnels d'une longueur totale de 704 m que le profil pour la double voie a été entièrement excavé et revêtu, à cause de la résistance insuffisante de la roche. Notons que 34 % du réseau BLS sont situés en tunnel !

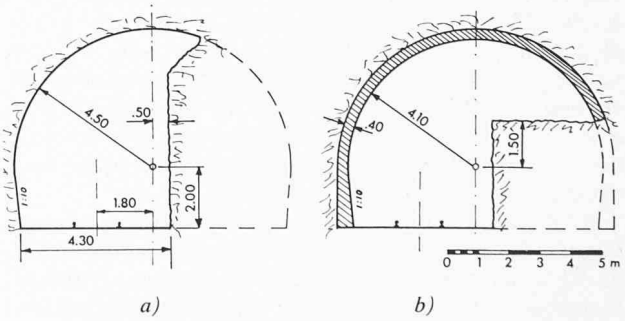
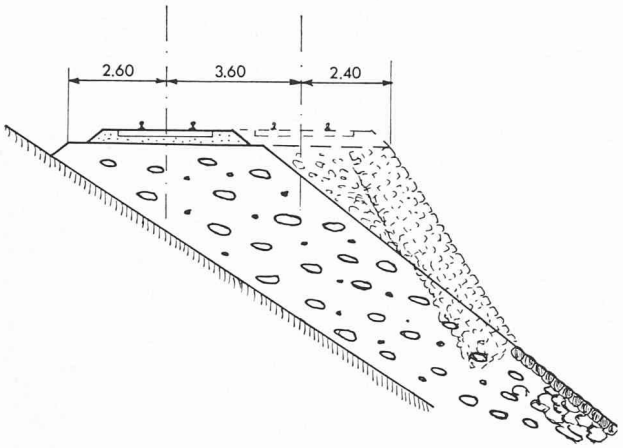


Fig. 17. — Normes utilisées pour la construction des tunnels à simple voie de la ligne Frutigen-Brigue.

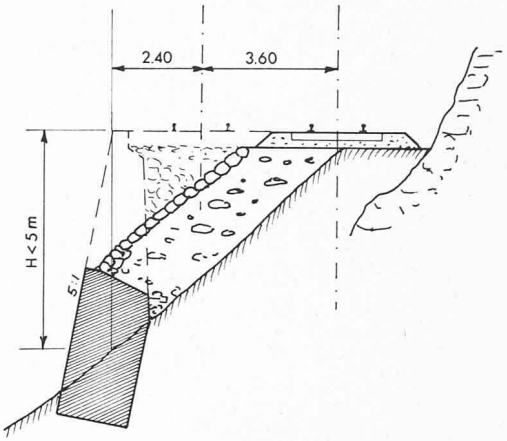
a) Profil A *b)* Profil B

Remblais

Les remblais et les murs de soutènement ont souvent été prévus pour la pose ultérieure de la double voie par élargissement de la plateforme existante (fig. 18).



Pose d'un mur en pierres sèches sur le remblai original.



Surélévation du mur de soutènement original jusqu'à la plateforme.

Fig. 18. — Normes utilisées lors de la construction des remblais et des murs de soutènement.

Fig. 19. — Viaduc du Bietschtal sur la rampe sud, avec un transport d'automobiles accompagnées (photo F. Marti/BLS).

Ponts et viaducs

Les fondations des ouvrages les plus importants ont été exécutés pour le doublement des ponts ou viaducs. De plus, l'arc principal d'une portée de 95 m du viaduc métallique du Bietschtal, situé dans une courbe de 300 m de rayon et dans une pente de 22 ‰, est déjà exécuté pour la double voie (fig. 19). En revanche, plusieurs ouvrages importants sont réalisés pour une voie seulement : viaducs de la Lonza et du Luogelkin (fig. 20) sur la rampe sud, par exemple, ou viaduc de la Kander en amont de Frutigen sur la rampe nord. Ce dernier ouvrage massif, d'une longueur de 265 m, avec 11 arches n'est aucunement prévu pour la double voie et des sondages ont montré que la nature du sol exige que le nouveau viaduc soit construit à une distance de 15 m au moins de celui existant (fig. 10).

Etat d'avancement des projets

Le premier projet de doublement du Lötschberg avait été confié en 1963 à Motor-Columbus, et devait servir aux travaux de la commission d'experts pour les tunnels alpins dite Commission « Martin ». Cette dernière ayant conclu à la nécessité de la double voie du Lötschberg, le BLS a mis à jour le projet de Motor-Columbus, achevé en 1965, pour permettre un devis précis de ces travaux. Le projet général a été achevé en 1972. Il prévoyait un montant total de 507 millions de francs (fig. 21 et 22). Il a ensuite été possible d'établir des priorités. C'est ainsi que deux bureaux d'ingénieurs ont été chargés de dresser les plans de détail des tronçons Frutigen-Blausee et Lalden-Brigue, susceptibles d'apporter une amélioration sensible de la capacité dans des délais assez courts après qu'une

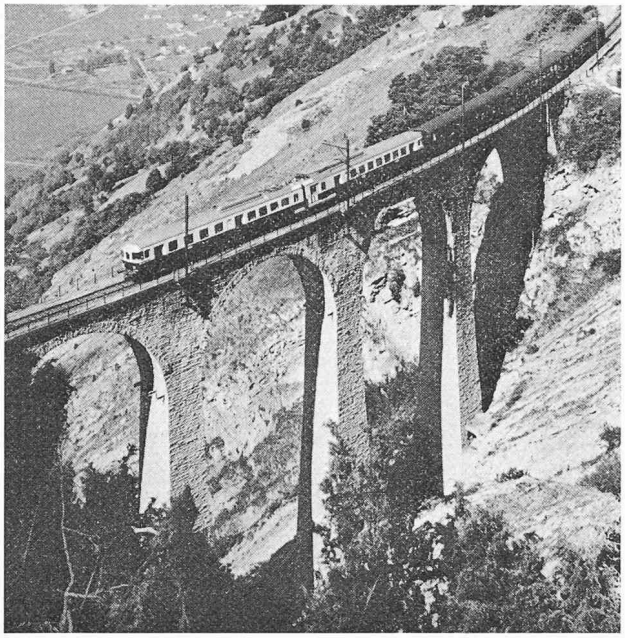


Fig. 20. — Viaduc du Luogelkin sur la rampe sud, avec une automotrice pour rames réversibles ABDe 4/8. (Photo BLS)

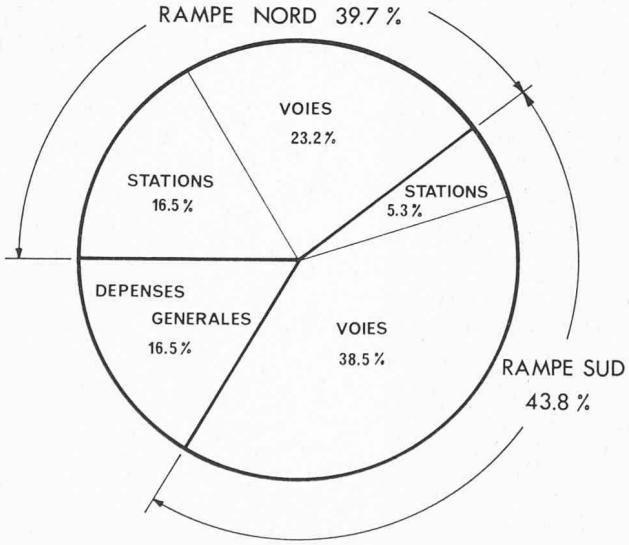


Fig. 21. — Répartition des coûts de doublement de la voie Frutigen-Brigue. Montant total (estimation été 1972) : 507 000 000 fr.

décision soit prise. Les dossiers de soumission pour les objets importants, dont les plans existent déjà, ont été déposés à fin 1972.

On estime que l'ensemble des travaux pourrait durer de 10 à 12 ans.

Problèmes spéciaux

Les ouvrages les plus importants sont le deuxième tunnel du Hondrich, d'une longueur de 1280 m avec environ 40 000 m³ d'excavations, le second viaduc sur la Kander déjà mentionné, le tunnel de Mittelgraben au-dessus de Hohtenn, 1626 m et 77 000 m³ d'excavations, les accès à l'arc principal du viaduc du Bietschtal et le second pont métallique de 85 m de portée sur le Rhône à Brigue.

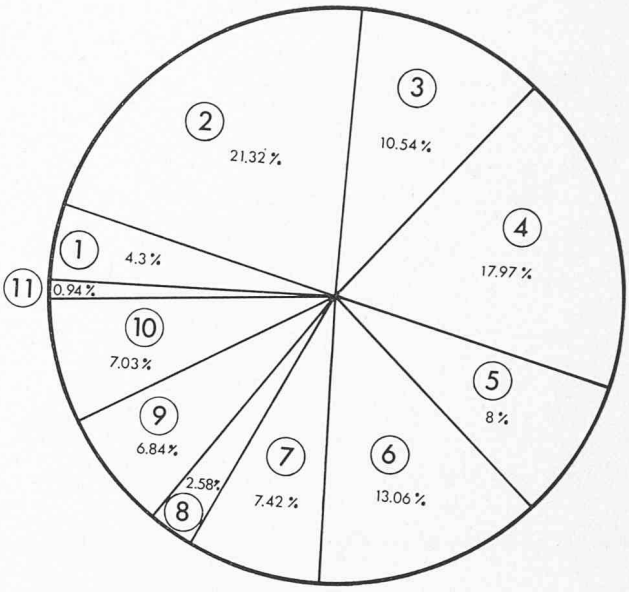


Fig. 22. — Répartition des coûts de doublement de la voie Frutigen-Brigue selon objets :

1 Projet et surveillance des travaux
2 Terrassements, fouilles, accès aux chantiers
3 Ponts et viaducs
4 Tunnels et galeries
5 Superstructure et ballast
6 Equipements pour la traction électrique
7 Installations de sécurité
8 Installations à basse tension
9 Bâtiments
10 Divers et imprévus
11 Achat de terrains

L'élargissement des tunnels existants pose des problèmes complexes, car il ne doit pas entraver le trafic sur la voie existante, où les pauses journalières ne dépassent pas une heure et demie, ni affecter la sécurité de l'exploitation ou des travaux. La vitesse des trains doit rester inchangée (environ 80 km/h). Toutes ces exigences jouent un rôle important sur la vitesse de déroulement des travaux. L'excavation sera probablement effectuée à l'aide d'explosifs plutôt que de foreuses.

Le doublement de la voie avait toujours été prévu sur le côté aval du tracé. De ce fait, la voie simple existante passe de la droite à la gauche du profil dans le tunnel de 1655 m au-dessus de Blausee-Mitholz où la direction change de 180°. Cette particularité posera certains problèmes épineux lorsqu'il s'agira d'excaver le tunnel au profil définitif sans interférer avec la circulation normale des trains.

Pour satisfaire à cette dernière exigence, la voie ferrée existante ne sera pas utilisée pour l'accès aux chantiers, ce qui implique, outre l'utilisation de routes existantes ou leur amélioration, la construction de nouvelles voies d'accès.

Il n'a pas été possible de retenir entièrement le tracé existant. Le manque de stabilité des roches dans la vallée de la Lonza nécessitera le percement d'un nouveau tunnel à l'est du tunnel existant, entre Goppenstein et Hohtenn. Il avait même été envisagé d'abandonner le tunnel existant, qui serait devenu routier, pour rejoindre le tracé primitif à Hohtenn. Cette solution onéreuse a toutefois été abandonnée au profit d'un écart partiel de la seconde voie du tracé actuel.

Il faut relever que lors de la construction de la rampe sud, il avait été nécessaire d'abandonner le tracé de certains tronçons déjà réalisés, à cause de l'instabilité des roches. D'autres surprises sont possibles lors de futurs travaux.

Il est d'autre part certain que le dédoublement de la voie ne permettra pas d'améliorer le tracé et que les rampes, atteignant des pentes de 27 ‰, avec des courbes d'un rayon descendant à 280 m, n'autoriseront pas des vitesses plus élevées qu'actuellement, soit environ 80 km/h.

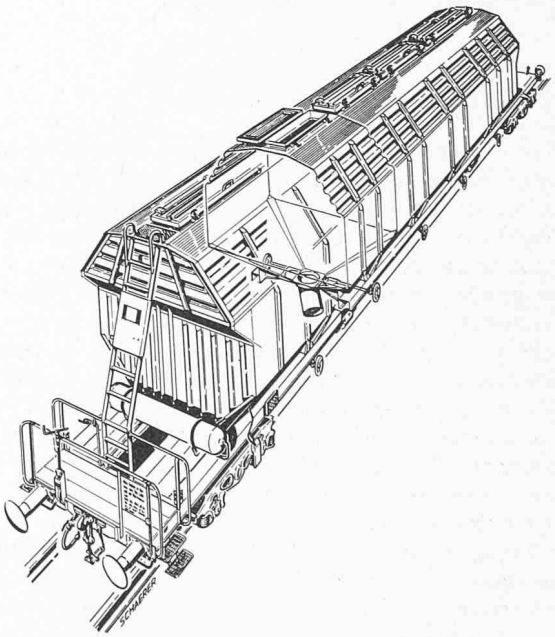
En revanche, l'augmentation correspondante de capacité, nécessaire pour conserver, voire augmenter la part de la Suisse dans le trafic nord-sud et retour, pourra être acquise pour un montant représentant une fraction de celui nécessaire au percement du tunnel de base du Gothard. Il faut donc espérer que soit rapidement assuré le financement de la double voie du Lötschberg dont la réalisation pourrait être alors entreprise sans retard, conformément à la nécessité et aux priorités établies par la Commission Martin. Cela serait également un juste aboutissement des efforts fournis par la compagnie du BLS pour améliorer constamment ses prestations et pour assurer une sécurité et une régularité du trafic remarquables, sur une ligne où les forces de la nature requièrent beaucoup de ténacité pour atteindre ce but.

Wagon-silo «Uadgs» des CFF pour le transport en vrac de céréales et autres matières granuleuses

par CHARLES SCHERER, Villeneuve

L'utilisation d'alliages légers: problèmes de construction

Ce véhicule moderne, développé par « VEVEY » en 1970, constitue avec sa longue caisse autoportante en aluminium certainement un des exemples les plus marquants de la construction légère dans le domaine ferroviaire. L'usine de Villeneuve a livré une première série de 100 wagons Uadgs durant le premier semestre 1972 et une seconde série de même importance vient d'être achevée. La charge utile de ce wagon à bogies s'élève à 64,3 tonnes, ce qui représente, par rapport aux constructions classiques de ce type en acier, une amélioration approchant 10 tonnes ou 18 %. Outre l'augmentation de la charge utile (ou la diminution du nombre de wagons nécessaires pour un transport donné) c'est aussi le poids à vide très faible de 15,7 tonnes qui contribue à une économie des frais de traction et d'entretien fort appréciée par les CFF. Il est intéressant de mentionner que le poids des bogies en acier représente environ deux tiers de la tare ; il serait possible de gagner encore à peu près 2 tonnes en y introduisant des éléments en aluminium. L'amélioration spectaculaire de la tare est due en premier lieu à l'emploi d'alliages légers, mais aussi à la conception de la structure qui tient compte des particularités de l'aluminium, en ce sens que les solutions éprouvées pour les wagons en acier ne sont, dans la plupart des cas, guère applicables pour des raisons d'économie, de résistance et de rigidité. Le constructeur doit plutôt chercher à compenser le supplément inévitable de prix de matière par une réduction des frais de fabrication des détails et de ceux des opérations d'assemblage. Cette compensation est généralement réalisable, à peu de chose près, en exploitant toutes les possibilités offertes par la mise en forme des mi-fabriqués en aluminium (profilés, bandes nervurées, pièces moulées). Dans le cas du wagon à céréales, l'emploi de ces éléments a été poussé très loin et les limites de fabrication imposées par les fournisseurs pour la section des profilés et l'épaisseur des bandes nervurées ont été atteintes à plusieurs reprises. Les longueurs disponibles des profilés et bandes nervurées sont par contre largement suffisantes pour en faire des éléments de caisse s'étendant sur toute sa longueur en une seule pièce. Notons encore que l'absence de peinture sur toutes les parties en aluminium entraîne une économie non négligeable aussi bien de prix de revient que de frais d'entretien.



Wagon-silo « Uadgs ». Disposition des ouvertures de remplissage et de vidange (dessin CFF).

Description générale du véhicule

Le volume utile de la caisse est subdivisé en cinq silos (2×21 m^3 et 3×18 m^3, soit 96 m^3 au total) séparés par des cloisons verticales. Chacun de ces silos possède un couvercle de remplissage (ouverture $2{,}6 \times 0{,}6$ m) situé dans la partie formant toit, ainsi qu'un fond pyramidal dont l'orifice de vidange (⌀ 0,3 m) est muni d'un dispositif à tiroir et d'un déversoir orientable. Chaque tiroir peut être actionné par deux manivelles disposées des deux côtés du wagon et permettant le dosage de la vidange. A pleine ouverture, cette opération s'effectue par gravité en 15 minutes environ. Le choix de la hauteur sur rail des orifices, ainsi que