

Auteur ou collectivité : Société Suisse pour la construction de locomotives et de machines à Winterthur

Auteur : Société Suisse pour la construction de locomotives et de machines à Winterthur

Auteur secondaire : Weber, Jules

Titre : Cinquante ans de construction de locomotives : 1871-1921, les locomotives à crémaillère pures et mixtes étant plus particulièrement exposées

Adresse : Winterthur : Imprimerie Winterthur, 1922

Collation : 1 vol. (51-[10] p.) : ill. ; 28 cm

Cote : CNAM-MUSEE TR0.5-SOC

Sujet(s) : Transports ferroviaires -- France ; Locomotives -- France ; Transports ferroviaires -- Appareils et matériel

URL permanente : <http://cnum.cnam.fr/redirect?M70>

CINQUANTE ANS
DE CONSTRUCTION DE
LOCOMOTIVES

1871 • 1921

SOCIÉTÉ SUISSE POUR LA CONSTRUCTION
DE LOCOMOTIVES ET DE MACHINES
A WINTERTHUR

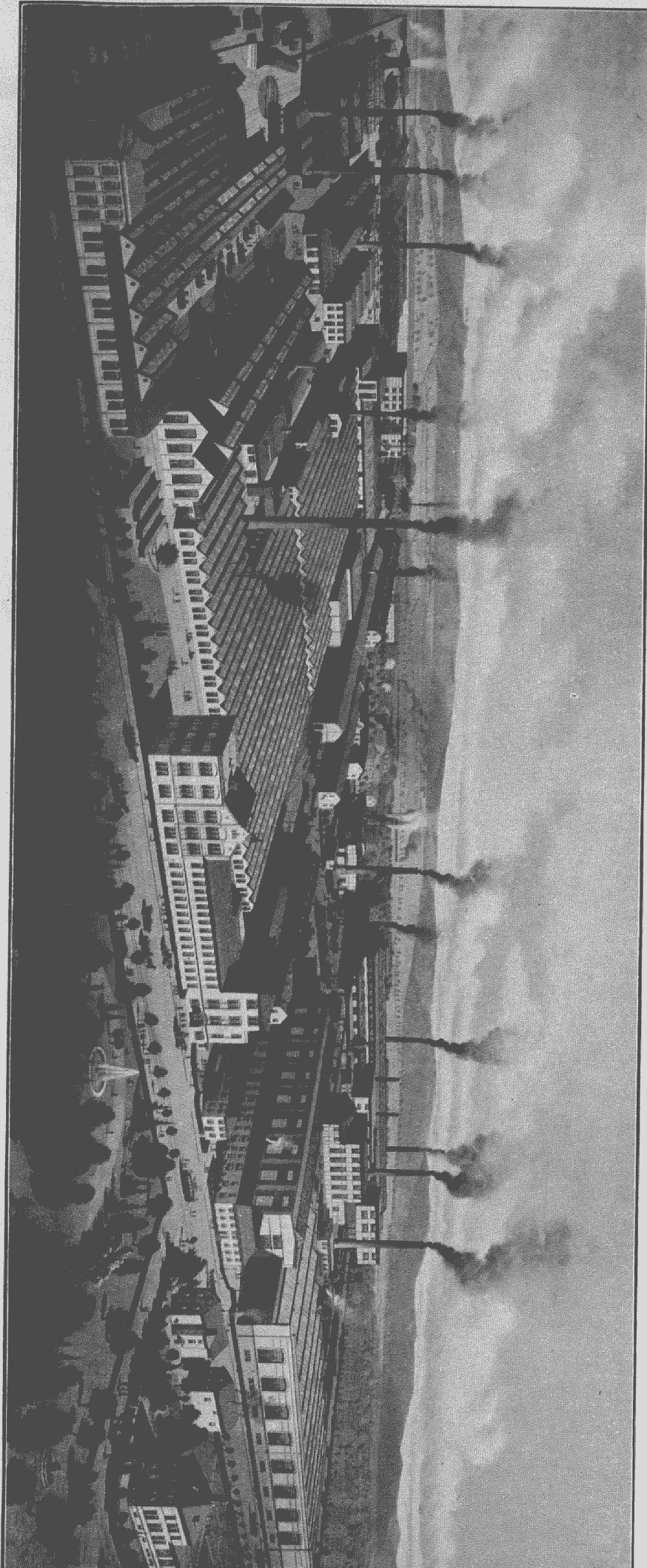
TR0.5-SOC

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

1 (A) 2000

INV 70





Vue de l'Établissement en 1921.

SOCIÉTÉ SUISSE POUR LA CONSTRUCTION
DE LOCOMOTIVES ET DE MACHINES
A WINTERTHUR

CINQUANTE ANS
DE CONSTRUCTION DE
LOCOMOTIVES

LES LOCOMOTIVES A CRÉMAILLÈRE PURES ET MIXTES
ÉTANT PLUS PARTICULIÈREMENT EXPOSÉES

PAR

JULES WEBER

DR. INGÉNIEUR h. c.



1922

IMPRIMERIE WINTERTHUR CI-DEVANT G. BINKERT

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PRÉFACE

Fondée en octobre 1871, la Société Suisse pour la Construction de Locomotives et de Machines à Winterthur a cet automne un demi-siècle d'existence derrière elle.

Le fondateur de l'établissement, Charles Brown, constructeur de génie et un des créateurs de la machine à vapeur moderne, sut aussi apporter dans le domaine de la construction de locomotives de nombreuses innovations intéressantes, parmi lesquelles les essieux-bissels américains, qui assurèrent à la machine une marche douce dans les courbes en donnant en même temps une forme esthétique et si caractéristique à la locomotive entière. Brown fut fort bien secondé par son chef-ingénieur H. Uhry.

Les constructions modèles, de Brown, ont été suivies et appliquées par ses élèves (parmi lesquels nous nous honorons de compter), ainsi que par la direction de la fabrique. Avec d'autres nouvelles constructions elles servirent de point de départ au développement de cet établissement qui dès le commencement eut pour principe strict de ne travailler que d'une façon irréprochable. Cet établissement contribua à accroître la renommée de Winterthur comme ville de construction de machines par excellence, et à faire connaître son nom aussi comme ville de construction de locomotives bien au delà des frontières suisses.

Si nous avons entrepris la tâche d'écrire cette monographie sur « Cinquante ans de construction de locomotives » par la Fabrique de Locomotives à Winterthur, nous espérons nous en être acquitté d'autant mieux que nous

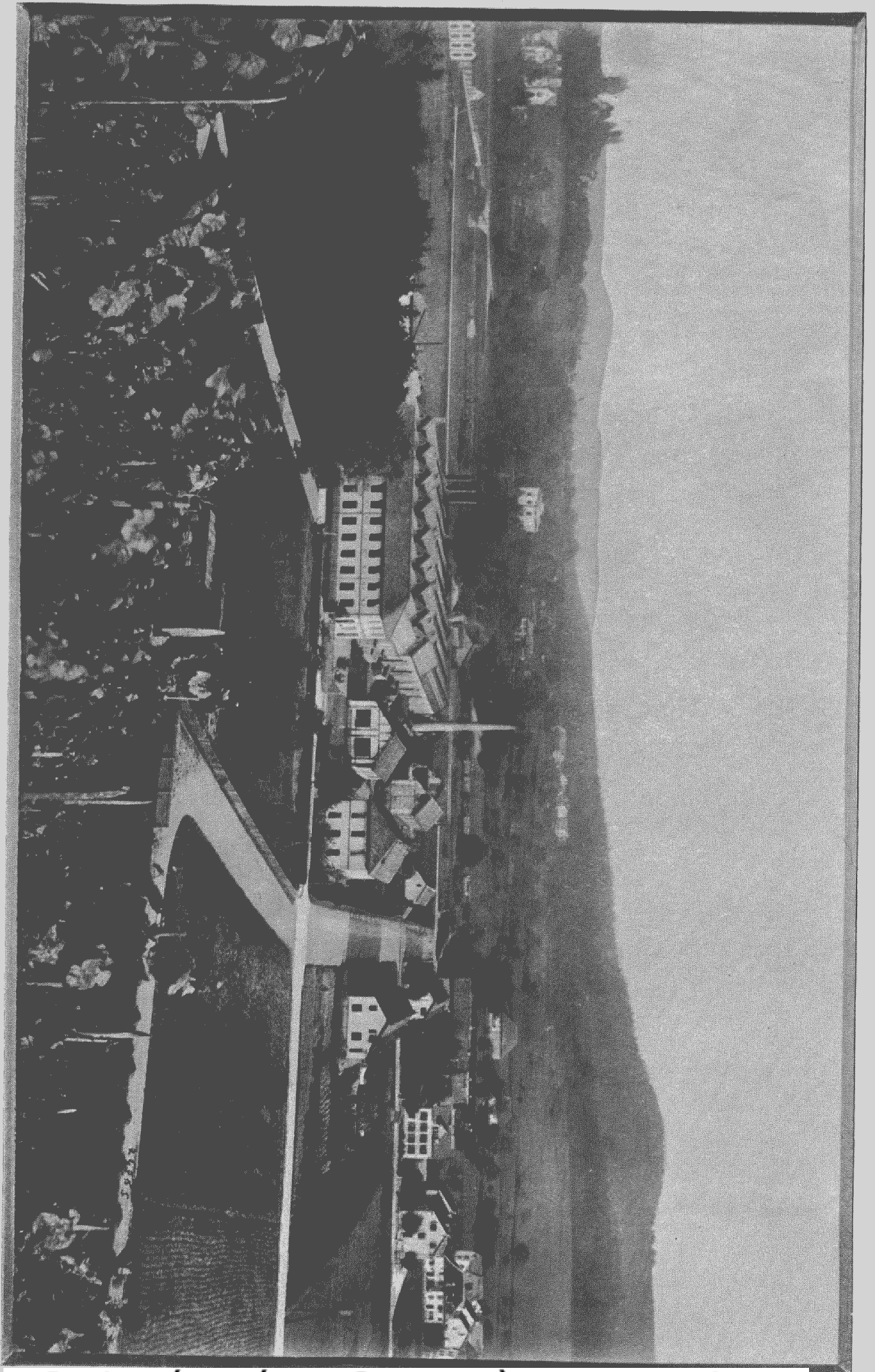
avons été collaborateur de cet établissement pendant 40 ans, dont 30 ans à la tête du service technique.

La forme de ce travail a été choisie de façon à ne pas seulement servir de documentation sur ce que la fabrique a créé jusqu'à présent, mais aussi à faire ressortir la part importante que cet établissement a prise dans le développement de la construction des locomotives en général et plus particulièrement de celle des locomotives à crémaillère.

Evidemment, il ne fut pas possible d'éviter de parler de certains points déjà connus, parce que la cohésion du tout le demandait.

Winterthur, octobre 1921.

J. WEBER.



Vue de l'Établissement en 1871.



LA Société Suisse pour la Construction de Locomotives et de Machines dès sa création (1871) s'est spécialisée dans la construction des locomotives à crémaillère à côté de celle des locomotives à adhérence. N'est-ce pas, en effet, en 1871 aussi qu'eut lieu l'ouverture du premier chemin de fer à crémaillère en Suisse et en Europe —, le Chemin de fer de Vitznau au Righi? *Riggenbach*, alors ingénieur en chef de la traction du Chemin de fer Central Suisse, construisit avec ses ingénieurs *Plattner* et *Grueninger*, d'après l'exemple du Chemin de fer Mount-Washington (Etats-Unis), la première locomotive à crémaillère pour le Chemin de fer du Righi. Les machines furent exécutées en partie dans les ateliers d'Olten du Central Suisse et en partie à Winterthur. La première locomotive qui sortit des Ateliers de la Fabrique de Locomotives à Winterthur fut une locomotive à crémaillère pour le Chemin de fer Vitznau-Righi.

Le perfectionnement successif des détails de construction et des différents types de locomotives à crémaillère fut pris courageusement en main par la fabrique, aiguillonnée qu'elle était par l'extension rapide des chemins de fer à crémaillère en Suisse et à l'Étranger. Elle fut aidée grandement dans sa tâche par le champion des chemins de fer à crémaillère, le Docteur ing. h. c. *R. Abt* à Lucerne, l'inventeur de la crémaillère *Abt* et de la locomotive mixte à crémaillère et à adhérence.

Le résumé qui suit cet exposé illustre clairement l'activité féconde de la Fabrique de Locomotives à Winterthur en matière de construction de types de locomotives à crémaillère pures et mixtes. Cette activité justifie le renom que l'établissement s'est acquis en Suisse et à l'Étranger.

Suivant la déclivité des lignes, la construction de la locomotive se classe dans les catégories principales ci-après :

- 1^o *Locomotives à adhérence*, c'est-à-dire locomotives qui pour leur marche et la remorque du train emploient exclusivement la friction entre les roues motrices et les rails.
- 2^o *Locomotives à adhérence suivant 1^o et à adhérence auxiliaire* (adhérence artificielle) sur un rail central plat avec mécanisme spécial pour l'adhérence auxiliaire.
- 3^o *Locomotives à adhérence et à crémaillère*, soit locomotives marchant au moyen de l'adhérence seule jusqu'à une déclivité donnée et au delà, en plus de cette adhérence, avec un système d'engrenages prenant sur une crémaillère disposée dans l'axe de la voie.
- 4^o *Locomotives exclusivement à crémaillère*, ne se mouvant qu'à l'aide d'une ou de plusieurs roues dentées s'engrenant dans la crémaillère.

La question de savoir avec quelle déclivité il faut passer d'un système à l'autre pour obtenir le meilleur rendement a été discutée à plusieurs reprises par les ingénieurs. *A. Mallet* l'a traitée déjà en 1872 dans son étude sur les chemins de fer de montagne, puis le *D^r R. Abt* dans son ouvrage « *Lokomotiv-Steilbahnen* » (locomotives pour fortes déclivités), voir également « *Bergbahnen der Schweiz* » de *Strub* (Chemins de fer Suisses de montagne) et *F. W. Bach*, « *Institution of C. E., London, 1910* ». Depuis, cette question a été éclaircie par l'expérience acquise entre temps.

La relation entre le poids du train Z^t et le poids de l'adhérence L^t d'une locomotive pouvant remorquer ce train sur une rampe définie de i mm par mètre lors d'un coefficient d'adhérence a , se détermine par la formule suivante, où la résistance par tonne du poids de la locomotive est admise comme étant approximativement de 10 kg et celle par tonne du poids du train de 5 kg :

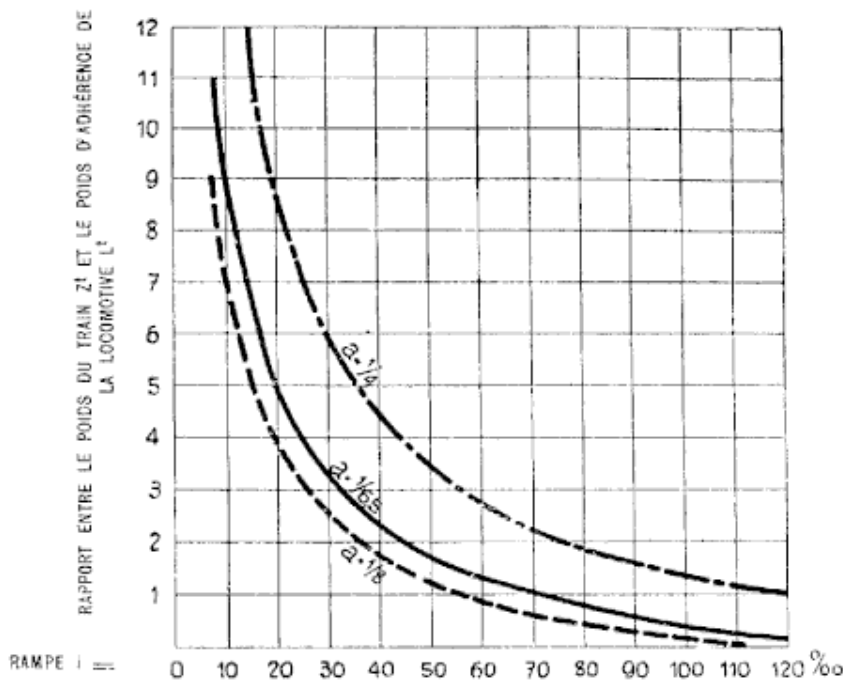


Fig. 1.

$$1000 L^t a = L^t (10 + i) + Z^t (5 + i),$$

on obtient alors:
$$Z^t = \frac{1000 \cdot a - 10 - i}{5 + i} L^t.$$

pour $a = 1/4 = 0,25$
$$Z^t = \frac{240 - i}{5 + i} L^t;$$

pour $a = 1/6,5 = 0,154$
$$Z^t = \frac{144 - i}{5 + i} L^t;$$

pour $a = 1/8 = 0,125$
$$Z^t = \frac{115 - i}{5 + i} L^t.$$

(Les charges des essieux-porteurs de la locomotive et de celles du tender sont comprises dans le poids du train.)

Si dans la formule de Z^t nous mettons les valeurs des déclivités $i = 0, 10, 20$ ‰, etc. et indiquons graphiquement par des ordonnées les résultats correspondant à ces déclivités portées sur l'abscisse, nous obtenons les courbes représentées sur la fig. 1. Les courbes donnent les valeurs du rapport entre le poids du train et celui d'adhérence de la locomotive pour les divers coefficients d'adhérence. La courbe pour le coefficient d'adhérence de $\frac{1}{6,5}$ donne les valeurs qui correspondent le mieux à nos chemins de fer suisses.

Cette courbe fait voir la rapidité avec laquelle le poids du train diminue par rapport à celui de l'adhérence de la locomotive à mesure que la rampe augmente. Pour une rampe de 50 ‰ (Chemin de fer du Sud-Est suisse), le poids du train est double environ, pour 70 ‰ (Chemin de fer de l'Uetliberg), il est le même que celui d'adhérence de la locomotive. Pour les voitures automotrices, où le poids total du train sert de poids d'adhérence, la déclivité peut atteindre 120 ‰, en admettant que les rails soient en bon état.

La pratique a cependant démontré à plusieurs reprises le danger de fortes déclivités pour des chemins de fer à adhérence, lorsque, par hasard, l'état des rails, respectivement le coefficient d'adhérence, devient mauvais (voir la courbe pour un coefficient de friction de 1/8). En passant, nous nous permettons de remarquer que l'exploitation du Chemin de fer de l'Uetliberg aurait été beaucoup plus rationnelle avec une automotrice, dont la plus grande partie du poids, y compris celui des voyageurs, aurait pu être employée pour l'adhérence. Pour autant que nous le savons, la Fabrique de Locomotives à Winterthur avait lors de la première soumission proposé des automotrices à cette Compagnie.

1° LOCOMOTIVES A ADHÉRENCE

Pour les chemins de fer à voie normale et à fort trafic, la pratique a démontré que rationnellement et au point de vue technique la déclivité maximum ne devrait pas dépasser 25 ‰. Pour cette rampe, par exemple, et pour le trafic marchandises, le Chemin de fer du Gothard fit construire des machines d'un type particulièrement fort à marche économique, dont le poids est judicieusement utilisé pour l'adhérence. Pour le service des express, ces locomotives et leurs freins sont prévus de façon à pouvoir remorquer sur cette rampe des trains d'environ 250 tonnes (non compris la machine) à la vitesse de 40 à 60 km à l'heure. L'emploi du système compound dans 2, 3 ou 4 cylindres, de la vapeur surchauffée et du réchauffage de l'eau d'alimentation de la chaudière

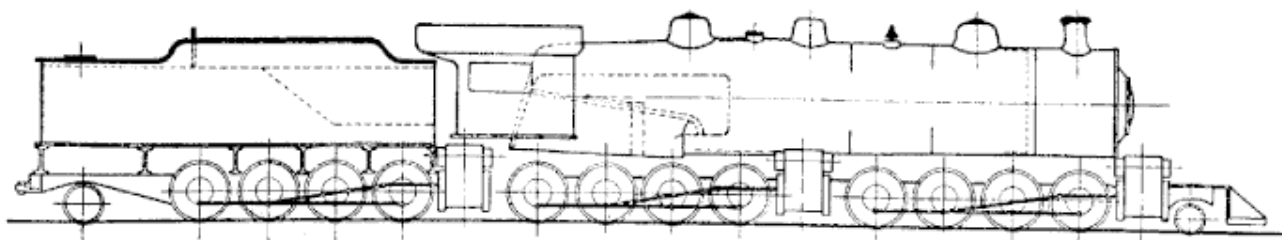


Fig. 2. a) Locomotive compound triplex pour trains de marchandises du Chemin de fer de l'Erie.
 Adhérence = 344 tonnes. Force de traction 72,000 kg.
 Puissance env. 4000 HP.

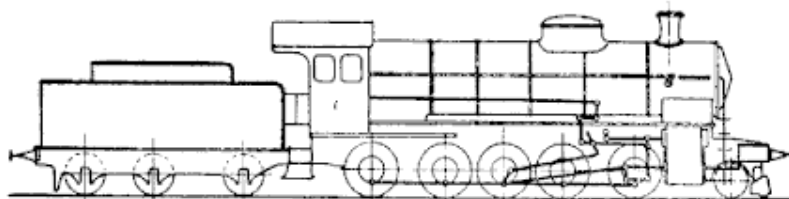


Fig. 2. b) Locomotive 5/6 à 4 cylindres à surchauffe pour les chemins de fer fédéraux.
 Adhérence = 76 tonnes. Force de traction 14,000 kg.
 Puissance = 1900 HP.

par la vapeur d'échappement a procuré des économies sensibles dans la consommation de charbon.

Quant aux avantages que donnera la locomotive à turbine (système *Zaëly*), construite récemment à Winterthur comme machine d'essai, avec condensation de la vapeur, les essais finaux qui ont lieu actuellement le démontreront.

La superstructure des principales lignes suisses autorise aujourd'hui une charge par essieu-moteur de 17 à 20 tonnes au maximum. A l'Etranger (Belgique et France), cette charge est également de 18 à 20 tonnes. Aux Etats-Unis de l'Amérique du Nord elle est même poussée jusqu'à 28 à 30 tonnes. Avec des charges aussi considérables on atteint déjà avec des locomotives à quatre ou cinq essieux couplés des forces de traction élevées. Pour des transports particulièrement lourds sur de fortes rampes à adhérence des locomotives duplex « Mallet » à 8 à 10 essieux-moteurs furent construites. Les Américains ont même créé des machines triplex à douze essieux couplés, dont le poids total d'adhérence s'élève à 340 tonnes, ce qui donne une force de traction d'environ 55 000 kg à la périphérie des roues, avec un coefficient d'adhérence de 1/6 (voir

«Amerikanische Lokomotiven», «Schweizerische Bauzeitung» n° 3 du 16 janvier 1915).

Les chemins de fer à voie étroite, à adhérence, ont en général un trafic voyageurs et marchandises relativement plus faible. Les vitesses élevées sont aussi moins demandées. Des déclivités supérieures à 25 ‰ peuvent donc être admises, tout en permettant un service rationnel. Comme ligne modèle à voie étroite et à adhérence, on peut parfaitement citer les Chemins de fer Rhétiques. Le plus ancien tronçon de cette ligne, Landquart-Davos, a entre Klosters et Davos une longue rampe de 45 ‰. Sur l'Albula, Chur-Thusis-St-Moritz, les rampes maxima ont été ramenées très justement à 35 ‰. Le type de locomotive 4/5 à surchauffe et à tender séparé adopté par ce chemin de fer, répond d'une façon parfaite aux exigences du trafic voyageurs et marchandises. A la descente, sur les fortes pentes, le frein à vide Hardy agit en parallèle avec le frein à répression de la locomotive. Même avec une vitesse relativement élevée de 20 à 25 km/heure, on obtient ainsi une marche sûre et régulière.

A partir des années 1890, la Société Suisse pour la Construction de Locomotives et de Machines a eu la satisfaction d'avoir pu construire presque exclusivement toutes les locomotives des chemins de fer suisses principaux et secondaires. Elle s'est donnée pour tâche de satisfaire à toutes les exigences du temps présent et de tenir compte des progrès techniques en matière de construction de locomotives, comme aussi de porter les plus grands soins à l'exécution des machines. La fabrique a livré à l'Etranger de nombreuses locomotives à adhérence pour voie normale et voie étroite: A citer pour voie normale les machines pour les Chemins de fer Finlandais (voie russe) [1884 à 86 première livraison pour l'Etranger], les Chemins de fer Danois, Chemins de fer de l'Etat Norvégien, Chemins de fer Portugais, Chemins de fer de Paris-Orléans et de Paris-Lyon-Méditerranée.

Comme constructions originales et intéressantes de locomotives à voie étroite nous citerons:

la locomotive Mallet $2 \times 3/3$ avec tender séparé des Chemins de fer départementaux (France);

la locomotive 5/6 de la Compagnie des Phosphates et du Chemin de fer de Gafsa en Tunisie;

la locomotive 3/6 du Ministère hollandais des Colonies pour Java;

la locomotive 3/4 des Chemins de fer de la Province de Santa-Fé (Argentine);

les locomotives 3/4 (avec chauffage à l'huile) des Chemins de fer Ethiopiens;

les locomotives 3/3 pour Nara et Karatsu (Japon).

Dans les années 1870 à 80, la Fabrique de Locomotives à Winterthur construisit un type particulier: la *locomotive à vapeur pour tram-*

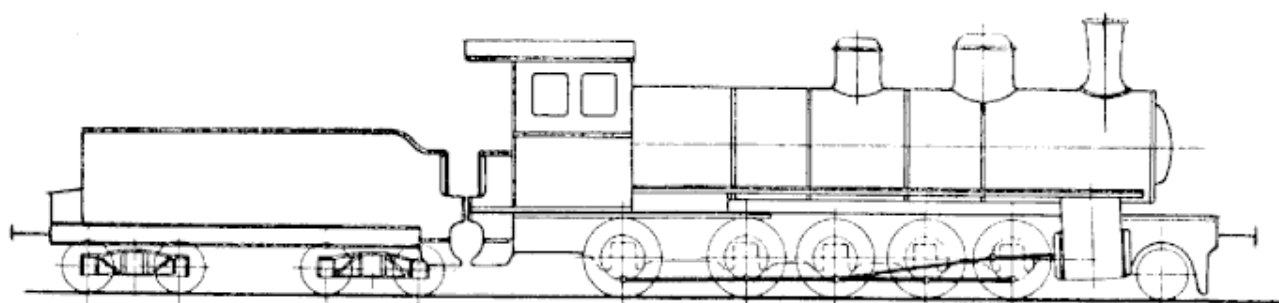


Fig. 2. c) Locomotive 5/6 à deux cylindres des Chemins de fer de Gafsa.

Adhérence = 48,74 tonnes. Force de traction = 10,500 kg.
Puissance = 1100 HP.

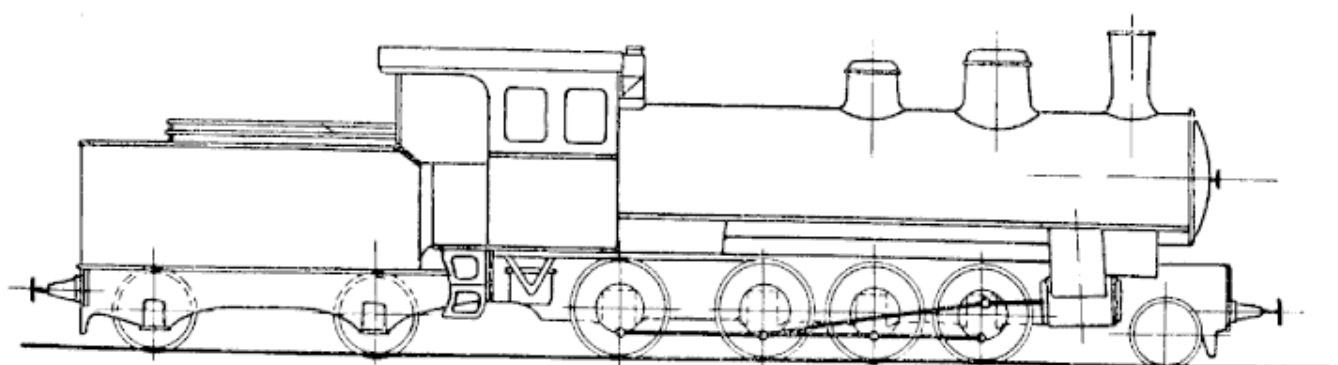


Fig. 2. d) Locomotive 4/5 à deux cylindres compound des Chemins de fer Rhétiques.

Adhérence = 41,5 tonnes. Force de traction = 9000 kg.
Puissance = 950 HP.

ways. Ces machines, créées par le directeur technique d'alors, Charles Brown, furent livrées à un grand nombre de tramways de villes du continent et d'outre-mer, jusqu'au moment où la traction électrique put enregistrer des succès pratiques. La locomotive de tramways « Brown » eut un renom bien mérité et sa construction alimenta pendant longtemps les ateliers de Winterthur.

L'établissement exécuta aussi des locomotives de travaux à voies diverses et des locomotives sans fumée (à eau chaude, types Frank et Lamm), ainsi qu'à air comprimé pour la construction de tunnels et pour services industriels.

La traction électrique, qui ces dernières années a fait de grands progrès en Suisse, permet d'élever sérieusement la force de traction et la puissance de la locomotive électrique à adhérence par rapport à celles des locomotives à vapeur, parce que d'une part la construction de la machine autorise sans grandes difficultés de coupler un plus grand nombre d'essieux-moteurs et que d'autre part la force périphérique constante des roues actionnées électriquement permet d'adopter un coefficient d'adhérence plus élevé (voir «Schweiz. Bauzeitung», Prof. R. Petersen, Danzig, Volume 76, n° 24 à 26, et ingénieur A. Laternser, Oerlikon, Volume 77, n° 5).

La Fabrique de Locomotives à Winterthur trouva une bonne occasion de mettre en pratique sa grande expérience lors de la construction de la

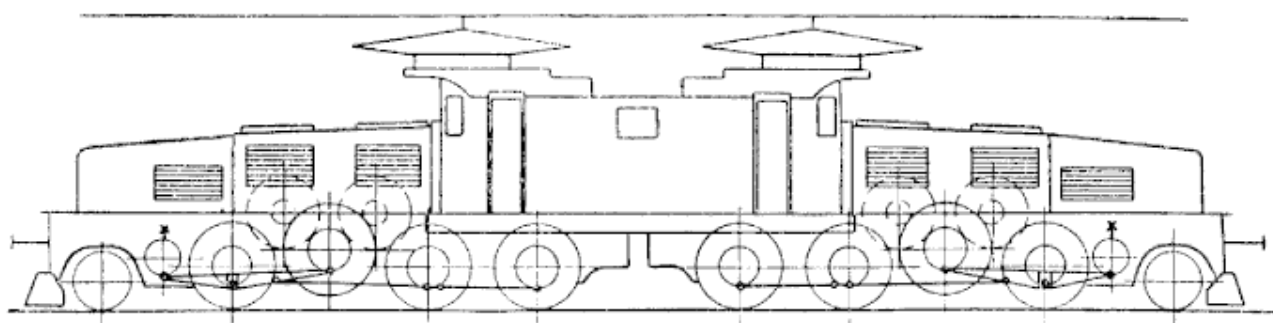


Fig. 3. a) Locomotive | C-C | à une phase pour trains de marchandises des Chemins de fer fédéraux.

Adhérence = 128 tonnes. Force de traction = 17—21,000 kg.
Puissance = 2200 HP.

partie mécanique des locomotives électriques, de concert avec les maisons d'Electricité Brown, Boveri & Cie. à Baden et les Ateliers d'Oerlikon et plus tard aussi avec les Ateliers de Sécheron à Genève. D'après les expériences acquises avec les premières grandes locomotives électriques du Lætschberg, ces firmes construisirent ces dernières années un assez grand nombre de types différents de locomotives électriques pour les Chemins de fer suisses à voie normale, machines qui donnent satisfaction sous tous les rapports. La standardisation des types de locomotives électriques ne pourra se faire qu'une fois les résultats d'exploitation connus.

Pour les lignes à adhérence à voie étroite également, la Fabrique de Locomotives à Winterthur a contribué à créer des locomotives électriques, en tout premier lieu pour les Chemins de fer Rhétiques, dont l'électrification est actuellement presque achevée.

Les locomotives $2 \times 3/3$ mises récemment en service sont sans doute les plus puissantes machines électriques pour voie étroite qui aient été construites jusqu'à présent. Sur des rampes de 35‰ , elles sont capables de remorquer des trains de 250 tonnes.

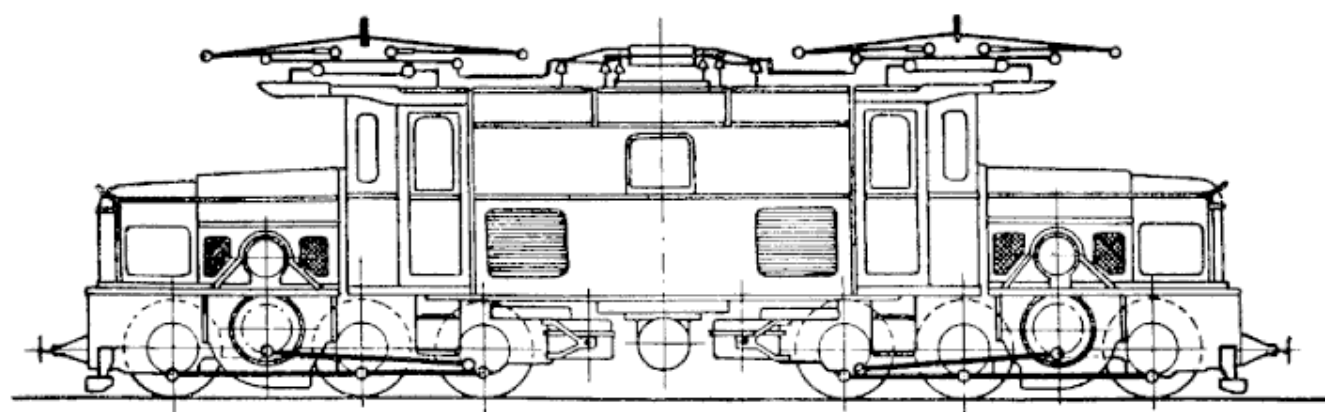


Fig. 3. *b*) Locomotive C + C à une phase des Chemins de fer Rhétiques.

Adhérence = 66,16 tonnes. Force de traction = 10,000 kg (traction continue).
Puissance = 1200 HP.

2° LOCOMOTIVES A ADHÉRENCE, AVEC ADHÉRENCE AUXILIAIRE SUR UN RAIL CENTRAL UNI

Dans son livre sur les «Steilbahnen», le Dr R. *Abt* a déjà traité ce sujet. La première construction importante de ce genre fut faite par *Fell* au Mont-Cenis pour une rampe de 80 ‰ de la ligne St-Michel-Suse*.

Les imperfections de la construction *Fell* constatées en service doivent être attribuées au fait que les roues pour l'adhérence auxiliaire avec leur commande entière étaient montées rigidement dans le châssis principal de la locomotive. Elles ne pouvaient donc se conformer aux inégalités de la position du rail central, ce qui provoqua souvent des ruptures dans les organes de commande, par suite d'efforts trop grands. De sérieuses difficultés furent rencontrées aussi dans l'impossibilité qu'il y avait de régler la pression des roues d'adhérence auxiliaire, de façon à ce qu'elle soit la même de chaque côté du rail et à pouvoir tenir compte des diverses déclivités de la ligne. C'est seulement au commencement de ce siècle que la question fut reprise. *J. Hanscotte*, ingénieur en chef de la Compagnie Fives-Lille (Paris), réussit à supprimer les imperfections citées de la machine *Fell*, en rendant mobile le châssis portant les roues motrices horizontales. Il suspendit ce châssis dans le châssis principal et au moyen d'air comprimé donna aux roues la pression nécessaire. Cette pression, égale de chaque côté du rail central, pouvait être augmentée ou diminuée automatiquement suivant la déclivité de la ligne. Le système fut appliqué en France en 1904 sur une automotrice électrique et plus tard sur la locomotive à vapeur du Chemin de fer routier de Clermont-Ferrand au sommet du Puy-de-Dôme (voir

*) Litt. *Couche*, *Traité des Chemins de fer*. 1873.

«Revue générale des Chemins de fer et des tramways», 30^e année, 1907, 1^{er} sem., page 151). La machine, d'un poids en service d'environ 33 tonnes, remorque 3 voitures d'un poids total de 27 tonnes sur 120 ‰ à la vitesse de 12 à 15 km à l'heure. Le poids de la locomotive 3/3 est employé entièrement pour l'adhérence normale. La pression de l'adhérence auxiliaire avec deux paires de roues est de 50 tonnes environ. (Voir «Revue générale des Chemins de fer», 30^e année, 1907, 1^{er} sem., page 155.)

Dans les années 1910 et 1911, les études pour la construction du chemin de fer de la Furka furent faites par la Compagnie des Batignolles à Paris sous la direction de l'ingénieur J. Chappuis à Genève. La ligne à traction à vapeur, qui devait rejoindre celle des Chemins de fer Rhétiques à Disentis, était à voie d'un mètre avec courbes d'un rayon minimum de 100 m et déclivités de 90 ‰ au maximum. S'appuyant sur les résultats du Puy-de-Dôme, la Compagnie opta pour le système à adhérence auxiliaire de Hanscotte pour les tronçons dépassant 45 ‰. La raison principale en faveur de ce système fut que sur les rampes maxima on avait la possibilité de marcher à une vitesse plus grande qu'avec le système à crémaillère.

La Société Suisse pour la Construction de Locomotives et de Machines à Winterthur fut chargée par la Compagnie de construire ces locomotives de concert avec l'ingénieur Hanscotte. Elles devaient être capables de remorquer un train de 60 tonnes, non compris la locomotive, sur des rampes de 90 ‰. La charge maximum par essieu-moteur était fixée à 10,75 tonnes (même charge que pour les Chemins de fer Rhétiques).

Les résultats de ces études, ainsi que les détails de construction du système Hanscotte comparés à ceux d'une locomotive à adhérence et crémaillère, construite pour les mêmes données, intéresseront sans doute certains ingénieurs ; c'est pourquoi nous nous permettons d'en parler un peu plus longuement.

L'examen du problème et les calculs firent projeter une locomotive *Hanscotte* (locomotive mixte compound d'après le système «Winterthur»)

à 4 essieux couplés à adhérence normale, dont les essieux extrêmes étaient du système Lindner, essieux qui ont la propriété de s'inscrire radialement dans les courbes. En utilisant ainsi le poids total de la locomotive de $4 \times 10,75 = 43$ tonnes (eau et charbon compris), en moyenne environ 40 tonnes (37 tonnes à vide) comme poids adhérent, on diminue autant que possible le travail de la machine auxiliaire. La figure 4 représente la locomotive Hanscotte et la figure 5 son diagramme.

Le train complet à remorquer (43 + 60 tonnes) sur la rampe de 90 ‰ exige une force de traction de 10 000 kg environ. Le poids

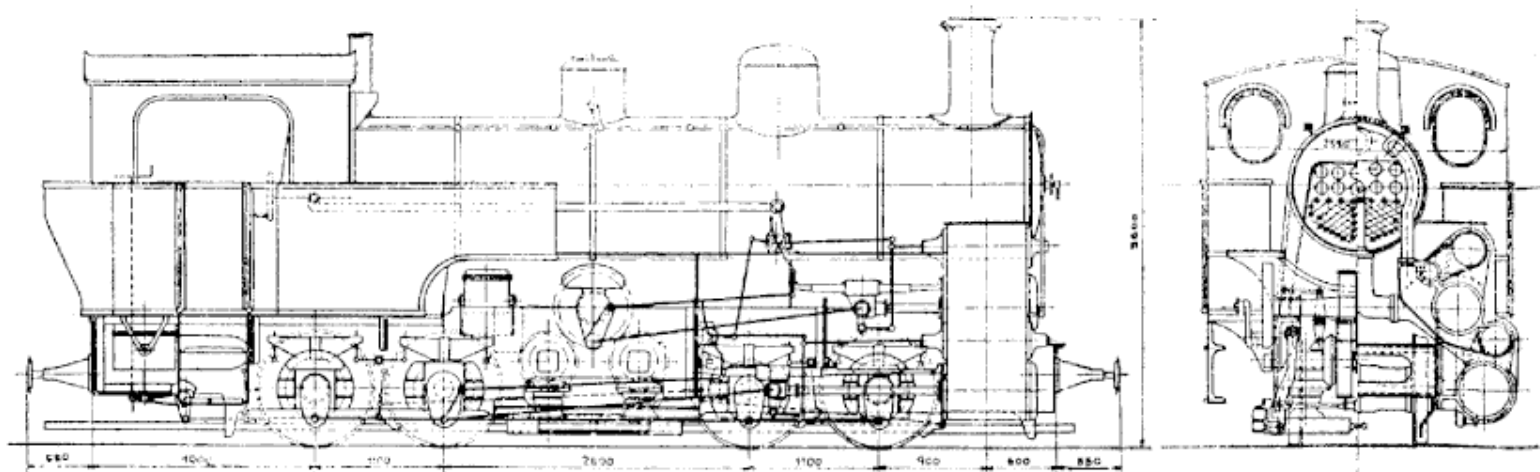


Fig. 4. Locomotive Hanscotte projetée pour le Chemin de fer de la Furka.

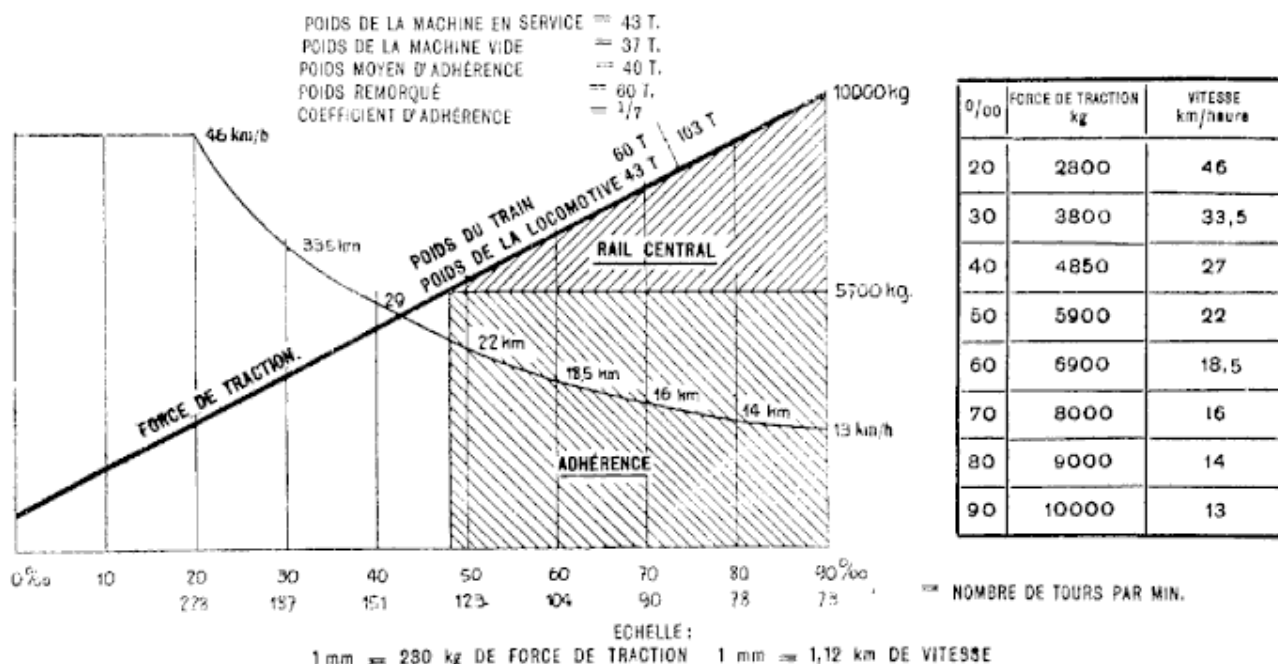


Fig. 5. Diagramme de la locomotive Hanscotte.

adhérent de 40 tonnes des 4 essieux normaux, avec un coefficient d'adhérence de $1/7$ à $1/8$ (adopté pour de longs tunnels) correspondant à une force de traction de 5700 kg environ, la machine auxiliaire devra alors développer une force de traction de $10\ 000 - 5700 = 4300$ kg. Pour arriver à cette force, la pression des roues à adhérence auxiliaire sur les deux côtés du rail central doit être au moins de 24 à 25 000 kg au total, c'est-à-dire de 6000 kg par essieu en admettant deux paires d'essieux auxiliaires. Notre projet disposait ces deux paires d'essieux et l'appareil complet de la machine auxiliaire au milieu de l'empattement des essieux-moteurs normaux, les roues motrices auxiliaires s'appliquant ainsi contre le rail central avec un minimum de déplacement latéral par rapport au châssis principal de la locomotive.

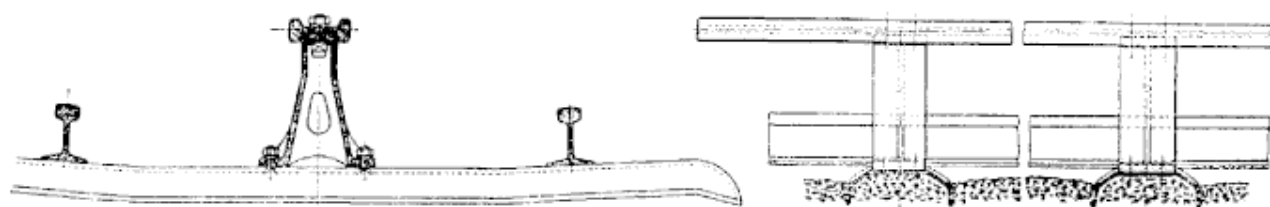


Fig. 4. a) Superstructure système Hanscotte.

Après avoir calculé les dimensions et les poids des organes du mécanisme de la machine auxiliaire sur la base de 6000 kg de pression par roue motrice contre le rail central, on ajouta à ces poids ceux des organes de la locomotive normale. La différence entre le poids total de 37 tonnes de la locomotive à vide et celui de tous ces organes autorisa alors de prévoir une chaudière d'environ 72 m^2 de surface de chauffe qui devait permettre de remorquer le train de 60 tonnes à une vitesse de 13 km environ par heure sur la rampe de 90 ‰ (locomotive non comprise).

Quelle sera maintenant la construction d'une locomotive mixte à adhérence et à *crémaillère* pouvant satisfaire au programme du Chemin de fer de la Furka? La charge du train est fixée à 60 tonnes. Admettons que la rampe maximum sur l'adhérence soit de 40 ‰ , un poids d'adhérence de 30 tonnes environ sera suffisant pour remorquer ce train de

60 tonnes, locomotive non comprise, et comme la charge par essieu est de 10,75 tonnes une locomotive à trois essieux couplés conviendra parfaitement. Pour les rampes supérieures à 40 ‰, le mécanisme à crémaillère viendra en doublure. Une locomotive pareille construite d'après le système « Winterthur » compound et à surchauffe fut projetée et disposée de façon à ce que le travail total eut été partagé également entre les mécanismes à adhérence et à crémaillère. Le poids total de la machine avec ses réserves d'eau et de charbon et un essieu bissel ajouté aux trois essieux couplés à adhérence, s'élevant à 38 tonnes, permet de prévoir une surface de chauffe de 81 m² environ. Il en résulte une vitesse du train de 15 km à l'heure sur la rampe maximum de 90 ‰, étant donné que la force de traction sur cette rampe atteint 9500 kg environ. Le diagramme de force de traction et de vitesse pour la locomotive à adhérence et à crémaillère projetée est donné par la figure 7. La machine est représentée sur la figure 6.

Comparant à présent le diagramme de la locomotive système Hanscotte avec ce dernier, on verra clairement que pour la même puissance la locomotive à crémaillère est bien supérieure au système à adhérence auxiliaire. La locomotive Hanscotte est plus lourde et la construction beaucoup plus compliquée. Elle travaillera donc moins économiquement que la machine à crémaillère. En outre, la sécurité de marche sur de fortes déclivités est moins grande que celle d'une locomotive à crémaillère, par suite de sa dépendance du coefficient d'adhérence. Le travail de frottement intérieur de la machine à adhérence auxiliaire est aussi près du double de celui de la locomotive à crémaillère.

La pratique confirme, du reste, les résultats obtenus par la théorie. La locomotive Hanscotte construite pour le Chemin de fer du Puy-de-Dôme, d'un poids approximatif en service de 33 tonnes, remorque sur 120 ‰ un train de 27 tonnes à la vitesse de 12 à 15 km à l'heure, tandis que sur la ligne du Brunig une locomotive à adhérence et à crémaillère à quatre cylindres d'un poids en service de 30 tonnes, sur une même rampe de 120 ‰, remorque un train de 50 tonnes à 10 km à l'heure.

L'avantage d'une plus grande vitesse attribué à la machine à adhérence auxiliaire n'est pas d'importance. L'engrènement est assuré aussi à la vitesse de 15 km sur des rampes de 90‰ (le Département fédéral des Chemins de fer autorise le Chemin de fer de la Furka à marcher à une vitesse maximum de 18 km à l'heure sur crémaillère). De plus grandes vitesses ne peuvent, du reste, être atteintes avec le système à adhérence auxiliaire qu'en augmentant d'une façon démesurée le poids de la locomotive.

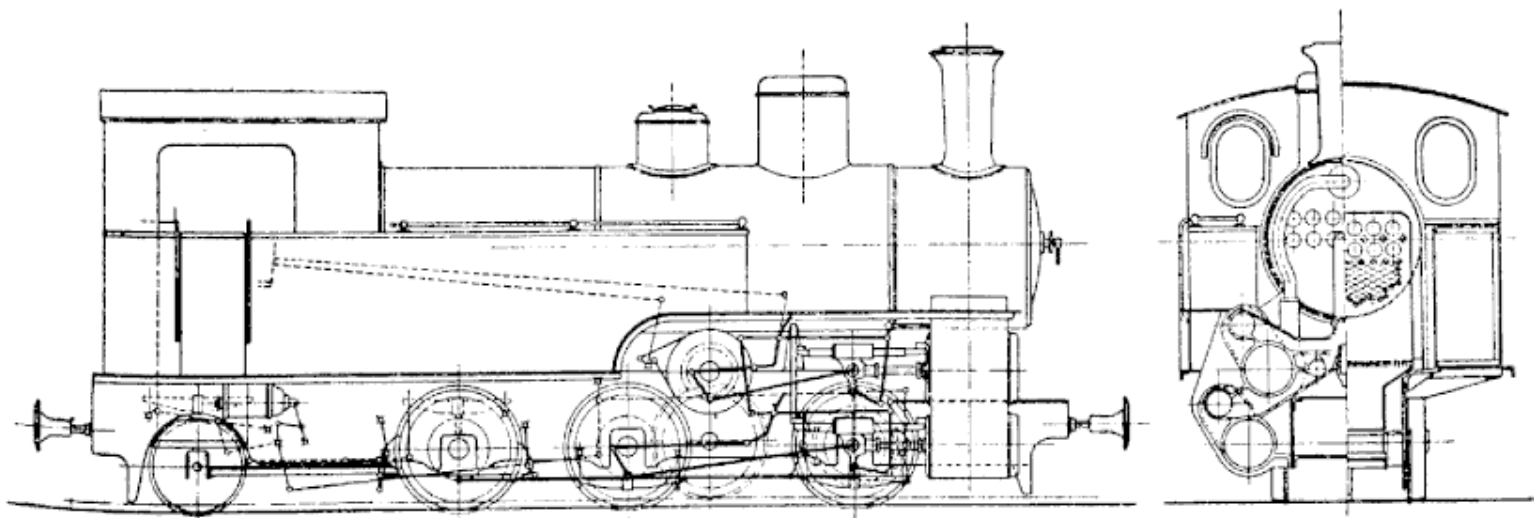


Fig. 6. Locomotive mixte HG ³/₄ projetée, système « Winterthur ».

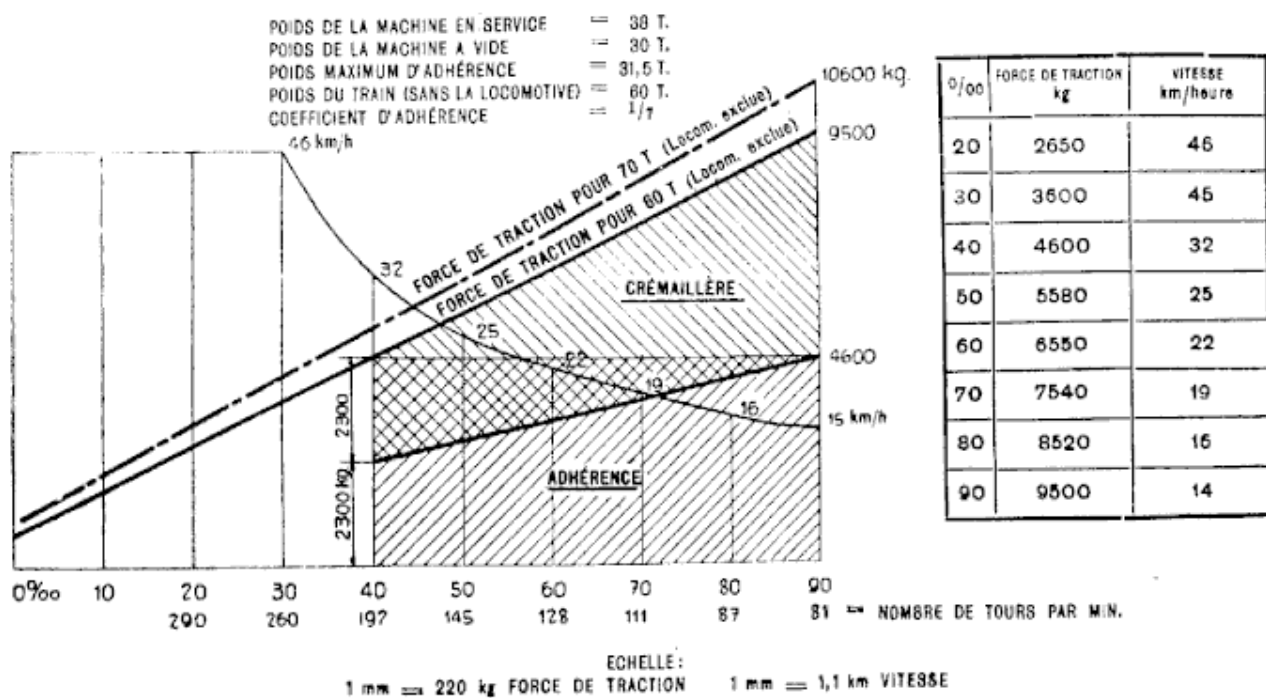


Fig. 7. Diagramme de la locomotive mixte HG ³/₄, système « Winterthur ».

Les études et les comparaisons des deux systèmes de machines ont alors amené la Direction du Chemin de fer de la Furka, d'accord avec le Département Fédéral des Chemins de fer, à abandonner le projet d'utiliser le système Hanscotte, malgré son ingéniosité et les perfectionnements apportés par l'inventeur à la machine à adhérence auxiliaire. Elle se décida ainsi pour la locomotive à adhérence et à crémaillère système Abt. Cette décision est due aussi au fait que le rail central Hanscotte par sa hauteur aurait été un obstacle au passage des voitures des Chemins de fer Rhétiques qui devaient circuler sur la ligne de la Furka, parce que leurs tringles de frein sont montées relativement bas.

La figure 8 représente la locomotive Abt des Chemins de fer de la Furka. La figure 9 son diagramme.

En principe, les études dont nous venons de parler ont prouvé à l'évidence que la locomotive avec adhérence auxiliaire, malgré tous les perfectionnements importants et très intéressants apportés par Hanscotte, n'est ni pratique, ni rationnelle. Ce système sans doute ne sera guère employé à l'avenir.

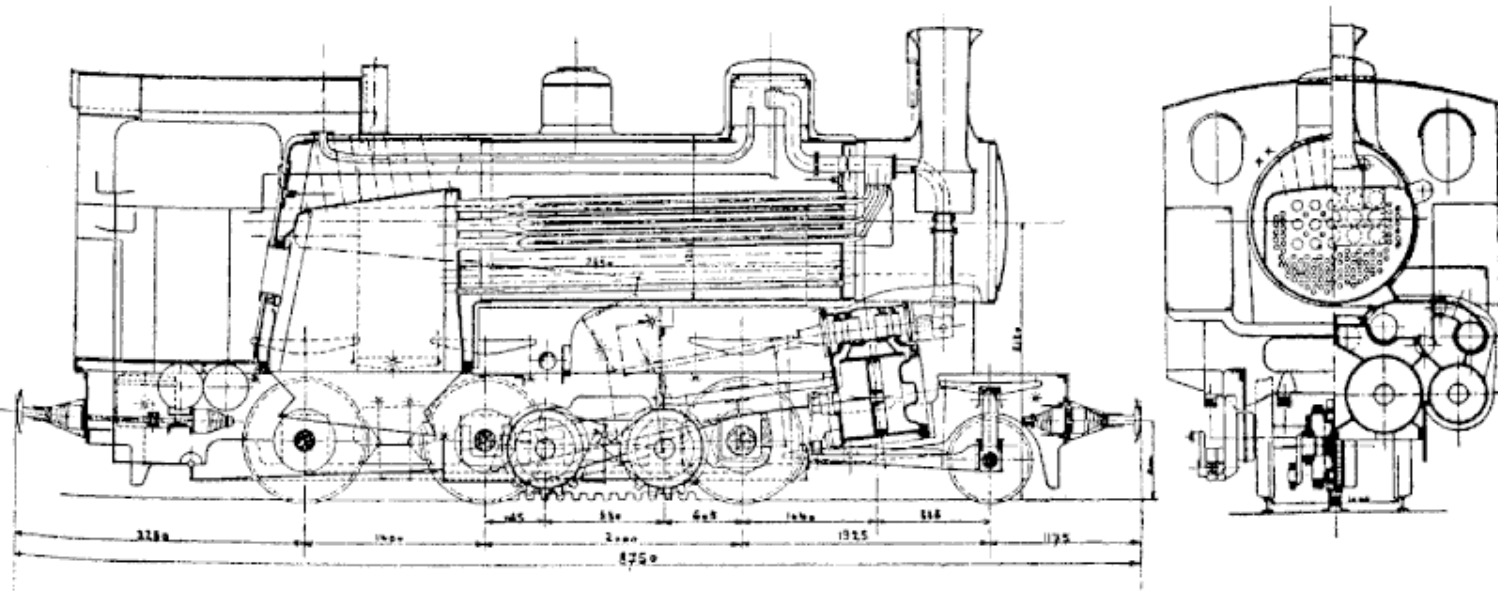
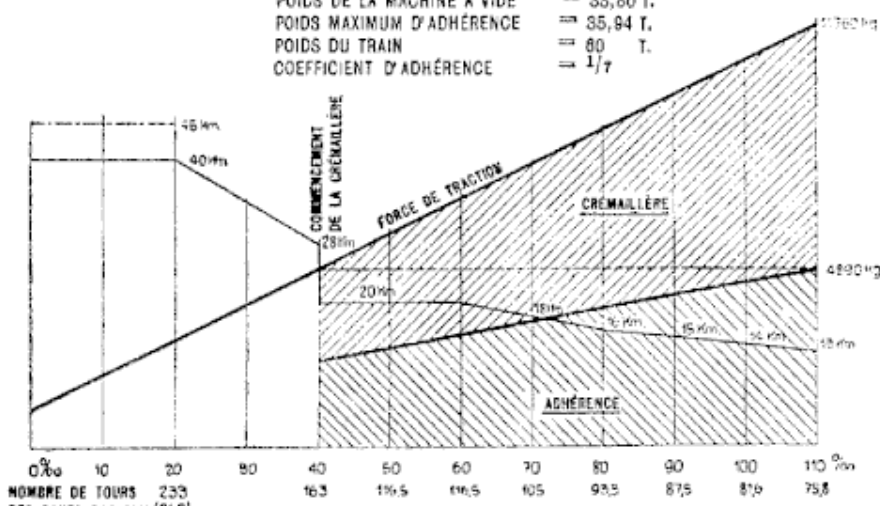


Fig. 8. Locomotive HG mixte, système Abt, exécutée pour la ligne de la Furka.

POIDS DE LA MACHINE EN SERVICE = 42,02 T.
 POIDS DE LA MACHINE A VIDE = 33,80 T.
 POIDS MAXIMUM D'ADHÉRENCE = 35,94 T.
 POIDS DU TRAIN = 80 T.
 COEFFICIENT D'ADHÉRENCE = 1/7



0/100	VITESSE km/heure	FORCE DE TRACTION kg
0	40	
10	40	1950
20	40	2930
30	40	3910
40	40	4890
50	20	5880
60	20	6850
70	18	7830
80	16	8810
90	15	9790
100	14	10770
110	13	11760

ECHELLE:
 1 mm = 275 kg DE FORCE DE TRACTION 1 mm = 1,33 km DE VITESSE

Fig. 9. Diagramme d'une locomotive HG 3/4, système Abt.

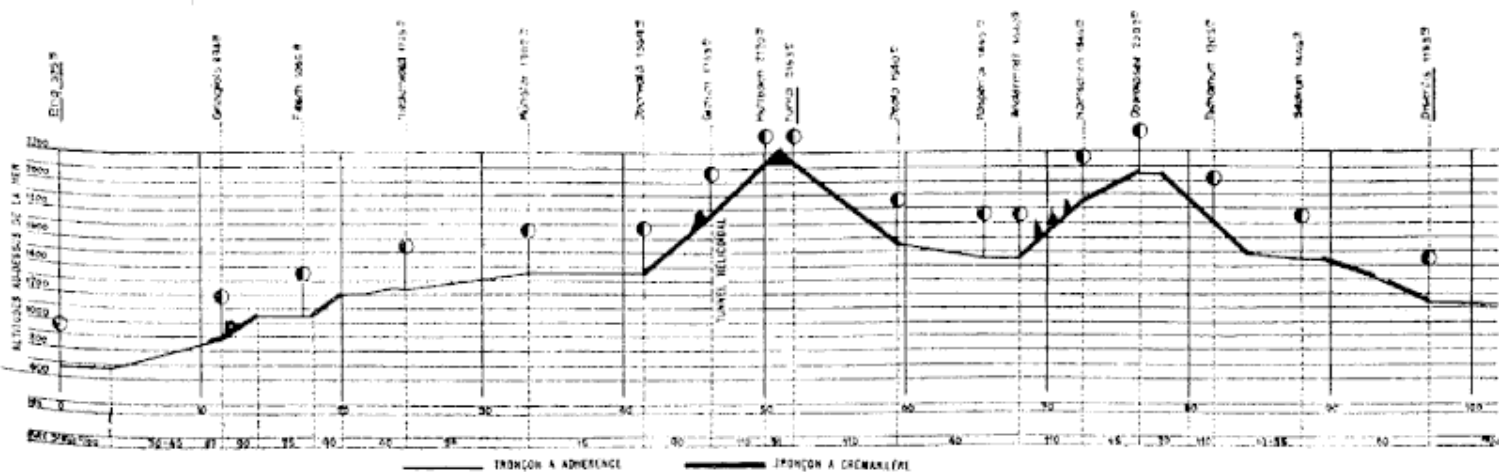


Fig. 8. a) Profil de la ligne de la Furka.

3° LOCOMOTIVES AVEC MÉCANISMES A ADHÉRENCE ET A CRÉMAILLÈRE

Pour juger de la déclivité rationnelle dans un service à adhérence et à crémaillère, les conditions posées définitivement par le Chemin de fer de la Furka nous donnent de nouveau matière à discussion. La déclivité maximum fixée pour le système Hanscotte à 90 ‰ fut portée par la Compagnie à 110 ‰ pour la locomotive à adhérence et crémaillère. Les longueurs des tunnels de la Furka et de l'Oberalp ont de ce fait été diminuées. Par contre, les frais d'exploitation furent augmentés, parce que le poids de la locomotive de 38 tonnes, pour 90 ‰ de rampe et un train de 60 tonnes, locomotive exclue, dut pour 110 ‰ être porté à 42 tonnes. *Ce poids supplémentaire de quatre tonnes, soit environ 4 % du poids total du train, doit être considéré comme poids mort et transporté comme tel sur tout le tronçon de la ligne d'une déclivité de 90 ‰ et moins.*

Lors de la fixation de la rampe maximum d'un tronçon à crémaillère, il y a donc lieu de rechercher en premier lieu si l'économie réalisée dans l'exécution de la ligne par suite de l'augmentation de la rampe, respectivement de la diminution de la longueur de cette rampe, compense réellement les frais d'exploitation plus considérables. Ce ne sera surtout pas le cas lorsque le tronçon à rampe maximum sera relativement court par rapport à la longueur totale de la ligne.

Déjà plus haut, nous avons dit que dans les chemins de fer à adhérence et à crémaillère la pratique prévoit des rampes jusqu'à 40 ‰ pour les tronçons à adhérence. La machine est alors à même de remorquer 2,4 fois son poids lors d'un coefficient d'adhérence de 1/6,5 et 1,5 fois avec un coefficient de 1/8 (voir fig. 1), ce qui suffira généralement eu égard aux trains relativement légers de ces chemins de fer.

Quelle sera alors la rampe maximum sur la crémaillère pour une exploitation rationnelle?

Nos courbes de forces de traction font voir que pour 90 ‰ et un coefficient d'adhérence de 1/6,5 la machine peut remorquer encore un train de la moitié de son poids d'adhérence. Avec un coefficient de 1/8 (dans un tunnel, par exemple) elle ne pourra remorquer pas beaucoup plus que son propre poids d'adhérence. Comme les lignes mixtes sont construites généralement à voie de 1 m avec courbes jusqu'à 60 m de rayon, et que les rails ne permettent généralement qu'un poids de 10 à 11 tonnes sur les essieux-moteurs il faut prévoir pour les locomotives un ou même deux essieux-porteurs en plus des essieux-moteurs. De ce fait, le poids total de la machine ne peut être utilisé pour l'adhérence. A partir de 90 ‰ et avec un mauvais coefficient d'adhérence, le mécanisme à adhérence suffira donc seulement à transporter une partie du poids total de la locomotive. Le reste, ainsi que tout le poids du train devra être pris par le mécanisme à crémaillère. Il est à remarquer en même temps que la machine compound ne travaillera pas rationnellement eu égard au travail inégal de la vapeur des deux mécanismes.

Finalement après cet exposé nous arrivons au résultat suivant: pour les chemins de fer à adhérence et à crémaillère la rampe maximum à adhérence ne devrait pas dépasser 40 ‰ et celle à crémaillère 90 ‰ lorsque l'on veut obtenir une exploitation rationnelle. Ceci surtout quand le poids du train doit être de plusieurs fois supérieur à celui de la locomotive. De plus fortes rampes sur crémaillère ne devraient être employées que lorsque le terrain ou les frais de construction de la ligne l'exigent péremptoirement, et que les calculs prouvent que l'augmentation des frais d'exploitation est couverte par les économies faites sur la construction de la voie.

4° LOCOMOTIVES EXCLUSIVEMENT A CRÉMAILLÈRE

Le chemin de fer exclusivement à crémaillère n'est prévu que lorsque la ligne sur tout son tracé a des déclivités supérieures à 90 ‰. Dans le choix des déclivités à adopter dans un chemin de fer à pure crémaillère, il y a lieu de tenir compte de l'économie d'exploitation pour des conditions de terrain données. La rampe maximum est déterminée de façon à ce que l'engrènement des roues dentées dans la crémaillère offre encore sécurité entière. La ligne sera construite, autant que faire se peut, de façon à ce que la déclivité soit aussi constante que possible. Encore plus que pour les locomotives mixtes à adhérence et à crémaillère, de courts tronçons à rampes maxima, par rapport à la longueur totale de la ligne, sont très désavantageux au point de vue d'une exploitation économique. Ils exigent, en effet, pour un poids du train donné une locomotive plus forte, donc plus lourde que tout le reste de la ligne le demanderait.

Les études théoriques et la pratique permettent de déterminer la rampe maximum avec laquelle un bon engrènement des roues dans la crémaillère est encore assuré. Nous parlons d'un engrènement dans le sens vertical, c'est-à-dire avec crémaillères systèmes Riggensbach, Abt ou Strub. Les premières études ont été faites déjà par Gruninger lors de la construction de la ligne Vitznau-Righi. Elles ont été citées à nouveau par l'ingénieur Strub dans son livre « Bergbahnen der Schweiz bis 1900 ». Strub y donne aussi les résultats obtenus par Stocker, ingénieur en chef du Chemin de fer du Gothard, sur les conditions de l'engrènement dans les chemins de fer à crémaillère (« Schweizerische Bauzeitung », volume 7, n° 23). L'auteur montre combien la pression sur les dents et le danger de la montée des dents sont augmentés lors d'un freinage subit, ce qui a pour résultat de diminuer la sécurité de l'engrènement à la descente. Stocker fait voir également la nécessité d'un bon graissage de la crémaillère pour atténuer le danger de la montée des dents lors du freinage. La position exacte de la crémaillère aux jointures, où il y a lieu

de tenir compte de la dilatation, joue un rôle important aussi dans cette question de la montée des dents. Un pas absolument exact est impossible à ces endroits, mais des différences de 2 à 3 mm sont déjà très dangereuses surtout lors de fortes rampes. La crémaillère à lamelles *Abt* a le grand avantage sur la crémaillère *Riggenbach* ou *Strub* d'avoir les jointures des lamelles déplacées les unes par rapport aux autres. La totalité de la pression sur la dent ne peut donc jamais tomber sur une seule partie inexacte. Les griffes de sûreté contre la montée des dents, telles qu'elles ont été installées conformément aux prescriptions, offrent bien une certaine sécurité, mais, d'après nous, elles sont plutôt là pour tranquilliser que pour agir effectivement.

Lorsqu'en 1886 le Colonel *Edouard Locher* fut appelé à étudier la ligne du Pilate et que, par suite des grandes difficultés du tracé, des rampes jusqu'à 50 % durent être envisagées, il construisit avec la Fabrique de Locomotives à Winterthur, pour l'étude de l'engrènement des dents aux différentes déclivités, une rampe d'environ 20 mètres de longueur, à laquelle on pouvait donner une inclinaison quelconque. Un wagon dont un des essieux portait une roue dentée, circulait sur cette rampe. La roue dentée pouvait être chargée de façon à ce que la pression sur la dent fût la même que celle prévue pour l'automotrice à vapeur projetée. Le wagon était amené au sommet de la rampe au moyen d'un treuil. A la descente, le véhicule était freiné. Les résultats de ces essais prouvèrent qu'avec des pentes entre 40 et 50 % la plus petite différence dans le pas des dents de la crémaillère suffisait pour faire monter les dents de la roue sur la crémaillère. Lors du freinage ce fait se produisait même inévitablement sur la crémaillère à pas normal. Dans des pentes supérieures à 30 %, la sûreté d'un bon engrènement diminue certainement d'une façon rapide. Ces essais firent constater qu'un engrènement certain n'était pas possible dans les fortes déclivités envisagées. Aussi le Colonel *Locher* prit-il la décision de construire pour le Chemin de fer du Pilate une crémaillère à deux rangées de dents *horizontales*. Cette crémaillère, système *Locher*, qui fut donc exécutée, a donné sécurité entière,

eu égard aussi à la superstructure très robuste de la ligne, dont les rampes atteignent 48 %, et aux freins très bien étudiés de l'automotrice à vapeur.

Les différents systèmes de crémaillères sont représentés par les figures 10: a) Riggensbach, b) Abt, c) Locher, d) Strub.

La crémaillère Locher à deux rangées latérales de dents n'a jusqu'à présent été employée que sur le Chemin de fer du Pilate. L'ingénieur *Peter* à Zurich a modifié cette crémaillère en lui donnant la forme d'un rail Vignole à large champignon, dans lequel les dents sont fraisées. Cette crémaillère a été proposée dans plusieurs projets de chemins de fer sous le nom de crémaillère grimpanche.

A cette place nous désirons encore mentionner que lors des recherches de *Locher* une crémaillère à chevrons, système *Wetli*, fut aussi essayée. Nous n'en parlerons pas spécialement. *A. Mallet* l'a décrite dans son étude sur « Les Chemins de fer de montagne, 1872 » et de même le *D^r Abt* dans son livre sur les « Steilbahnen ». Cette crémaillère fut exécutée à titre d'essai au commencement des années 70 sur le tronçon *Wädenswil-Einsiedeln*. Quoique ce système semble très intéressant en théorie, la pratique a prouvé que techniquement il ne peut offrir de sécurité. Aussi les résultats des essais de *Locher* furent-ils encore plus défavorables que ceux avec la crémaillère ordinaire à denture verticale, ce qui est naturel, car, lors du développement du tambour hélicoïdal *Wetli*, la pression de la dent est concentrée. La pression spécifique étant ainsi plus forte, les défauts dans le pas de la crémaillère et les charges augmentées par freinage se font sentir davantage.

Les essais intéressants et instructifs de *Locher* ont donc confirmé par la pratique que le point de vue d'*Abt*, concernant la déclivité maximum pour les chemins de fer à crémaillère pure, est absolument juste. Il dit, en effet, que pour la sécurité de l'exploitation de chemins de fer de ce genre une rampe maximum de 25 % ne devrait pas être dépassée et qu'en tous cas plus de 30 % ne devrait pas être toléré (ligne de *Corcovado* 30 %) avec une crémaillère à denture verticale.

5° CRÉMAILLÈRES A DENTURE VERTICALE

Après 50 ans de développement des chemins de fer à crémaillère, il est compréhensible que de précieuses expériences ont pu être acquises dans l'emploi des différentes crémaillères. En général, principalement à cause de son exécution facile, c'est la denture à développante qui est la plus employée. Dans celle-ci, le flanc de la dent de crémaillère est plan. La crémaillère à échelle la plus ancienne, *système Riggerbach*, a subi diverses transformations et améliorations, notamment dans l'assise et la fixation des dents (voir le prospectus de Roll, Berne). Les dimensions des fer à U latéraux aussi furent adaptées aux efforts que la crémaillère était appelée à supporter (Abt, «Steilbahnen», et Strub, «Bergbahnen der Schweiz»). Un désavantage de la crémaillère à échelle réside en son grand poids. Par contre, elle a l'avantage de rendre un déraillement difficile lorsque la roue dentée monte, vu que cette dernière étant guidée latéralement par les fers à U, elle a la possibilité de retomber dans la crémaillère. *La crémaillère à lamelles* créée par R. Abt en 1882 et exécutée à 1, 2 ou 3 lamelles, a sur la précédente le grand avantage d'être légère, ce qui facilite beaucoup le transport et la mise en place. En outre, la pression se répartit sur plusieurs dents se trouvant dans différentes positions d'engrènement (dans la crémaillère à 2 lamelles et avec 2 roues motrices sur 4 dents), ce qui assure à la locomotive et aux voitures une marche particulièrement douce. Les lamelles sont conformément à leur nombre déplacées dans le pas et les couronnes dentées montées élastiquement sur le corps des roues, afin de pouvoir s'adapter aux inégalités de la denture de la crémaillère.

La crémaillère *Abt* convient surtout aux chemins de fer mixtes à adhérence et à crémaillère. Aussi a-t-elle trouvé son application sur tout le globe dans les plus importants de ces chemins de fer. La crémaillère à trois lamelles a été exécutée la première fois pour le Chemin de fer du

Harz (1885), plus tard aussi au Col du Bolan, Usui Toge (Japon) et au Transandino. Dans des courbes de faible rayon les dents ne peuvent guère travailler sur toute leur largeur. Une crémaillère à deux lamelles avec dents plus larges est donc à préférer. Pour les chemins de fer exclusivement à crémaillère, la crémaillère Abt permet moins que d'autres aux roues dentées de monter, malgré le plus grand pas de la denture (120 : 100 mm), ceci par suite de la répartition de la pression et de l'engrènement, ainsi que déjà dit. Mais si une fois la roue dentée monte sur la crémaillère, un déraillement sera plutôt possible qu'avec les crémaillères à échelle. Si la roue monte entre les jointures, une déformation de la crémaillère peut se produire, toutefois une réparation sera facile. — Jusqu'à présent cependant, ces accidents ne sont survenus que lorsque la superstructure avait pu se déplacer par suite d'une assise défectueuse, ce qui avait comme conséquence de permettre aux boudins des roues porteuses de monter sur les rails et de soulever la locomotive hors de la crémaillère.

La crémaillère Strub est un rail Vignole à champignon conique, dans lequel sont fraisées les dents. Elle découle du rail à champignon à forme de coin de *Bucher*, rail qui fut utilisé pour la première fois sur la ligne du Stanserhorn. Ce rail, se prêtant particulièrement bien au freinage des voitures de funiculaires, fut employé plus tard avec succès dans les chemins de fer funiculaires. Strub pensait aussi employer le champignon de sa crémaillère pour le frein à griffes. La pratique a prouvé cependant que ce mode de freinage ne convenait pas, parce que les sabots de frein étaient pressés dans les lumières de la denture et rabotés par les dents. Comparée à la crémaillère à échelons, la crémaillère Strub a l'avantage d'être d'une seule pièce, de poids moins grand que celui de la crémaillère Riggerbach et d'être fixée de la même façon que les rails. Mais elle a le désavantage de ne pas guider la roue dentée. Un frein de sûreté à griffes peut être prévu sans difficulté avec cette crémaillère.

* * *

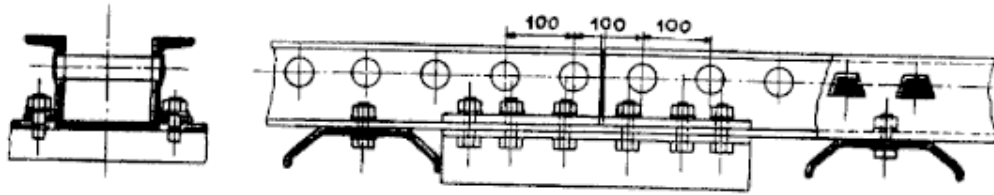
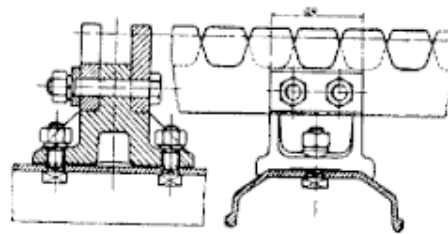
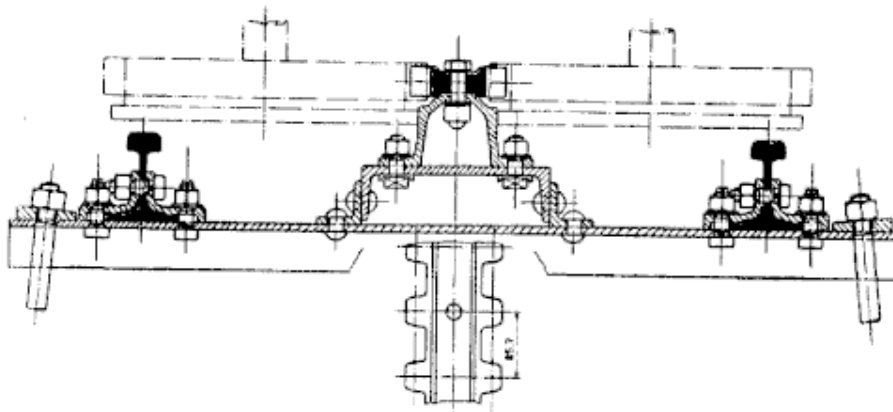


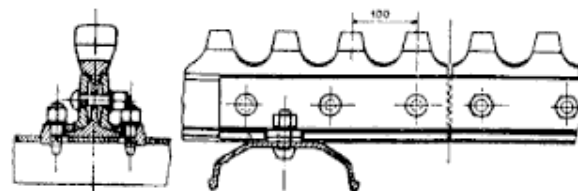
Fig. 10. a) Crémaillère « Riggenbach ».



b) Crémaillère « Abt ».



c) Crémaillère « Locher ».



d) Crémaillère « Strub ».

Après cet exposé et ces considérations sur les qualités des principales catégories de locomotives par rapport aux déclivités des lignes, considérations qui s'appuient sur une expérience de quelques dizaines d'années, nous allons parler du développement de la construction des locomotives à crémaillère pure et des locomotives mixtes, en nous appuyant particulièrement sur les machines exécutées pendant ce dernier demi-siècle par la Société Suisse pour la Construction de Locomotives et de Machines qui s'est spécialisée dans ces constructions. Les croquis schématiques de ces locomotives donnés sur les tableaux à la fin de notre monographie compléteront notre description. Nous admettons que l'histoire de la création et de la construction de ces locomotives est déjà connue jusqu'au moment où elles furent employées en Suisse (Vitznau-Righi). Elle a été traitée par le Dr R. Abt, Alexandre Lindner et Émile Strub dans leurs divers écrits qui donnèrent également des renseignements précieux sur la superstructure, les aiguilles et les prises de crémaillère.

Les expériences acquises avec le temps contribuèrent, cela va de soi, au perfectionnement de la construction de ces types de locomotives et à augmenter la sécurité d'exploitation des chemins de fer à crémaillère, sécurité que maintenant nous oserons même traiter d'absolue.

6° DÉTAILS DE CONSTRUCTION DES LOCOMOTIVES MIXTES ET DE CELLES EXCLUSIVEMENT A CRÉMAILLÈRE

CHAUDIÈRE

La chaudière verticale ne convient que pour des forces de faible importance, spécialement pour les automotrices à vapeur. Pour de plus grandes forces, le type de chaudière employé généralement dans les locomotives à adhérence est bien supérieur et plus économique, quoique son poids par mètre carré de surface de chauffe soit supérieur à celui de la chaudière verticale. Afin que le dessus de la boîte à feu ait toujours sa couverture d'eau obligatoire, dans les déclivités maxima aussi, l'axe de la chaudière des locomotives exclusivement à crémaillère n'est pas parallèle à la voie, mais incliné en avant, de façon à ce que sur une rampe moyenne cet axe soit parallèle à la ligne d'eau. S'il y a dos d'âne, la machine est tournée au sommet de la rampe. Eu égard à la rampe particulièrement forte, les automotrices du Chemin de fer du Pilate ont la chaudière disposée en travers de l'axe de la ligne.

Dans les locomotives mixtes à adhérence et crémaillère la position normale de la chaudière peut être maintenue à la condition que la déclivité ne dépasse pas 90 ‰. La locomotive *Klose* des Chemins de fer Appenzellois, qui doit marcher dans la même direction sur des rampes et pentes de 90 ‰, reçut une chaudière avec boîte à foyer surélevée, pour que la partie de la chaudière portant les tubes bouilleurs reste toujours pleine d'eau.

Pour obvier aux désagréments de la fumée, le fumivore Langer ou l'appareil simplifié *CFF* a été introduit en Suisse et employé aussi dans les locomotives à crémaillère. L'emploi de la vapeur surchauffée est particulièrement à recommander pour les locomotives de montagne,

parce que la prise de vapeur a tendance d'entraîner beaucoup d'eau avec elle, le niveau de l'eau étant tenu généralement élevé et la contenance de vapeur de la chaudière et du dôme étant très faible. La surchauffe de la vapeur a produit une économie de combustible de 40 % sur le Chemin de fer du Pilate et de 33 % sur celui de Vitznau-Righi.

CHASSIS ET ESSIEUX

Châssis et essieux seront aussi légers que possible tout en étant de construction robuste. La disposition des essieux-porteurs sera prévue de façon à assurer une marche douce et que les courbes, généralement nombreuses, puissent être passées facilement. Les ressorts peuvent être relativement moins flexibles que ceux des locomotives à adhérence, parce que la vitesse de la locomotive à crémaillère est très réduite. Le jeu des ressorts doit également être aussi limité que possible pour que les roues dentées, montées sur les essieux logés dans le châssis principal de la locomotive, aient toujours leur engrènement assuré. Les roues dentées motrices doivent être placées en dessous du centre de gravité de la machine de façon à rencontrer la plus grande résistance lorsqu'elles ont tendance à monter sur la crémaillère.

MÉCANISME MOTEUR POUR LOCOMOTIVES EXCLUSIVEMENT A CRÉMAILLÈRE

Dans les *locomotives exclusivement à crémaillère* les cylindres, presque sans exception, travaillent avec réduction de la vitesse sur les roues dentées motrices, soit directement par un pignon, soit par l'intermédiaire de deux jeux de roues dentées disposées de chaque côté de la roue dentée motrice. On obtient ainsi pour la machine à vapeur des cylindres de plus faibles dimensions, un mécanisme léger et une marche tranquille de la locomotive. En outre, le nombre de tours de la machine à vapeur devenant plus grand en rapport de la dite réduction, l'effet du souffleur est augmenté et la production de vapeur plus régulière.

Dans le premier type de machine à crémaillère pure (1872 à 73) pour le Chemin de fer à voie normale de Vitznau au Righi le châssis repose sur deux essieux-porteurs. Les cylindres, disposés à l'extrémité supérieure du châssis, travaillent par l'intermédiaire d'un contre-arbre avec deux paires de roues dentées sur la roue dentée motrice montée sur l'essieu-porteur inférieur. Les roues porteuses tournent folles sur leurs essieux. Les locomotives du Vitznau-Righi construites par «Winterthur» en 1899 et 1902, avaient un mécanisme de traction perfectionné, en ce sens que l'axe de la roue dentée motrice disposé entre les essieux-porteurs était placé en dessous du centre de gravité de la machine. Ce type a une marche beaucoup plus douce et un mouvement de lacet plus faible que le premier. En 1913, le Vitznau-Righi reçut une nouvelle locomotive à deux essieux-moteurs couplés et à l'arrière un essieu-porteur s'inscrivant dans les courbes. Cette machine peut remorquer le double du train des types précédents. Les locomotives du Chemin de fer Arth-Righi (1874) possèdent déjà les perfectionnements du deuxième type Vitznau, l'essieu de la roue dentée motrice étant placé entre les essieux-porteurs et en dessous du centre de gravité de la machine. Les roues dentées intermédiaires sont fixées latéralement à la roue dentée motrice.

Les premières machines de ce genre furent construites à Aarau par Riggenschach. Plus tard, «Winterthur» construisit des machines du même type pour le Chemin de fer du Kahlenberg à Vienne et pour celui du Schwabenberg à Budapest.

Les années 1890 virent se développer la construction des chemins de fer à crémaillère à voie étroite (80 cm). L'ingénieur Dr R. *Abt* y contribua tout particulièrement non seulement dans la construction du matériel roulant, mais aussi dans celle de la ligne. Il créa un nouveau type de locomotive plus léger avec mécanisme de traction des plus simples. Sa machine, à deux roues dentées motrices couplées, montées sur les essieux-porteurs (les roues porteuses étant montées folles sur ces essieux), transmet la force des cylindres sur les essieux-moteurs par des balanciers disposés à l'avant de la machine. Ce type, avec essieu-porteur

à l'arrière s'inscrivant dans les courbes, convient supérieurement bien aux chemins de fer à voie étroite avec courbes de faible rayon (jusqu'à 60 m). La commande par balancier fut plus tard améliorée en diminuant autant que possible la composante verticale agissant sur les essieux des roues dentées. La locomotive reposant sur cinq points, l'ajustage des ressorts doit être fait d'une façon précise pour une bonne répartition de la charge. Des machines de ce type furent exécutées en grand nombre

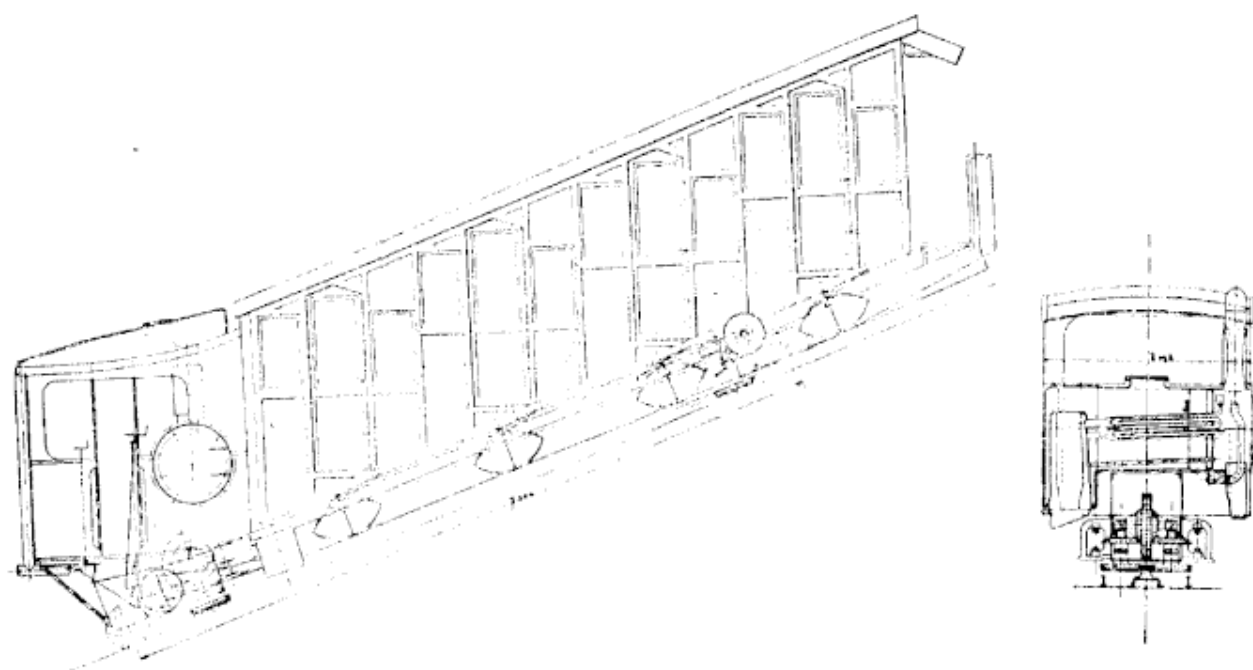


Fig. 11. Automotrice du Chemin de fer du Pilate.

par «Winterthur». En Suisse pour les chemins de fer du Generoso, de la Schynige Platte, Wengernalp, du Rothorn, Aigle-Leysin, etc. A l'Etranger pour Snowdon (Angleterre), Aix-les-Bains-Mont-Revard (France), Monistrol-Montserrat (Espagne).

La locomotive de la Wengernalp construite en 1904 a un mécanisme de traction modifié. Des cylindres horizontaux disposés à l'avant, la force est transmise aux deux essieux des roues dentées motrices par deux essieux intermédiaires et des pignons, ainsi que par des bielles couplées avec balancier de compensation (construction de Steiger). Les essieux des roues dentées motrices sont disposés entre les essieux-por-

teurs. A l'arrière un essieu bissel facilite le passage des courbes, comme dans la construction Abt. Des locomotives avec mécanisme pareil furent livrées par «Winterthur» en 1907 au Chamonix-Montanvers et en 1911 au Chemin de fer Bagnères-de-Luchon-Superbagnères.

Un mécanisme de construction toute spéciale est celui des locomotives du Pilate. Cette ligne construite en 1886 possède, comme déjà dit, *une crémaillère Locher* et des rampes jusqu'à 48 ‰. Pour cette crémaillère les axes des roues dentées motrices doivent être montés verticalement par rapport à la voie. La locomotive ou plutôt l'automotrice (construction «Winterthur») est représentée par la figure 11. Comme elle repose sur trois points, les quatre roues porteuses s'appuient sûrement sur les rails même dans les courbes en S (voir description «R. Abt, Lokomotiv-Steilbahnen» et la «Schweizerische Bauzeitung» de 1886, Volume VII, page 53).

Les cylindres horizontaux fixés à l'arrière de l'automotrice transmettent leur force aux deux axes des roues dentées motrices par un engrenage à dents droites et une paire d'engrenages coniques disposés des deux côtés du premier. L'équilibre de la pression sur les engrenages coniques se fait par de petits balanciers reposant dans la roue à dents droites. Dans la pratique cette construction s'est admirablement bien comportée. Derrière l'essieu-porteur à l'amont de l'automotrice une paire d'essieux verticaux avec leurs roues dentées engrenant dans la crémaillère, servent d'essieux de frein. Ils sont combinés avec un appareil spécial destiné à assurer un freinage efficace et sûr.

MÉCANISME MOTEUR POUR CHEMIN DE FER MIXTES A CRÉMAILLÈRE ET ADHÉRENCE

Dans les premières locomotives de ce genre (Ostermundigen et Rorschach-Heiden) les mêmes cylindres actionnaient les mécanismes à adhérence et à crémaillère. Au moyen d'un accouplement à griffes l'un des mécanismes était arrêté ou mis en marche lorsque la machine passait sur la crémaillère, respectivement sur le tronçon à adhérence.

En 1883, la Fabrique de Locomotives à Winterthur livra aux Aciéries Salgo-Tarjan (Hongrie) deux locomotives dans lesquelles les mécanismes à adhérence et à crémaillère étaient actionnés directement et accouplés entre eux. La différence en hauteur de l'essieu-moteur à roues dentées et celle des essieux couplés à adhérence, était prise par une coulisse ménagée dans la bielle d'accouplement à son point d'attaque de l'essieu-moteur. (Cette construction a de nouveau trouvé son application dans les locomotives électriques.) Les locomotives à crémaillère du Brunig 1887 (fig. 12) et celles de toute une catégorie d'autres lignes sont d'un type semblable. Les locomotives du Brunig avaient les cylindres intérieurs. La force était transmise à l'essieu-moteur par engrenages inter-

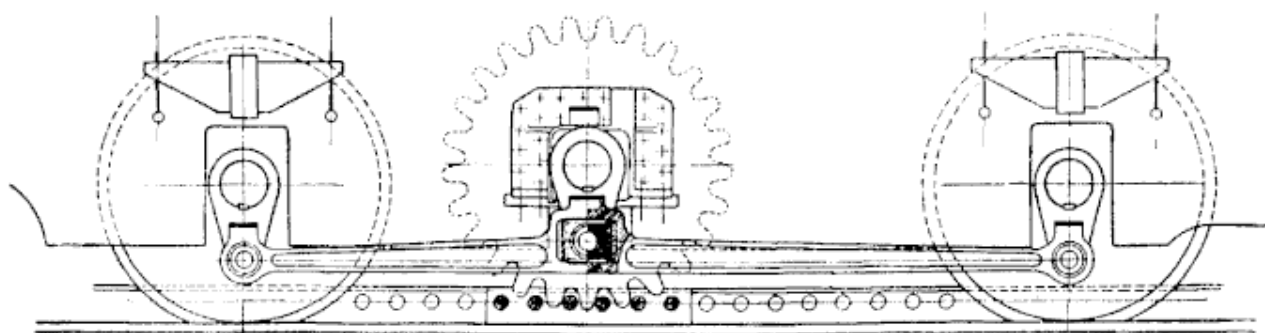


Fig. 12. Bielle de la première locomotive du Brunig.

médiaires. A son tour, celui-ci actionnait les essieux à adhérence par les bielles dont nous venons de parler.

Lors de l'accouplement direct de l'essieu-moteur à roue dentée avec ceux à adhérence, il faut évidemment que le diamètre primitif de la roue dentée motrice soit le même que celui des roues motrices à adhérence. Mais comme les bandages de ces dernières s'usent en service, respectivement que leur diamètre diminue peu à peu, des inégalités se donneront jour dans le développement des roues à adhérence par rapport à celui du diamètre primitif de la roue dentée motrice. Ces inégalités ne seront compensées que par un glissement sur les rails des roues à adhérence. Pour parer à une trop forte inégalité, les bandages des roues à adhérence ont reçu dans la pratique un diamètre d'environ 12 mm plus grand que celui du diamètre primitif de la roue dentée motrice. Lorsque les ban-

dages ont atteint un diamètre de 10 mm plus petit que le diamètre primitif, ils doivent être remplacés. Malgré ces prescriptions cependant, l'expérience a montré que le développement différent des roues motrices provoque des forces destructives ayant une très mauvaise influence sur le châssis de la machine. Les chocs qu'elles produisent se sentent fort bien dans l'abri du mécanicien et peuvent amener des ruptures au châssis. Quoiqu'il en soit, les machines du Brunig ont travaillé avec satisfaction pendant près de dix ans malgré un service très dur. Il est vrai que le remplacement des bandages se fit toujours à temps.

L'accouplement rigide des deux mécanismes moteurs n'est pas une solution idéale et il ne devrait être utilisé que lorsque les frais de deux mécanismes indépendants l'un de l'autre sont trouvés trop élevés.

Le Dr R. Abt fut à nouveau le premier qui perfectionna la construction des deux dispositifs moteurs pour locomotives mixtes à crémaillère et adhérence. Les premières machines de son type (brevet Abt) furent destinées au Chemin de fer à voie normale du Harz. Comme généralement dans les locomotives à adhérence, le dispositif moteur à adhérence a ses cylindres extérieurs. Les cylindres intérieurs du mécanisme moteur à roues dentées aussi sont fixés au châssis principal. Par contre, les deux essieux-moteurs à roue dentée sont montés dans un châssis spécial suspendu à deux essieux à adhérence. La profondeur de l'engrènement est ainsi rendue indépendante du jeu des ressorts. Elle n'est influencée que par l'usure des coussinets et des bandages, usure qui peut être facilement corrigée (fig. 13, système Abt).

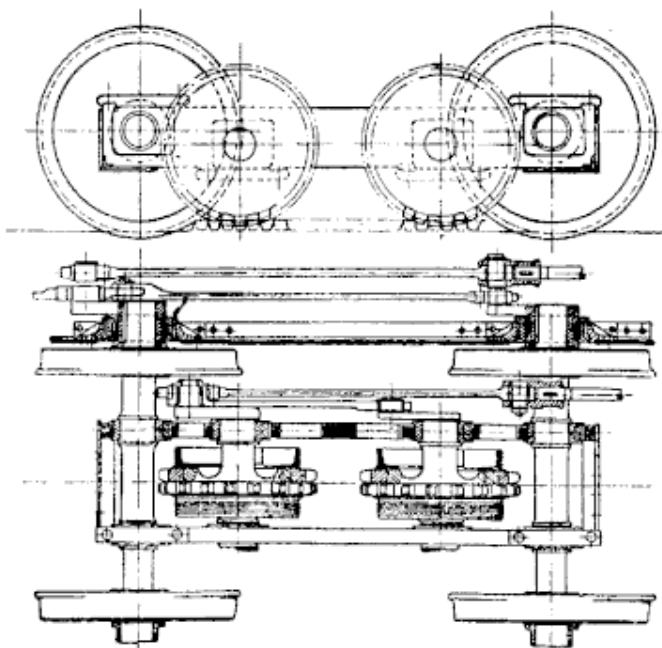


Fig. 13. Châssis intérieur de la locomotive mixte, système « Abt ».

Les deux dispositifs ont chacun leur distribution indépendante l'une de l'autre. Sur le tronçon à adhérence le dispositif moteur à roue dentée reste sans vapeur. Il n'est remis en marche que quelques instants avant la prise de la crémaillère. Pour que cette prise se fasse sans chocs et sûrement, Abt a construit une entrée de crémaillère spéciale fonctionnant d'une façon parfaite. La construction Abt a contribué beaucoup à l'extension des chemins de fer mixtes à crémaillère et à adhérence, aussi bien pour les entreprises industrielles que pour le transport des voyageurs et des marchandises. Le système s'est vulgarisé dans toutes les lignes mixtes de Suisse et de l'Étranger pour le plus grand honneur de l'inventeur. En Suisse, le Chemin de fer Viège-Zermatt (1890) fut la première ligne à voie étroite (1 m) du système Abt avec crémaillère Abt. Les locomotives ont été projetées et construites par la Fabrique de Locomotives à Winterthur. D'autres machines, système Abt, sortirent des Ateliers de Winterthur pour les chemins de fer Beyrut-Damas, Salgo-Tarjan, Oertelsbruch (Allemagne), Manilla-Railroad et Furka.

En 1888, le projet du Chemin de fer routier St-Gall-Gais fut mis à exécution. Cette ligne à adhérence et à crémaillère à voie de 1 m restera sans doute unique dans son genre de chemin de fer routier avec trains relativement lourds pour un terrain aussi accidenté. Elle suit l'ancienne route en épousant ses déclivités et ses courbes. En quittant St-Gall, la première rampe a 90 ‰ et fait une courbe d'un demi-cercle de 30 m de rayon. Le poids du train, locomotive excepté, était prévu à 70 tonnes environ. La crémaillère système Riggerbach, modifiée suivant Bissinger-Klose (les dents reposent sur des nervures laminées spécialement dans les fers à U), est installée à partir de 40 ‰ déjà. Pour des conditions aussi exceptionnelles il fallait créer naturellement aussi un matériel roulant spécial. La construction en fut entreprise par A. Klose, l'ancien ingénieur en chef du Chemin de fer de l'Union Suisse, et à ce moment-là « Oberbaurat » des Chemins de fer de l'État wurtembergeois. Klose fut un des plus éminents constructeurs de matériel de chemins de fer.

Il appliqua aux locomotives d'Appenzell (fig. 14) les essieux-moteurs s'inscrivant dans les courbes de son système breveté. La roue dentée motrice, montée aussi dans un châssis articulé, suit les courbes de la crémaillère. Ces constructions permettaient à la machine de passer facilement et doucement les courbes, mais compliquaient beaucoup les mécanismes moteurs et en rendaient l'entretien difficile et coûteux. Une description de cette locomotive est donnée dans la «Monographie d'un chemin de fer routier à adhérence et à crémaillère» par M. F. Martin et M. L. Clarand, Paris 1891 ; «Génie civil» 1893, tome XXII, page 316, 330, 356, et dans l'«Engineering», 1892, II, Volume LIV, page 805.

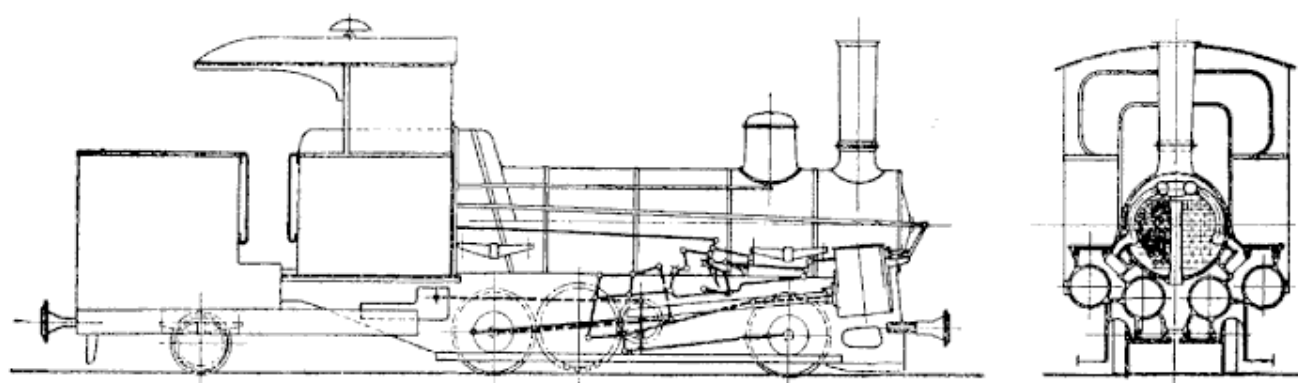


Fig. 14. Locomotive système «Klose» du chemin de fer routier St-Gall-Gais.

Klose apporta à sa locomotive mixte une innovation et un perfectionnement important en y introduisant le compoundage du travail de la vapeur entre les deux mécanismes d'après un système qu'il fit breveter. Pour obtenir le rapport des volumes des cylindres, demandé par le compoundage, tout en faisant les quatre cylindres de mêmes dimensions, il donna à la machine à crémaillère (cylindres intérieurs à basse pression) une vitesse à peu près double de celle de la machine à adhérence (cylindres extérieurs à haute pression). Les cylindres de la première doivent ainsi d'abord travailler sur un renvoi portant un pignon denté. Celui-ci attaque directement la roue dentée motrice en lui donnant la vitesse nécessaire. La construction de la locomotive «Appenzelloise» fut exécutée par la Fabrique de Locomotives à Winterthur sous la haute surveillance de Klose.

Les locomotives à adhérence et à crémaillère des Chemins de fer de l'Oberland bernois ont été construites d'après le même principe, mais à simple expansion de la vapeur. Elles avaient comme tâche de remorquer sur le tronçon à adhérence Interlaken-Zweilutschinen des trains de 120 tonnes sur une rampe de 25 ‰ à la vitesse d'environ 25 kilomètres à l'heure. A cette dernière gare le train est coupé en deux et son poids réduit de moitié. De Zweilutschinen à Lauterbrunnen et à Grindelwald, à rampe maximum de 120 ‰, la vitesse est de 8 à 10 kilomètres. Comme dans la machine Klose, les cylindres des deux mécanismes ont les mêmes dimensions.

Au commencement de ce siècle la Fabrique de Locomotives à Winterthur fut appelée à établir un projet d'une locomotive mixte à adhérence et à crémaillère, à deux mécanismes, pour voie de 60 centimètres seulement. Comme la place à l'intérieur du châssis faisait défaut pour loger le mécanisme moteur à roue dentée, le chef du bureau technique, l'ingénieur O. Kjelsberg, trouva une solution heureuse en plaçant les cylindres à basse pression pour le mécanisme moteur à crémaillère directement au-dessus des cylindres à haute pression du mécanisme à adhérence. Les deux mécanismes se trouvaient ainsi disposés à l'extérieur du châssis. La machine en question ne fut pas exécutée, mais son étude ne fut pas vaine, puisqu'elle permit de constater que cette nouvelle disposition pouvait être employée avec grand avantage dans les locomotives compound mixtes en général. Le mécanisme moteur à crémaillère disposé à l'extérieur du châssis est un perfectionnement important comparé au mécanisme intérieur (système Abt ou Klose), (voir fig. 15).

Par des études plus approfondies encore, la nouvelle locomotive compound à adhérence et à crémaillère système « Winterthur » avec mécanismes moteurs superposés et disposés à l'extérieur du châssis, était créée! La machine à crémaillère disposée au-dessus agit dans ce système sur un et, dans les locomotives particulièrement fortes, sur deux renvois qui transmettent la force à un ou deux essieux-moteurs à roue dentée par des engrenages à denture fine, point important dans la construction. Les

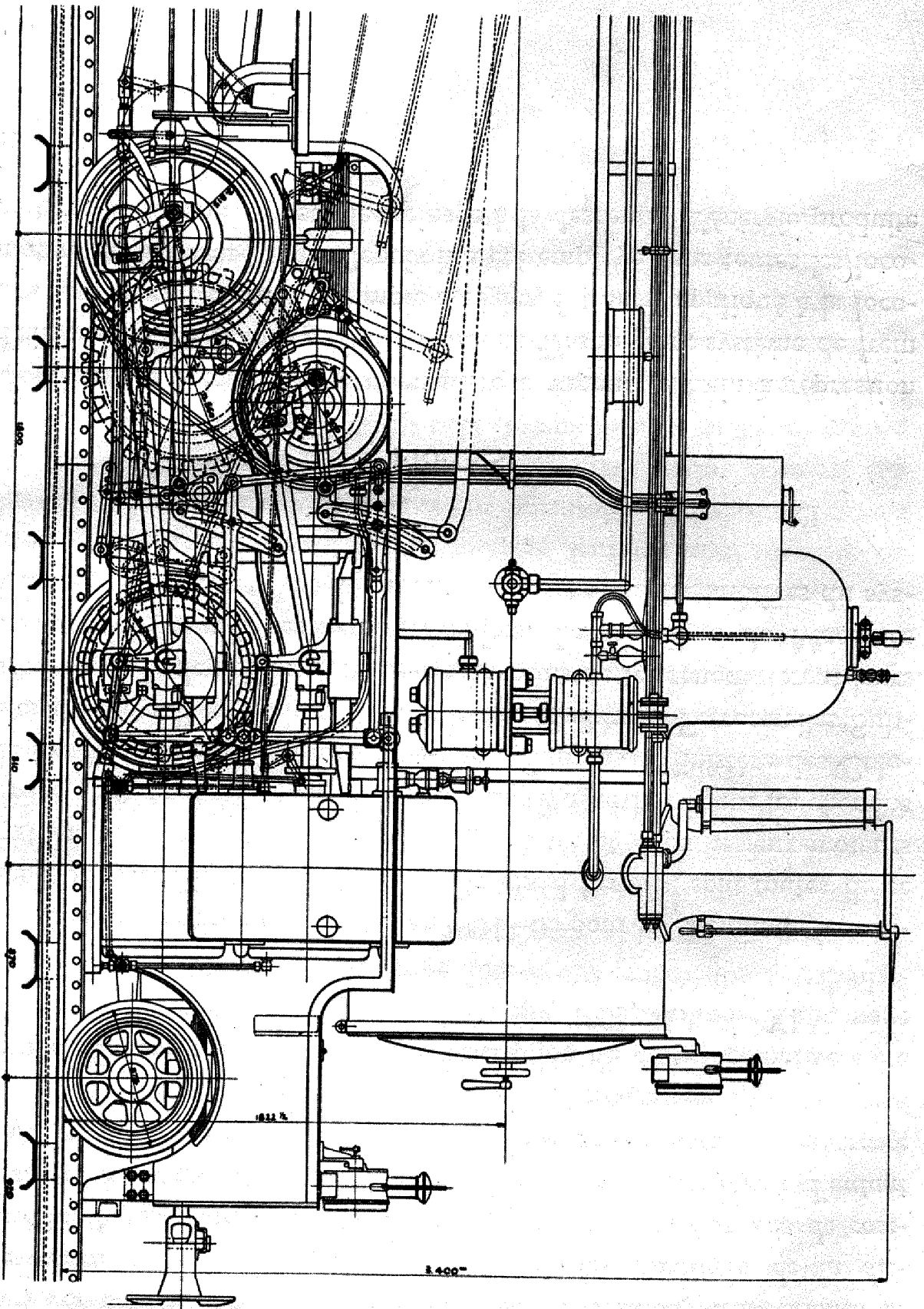
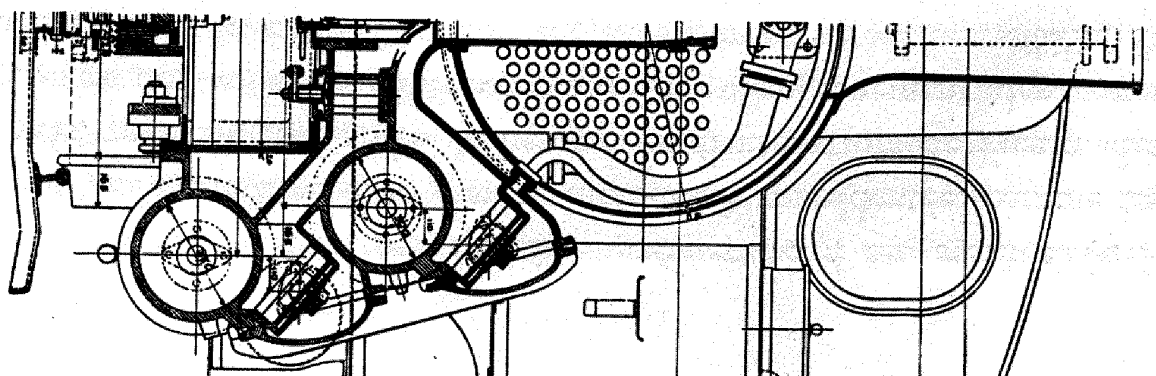


Fig. 15. Mécanisme de la locomotive mixte, système « Winterthur ».



roues dentées motrices peuvent être prévues pour un système quelconque de crémaillère. Les essieux-moteurs à roue dentée, comme les renvois, peuvent être réglés facilement en hauteur lors de l'usure des bandages des roues à adhérence, afin que l'engrènement des roues motrices dans la crémaillère soit toujours bon et sûr. *L'accessibilité de tous les organes des deux mécanismes facilite beaucoup leur examen et l'entretien de la locomotive. Combiné avec les avantages de la disposition Klose pour le compoundage, par rapport à l'économie de combustible, le nouveau type de locomotive mixte rend le progrès d'autant plus grand. Il n'est donc pas étonnant que la locomotive à adhérence et à crémaillère, système « Winterthur », ait été rapidement appréciée aussi bien en Suisse qu'à l'Étranger.* La description de cette locomotive a été donnée dans la « Schweizerische Bauzeitung », 1905, Volume XLV, page 296, et 1906, Volume XLVII, page 285.

Les locomotives construites en 1904—06 pour le Chemin de fer routier Appenzellois, pour le Brunig, l'Oberland bernois, sont toutes de ce système. Des machines du même type à un et deux essieux-moteurs à roue dentée ont été construites aussi par « Winterthur » pour les chemins de fer Paola-Cosenza, Rocchette-Asiago, Sumatra (Ministère des Colonies des Pays-Bas), Nilgiri (South Indian Railway), Ferrocarriles Suburbanos de Malaga. Plusieurs de ces chemins de fer renouvelèrent leurs commandes jusqu'à ces temps derniers. La Fabrique de Machines d'Esslingen a exécuté aussi un certain nombre de locomotives du système « Winterthur ».

FREINS.

Pour les locomotives à crémaillère à vapeur le frein à répression d'air original de la locomotive du Mount Washington, système de frein très intéressant, efficace et simple à régler, fut aussi appliqué à la locomotive du Vitznau-Righi. Depuis il a été employé dans toutes les locomotives à crémaillère pour le freinage à la descente. L'énergie produite

à la descente par le poids du train est employée pour la compression de l'air aspiré par les cylindres à vapeur depuis le canal d'échappement. Les pistons compriment cet air dans les boîtes des tiroirs, lorsque la distribution est placée sur la marche sur rampe et l'arrivée de vapeur fermée. Pour que l'air aspiré soit pur, un clapet ou une soupape ferme le tube souffleur et ouvre en même temps une entrée d'air directe dans les canaux d'échappement de vapeur. L'air comprimé dans les boîtes des tiroirs s'échappe au dehors par la soupape de freinage. En l'ouvrant et en la fermant plus ou moins la compression est réglée et avec elle la vitesse du train. Afin d'atténuer la chaleur de compression, on introduit dans l'air aspiré un peu d'eau par le canal d'échappement de vapeur, eau qui, sous forme de vapeur, s'en va avec l'air comprimé. Sur les tronçons à adhérence à forte pente la compression n'a lieu que dans les cylindres à adhérence; sur ceux à crémaillère, en compound dans tous les quatre cylindres, la compression agissant ainsi sur les deux mécanismes moteurs. Dans la locomotive système « Winterthur » le robinet fermant le tube du souffleur et ouvrant l'entrée d'air frais est actionné par un petit cylindre à vapeur commandé depuis l'abri du mécanicien.

A côté du frein à répression les locomotives à crémaillère sont équipées d'un frein à friction sur l'arbre manivelle du mécanisme moteur à roue dentée, ainsi que d'un frein de secours agissant sur une roue dentée, montée folle sur un essieu-porteur ou essieu à adhérence. Les locomotives mixtes à adhérence et à crémaillère doivent être munies en outre du frein habituel, agissant sur les bandages des roues à adhérence. Les freins du mécanisme moteur à roue dentée sont dans la règle des freins à ruban avec tambours cannelés de façon à pouvoir agir promptement et sans secousses. Une combinaison du frein à sabots et à ruban a été nouvellement appliquée avec succès par « Winterthur ». La première automotrice du chemin de fer du Pilate possède une construction nouvelle et importante pour le freinage des deux essieux à roues dentées amont, dispositif qui déclanche automatiquement un frein à ruban, sitôt qu'à la descente une vitesse donnée est dépassée. Par la

suite, ce dispositif régulateur de vitesse a été prescrit par le Département fédéral des Chemins de fer pour toutes les locomotives exclusivement à crémaillère. Il fonctionne alors de façon à ce que lors d'une vitesse donnée et dépassée il ouvre un robinet donnant accès à la vapeur dans un cylindre dont le piston serre le frein. Ce régulateur a trouvé son application aussi dans les funiculaires pour le freinage automatique du tambour du câble lors d'un dépassement de vitesse.

7° LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES A CRÉMAILLÈRE

La traction électrique pour tramways et chemins de fer à voie normale ayant donné en Amérique des résultats satisfaisants jusqu'à la fin du siècle dernier, il était indiqué de l'appliquer aux lignes de montagne. La locomotive électrique de montagne a le grand avantage sur celle à vapeur d'avoir une marche plus douce et sans acoup. La fumée et le bruit du souffleur sont éliminés, autres avantages précieux pour des lignes qui ont généralement des voitures ouvertes et qui servent principalement au transport des voyageurs. Pour les chemins de fer de montagne ainsi, la traction électrique est à préférer, même si l'énergie électrique coûte plus cher que l'énergie calorique.

L'expérience particulièrement grande dans la construction des locomotives à vapeur mixtes à adhérence et à crémaillère et de celles exclusivement à crémaillère permit en premier lieu à la Fabrique de Locomotives à Winterthur d'étudier la construction des locomotives électriques de montagne et d'en exécuter la partie mécanique. En 1897, « Winterthur » projeta et exécuta la première locomotive électrique à crémaillère pour la ligne du Gornergrat, avec équipement électrique Brown, Boveri & C^{ie}. (Voir description de cette locomotive dans l'ouvrage de *Strub*, « Reine Zahnradbahnen », 1902.)

Un an plus tard, en 1898, sur la demande du Colonel Edouard Locher, la Fabrique construisit pour le Chemin de fer Stansstad-Engelberg la première locomotive électrique mixte à adhérence et crémaillère. Dans les années suivantes et jusqu'à aujourd'hui « Winterthur » eut l'occasion de livrer la partie mécanique d'un grand nombre de locomotives électriques mixtes et exclusivement à crémaillère pour la Suisse et l'Étranger. Point n'est besoin de dire que toutes les diverses constructions exigèrent des études approfondies de la locomotive entière.

Les croquis-types avec caractéristiques donnés sur les tableaux qui vont suivre, feront voir combien grand sont le nombre et la variation des types de locomotives électriques de montagne exécutées jusqu'à présent par « Winterthur ». Pas un seul établissement en Suisse ou à l'Étranger ne présente une activité pareille, attribuable aussi à la coopération de fabriques suisses de matériel électrique telles que les Ateliers de Construction à Oerlikon, Brown, Boveri & Cie à Baden et les Ateliers de Sécheron à Genève, dont les excellentes et originales constructions contribuèrent tant à l'extension de la traction électrique.

MATIÈRES DE CONSTRUCTION ET EXÉCUTION

Les matières employées dans la construction de locomotives à crémaillère doivent être d'excellente qualité, tout particulièrement celles pour les mécanismes de traction et les freins. Dans les chemins de fer de montagne la rupture d'un organe principal est autrement dangereuse pour les voyageurs et le personnel que dans un chemin de fer de plaine. La construction et l'exécution de tous les organes doivent donc donner sécurité entière. D'autre part, les machines doivent être aussi légères que possible pour que la résistance de traction, qui dans les fortes rampes augmente considérablement avec le poids, ne devienne trop forte, ce qui aurait pour conséquence d'augmenter aussi les frais d'exploitation. Il faut donc choisir les matières de façon à obtenir avec la construction la plus légère le maximum de sécurité.

Quant à l'exécution, elle doit être de tout premier ordre, elle aussi. Un contrôle très serré dans la fabrication et le montage des différentes pièces est de rigueur, de légères fautes pouvant dans l'exploitation avoir les plus graves conséquences.

NOMBRE DE LOCOMOTIVES CONSTRUITES

1 ^o	<i>Locomotives à adhérence pour chemins de fer à voie normale:</i>	
	a) Locomotives à vapeur	1552
	b) Locomotives sans foyer (à eau chaude)	19
	c) Locomotives électriques	134
	» » en construction	35
2 ^o	<i>Locomotives à adhérence pour chemins de fer à voie étroite:</i>	
	a) Locomotives à vapeur	564
	b) Locomotives à air comprimé	23
	c) Locomotives électriques	23
3 ^o	<i>Locomotives purement à crémaillère:</i>	
	a) Locomotives à vapeur	89
	b) Locomotives électriques	61
4 ^o	<i>Locomotives mixtes à adhérence et à crémaillère:</i>	
	a) Locomotives à vapeur	156
	b) Locomotives électriques	69
	Total . . .	2725

LOCOMOTIVES A VAPEUR

Date de construction	Croquis	Compagnie de chemin de fer	Nombre de locomotives	Ecartement de la voie mm
1873		Righi (Vitznau) (Suisse)	4	1435
1873		Kahlenberg près Vienne (Autriche)	6	1435
1874		Schwabenberg près Bude (Hongrie)	3	1435
1886 1909		Mont Plate (Suisse)	10 1	800
1890		Monte Generoso (Suisse) (Transmission par balancier, système Abt)	6	800
1891		Bréinz-Rothorn (Suisse) (Transmission par balancier, système Abt)	5	800
1891		Wengernalp (Suisse) (Transmission par balancier, système Abt)	14	800
1892 1908		Clion-Rochers de Naye (Suisse) (Transmission par balancier, système Abt)	8	800

UNIQUEMENT A CREMAILLERE

Système de crémaillère	Déclivités ‰	Cylindres		Surface de chauffe m ²	Timbre de la chaudière Atm.	ND = vapeur saturée HD = vapeur sur-chauffée	Vitesse maximum km/h	Poids à vide t	Poids en service t
		Diamètre mm	Course de piston mm						
Riggenbach	0—250	290	450	47,3	11	ND HD	12	12,3 14,5	15,9 18,6
Riggenbach	35—100	330	450	53,11	9	ND	12	15,8	19,8
Riggenbach	0—102,5	330	450	53,11	9	ND	12	14,9	19,8
Locher	330—480	220 235	300 300	19,8	12	ND HD	3,6	6,5 9,1	10,5 13,2
Abt	50—220	300	550	32,2	12	ND	10	11,74	15
Abt	50—250	300	550	36,5	14	ND	10	13	17
Echelle	0—250	300	600	32	14	ND	10	13,5	17
Abt	0—250	300	600	36,8	14	ND	10	13	17

LOCOMOTIVES A VAPEUR

Date de construction	Croquis	Compagnie de chemin de fer	Nombre de locomotives	Ecartement de la voie mm
1892		Aix-les-Bains-Mont Revard (France) (Transmission par balancier, système Abt)	8	1000
1892		Schynige Platte (Suisse) (Transmission par balancier, système Abt)	6	800
1895		Snowdon Mountain Tramroad (Pays de Galles, Angleterre) (Transmission par balancier, système Abt)	5	800
1899		Arth-Righi (Suisse)	1	1435
1900		Aigle-Leyzin (Suisse) (Transmission par balancier, système Abt)	1	1000
1904		Wengernalp (Suisse) (Equilibrage de pression entre les roues dentées, système de Steiger)	2	800
1911		Bagnères-de-Luchon à Super-bagnères (France) (Equilibrage de pression entre les roues dentées, système de Steiger)	1	1000
1913		Righi (Viznau) (Suisse) (Equilibrage de pression entre les roues dentées, système de la Société Suisse pour la Construction de Locomotives et de Machines, Winterthur)	1	1435
1920		Leopoldina Railway Company (Bréil)	2	1000

UNIQUEMENT A CRÉMAILLÈRE

Système de crémailière	Déclivités ‰	Cylindres		Surface de chauffe m ²	Timbre de la chaudière Atm.	ND = vapeur saturée HD = vapeur surchauffée	Vitesse maximum km/h	Poids à vide t	Poids en service t
		Diamètre mm	Courbe de piston mm						
Abt	0-210	300	550	36,5	14	ND	10	13,5	17
Echelle	0-250	300	550	32	14	ND	10	13	17
Abt	20-182	300	600	36,8	14	ND	8	12,25	15,35
Riggenbach	0-200	320	500	48	12	ND	8	16,73	22,5
Abt	0-230	300	600	36	14	ND	8	13,5	16,6
Echelle	0-250	360	400	53,8	12	ND	7	16,28	19,3
Srüb	50-250	360	400	53,8	12	ND	7	16,28	19,3
Riggenbach	0-250	340	450	53,8	12	HD	12	19	23
Riggenbach	0-160	360	500	58,6	13,7	HD	15	19,06	25,5

LOCOMOTIVES A VAPEUR MIXTES

Date de construction	Croquis	Compagnie de chemin de fer	Nombre de locomotives	Ecartement de la voie	
				mm	
1883		Salgó-Tarján (Hongrie) (Accouplement rigide entre les deux mécanismes)	5	790	
1885		Lehesten-Oertelsbruch (Allemagne) (Deux mécanismes séparés, système Abt)	1	1435	
1887		Brunig (Suisse) (Accouplement rigide)	5	1000	
1888		St-Gall-Gais (Suisse) (Deux mécanismes séparés, compound, système Klose)	4	1000	
1889		Oertelsbruch (Allemagne) (Accouplement rigide)	2	690	
1890		Viège-Zermatt (Suisse) (Deux mécanismes séparés, système Abt)	8	1000	
1890		Oberland Bernois (Suisse) (Deux mécanismes séparés, système Abt)	6	1000	
1892		Adriatica (Italie) (Accouplement rigide)	4	1445	

POUR ADHÉRENCE ET CREMAILLÈRE

Système de crémailière	Déclivité maximum		Dimensions des cylindres				S = simple expansion C = compound	Surface de chauffe m ²	Timbre de la chaudière Ann.	ND = vapeur saturée HD = vapeur surchauffée	Vitesse maximum		Poids à vide t	Poids en service t
	Ad-herence %	Cré-maillière %	Adhèrence		Cremailière						Ad-herence km/h	Cré-maillière km/h		
			Diam. mm	Course mm	Diam. mm	Course mm								
Riggenbach	25	140	—	—	340	400	S	29	12	ND	25	10	14,5	17,5
Abt	31,5	80	300	500	300	400	S	48	10	ND	25	12	18,4	23
Echelle	25	120	—	—	330 340	480 480	S	54,7	12	ND	35	10	18,7	23,4
Klose	48	92	360	400	360	400	C	88	12	ND	30	10	26,5	33,5
Abt	30	135	—	—	200	300	S	10	12	ND	25	8	5,7	7
Abt	40	120	320	450	360	450	S	64,7	12	ND	45	10	23,5	30,5
Echelle	25	120	320	450	320	400	S	61	12	ND	40	12	23,6	28,7
Echelle	—	100	—	—	460	480	S	64	12	ND	35	10	24,5	29,5

LOCOMOTIVES A VAPEUR MIXTES

Date de construction	Croquis	Compagnie de chemin de fer	Nombre de locomotives	Ecartement de la voie mm
1893		Beyrouth-Damas (Syrie) (Deux mécanismes séparés, système Abt)	13	1050
1893		Oberland Bernois (Suisse) (Accouplement rigide des deux mécanismes)	1	1000
1900		Brohltal (Allemagne) (Accouplement rigide)	2	1000
1900		Rorschach-Heiden (Suisse) (Deux mécanismes séparés)	1	1435
1900		Wilnowa (Pologne) (Accouplement rigide)	1	800
1903		Martigny-Châtelard (Suisse) (Accouplement rigide)	1	1000
1904		St-Gall-Gais (Suisse) (Deux mécanismes séparés, compound, système Winterthur)	4	1000
1905		Brunig (Suisse) (Deux mécanismes séparés, compound, système Winterthur)	17	1000
1906		Oberland Bernois (Suisse) (Deux mécanismes séparés, compound, système Winterthur)	4	1000

POUR ADHERENCE ET CREMAILLERE

Système de crémaillère	Déclivité maximum		Dimensions des cylindres				S = simple expansion C = compound	Surface de chauffe m ²	Timbre de la chaudière Ann.	ND = vapeur saturée HD = vapeur surchauffée	Vitesse maximum		Poids à vide t	Poids en service t
	Ad-hérence ‰	Cré-maillère ‰	Adhérence		Crémaillère						Ad-hérence km/h	Cré-maillère km/h		
Abt	25	70	380	500	380	450	S	96	12	ND	35	15	33,2	44,2
Echelle	25	120	—	—	285	420	S	25,5	12	ND	35	10	12,3	15,4
Abt	25	50	—	—	285	420	S	25,5	12	ND	25	10	13,3	16,4
Riggenbach	0	90	180	220	320	500	S	48,3	12	ND	15	8	19,6	23,6
Abt	10	40	—	—	340	400	S	29,9	12	ND	25	10	14,6	17,4
Strub	70	200	—	—	300	380	S	36,8	14	ND	15	6	13,1	15,6
Klause	48	92	370	400	370	400	C	70	14	ND	35	10	27,5	33,6
Echelle	25	120	380	450	380	450	C	62,2	14	HD	45	10	23,5	29,8
Echelle	25	120	380	450	380	450	C	62,2	14	HD	45	10	25,5	31,6

LOCOMOTIVES A VAPEUR MIXTES

Date de construction	Croquis	Compagnie de chemin de fer	Nombre de locomotives	Ecartement de la voie mm
1906		Beyrouth-Damas (Syrie) (Deux mécanismes séparés, système Abt)	7	1050
1907		Rimamurany-Salgó-Tarján (Hongrie) (Deux mécanismes séparés, système Abt)	3	1435
1907		Chamonix-Montenvers (Savoie, France) (Mécanisme auxiliaire pour la marche à adhérence par accouplement à disques et chaîne)	5	1000
1907		Mont Blanc (Savoie, France) (Accouplement rigide)	5	1000
1908		Paola-Cosenza (Italie) (Deux mécanismes séparés, compound, système Winterthur)	12	1435
1909		Rochette-Asiago (Italie) (Deux incanismes séparés, compound, système Winterthur)	4	950
1910		Stresa-Monte Mottarone (Italie) (Accouplement rigide)	1	1000
1910		Ateliers de Construction Ruti (Suisse) (Accouplement rigide)	1	1435

POUR ADHÉRENCE ET CRÉMAILLÈRE

Système de crémaillière	Déclivité maximum		Dimensions des cylindres				Type	Surface de chauffe m²	Timbre de la chaudière Atm.	Type de vapeur	Vitesse maximum		Poids à vide t	Poids en service t
	Ad. ‰	Cr. ‰	Adhérence		Crémaillère						Ad. km/h	Cr. km/h		
Abt	25	70	440	500	380	450	S	131,5	12	ND	40	20	42,5	56,5
Abt	40	140	350	500	350	450	S	65	12	ND	35	15	26	32,5
Strub	0	220	—	—	360	400	S	53,8	12	ND	—	7	17,5	21
Strub	50	232	—	—	300	380	S	36,8	12	ND	15	8	14	17,7
Strub	25	75 100	430	500	430	500	C	96	14	ND	50	12	35,6	43,6
Strub	40	125	370	420	370	420	C	55,7	14	ND	40	9	22,8	29
Strub	55	200	—	—	300	380	S	36,8	12	ND	15	7	14	17,3
Riggenbach	0	102	—	—	440	500	S	51,5	12	ND	15	7	21,8	26,5

LOCOMOTIVES A VAPEUR MIXTES

Date de construction	Croquis	Compagnie de chemin de fer	Nombre de locomotives	Ecartement de la voie mm
1912		Eat Hollandais (Ile de Sumatra) (Deux mécanismes séparés, compound, système Winterthur)	1	1067
1913		Manila Railroad (Philippines) (Deux mécanismes séparés, système Abt)	6	1067
1913		Brigue-Furka-Disentis (Suisse) (Deux mécanismes séparés, compound, système Abt)	10	1000
1914		Loèche-Loèche-les-bains (Suisse) (Accouplement rigide)	1	1000
1914 1920		Nilgiri Railway (Indes du Sud) (Deux mécanismes séparés, compound, système Winterthur)	6	1000
1920		Ferrocarriles Suburbanos de Malaga (Espagne) (Deux mécanismes séparés, compound, système Winterthur)	2	1000
1920		Eat Hollandais (Ile de Sumatra) (Deux mécanismes séparés, compound, système Winterthur)	9	1067

POUR ADHÉRENCE ET CRÉMAILLÈRE

Système de crémaillère	Déclivité maximum		Dimensions des cylindres				simple expansion C = compound	Surface de chauffe m ²	Timbre de la chaudière Ann.	ND = vapeur saturée HD = vapeur surchauffée	Vitesse maximum		Poids à vide t	Poids en service t
	Ad-herence ‰	Cré-maillère ‰	Adhèrence		Crémaillère						Ad-herence km/h	Cré-maillère km/h		
Riggenbach	22	70	450	480	450	480	C	103	14	ND	40	10	38,6	50
Abt	40	120	465	500	440	450	C	113	12	HD	40	15	40	49,4
Abt	40	110	420	480	560	450	C	84	14	HD	40	20	33,8	42
Abt	50	160	—	—	300	380	S	36,8	12	ND	15	8	14	17,3
Abt	25	80	450	410	450	430	C	104	14	HD	30	14	38,3	48,95
Abt	37,7	79,6	400	450	400	450	C	81,75	14	HD	45	15	28,75	33,75
Riggenbach	22	70	450	520	450	520	C	102,36	14	HD	40	10	41,92	61,98

LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES

Date de construction	Croquis	Compagnie de chemin de fer	Nombre de locomotives		Ecartement de la voie mm
1897 1902		Comergrat (Suisse)	4	1000	
1897 1904		Jungfrau (Suisse)	7	1000	
1899 1905		Bex-Gryon-Villars-Chesières (Suisse)	4	1000	
1901 1909		Aigle-Leysin (Suisse)	4	1000	
1902		Trieste-Opicina (Italie)	3	1000	
1902		Vesuve (Italie)	3	1000	
1905		Brunnen-Morschach (Suisse)	3	1000	
1908		Wengernalp (Suisse)	13	800	

UNIQUEMENT A CREMAILLÈRE

Système de crémaillère	Système de courant	Décli-vités ‰	Vitesse de marche km/h	Poids		Constructeur de la partie électrique
				Locomotive	Train chargé	
Abt	Triphasé 550 Volt	0—200	7	10,8	28	Brown, Boveri & Co., Baden (Suisse)
Strub	Triphasé 650 Volt	0—250	9	13,7	35	Locomotive N° 1, 2 et 6 : Brown, Boveri & Co., Baden Locomotive N° 3, 4, 5 et 7 : Ateliers de Construction Oerlikon (Suisse)
Abt	Continu 650 Volt	0—200	7—12	16,2	36	Compagnie de l'Industrie électrique et mécanique, Genève
Abt	Continu 650 Volt	0—230	6—12	15,8	30	Compagnie de l'Industrie électrique et mécanique, Genève (Suisse)
Strub	Continu 550 Volt	0—250	7—8	10,5	22,5	A. E. G. Union, Vienne (Autriche)
Strub	Continu 550 Volt	0—200	7—8	10,4	21	Brown, Boveri & Co., Baden (Suisse)
Strub	Continu 750 Volt	0—170	9	10,5	26	S. A. ci-devant J. J. Rieter & Co., Tafel (Suisse)
Echelle	Continu 1500/750 Volt	0—250	8,5—12	16,3	35	S. A. Alboth, Munchenstein (Suisse)

LOCOMOTIVES ELECTRIQUES

Date de construction	Croquis	Compagnie de chemin de fer	Nombre de locomotives	Ecartement de la voie mm
1909 1921		Corcovado (Rio de Janeiro) (Brésil)	3	1000
1911		Arth-Rigbi (Suisse)	1	1435
1911		Bex-Gryon-Villars-Chesières (Suisse)	2	1000
1912 1914		Bagnères-de-Luchon-Superbagnères (France)	4	1000
1913		Schynige Platte (Suisse)	4	800
1913 1915		Aigle-Leysin (Suisse)	1	1000
1914		St-Ignace-la Rhune (France)	3	1000

UNIQUEMENT A CRÉMAILLÈRE

Système de crémaillère	Système de courant	Déclivités ‰	Vitesse de marche km/h	Poids		Constructeur de la partie électrique
				Locomotive t	Train chargé t	
Riggenbach	Triphasé 750 Volt	0—300	8,8	15,5	31,5	Ateliers de Construction Oerlikon (Suisse)
Riggenbach	Continu 750 Volt	0—200	7,3	39	39	Ateliers de Construction Oerlikon (Suisse)
Abt	Continu 650 Volt	0—200	7—12	20	62	Ateliers de Construction Oerlikon (Suisse)
Strub	Triphasé 3000 Volt	0—250	7,5—8,5	17	39	Brown, Boveri & Co., Baden (Suisse)
Echelle	Continu 1500/750 Volt	0—250	8,5	16,3	34	Brown, Boveri & Co., Baden (Suisse)
Abt	Continu 650 Volt	0—230	7	20	51	Ateliers de Construction Oerlikon (Suisse)
Strub	Triphasé 2900 Volt	0—250	7,5—8,5	17	39	Brown, Boveri & Co., Baden (Suisse)

LOCOMOTIVES ÉLECTRIQUES MIXTES

Date de construction	Croquis	Compagnie de chemin de fer	Nombre de locomotives	Ecartement de la voie mm
1898		Stansstad-Engelberg (Suisse) (Accouplement à friction pour le mécanisme à adhérence)	5	1000
1899		Lyon-Fourvière (France) (Deux mécanismes séparés)	6	1000
1911		Lyon-Fourvière (France) (Accouplement rigide)	4	1000
1905		Martigny-Châteldard (Suisse) (Accouplement rigide)	2	1000
1907		Ritten près Bozen (Italie) (Accouplement rigide)	4	1000
1909		Montreux-Glion (Suisse) (Accouplement à friction)	3	800
1911		Blonay-Les Pléiades (Suisse) (Accouplement à friction)	3	1000
1912		Jungfrau (Suisse) (Accouplement à friction)	4	1000
1913		Oberland Bernois (Suisse) (Deux mécanismes séparés)	8	1000
1914		Schaellenen (Suisse) (Accouplement à friction pour le mécanisme à adhérence)	4	1000

POUR ADHÉRENCE ET CRÉMAILLÈRE

Système de crémailière	Système de courant	Déclivités		Vitesse de marche		Poids		Constructeur de la partie électrique
		Adh. %	Cré-mailière %	Adh. km/h	Cré-mailière km/h	Locomotrice t	Train chargé t	
Echelle	Triphasé 750 Volt	50	250	11,5	5,5	12,5	30	Brown, Boveri & Co., Baden (Suisse)
Abt	Continu 500 Volt	60	220	12	9	14,8	28	Brown, Boveri & Co., Baden (Suisse)
Abt	Continu 500 Volt	60	220	12	9	9	14,5	Brown, Boveri & Co., Baden (Suisse)
Strub	Continu 750 Volt	0-70	200	15	7	20,6	56	Co. de l'industrie électr. et mécanique Genève (Suisse)
Strub	Continu 750 Volt	45	255	11	6,7	16,5	43,5	A. E. G. Union, Vienne (Autriche)
Abt	Continu 800 Volt	40	130	15	10-12	14,2	40	Ateliers de Construction Oerlikon (Suisse)
Strub	Continu 800 Volt	50	200	16	8	15,8	34	Ateliers de Construction Oerlikon (Suisse)
Strub	Triphasé 650 Volt	63,5	250	18	8,5-9	18,5	35	Brown, Boveri & Co., Baden (Suisse)
Echelle	Continu 1500 Volt	25	120	20-45	10-13	36	160 120 95	Brown, Boveri & Co., Baden (Suisse) Ateliers de Construction Oerlikon (Suisse)
Abt	Continu 1300 Volt	36	179	20	8	21	55	Brown, Boveri & Co., Baden (Suisse)

TRUCKS MIXTES POUR

Date de construction	Compagnie de chemin de fer	Nombre de trucks	Ecartement de la voie mm	Système de crémaillère
1905	Martigny-Châtelard (Suisse) (Accouplement rigide)	16	1000	Strub
1907	Munster-Schlucht (Alsace) (Mécanismes séparés pour adhérence et crémaillère)	6	1000	Strub
1907	Granada-Alhambra (Espagne) (Accouplement rigide des deux mécanismes)	2	1000	Echelle
1907	Monthey-Champéry (Suisse) (Mécanismes séparés pour adhérence et crémaillère)	6	1000	Strub
1910		2		
1921		1		
1911	Stresa-Monte Mottarone (Italie) (Mécanismes séparés pour adhérence et crémaillère)	10	1000	Strub
1911	Allstatten-Gais (Suisse) (Mécanismes séparés)	3	1000	Strub
1914		2		
1921	Martigny-Châtelard (Suisse) (Accouplement rigide des deux mécanismes)	4	1000	Strub

ADHÉRENCE ET CRÉMAILLÈRE

Système de courant	D'adhérence		Vitesse de marche		Poids		Constructeur de la partie électrique
	Adh. %	Cré-maill. %	Adh. km/h	Cré-maill. km/h	Auto-motrice t	Train chargé t	
Continu 750 Volt	0—70	200	25	7	37	50	Compagnie de l'industrie électrique et mécanique, Genève (Suisse) Ateliers de Constr. Oerlikon
Continu 750 Volt	60	220	30	8	25,5	32	
Continu 500 Volt	40	130	15	9	14	22	Thomson-Houston, Paris (France)
Continu 750 Volt	50	136	16—30	7—11	27 29,5	38	S. A. Alioth, Munchenstein (Suisse)
Continu 750 Volt	60	200	16—30	8,5	30,5	43	S. A. Alioth, Munchenstein (Suisse)
Continu 1000 Volt	52	160	20—25 40	10	24,9 40	44 55	S. A. Alioth, Munchenstein (Suisse)
Continu 750 Volt	0—70	200	18	7	38	77	Ateliers de Construction Oerlikon (Suisse)