

ENCYCLOPÉDIE
DES

TRAVAUX PUBLICS

Fondée par **M.-C. LECHALAS**, Inspecteur général des Ponts et Chaussées
Médaille d'or à l'Exposition universelle de 1889

CHEMINS DE FER A CRÉMAILLÈRE

PAR

A. LÉVY-LAMBERT

INSPECTEUR PRINCIPAL AU CHEMIN DE FER DU NORD

*TRACÉ. TYPES DE CRÉMAILLÈRES.
SYSTÈMES RIGGENBACH, ABT, STRUB, LOCHER, ETC.
MATÉRIEL ROULANT. TRACTION ÉLECTRIQUE. EXPLOITATION*

Deuxième édition revue et augmentée

PARIS

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, DU BUREAU DES LONGITUDES, ETC.

Quai des Grands-Augustins, 55

TOUS DROITS RÉSERVÉS

ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS

Directeur : G. LECHALAS, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, quai de la Bourse 13, Rouen.

Volumes grand in-8°, avec de nombreuses figures.

Médaille d'or à l'Exposition universelle de 1889
Exposition de 1900 (Voir pages 3 et 4 de la couverture)

OUVRAGES DE PROFESSEURS A L'ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSÉES

- M. BECHMANN. *Distributions d'eau et Assainissement*. 2^e édit., 2 vol. à 20 fr., 40 fr. — *Cours d'hydraulique agricole et urbaine*, 1 vol. 20 fr.
- M. BRICKA. *Cours de chemins de fer de l'École des ponts et chaussées*. 2 vol., 1343 pages et 464 figures 40 fr.
- M. COLSON. *Cours d'économie politique* : Six livres, chacun 6 fr.
- M. L. DURAND-CLAYE. *Chimie appliquée à l'art de l'ingénieur*, en collaboration avec MM. Derôme et Feret, 2^e édit., considérablement augmentée, 15 fr. — *Cours de routes de l'École des ponts et chaussées*, 606 pages et 234 figures, 2^e édit., 20 fr. — *Lever des plans et nivellement*, en collaboration avec MM. Pelletan et Lallemand. 1 vol., 703 pages et 280 figures (cours des Ecoles des ponts et chaussées et des mines, etc.) 25 fr.
- M. FLAMANT. *Mécanique générale (Cours de l'École centrale)*, 1 vol. de 544 pages, avec 203 figures, 20 fr. — *Stabilité des constructions et résistance des matériaux*. 2^e édit., 670 pages, avec 270 figures, 25 fr. — *Hydraulique (Cours de l'École des ponts et chaussées)*, 1 vol., 2^e éd., considérablement augmentée (Prix Montyon de mécanique); XXX, 685 pages avec 130 figures 25 fr.
- M. GABRIEL. *Traité de physique*. 2 vol., 448 figures 20 fr.
- M. HIRSCH. *Cours de machines à vapeur et locomotives*. 1 vol. 510 pages, 314 fig 18 fr.
- M. F. LAROCHE. *Travaux maritimes*. 1 vol. de 490 pages, avec 116 figures et un atlas de 46 grandes planches, 40 fr. — *Ports maritimes*. 2 vol. de 1006 pages, avec 524 figures et 2 atlas de 37 planches, double in-4° (*Cours de l'École des ponts et chaussées*) 50 fr.
- M. F. B. DE MAS, Inspecteur général des ponts et chaussées. *Rivieres à courant libre*, 1 vol. avec 97 figures ou planches, 17 fr. 50. — *Rivieres canalisées*. 1 vol. avec 176 figures ou planches, 17 fr. 50. — *Canaux*. 1 vol. avec 190 figures ou planches. 17 fr. 50
- M. NIVORT, Inspecteur général des mines : *Cours de géologie*, 2^e édition, 1 vol. avec carte géologique de la France; 615 pages, 429 fig. et un tableau des formations géologiques de 7 pages 20 fr.
- M. M. D'OCAGNE. *Géométrie descriptive et Géométrie infinitésimale* (cours de l'École des ponts et chaussées), 1 vol., 340 fig. 12 fr.
- M. DE PRÉAUDEAU, Inspect. général des P.-et-Ch., prof. à l'École nat. *Procédés généraux de construction. Travaux d'art*. Tome I, avec 508 fig. 20 fr. Tome II, avec 389 fig. 20 fr.
- M. J. RÉSAL. *Traité des Ponts en maçonnerie*, en collaboration avec M. Degrand. 2 vol., avec 600 figures, 40 fr. — *Traité des Ponts métalliques* 2 vol., avec 500 figures, 40 fr. — *Constructions métalliques, élasticité et résistance des matériaux : fonte, fer et acier*. 1 vol. de 652 pages, avec 203 figures, 20 fr. — Le 1^{er} volume des *Ponts métalliques* est à sa seconde édition (revue, corrigée et très augmentée) — *Cours de ponts*, professé à l'École des ponts et chaussées, 1 vol. de 410 pages, avec 284 figures (*Études générales et ponts en maçonnerie*), 14 fr. — *Cours de Résistance des matériaux* (École des ponts et chaussées), 120 figures, 16 fr. — *Cours de stabilité des constructions*, 240 figures, 20 fr. — *Poussée des terres et stabilité des murs de soutènement* 10 fr.

OUVRAGES DE PROFESSEURS A L'ÉCOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES

- M. DEHARME. *Chemins de fer. Superstructure*; première partie du cours de chemins de fer de l'École centrale. 1 vol. de 696 pages, avec 310 figures et 1 atlas de 73 grandes planches in-4° doubles (voir *Encyclopédie industrielle* pour la suite de ce cours). 50 fr. On vend séparément : *Texte*, 15 fr.; *Atlas*, 35 fr.
- M. DENFER. *Architecture et constructions civiles*. Cours d'architecture de l'École centrale : *Maçonnerie*. 2 vol., avec 794 figures, 40 fr. — *Charpente en bois et menuiserie*. 1 vol., avec 680 figures, 25 fr. — *Couverture des édifices* 1 vol., avec 423 figures, 20 fr. — *Charpenterie métallique, menuiserie en fer et serrurerie*. 2 vol., avec 1.050 figures, 40 fr. — *Fumisterie (Chauffage et ventilation)*. 1 vol. de 726 pages, avec 731 figures (numérotées de 1 à 375, l'auteur affectant chaque groupe de figures d'un numéro seulement). 25 fr. *Plomberie : Eau, Assainissement; Gaz*, 1 vol. de 568 p. avec 391 fig. 20 fr.
- M. DORION. *Cours d'Exploitation des mines*. 1 vol. de 692 pages, avec 1.100 figures. 25 fr.
- M. MONNIER. *Electricité industrielle*, cours professé à l'École centrale, 2^e édition considérablement augmentée, 1 vol. de 826 pages; 404 très belles figures de l'auteur. 25 fr.
- M. M^o PELLETIER. *Droit industriel*, cours professé à l'École centrale 1 vol. 15 fr.
- M. M. E. ROUCHÉ et BRISSE, anciens professeurs de géométrie descriptive à l'École centrale. *Coupe des pierres*. 1 vol. et un grand atlas (avec de nombreux exemples). 25 fr.

OUVRAGES D'UN PROFESSEUR AU CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS

- M. E. ROUCHÉ, membre de l'Institut. *Éléments de statique graphique*. 1 vol. 12 fr. 50
- M. M. ROUCHE et Lucien LEVY. *Calcul infinitésimal*, 2 vol. de 557 et 829 p. (*Enc. indust.*) 15 fr.

(Voir la suite ci-après)

ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS

CHEMINS DE FER A CRÉMAILLÈRE

*Tous les exemplaires de l'ouvrage de M. Lévy-Lumbert
devront être revêtus de la signature de l'auteur et de la
griffe du libraire.*

A. Lévy-Lumbert

[Signature]

ENCYCLOPÉDIE
DES

TRAVAUX PUBLICS

Fondée par **M.-C. LECHALAS**, Inspecteur général des Ponts et Chaussées
Médaille d'or à l'Exposition universelle de 1889

CHEMINS DE FER A CRÉMAILLÈRE

PAR

A. LÉVY-LAMBERT

INSPECTEUR PRINCIPAL AU CHEMIN DE FER DU NORD

*TRACÉ. TYPES DE CRÉMAILLÈRES.
SYSTÈMES RIGGENBACH, ABT, STRUB, LOCHER, ETC.
MATÉRIEL ROULANT. TRACTION ÉLECTRIQUE. EXPLOITATION*

Deuxième édition revue et augmentée

PARIS

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, DU BUREAU DES LONGITUDES, ETC.

Quai des Grands-Augustins, 55

TOUS DROITS RÉSERVÉS

AVANT-PROPOS DE LA PREMIÈRE ÉDITION

Amené par notre profession à étudier tout récemment une des premières lignes à crémaillère auxquelles on ait songé en France, nous avons été frappé de l'absence de traités spéciaux relatifs à ce mode de locomotion.

Malgré les nombreuses applications faites à l'étranger, on ne trouve guère sur les chemins de fer à crémaillère que des monographies, et pas de livres didactiques résumant méthodiquement les principaux renseignements relatifs à ces voies nouvelles.

Notre but a été d'éviter à nos successeurs l'embarras dans lequel nous nous sommes trouvé au moment de nos premières études ; mais, pour rédiger notre ouvrage, il a fallu faire de très nombreux emprunts. Nous avons surtout puisé dans un livre récent, le plus complet qui ait paru en France jusqu'ici traitant des lignes à crémaillère. Nous voulons parler de l'étude faite par MM. Ch. Vigreux et Lopé dans la *Revue technique de l'Exposition de 1889* (texte et planches).

Nous avons aussi trouvé de nombreuses indications dans le livre de M. R. Abt (*Die drei Rigibahnen*) et dans le *Traité des chemins de fer* de Heusinger von Valdeg.

Notre ouvrage est moins complet que nous l'eussions désiré, surtout en ce qui concerne les frais d'exploitation. Malheureusement, nous sommes obligés de constater que les renseignements sur ce point sont difficiles à obtenir, les statistiques ne faisant généralement pas ressortir les dépenses des lignes à crémaillère.

On trouvera à la fin de l'ouvrage le résumé des sources

2 AVANT-PROPOS DE LA PREMIÈRE ÉDITION

auxquelles nous avons puisé la majeure partie de nos documents.

Nous avons toujours cité autant que possible le nom de l'auteur de l'ouvrage que nous mettions à contribution. Si nous avons omis quelques citations de ce genre, nous demandons qu'on veuille bien excuser ces oublis involontaires.

A. L. L.

PRÉFACE DE LA DEUXIÈME ÉDITION

En 1891, au moment où nous écrivions la première édition de cet ouvrage, on comptait, tant sur l'Ancien Continent que sur le Nouveau, 365 kilomètres de chemins de fer à crémaillère en exploitation ; on en compte aujourd'hui 1.296 kilomètres.

D'autre part, de nouveaux types de crémaillère ont été créés, et la Traction électrique dont on allait faire en 1891 un premier essai au Mont Salève compte actuellement de nombreux cas d'application aux lignes à crémaillère.

En présence de ce développement important et de ces innovations, la mise au point de la première édition de notre ouvrage exigeait une refonte complète ; ce travail était indispensable pour pouvoir offrir au lecteur un livre absolument à jour ; c'est pourquoi nous n'avons pas hésité à l'entreprendre malgré les difficultés et l'importance de ce travail.

Notre tâche nous a été facilitée particulièrement par la lecture d'un ouvrage de M. Dolezalek (*die Zahnbahnen*) paru dans l'*Encyclopédie* de MM. Blum, Von Borries et Barkhausen : nous le recommandons aux Ingénieurs s'intéressant à la question des chemins de fer à crémaillère ; l'ouvrage de MM. R. et S. Abt (*Handbuch der Ingenieurwissenschaften*) sera également consulté avec fruit.

Enfin nous adressons en terminant nos remerciements aux Administrateurs et Ingénieurs des lignes de Viège-Zermatt, du Gornergrat, de Martigny-Chatelard, de Brunnen-Morschach et du Mont-Blanc pour les renseignements précieux qu'ils nous ont fournis.

Nous sommes heureux d'apporter à nouveau notre modeste concours à la belle œuvre de l'Encyclopédie des Travaux Publics, créée par M. l'Inspecteur général Lechallas et continuée par M. l'Ingénieur en chef G. Lechallas, son fils.

.

INTRODUCTION

§ 1

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Le temps n'est plus où le chemin de fer était considéré comme un mode de transport uniquement applicable aux grandes artères, se développant en pays plat ou faiblement accidenté.

Peu à peu l'instrument s'est assoupli, des pentes plus raides et des courbes à plus faibles rayons ont été admises, la largeur même de la voie a été réduite, et l'on est arrivé à desservir des pays plus pauvres et des régions plus accidentées.

Mais alors que l'on a reconnu l'utilité d'adopter des types spéciaux pour les chemins de fer secondaires ordinaires, on n'a fait que peu d'efforts, en France au moins, pour faciliter le développement de ces voies secondaires en pays de montagne.

Et pourtant, n'est-il pas logique de songer à user de systèmes spéciaux, lorsque l'on se propose de relier entre elles deux localités secondaires séparées par des mouvements de terrain difficiles, et que les différences de niveau à racheter sont considérables ?

Le problème présente du reste une infinité de cas très différents les uns des autres.

À côté des lignes d'intérêt général, départemental ou même vicinal, il y a une quantité de petites lignes, de très

faibles longueurs, dont la nécessité s'explique par l'importance du trafic voyageurs ou marchandises, et qui répondent à des besoins d'un ordre tout à fait différent de ceux que l'on est habitué à considérer dans l'établissement des voies ferrées ordinaires. Telle usine, par exemple, a besoin d'aller chercher des matériaux, des combustibles, des minerais en des points situés à des altitudes très différentes; elle a intérêt souvent à faire construire une voie ferrée spéciale à pentes raides pour son service particulier.

Souvent un beau site, même placé dans un centre d'excursions, sur le passage de touristes et de baigneurs, n'est pas visité ou l'est fort peu, parce que l'accès en est difficile, pénible et qu'il faut beaucoup de temps pour y arriver. Une voie ferrée reliant ce site à un grand centre permet à tous de visiter aisément un endroit naguère délaissé. Autre cas particulier, affluence de voyageurs pendant quelques mois de l'année; exploitation suspendue le reste du temps.

Dans l'intérieur même d'une ville, les communications entre quartiers situés à des hauteurs diverses sont souvent difficiles: l'établissement de tramways funiculaires permet de desservir une circulation très active et d'éviter les fatigues et les lenteurs d'une forte montée. Car, avec les voies ordinaires, qui dit forte pente dit implicitement longs détours et lacets.

Voilà des exemples bien distincts, parmi ceux que l'on peut choisir, donnant une idée des nombreux cas qui se présentent dans la pratique, pour l'application des chemins à très fortes rampes. On pourrait multiplier beaucoup ces exemples.

Toutes ces lignes présentent cette analogie que, par suite des reliefs du sol, les pentes y sont très raides, et que l'on ne peut plus se limiter aux déclivités très douces usitées sur les voies ferrées ordinaires.

Tout le monde sait en effet combien ces pentes, même les plus hardies, sont peu sensibles, quand on les compare aux routes de terre.

C'est là un défaut résultant du principe même de ces voies ferrées, inhérent à leur nature. Aussi, quand on arrive à tracer des chemins de fer à très fortes rampes, on est amené forcément à recourir, pour la traction, à des systèmes spé-

ciaux, reposant sur d'autres principes que ceux utilisés sur les voies ferrées ordinaires.

Dans les pays très montagneux, où le relief du sol est extrêmement tourmenté et où cette configuration du terrain coïncide avec un besoin de moyens faciles de locomotion, ces chemins de fer spéciaux se sont développés rapidement. L'Europe centrale en offre de nombreux exemples ; la Suisse, la Bavière rhénane, l'Italie du Nord nous montrent des applications nombreuses et diverses de ces systèmes spéciaux.

En France, on a été plus timoré : les besoins étaient moins pressants et on a hésité jusqu'ici à s'engager dans cette voie.

Le tableau, page suivante, indique le développement successif des chemins à crémaillère à diverses époques du xix^e et du xx^e siècle (1).

On voit à l'inspection de ce tableau non seulement combien le développement des chemins à crémaillère est encore faible en France, mais aussi combien ce développement est enrayé depuis 1900 dans notre pays, alors qu'en Allemagne la longueur exploitée a presque doublé durant ce temps.

Il est clair que les moyens faciles de locomotion entrant de plus en plus dans nos habitudes, le développement de l'industrie et des goûts de voyage amènera forcément l'application, chez nous, de ces moyens exceptionnels de communication et rendra les capitaux moins timides à l'égard des chemins de fer de montagne.

La solution de ces problèmes si différents des cas ordinaires, c'est-à-dire des voies ferrées à faible pente, exige des moyens spéciaux de traction et, par suite, des dispositions particulières aussi dans l'établissement des voies.

Nous nous proposons d'examiner les divers systèmes employés pour la solution des questions que nous venons d'indiquer.

Ce qui constitue le point commun à toutes ces lignes à forte

(1) R. et S. Abt. *Handbuch der Ingenieurwissenschaften*, 1907, 5^e partie, 8^e volume, page 23.

Longueur des chemins de fer à crémaillère.

	1841	1847	1870	1880	1890	1900	1905
	km.	km.	km.	km.	km.	km.	km.
Angleterre.	5,6	»	»	»	»	7,3	7,3
Amérique du Nord.	»	3,2	4,5	4,5	23,2	69,2	69,2
Suisse.	»	»	1,5	26,2	128,4	196,9	206,6
Autriche-Hongrie.	»	»	»	8,4	34,5	189	196,8
Allemagne.	»	»	- »	5,4	89,7	150	276
Amérique du Sud.	»	»	»	»	13,4	55,9	105,4
Italie.	»	»	»	»	1,5	18	19,8
France.	»	»	»	»	1,5	27,2	27,2
Asie.	»	»	»	»	73	275,5	303
Portugal.	»	»	»	»	»	1	1
Grèce.	»	»	»	»	»	23	23
Espagne.	»	»	»	»	»	11,2	11,2
Australie.	»	»	»	»	»	32,3	32,3
Afrique.	»	»	»	»	»	15	15
Russie.	»	»	»	»	»	»	2,7
Totaux.	5,6	3,2	6	44,5	365,2	1071,5	1296,5

penne, c'est l'insuffisance absolue du principe ordinaire appliqué sur les voies ferrées pour produire la progression des véhicules qui y circulent. Nous voulons parler de l'adhérence; car c'est grâce à elle que les roues de la locomotive avancent sur le rail au lieu de tourner sur place, de patiner. Mais, si l'effort de traction, nécessaire pour provoquer le mouvement du train, est très considérable, l'adhérence n'est plus suffisante, les roues patinent et la machine n'avance plus.

C'est ce qui arrive bien vite, pour peu que les pentes du

§ 2. — DIMINUTION DE L'EFFET UTILE SUR LES RAMPES 9

chemin soient un peu moins douces et s'écartent de l'horizontalité.

Aussi peut-on dire que les chemins ordinaires par adhérence ne peuvent pas admettre de fortes rampes ; il faut, coûte que coûte, maintenir le profil en long de la voie, en déclivité extrêmement faible.

Nous insistons sur ce fait, parce qu'il est capital et qu'il est la base, le point de départ de tous les systèmes imaginés pour arriver à tracer des voies ferrées dans des pays accidentés.

L'intérêt de ces systèmes se manifeste donc clairement lorsque le principe de l'adhérence n'est plus suffisant pour permettre la traction des véhicules.

§ 2

DIMINUTION DE L'EFFET UTILE DE LA LOCOMOTIVE SUR LES RAMPES

Tout ingénieur sait combien rapidement décroît l'effet utile d'une machine locomotive ordinaire à mesure que la rampe augmente ; nous y reviendrons du reste un peu plus loin. Mais disons tout de suite que cette diminution d'effet utile tient à ce que, au fur et à mesure que la pente de la voie augmente, l'effort de traction augmente proportionnellement à cette pente, tandis que la puissance disponible de la machine, basée sur le principe de « l'adhérence », est la même quel que soit le profil du chemin.

De plus, en pays de plaine, où la charge trainée est considérable, le poids de la machine en est une fraction très faible. Dans les fortes déclivités, au contraire, la charge remorquée, diminuant rapidement, se rapproche vite du poids de la machine.

Voici par exemple le tableau des charges trainées par les machines de rampe de la C^{ie} P.-L.-M. pesant en service 51^t, 200, aux vitesses de 15 et 30 kilomètres à l'heure.

Rampes en millimètres par mètre :

Vitesse	0	5	10	15	20	25	30
15 km.	2330	863	508	348	236	198	157
30 km.	1175	510	307	209	151	112	85

Ainsi cette machine, qui, à la vitesse de 15 kilomètres, remorque 46 fois son poids en palier, ne traine plus que 3 fois ce poids en rampe de 30 et seulement 1 fois et demi environ à la vitesse de 30 kilomètres à l'heure. La machine puissante du Midi qui figurait en 1905 à l'Exposition de Liège pèse avec son tender 99 t. 8 en ordre de marche ; à la vitesse de 12 à 13 kilomètres à l'heure, elle ne remorque cependant que 200 t., soit 2 fois son poids, en rampe de 33 millimètres et ce résultat doit être considéré comme tout à fait satisfaisant. Cependant cette pente de 30 millimètres est bien faible dans un pays très accidenté, et elle ne peut être réalisée qu'au prix des plus grands sacrifices, admissibles seulement pour les lignes de premier ordre.

Pour ces lignes-là, qu'il faut faire à tout prix, qui doivent desservir un trafic important, les machines par adhérence sont les seules admissibles, au moins à l'heure actuelle, et il faut bien que la voie soit tracée en conséquence, c'est-à-dire avec de très faibles pentes.

En effet, du moment que l'on admet la traction par adhérence, la limite admissible des pentes est très faible d'après ce que nous avons dit. Sur une rampe de 50 millimètres par mètre, une locomotive ordinaire ne peut guère remorquer qu'une charge utile égale à son propre poids, c'est-à-dire que l'effet utile devient dérisoire. Et là ce n'est pas seulement le poids adhérent qui fait défaut à proprement parler pour le moteur, c'est aussi la légèreté spécifique de la machine qui manque, c'est-à-dire qu'à poids égal il faudrait, en pays de montagnes, des machines plus puissantes, car, la machine devant se remor-

§ 2. — DIMINUTION DE L'EFFET UTILE SUR LES RAMPES 11

quer elle-même, elle absorbe, pour sa propre traction, un travail qui devient très grand par rapport au travail total développé quand la déclivité augmente. On peut, il est vrai, le travail étant le produit du chemin parcouru par la force, augmenter la force disponible, en diminuant la vitesse ; mais, à cause du diamètre des roues, on ne peut abaisser cette vitesse au-dessous d'une certaine limite, que la pratique a fixée à 15 kilomètres pour les chemins ordinaires.

Pour fixer les idées, imaginons que, par un artifice quelconque, la machine de rampe du P.-L.-M. dont nous parlions plus haut pût arriver à ne peser que 35 tonnes au lieu de 51, tout en gardant le même mécanisme moteur. Elle pourrait encore à la vitesse de 30 kilomètres remorquer le même poids sur la rampe de 36 millimètres, sans y être exposée à manquer d'adhérence.

Elle manquerait d'adhérence seulement aux vitesses inférieures à 30 kilomètres si l'on voulait profiter de la diminution de vitesse pour lui faire remorquer une plus lourde charge. On voit donc nettement que c'est surtout par manque d'effet utile que pèchent les locomotives à adhérence sur les chemins ordinaires, dans les fortes rampes. Mais, si les rampes sont plus fortes, au delà de 50 millimètres par exemple, si l'on veut adopter des déclivités très raides pour des lignes secondaires à trafic restreint en admettant des vitesses très réduites, la traction par adhérence n'est plus admissible et il faut songer à un autre mode de traction.

En résumé, les fortes déclivités limitent l'emploi de la traction mécanique sur les voies ferrées pour deux raisons.

La première tient à la puissance du moteur en égard à son poids ; la seconde tient à la valeur limitée du coefficient d'adhérence.

La première limite, celle tenant à la légèreté spécifique du moteur, est indiquée par Couche à peu près comme il suit (1) :

Soient T le travail disponible par unité de temps sur les roues motrices.

π le poids de la machine-tender à adhérence totale,

(1) Couche, Tome II, livre III, page 555.

P le poids du train remorqué,
 V la vitesse,
 r le coefficient de résistance du train et de la machine correspondant à cette vitesse,
 f le coefficient d'adhérence,
 i l'inclinaison en millimètres par mètre de la déclivité,
 On a : $T = (P + \pi) Vi + (P + \pi) Vr$, en confondant le sinus de l'angle avec sa tangente.

$$\text{ou } T = (P + \pi)(i + r) V, \text{ d'où } P + \pi = \frac{T}{V(i + r)}$$

$$\text{et } \frac{P}{\pi} = \frac{T}{V\pi(i + r)} - 1$$

$$\text{pour } P = \pi \quad i = \frac{T}{2V\pi} - r,$$

limite variable pour chaque vitesse, mais ne dépendant que du rapport $\frac{T}{\pi}$; c'est-à-dire du poids par cheval-vapeur disponible.

Nous avons supposé pour la facilité du raisonnement que l'on pouvait confondre la tangente avec son sinus ; le tableau ci-dessous montre que l'on commet ainsi une erreur qui ne commence à être sensible que pour les déclivités supérieures à 150 millimètres.

Tg α . .	0,06	0,08	0,120	0,182	0,200	0,250
Sin α . .	0,0599	0,0796	0,1189	0,179	0,1963	0,2433

La seconde limite, celle tenant à la valeur du coefficient d'adhérence, peut se calculer ainsi.

Cherchons théoriquement à partir de quelle limite la charge utile d'un train doit s'arrêter pour ne pas exposer un type de machine donné à patiner, ou autrement dit écrivons que le poids de la machine p multiplié par le coefficient d'adhérence f est égal à l'effort de traction (1).

Soient :

P le poids en tonnes du train,

(1) Hirsch. — *Cours de machines à vapeur et locomotives professé à l'École des Ponts et Chaussées*, 2^e édition, page 364.

a la résistance du train en palier, en kg. par tonne,
 p le poids de la machine à adhérence totale, en tonnes,
 ϖ le poids du tender, en tonnes,
 b la résistance par tonne de la machine et du tender,
 i l'inclinaison en millim. par m. de la rampe,
 f le coefficient d'adhérence.

On aura à la limite d'adhérence :

$$1000 pf = P(a + i) + (p + \varpi)(b + i),$$

d'où :

$$P = \frac{1000pf - (p + \varpi)(b + i)}{a + i}.$$

Prenons un train de marchandises dans lequel

$$a = 3 \text{ kg}, p = 35 \text{ t.}, \varpi = 16 \text{ t.}, b = 12 \text{ kg}, f = \frac{1}{7}$$

Pour $i = 50$, $P = 34 \text{ t.}$

Pour $i = 20$, $P = 145 \text{ t.}$

Ainsi, dès que les rampes deviennent supérieures à 25 ou 30 millimètres, les machines locomotives ordinaires travaillent dans de mauvaises conditions, et même ne peuvent plus servir utilement.

En diminuant la vitesse on ne gagnerait rien, le poids adhérent manquant, et on ne peut l'augmenter à cause de la valeur considérable du travail absorbé, croissant avec la vitesse.

Le seul moyen d'augmenter la charge trainée, en diminuant encore la vitesse, c'est de recourir à des modes spéciaux de traction et d'augmenter l'*adhérence*.

§ 3

DE L'ADHÉRENCE ET DES CAS OU IL Y A LIEU D'Y SUPPLÉER

Quelle est la valeur de l'*adhérence* ?

Pratiquement, c'est une quantité essentiellement variable.

Sans entrer dans les détails à ce sujet, il est nécessaire cependant de s'y arrêter un instant.

Quand une locomotive se meut sur le rail, c'est que le bandage de la roue trouve à la surface du rail un point d'appui suffisant pour que la réaction du rail sur la roue soit égale à l'effort de traction. Autrement dit, la surface du métal du bandage et du rail, examinée au microscope, ne serait pas lisse, on y apercevrait des vides et des pleins, et tout se passe comme si le rail était constitué par une crémaillère à dents infiniment petites, et que la jante du bandage fût garnie de dents de la même dimension ; on comprend alors comment a lieu le cheminement de la roue sur le rail.

Mais, lorsque la réaction de ces petits éléments l'un sur l'autre devient plus petite que la force nécessaire pour faire tourner la roue sur place, c'est-à-dire que le frottement, au lieu d'avancer la roue tourne rapidement en frottant sur le rail, sans être animée d'un mouvement de translation.

Le coefficient d'adhérence est le rapport entre l'effort de traction nécessaire pour provoquer la translation et le poids chargeant les roues motrices.

En France, on admet unanimement en pratique, pour le calcul des charges des machines, que le coefficient d'adhérence est égal à $\frac{1}{7} \approx 0,14$, sur les voies ferrées ordinaires.

Mais il est clair que cette valeur dépend essentiellement de l'état des surfaces en contact, que la pluie, le verglas, la boue, etc., influent d'une façon considérable sur ce coefficient.

Les valeurs extrêmes constatées sont à peu près de $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{12}$ dans des circonstances exceptionnelles.

Des expériences complètes ont été faites à ce sujet en France par MM. Vuillemin, Guebhard et Dieudonné (1).

La conclusion en est que le maximum du coefficient en pleine marche est de $\frac{1}{5}$; que la valeur minima est environ de $\frac{1}{9}$.

On a constaté que c'est par des temps très secs ou par de fortes pluies que l'adhérence atteint son maximum.

(1) *Annales des mines*, 5^e série, T. XIX, page 62.

De petites pluies fines, des chutes de feuilles, le verglas, amènent l'abaissement du coefficient d'adhérence.

Pour les tramways sur route, où le rail est fréquemment recouvert d'une couche mince de boue et où le coefficient d'adhérence s'abaisse très souvent, le chiffre de $\frac{1}{7}$ serait exagéré, et il est prudent de ne pas admettre une valeur supérieure à $\frac{1}{9}$ ou $\frac{1}{10}$ (1).

Sur des lignes ordinaires, le patinage est déjà fort gênant et peut amener aisément une rupture dans les pièces du mouvement. Mais, sur de fortes pentes, le patinage a encore plus d'inconvénients à cause de la difficulté du démarrage en pleine rampe, pour un train chargé.

On sait qu'au moment du patinage, le coefficient de frottement tombant à $\frac{1}{10}$ ou $\frac{1}{12}$, l'effort nécessaire pour faire tourner les roues diminue subitement et les roues de la machine se mettent à tourner avec une rapidité considérable : il faut immédiatement fermer le régulateur et jeter du sable.

En résumé, nous adoptons comme valeur moyenne du coefficient d'adhérence dans tous les calculs de traction relatifs aux chemins de fer (les tramways sur route exceptés) le chiffre de $1/7$.

Nous avons vu qu'à partir d'une certaine limite, quand on arrive aux pentes de 30 millimètres par mètre, l'adhérence peut manquer aux machines locomotives ; par suite, si l'on consent à réduire la vitesse au-dessous de 15 kilomètres, on peut en augmentant l'adhérence, augmenter la charge trainée.

Par exemple, une machine de 14 tonnes ne pourrait par adhérence développer un effort de plus de 2 t. sans être exposée à patiner ; en réduisant la vitesse à 6 ou 7 kilomètres à l'heure, et augmentant l'adhérence par une crémaillère, on arrive à faire développer à cette machine un effort de traction plus que double du précédent.

On voit donc tout l'intérêt qu'il peut y avoir à augmenter l'adhérence des locomotives dans des cas particuliers bien

(1) Compte-rendu de la Société des Ingénieurs Civils, septembre 1890, 5^e série, 9^e cahier, page 524.

définis, ceux où il est possible de consentir à une *très faible* vitesse, notablement inférieure à 15 kilomètres à l'heure. Jusque-là l'adhérence seule est parfaitement suffisante.

Il convient d'ajouter que l'emploi de la traction électrique permet d'aborder par simple adhérence des rampes notablement plus raides que sur les lignes exploitées par des locomotives à vapeur.

Cette faculté tient non seulement à la constance du couple moteur d'un moteur électrique, mais aussi à la possibilité soit d'employer exclusivement des voitures automotrices, soit de composer les trains partie en voitures automotrices, partie en voitures de remorque.

On peut ainsi se rendre compte de l'effet de la variation du couple moteur sur le patinage des locomotives à vapeur (1).

Soient E_m l'effort de traction moyen dans un tour de roue,
 p la pression moyenne aux cylindres,
 d le diamètre des cylindres, l la course des pistons,
 α un coefficient constant.

$$\text{On a :} \quad E_m = \frac{\alpha p d^2 l}{D};$$

or, si P est le poids adhérent et f le coefficient d'adhérence, on a aussi $E_m = Pf$.

Mais l'effort réel à la jante n'est pas constant ; il varie à tous moments suivant la position des manivelles ; soient E_p l'effort à la jante au moment où le patinage tend à se produire et F le coefficient de frottement ; on a $E_p = PF$ et comme $E_p > E_m$ on en déduit $F > f$.

Les relations $f = \frac{E_m}{P}$ et $F = \frac{E_p}{P}$ montrent que f est d'autant plus voisin de sa limite F que E_m est plus voisin de E_p ; c'est-à-dire que les efforts du moteur sont plus constants.

Or, précisément dans les moteurs électriques, le couple

(1) Herdner. *Mémoires de la Société des Ingénieurs Civils*, Septembre 1906.

moteur étant constant, l'effort moteur l'est également et le coefficient d'adhérence peut être aussi voisin que possible du coefficient de frottement.

Le tableau ci-dessous donne la nomenclature de quelques lignes à fortes rampes exploitées par adhérence, tant à traction à vapeur qu'à traction électrique.

TRACTION A VAPEUR			TRACTION ÉLECTRIQUE		
Désignation des lignes	Largeur de voie	Déclivités maxima m/m	Désignation des lignes	Largeur de voie	Déclivités maxima m/m
Yverdon - Ste-Croix . . .	1 ^m	44	Le Fayet-St-Gervais à Chamonix	»	90
Enghien-Montmorency . .	1, 435	46	Longemer à Retourneмер . .	»	95
Rigi-Scheideck.	1	50	Tramway d'Évian	»	102
Rome-Marino .	1, 435	60	Tramway du Cimetière monumental (Rouen)	»	110
Ulliberg . . .	1, 435	70	Tramway de Boulogne . .	1 ^m	120
			Tramway de Laon	1	122

Même sur les lignes à simple adhérence, le matériel des chemins de fer en pays de montagne comporte des modifications résultant de la raideur du profil. L'adoption de fortes pentes, de 20 à 30 millimètres, et de courbes de faibles rayons conduit à adopter des types de machines ayant une grande puissance de vaporisation eu égard à leur poids, à faciliter le mouvement des machines dans les courbes en employant des essieux mobiles, ou en donnant des jeux latéraux aux boîtes à graisse.

L'emploi de freins particulièrement énergiques est naturel-

lement indiqué, et parmi ceux-ci la contre-vapeur tient une large place.

Enfin, la voie et l'exploitation présentent aussi quelques particularités : signalons l'augmentation d'usure des rails et le mouvement de translation de la voie descendante, sous l'action des freins, dans les longues pentes ; les précautions à prendre pour le tracé des voies à l'entrée et à la sortie des courbes de faible rayon (raccordements paraboliques) ; pour l'exploitation, l'emploi des cloches électriques pour signaler les divers accidents et incidents qui peuvent arriver (train en dérive, en détresse, wagons échappés, etc., etc.). Notons aussi les mesures à prendre pour déblayer les voies en cas de neige.

Toutes ces mesures spéciales et la faible utilisation de la machine dans les fortes rampes se traduisent infailliblement par de fortes augmentations des dépenses d'exploitation.

D'après des expériences poursuivies à la Compagnie d'Orléans, sur la ligne de Clermont à Tulle, par M. Lanna, chef de section, ancien élève de l'École Polytechnique, dans une courbe de 250 mètres de rayon, les rails d'acier subiraient, sur l'arête exposée au frottement des boudins des roues une usure considérable. Cette usure est telle, que, sur le grand rayon, il a fallu retourner les rails au bout de 9 années de service. Au total, les dépenses d'entretien de la voie sont à peu près doubles sur la ligne de Clermont à Tulle, comportant de longues pentes de 25 millimètres et des rayons de 250 mètres, que sur les lignes ordinaires du réseau.

Mais il y a souvent avantage, surtout pour les lignes d'importance secondaire, à diminuer le capital de premier établissement et à se résigner à une augmentation des dépenses annuelles d'exploitation ; il y a là une question de mesure à garder. C'est à celui qui étudie le tracé de baser ses calculs sur des données exactes et de faire la comparaison entre divers programmes, de façon à toujours proportionner l'instrument aux services que l'on en attend.

Nous n'examinerons pas du reste les chemins de fer à adhérence ordinaire, leur étude faisant partie d'un traité général des chemins de fer. Nous nous proposons ici seule-

ment d'étudier les voies ferrées où l'on utilise un autre principe que celui de l'adhérence, en particulier les chemins de fer à crémaillère.



CHAPITRE PREMIER

HISTORIQUE. TRACÉ DES CHEMINS A CRÉMAILLÈRE

§ 1.

PRINCIPE. HISTORIQUE

1. Essais divers. — Nous avons dit que la roue motrice d'une locomotive, en cheminant sur un rail, s'appuie sur les inégalités infiniment petites de la surface du métal, qui forment comme les dents d'une crémaillère à éléments microscopiques.

Lorsque l'adhérence est en défaut et que l'on veut l'augmenter, il est naturel de recourir à une véritable crémaillère spéciale et de la faire parcourir par une roue dentée mue par l'essieu moteur de la machine.

A l'origine des chemins de fer on supposait à tort que l'adhérence ne serait pas suffisante pour permettre à la locomotive de prendre son point d'appui sur le rail. Poussé par cette idée fautive M. Blenkinsop construisit en 1811 une machine mue par une roue dentée motrice, dont les dents engrenaient avec celles d'une crémaillère. La roue dentée, bien qu'unique, était placée latéralement d'un côté de la machine, à l'extérieur; la crémaillère à dents de 0 m. 05 à 0 m. 07 était appliquée contre l'un des rails, sur sa face extérieure.

L'essieu moteur portant la roue dentée motrice subissait

ainsi un effort de torsion très notable, dû à ce que l'effort moteur agissait à une extrémité de l'arbre.

Ces machines ont fonctionné quelque temps et ont été employées au transport des houilles sur la ligne de Middleton à Leeds. Mais, vers 1813, M. Blackett ayant découvert que la simple adhérence était suffisante pour permettre le mouvement de la locomotive, l'idée de la crémaillère fut abandonnée.

Toutefois (1), vers 1836, la Société des usines de Neath-Abbey (South Wales) faisait construire une machine à crémaillère destinée au transport à vitesse très réduite sur de fortes rampes. Cette machine était à six roues couplées. La roue dentée était calée sur un arbre spécial qui pouvait être remonté ou abaissé, de façon à pouvoir engrener avec une crémaillère centrale.

2. Chemin du Mount Washington. — En 1847, disent certains auteurs, en 1852 seulement, suivant d'autres, une voie à crémaillère fut construite en Amérique sur la ligne d'Indianapolis à Madison, pour l'exploitation du plan incliné de Madison (2). Cette ligne présentait des rampes de 60 millimètres par mètre. La locomotive agissait à la fois au moyen d'un pignon engrenant dans une crémaillère en fonte, et simultanément par l'effort de la traction que pouvait fournir son poids adhérent. Ce système était dû à Carthcart, et la ligne fut exploitée ainsi jusqu'en 1868.

En 1866, un ingénieur américain, M. Marsh, établissait un chemin de fer à crémaillère centrale, pour un chemin de plaisance construit sur le Mount Washington (New Hampshire). Les pentes maxima atteignaient 330 millimètres, la hauteur totale rachetée est de 1.098 mètres. Voici la description donnée par M. Couche de cette ligne. « La voie a une largeur
« de 1 m. 22. La chaudière, supportée par des tourillons,
« reste toujours verticale, quel que soit le profil. La machine
« présente à cela près la plus grande analogie avec celle du

(1) Couche, *Chemins de fer*, tome II, p. 725.

(2) *Matériel des chemins de fer*, Jacquemin, Exposition de 1878, page 145.

« Rigi. Des rouleaux de friction suspendus au châssis et courant sous les rebords horizontaux du rail central (à crémaillère) relient la machine à la voie, et l'empêchent de se soulever.

« A la montée, un fort cliquet battant sur les dents de la crémaillère prévient tout danger de recul. La machine est pourvue d'un frein à air, semblable à celui du Rigi, et d'un frein agissant sur l'arbre moteur et par suite sur l'engrenage. De plus, les deux véhicules qui avec la machine composent le train, c'est-à-dire le tender et une voiture à cinquante places, sont comme la machine munis l'un et l'autre d'une roue dentée, fonctionnant comme frein.

« Cette machine remorque, dit-on, à la vitesse de 7 kilomètres le double de son poids ».

3. Brevet Riggenbach. — Chemin du Rigi. — Antérieurement à l'établissement du chemin de fer du Mount Washington, le 2 août 1863, M. Riggenbach prenait un brevet en France sous le n° 59.625 sous le titre de « nouveau système de voie et de locomotive destinées au franchissement des montagnes » système qui comportait une machine à roues dentées se touant sur une crémaillère (1).

Mais ce n'est qu'au retour d'un voyage de M. Riggenbach dans l'Amérique du Nord, en 1869, qu'il lui fut donné de faire l'application de son idée au chemin du Rigi.

Il est juste d'ajouter cependant que, dès 1866, M. Riggenbach proposait l'emploi du chemin à crémaillère pour exploiter le Gothard. Son projet, préparé en collaboration avec M. Zschokke, comportait des rampes de 5 0/0.

Il s'est élevé du reste au sujet de l'invention de la crémaillère, ou plutôt de son adaptation à la traction des locomotives, il s'est élevé, dis-je, des questions de priorité, dans la discussion desquelles nous n'entrerons pas.

Ce qui est certain et hors de doute, c'est que, le premier en Europe, M. Riggenbach a construit et perfectionné des chemins de fer à crémaillère. La première ligne du Rigi

(1) R. Abt, *Die drei Rigibahnen*.

construite par lui est restée comme un type de bonne construction, de dispositions pratiques et parfaitement étudiées.

Dans les premières machines du Rigi construites par M. Riggenbach, la traction était due exclusivement à la crémaillère et à la roue dentée, les roues porteuses étant folles sur leur essieu. Mais déjà pour le chemin d'Oestermundigen Berne, M. Riggenbach s'avisait de faire participer à l'effort de traction les roues porteuses, en utilisant leur adhérence, de façon à diminuer l'effort sur la crémaillère, un même mécanisme moteur commandant du reste les deux systèmes. Depuis, il a appliqué indifféremment les deux dispositions suivant les cas.

La crémaillère Riggenbach est une sorte d'échelle couchée à plat dans le milieu de la voie. Les deux montants verticaux sont formés par des fers \sqsubset , dans l'âme desquels sont rivés des barreaux placés perpendiculairement à l'axe du chemin. Ces barreaux sont de section trapézoïdale, la section ronde ayant donné de mauvais résultats (1).

4. Système Abt. — Un collaborateur de Riggenbach, M. R. Abt de Lucerne, frappé de certains inconvénients que présente la crémaillère à échelons, imagina de constituer la crémaillère par des lames d'acier taillées en dents de scie, placées de champ et engrenant avec plusieurs roues dentées motrices placées côte à côte (chaque crémaillère étant parcourue par une dent spéciale).

De plus, poussant encore plus loin l'idée de faire travailler séparément et simultanément le mécanisme à adhérence et le mécanisme à roues dentées, il commanda chacun de ces systèmes, par un mécanisme moteur spécial indépendant de l'autre. La première application de cette idée fut faite en 1883 en Allemagne sur la ligne de Blankenbourg à Tanne. Il est juste de constater que l'idée de commander les systèmes à adhérence et à crémaillère par deux mécanismes moteurs distincts avait été émise aussi par M. Riggenbach. L'idée

(1) Nous étudierons en détail les divers types de crémaillères au chap. II, § 2.

d'une machine à deux mécanismes a été émise en 1858 par M. Carthcart et en 1876 par M. R. Abt.

Cette variante de la traction à crémaillère a des partisans tout comme le système Riggenbach ; nous reviendrons plus tard sur leurs avantages et défauts respectifs.

Disons seulement qu'aujourd'hui il y a en exploitation de nombreux exemples des deux systèmes.

5. Crémaillère Strub. — Cette crémaillère dérive du type Abt ; elle en diffère en ce que les dents, au lieu d'être découpées dans une simple lame, sont entaillées dans le champignon d'un rail Vignole à patin élevé. Les dents ont une forme cylindro-conique et, entre deux dents consécutives, l'âme du rail est creusée en forme de gorge.

Cette crémaillère a été appliquée pour la première fois au chemin de la Jungfrau en 1890.

6. Crémaillère Locher. — Elle est constituée par deux lames analogues à celles de la crémaillère Abt, disposées dos à dos et non plus verticalement mais mises à plat, les dents tournées vers l'extérieur. Elle ne compte qu'un seul cas d'application, celui du Mont Pilate.

On trouvera ci-après deux tableaux indiquant les divers chemins à crémaillère exploités à la fin de l'année 1906. On conçoit qu'une ligne puisse être munie d'une crémaillère d'un bout à l'autre, ou être composée d'une série de tronçons à crémaillère séparés par des sections à adhérence ; les premières lignes sont alors entièrement à crémaillère, les secondes sont dites lignes mixtes.

Chacun des tableaux ci-après se rapporte à l'une ou l'autre de ces deux classes de lignes à crémaillère.

7. Tableau des principales lignes

Ouverture à l'exploitation	PAYS	DÉSIGNATION de la ligne	Largeur de la voie m.	Déclivités maxima m m
SYSTÈME RIGGENBACH				
1871	Suisse.	Vitznau-Rigi	1,435	250
1874	Autriche.	Kahlenberg	1,435	100
1874	Hongrie.	Schwabenberg	1,435	102
1875	Suisse.	Arth Rigi	1,435	200
1882	Brésil.	Petropolis	1,0	150
1883	Prusse.	Königswinter-Drachenfels	1,0	200
1883	Brésil.	Corcovado	1,0	300
1884	Prusse.	Rüdesheim-Niederwald	1,0	200
1885	Wurtemberg.	Stuttgart-Degerloch	1,0	172
1885	Prusse.	Aßmanshausen-Niederwald	1,0	200
1887	Autriche.	Gaisberg	1,0	250
1889	Prusse.	Königswinter-Petersberg	1,0	260
1893	Prusse.	Barmen-Toelleturm	1,0	185
1893	Suisse.	Wengernalp	0,8	250
1893	Suisse.	Schynige-Platte	0,8	250
SYSTÈME				
1899	Suisse.	Jungfrau	1,0	250
1902	Autriche.	Trieste-Opicina	1,0	250
1903	Italie.	Vésuve	1,0	250
1906	Suisse.	Martigny-Chatelard	1,0	200
1906	Suisse.	Brunnen-Morschach	1,0	170
SYSTÈME				
1888	Suisse.	Pilate	0,8	480
SYSTÈME				
1886	Vénézuéla.	Puerto-Cabello-Valencia	1,067	80
1890	Suisse.	Monte Generoso	0,8	220
1890	Nord-Amérique.	Manitou Pikes Peak	1,435	250
1891	Suisse.	Rothorn	0,8	250
1891	Suisse.	Glion-Naye	0,8	220
1892	France.	Mont-Salève	1,0	250
1892	France.	Revard	1,0	210
1892	Espagne.	Montserrat	1,0	150
1893	Autriche.	Schafberg	1,0	255
1893	Angleterre.	Snowdon	0,8	182
1897	Autriche.	Schneeberg	1,0	200
1898	Suisse.	Gornergrat	1,0	200
1900	Suisse.	Aigle Leysin	1,0	230
1900	Suisse.	Bex-Gryon-Villars	1,0	200

entièrement à crémaillère.

Rayon minimum des courbes m.	MODE d'exploitation	Poids en tonnes			Longueur de la ligne km.
		Locomotive	Train	Ensemble	
ET SES DÉRIVÉS					
120	Locomotive à vapeur.	17,2	10,0	27,2	7,0
180	id.	16,0	18,0	34,0	5,2
180	id.	16,0	17,0	33,0	3,0
120	id.	17,5	12,5	30,0	9,0
150	id.	—	—	20,0	5,9
180	id.	18,0	14,0	32,0	1,5
120	id.	16,0	8,0	24,0	3,7
200	id.	18,0	14,0	32,0	2,3
120	Locomotive à vapeur.	16,0	12,0	28,0	—
	Voiture automobile électr.	—	—	17,0	2,0
200	Locomotive à vapeur.	18,0	14,0	32,0	1,4
150	id.	17,7	10,0	27,7	5,25
180	id.	17,0	9,0	26,0	1,2
150	Voiture automobile électr.	—	—	17,0	1,6
60	Locomotive à vapeur	16,0	9,0	25,0	18,0
60	id.	16,0	9,0	25,0	7,5
STRUB					
100	Locomotive électrique.	13	14	24	2,1
40	id.	11	11	22	0,8
80	id.	11	11	22	1,6
80	id.	—	—	—	—
80	id.	10,5	15,5	16	2,0
LOCHER					
80	Voit. automob. à vapeur.	—	—	11	4,5
ABT					
150	Locomotive à vapeur.	38	60	98	3,3
80	id.	15	10	25	9,0
110	id.	24	16	40	14,0
60	id.	17	9	26	7,6
80	id.	17	9	26	7,8
50	Voiture automobile électr.	—	—	17	9,0
75	Locomotive à vapeur.	18	10	28	9,2
80	id.	17	20	37	8,0
100	id.	17	11	28	5,8
80	id.	17	16	33	7,5
80	id.	17	15	32	9,7
80	Locomotive électrique.	11	17	28	9,4
60	id.	15	15	30	4,85
80	id.	15	16	31	4,9

8. Tableau des principales lignes

Ouverture à l'exploitation	PAYS	DÉSIGNATION des lignes	Largeur de la voie m	Sections à adhérence			
				Longueur km.	Déclivité maxima 0/00	Rayon minimum des courbes m.	Vitesse maxima en km. à l'heure
CRÉMAILLÈRE RIGGENBACH							
1888	Suisse.	Ligne du Brünig.	1,0	8	25	120	25
1889	Sumatra.	Kaputanam-Padang Fort de Kock .	1,067	6,5	23	150	15
1890	Suisse.	Oberland bernois	1,0	18,5	25	120	30
1887	Allemagne.	Ligne du Hötleenthal	1,435	27,3	25	240	20
1887	France.	Langres, Ville-Langres, Marne . .	1,0	390	—	60	—
1890	Suisse.	St-Gall-Gais.	1,0	10,7	48	30	30
1892	Württemberg	Reutlingen-Lichtenstein.	1,435	11	22,2	300	35
	Württemberg	Frendenstadt-Kloster Reichenbach .	1,435	6,7	20	240	—
1898	Suisse	Stansstadt Engelberg.	1,0	21,3	50	—	20
CRÉMAILLÈRE							
1890	Suisse.	Viège-Zermatt.	1,0	27,5	25	80	25
1891	Autriche.	Eisenerz-Vordenberg.	1,435	5,5	26	180	30
1891	Bosnie.	Rama-Sarajevo	0,76	36	15	80	35
1891	Grèce.	Diakophito-Kalavryta	0,75	19,4	35	30	—
1894	Asie Turquie	Beyrouth-Damas.	1,05	11,4	25	100	35
1895	Hongrie.	Tiszolcz-Zolyombréso.	1,435	36	22	180	25
1896	Australie.	Mount-Lyell	1,067	15,7	21	150	—
1898	Inde.	Nilgiri.	1,0	26,2	25	100	—
1899	Prusse.	Ligne du Brohltal	1,0	18,5	25	80	25
1904	Prusse.	Ilmenau Schleusingen	1,435	27	25	200	45
1885	Brunswick .	Ligne du Harz. :	1,435	23	25	180	—
1892	Japon.	Usuipafs	1,067	11,5	25	260	—

mixtes à crémaillère.

Sections à crémaillères				Locomotives				
Longueur km.	Déclivité maxima 0 00	Rayon minimum des courbes m.	Vitesse maxima en km. à l'heure	Type d'exploitation	Poids en service	Poids à vide	Poids adhérent	Charge remor- quée dans les sections à crémaillère
ET SES DÉRIVÉS								
9	120	120	10	Locom. à vapeur, à deux cyl.	23	19	23	35
29	80	150	12	Locomotives à deux cylindres	26	21	19	60
					22	18	22	—
4,9	120	120	12	Locomotives à quatre cylind.	28,5	23,6	28,5	45
7,2	55	240	10	id.	42	34	42	90
1,380	172	120	10	Locom. à vap. à deux cylind.	15,6	12,4	15,6	12,5
3,3	92	30	10	id.	32	25	23	50
2	100	280	10	id.	54	44	42	65
5,6	50	240	10	id.	54	44	42	150
1,2	250	—	5	Locomotive électrique.	12	—	12	15
АВТ								
7,5	125	100	10	Locomotives à quatre cylind.	29	24	21	45
14,5	71	180	8-9	id.	56	47	43	120
20	60	125	8-9	»	36	30	24	75
3,6	145	80	8-9	»	16	—	16	16
32	70	120	9	»	44	33	34	100
6	50	200	9	»	71	59	53	170
7,6	63	200	—	»	24	—	24	50
19,3	80	100	8	»	33	—	33	65
4,4	50	120	10	»	36	31	29	90
6	60	250	12	»	56	47	42	120
7,5	60	200	10	Locomotives à quatre cylind.	56	47	43	130
8,5	67	260	8	id.	36	31	36	100

§ 2.

DU TRACÉ AU POINT DE VUE DES COURBES ET DES PENTES

9. Influence des courbes. — Rayon minimum des parties à crémaillère. — La flexibilité des chemins à crémaillère dépend, comme celle des chemins ordinaires, de l'écartement des essieux extrêmes des véhicules et de la largeur de la voie. Mais il y a, en outre, un élément spécial qui intervient lorsqu'il s'agit de crémaillères du type Riggenbach : c'est la question du passage de la roue dentée dans une crémaillère en courbe et de la convergence des échelons de la crémaillère vers le centre de la courbe.

En pratique, avec une voie normale on est descendu au Rigi à 180 mètres ; avec la voie de 1 mètre on a admis, pour le chemin de Langres, des rayons de 120 mètres et, pour la ligne de Viège-Zermatt (Suisse), des rayons de 100 mètres. Pour la ligne de St-Gall-Gais à voie de 1 mètre, on a admis en crémaillère des rayons de 30 mètres.

Il est aisé de voir que, par suite de la construction même de la crémaillère à échelons, il y a une limite à l'abaissement du rayon des courbes. Les tronçons de crémaillère ont, en général, 3 mètres de longueur, l'espacement des échelons est d'environ 0 m. 100 et la largeur de la crémaillère de 0 m. 120.

Supposons un tronçon de crémaillère de 3 mètres de long, dans une courbe de 100 mètres de rayon, et considérons les deux échelons extrêmes : ils feraient entre eux un angle de $\alpha = 1^{\circ}42'8''$.

Par suite, sur le montant extérieur, l'extrémité du dernier échelon devra avancer sur la division normale d'une quantité $\frac{l \operatorname{tg} \alpha}{2}$, l étant la largeur de la crémaillère ici $= \frac{0,120 \times 0,03}{2} = \frac{0^m,0036}{2}$, quantité déjà sensible. Il faut donc prendre des précautions spéciales dans la construction de la crémail-

lère et tenir compte à l'atelier de cette question de convergence des échelons.

On voit donc qu'au point de vue de la constitution de la crémaillère il est malaisé d'adopter des rayons très faibles.

Au point de vue du parallélisme des dents de la roue motrice et de la crémaillère, on peut aller plus loin.

Soient, en effet, AB et A'B' les deux montants de la crémaillère, CD et EF deux échelons consécutifs, convergeant au centre O de la courbe. Soit GH la ligne moyenne de la crémaillère. On a :

$$\frac{GH}{DF} = \frac{OH}{OH - HF}.$$

Posant $GH = p$, pas de l'engrenage, $HF = e$, demi-largeur de la crémaillère, $OH = R$, rayon de la courbe, on a :

$$DF = \frac{GH (OH - HF)}{OH} = \frac{p (R - e)}{R}$$

et $GH - DF = x = p - p \frac{(R - e)}{R} = \frac{pe}{R}.$

Si $p = 0,1$, $e = 0,06$ et si l'on s'impose la condition que $GH - DF = 0,0001 = x$,

il vient $R = \frac{pe}{x} = \frac{0,1 \times 0,06}{0,0001} = 60 \text{ mètres}.$

Il est clair qu'une différence de 0 m. 0001 entre la file moyenne et chacune des files extérieures ne peut avoir pratiquement d'inconvénients sérieux.

Mais ceci n'empêche pas l'inconvénient que nous avons signalé et qui s'oppose à ce que l'on descende notablement au-dessous de 100 mètres de rayon en composant la crémaillère de tronçons de 3 mètres de longueur, à moins d'avoir recours à des artifices spéciaux, comme au Saint-

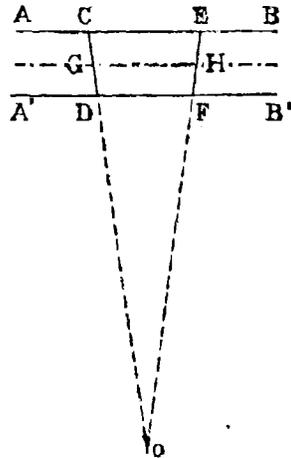


Fig. 1.

Gall-Gais où l'on a admis en crémaillère des rayons de 30 mètres (1).

L'inconvénient des courbes de faible rayon paraît moins sensible avec les crémaillères constituées par des lames dentées, comme la crémaillère du type Abt ou du type Strub. Pour les lignes exploitées à faible vitesse, comme celles du Gornergrat et de Brunnen-Morschach, on est descendu sans inconvénient sensible au rayon de 80 mètres avec voie de 1 mètre.

Cependant, lorsqu'il s'agit de vitesses plus fortes, même avec la crémaillère et la machine Abt, l'exploitation de la ligne Viège-Zermatt montre qu'il ne serait pas à conseiller de descendre au-dessous des rayons de 100 mètres, même pour une voie de 1 mètre de largeur, tant au point de vue du passage des machines dans les courbes qu'au point de vue de l'usure de la crémaillère. Dans les courbes de faible rayon, les dents de la crémaillère subissent des usures anormales : les arêtes des dents sont attaquées.

L'exploitation de la ligne de Langres indique aussi que les faibles courbes ont pour effet d'user très rapidement les bandages des roues des machines.

Aussi, convient-il d'être très prudent dans la fixation du rayon minimum des courbes et de tenir compte de la vitesse de marche adoptée. Lorsqu'il s'agit des crémaillères du type Abt ou Strub et pour des vitesses de 6 à 8 kilomètres à l'heure et en voie de 1 mètre, on peut descendre à 80 mètres de rayon ; mais, dès que la vitesse de marche atteint 12 à 15 kilomètres, il est prudent de ne pas descendre en crémaillère au-dessous de 100 mètres.

10. Limites des pentes à partir desquelles la crémaillère est applicable. — Au point de vue des pentes, il y a deux limites à considérer :

1° A partir de quelle inclinaison y a-t-il lieu de recourir à la crémaillère ?

(1) *Monographie des chemins de fer de Saint-Gall-Gais* par Martin et Clarard, ingénieurs des Ponts et chaussées, Paris, Baudry, 1891.

2^o Jusqu'à quelle pente peut-on aller avec confiance sans crainte d'accidents ?

A. — *Cas de la traction à vapeur.*

Sur les lignes exploitées à l'aide de locomotives à vapeur, on considère généralement qu'il y a lieu d'adopter la crémaillère dès que l'inclinaison atteint 40 à 50 millimètres. Au chemin mixte de Friedrichsseggen à la Lahn, on a adopté la crémaillère dès que la pente dépasse 50 millimètres ; à Langres, les rampes de 30 millimètres sont encore franchies par simple adhérence ; au Hœllenthal, la crémaillère est appliquée sur les rampes de 55 millimètres ; sur la ligne de Lehesten à Oertelsbruch et Ilmenau-Schleusingen, on a appliqué la crémaillère dès que la pente dépasse seulement 25 millimètres ; sur la ligne de Viège-Zermatt, au contraire, les pentes de 25 millimètres sont exploitées sans crémaillère.

Il semble que l'emploi de la crémaillère ne commence à se justifier que pour les rampes supérieures à 40 millimètres ; au-dessous, l'adhérence est suffisante, surtout pour un faible trafic. Nous avons vu que, sur une rampe de 50 millimètres, une machine à adhérence ne peut guère remorquer qu'une charge égale à son propre poids. Au contraire, à la vitesse de 7 kilomètres à l'heure, les machines à crémaillère peuvent, sur une semblable déclivité, remorquer une charge d'environ 3 fois leur poids.

Ainsi, 40 à 50 millimètres, voilà la limite inférieure des pentes sur lesquelles il y a lieu d'adopter la crémaillère lorsqu'il s'agit de lignes exploitées par des locomotives à vapeur.

B. — *Cas de la traction électrique.*

Lorsqu'il s'agit de lignes à traction électrique, on peut aborder des pentes plus raides par simple adhérence, et nous avons indiqué plus haut qu'avec des voitures automotrices électriques on franchit couramment aujourd'hui, par simple

adhérence, des déclivités de 90 millimètres, et, exceptionnellement, des déclivités de 100, 110 et même 120 millimètres.

A notre avis, il n'est pas à recommander d'aller aussi loin, et le souci de la sécurité semble conseiller de rester un peu au dessous de la déclivités de 100 millimètres lorsqu'il s'agit de simple adhérence.

Au-delà, un emballement a la descente, si improbable qu'il paraisse, est cependant possible dans des circonstances exceptionnelles ; il convient de ne pas s'y exposer, surtout s'il s'agit de déclivités un peu longues.

Nous avons vu en effet que, dans des circonstances exceptionnelles, le coefficient d'adhérence peut s'abaisser à $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{11}$ et même $\frac{1}{12}$. Lorsque ces circonstances se présentent, non seulement les voitures montantes sont exposées à des détresses, mais encore les voitures descendantes sont exposées à des emballements, si elles ne sont pas munies de freins à mâchoires énergiques, ou d'autres dispositifs de ce genre.

On est allé avec la crémaillère Riggerbach jusqu'à des pentes de 250 millimètres, mais pas au-delà. Du reste, sur une semblable déclivité, la machine ne remorque plus qu'une charge égale à environ la moitié de son poids.

Ces pentes de 250 millimètres existent au Vitznau-Rigi et au Salzbourg-Gaisberg.

Au Köningswinter Petersberg, il y a exceptionnellement une pente de 260 millimètres, et au Mount Washington une pente de 350 millimètres.

Cependant on est allé beaucoup plus loin, et au mont Pilate on a adopté des pentes de 480 millimètres. Mais, sur de pareilles déclivités, la crémaillère ordinaire ne peut plus convenir : une roue dentée verticale n'engrenerait plus suffisamment avec les échelons horizontaux de la crémaillère. Malgré les bons résultats donnés par la crémaillère Locher, le cas du Pilate est resté isolé, et l'on peut dire que la pente de 480 millimètres est beaucoup trop forte pour une ligne à crémaillère, et que les déclivités aussi raides ressortent de la traction funiculaire. La pratique n'a pas sanctionné l'emploi

de déclivités plus raides que 250 millimètres pour les lignes à crémaillère.

11. Nécessité d'une disposition différente de la crémaillère sur les très fortes déclivités (1). — Les expériences faites en petit sur une pente de 480 millimètres ont montré, en effet, que la roue dentée verticale n'offre plus de sécurité dans ces conditions. Car, à la moindre inexactitude dans la division, les dents de la roue montent sur celles de la crémaillère.

C'est alors que M. le colonel Locher imagina un système de crémaillères à dents horizontales, que nous décrirons plus tard, mais que nous signalons ici pour indiquer la plus grande sécurité offerte par ce système sur des pentes exceptionnelles.

Ainsi donc, en résumé, la crémaillère à dents verticales doit s'employer pour les pentes comprises entre 40 millimètres et 250 millimètres, ou exceptionnellement 300 millimètres.

Pour les pentes plus fortes, il y a lieu de recourir à la crémaillère à dents horizontales, ainsi que cela a été fait au mont Pilate par le colonel Locher ; (au Vésuve on a employé aussi une crémaillère à dents horizontales, mais combinée avec l'emploi d'un funiculaire).

Du reste, la crémaillère coûte, en moyenne, avec les consolidations de voie qu'elle exige, environ 30 à 40.000 francs par kilomètre. Il y a donc un intérêt sérieux, surtout pour une entreprise modeste, à ne l'adopter qu'à partir du moment où elle devient réellement utile et efficace.

Cela est surtout intéressant pour les chemins de fer dits « mixtes », c'est-à-dire ceux où la crémaillère n'existe que dans les fortes pentes, et où la traction se fait par adhérence simple dans les parties moins accidentées. C'est pourquoi nous avons insisté sur la limite inférieure à partir de laquelle il y a intérêt à adopter la crémaillère.

Au-dessous, comme nous avons dit déjà plusieurs fois, on ne gagnerait rien : l'adhérence permettant, jusqu'à 30 et 40 mil-

(1) *Revue technique de l'Exposition de 1889*, par Ch. Vigreux, p. 158.

limètres, de remorquer des charges suffisantes à la vitesse de 12 à 15 kilomètres à l'heure.

Ces considérations générales peuvent se résumer ainsi :

Les chemins à crémaillère, comportant de très fortes pentes, peuvent être plus directs que les chemins de fer ordinaires et suivre de plus près les mouvements du sol.

Ils admettent en effet des courbes *raides*, dont le rayon, pour un chemin à voie de 1 mètre, peut s'abaisser jusqu'à 100 mètres, et même à 80 pour les lignes où la vitesse de marche ne dépasse pas 6 à 8 kilomètres à l'heure. Au chemin de Saint-Gall-Gais on a admis pour la voie de 1 mètre quelques courbes de 30 mètres de rayon ; mais cet abaissement anormal du rayon des courbes, a conduit à adopter jusqu'à 11 types différents de tronçons de crémaillère, en tenant compte des courbes à droite et des courbes à gauche de 30, 50, 60, 80 et 100 mètres de rayon, et des courbes d'un rayon supérieur à 100 mètres. Il est résulté de là une complication anormale pour la construction et l'entretien.

12. Chemins mixtes à crémaillère et adhérence. —

Il résulte de tout ce que nous avons dit que c'est par la réduction de la longueur à construire, et la moindre importance des terrassements et des ouvrages d'art, que les chemins à crémaillère coûtent moins cher de frais de premier établissement que les voies ferrées ordinaires. Car, s'il y a des cas où l'emploi d'une voie à crémaillère s'impose d'elle-même, il y en a beaucoup où il y a lieu de comparer cette solution à celle d'une voie ordinaire.

C'est surtout pour les chemins mixtes que ce dernier cas se présente, c'est-à-dire les chemins sur lesquels la crémaillère ne règne pas sur toute la longueur de la ligne, mais seulement de place en place. Ces chemins admettant des pentes bien différentes, certaines peuvent être franchies par simple adhérence ; par suite, sur ces pentes la voie n'est pas munie de crémaillère, et la machine passe successivement d'une partie à adhérence à une section à crémaillère, et inversement.

Nous allons maintenant éclaircir ces questions par des

exemples et donner la description du tracé des principaux chemins de fer à crémaillère actuellement exploités.

Nous diviserons cette description en deux parties, la première comprenant les chemins entièrement à crémaillère et la seconde les chemins mixtes.

§ 3

DESCRIPTION DU TRACÉ DES LIGNES A CRÉMAILLÈRE

1^o Chemins entièrement à crémaillère

13. Lignes du Rigi. — *Chemin de fer de Vitznau-Rigi.*

— Cette ligne est la première ligne à crémaillère ayant servi en Europe au transport des voyageurs.

Au commencement de 1869, MM. Riggenbach, Naeff, de Saint-Gall, et Zschokke, d'Aarau, obtinrent du gouvernement du canton de Lucerne, la concession de la construction d'une voie à crémaillère, de Vitznau à la frontière du canton de Schwyz sur le Rigi, en passant par Kaltbad (voir la carte fig. 2). La même année, fut constituée une société au capital de 1.250.000 fr., et en novembre les travaux commencèrent, sous la direction de M. Naeff ; ils furent terminés à l'automne de 1870, sauf une courte section, dont les rails fournis par les forges de MM. Dreyfus-Dupont, d'Ars-la-Tour, subirent un retard dans la livraison à cause de la guerre de 1870-71.

La longueur totale de la ligne, entre Vitznau et Staffelhöhe, est de 5.320 mètres, mais en 1872 la ligne fut prolongée jusqu'au Kulm, à 1.750 mètres d'altitude, et achevée en juillet 1873, de sorte qu'aujourd'hui la ligne a une longueur totale de 6.981 mètres.

Le point de départ est à Vitznau, sur les bords du lac de Lucerne, à la cote 439 ; la ligne est d'abord en palier, et à droite et à gauche se trouvent les ateliers et les remises ; puis, après une rampe de 66 mm., commence la grande

rampe de 230 mm., qui règne sur le tiers de la longueur environ. Peu après la Rothfluh vient un tunnel de 75 mètres, à la suite duquel on traverse immédiatement un pont métallique très léger, de 75 m. 50 de longueur, en rampe de

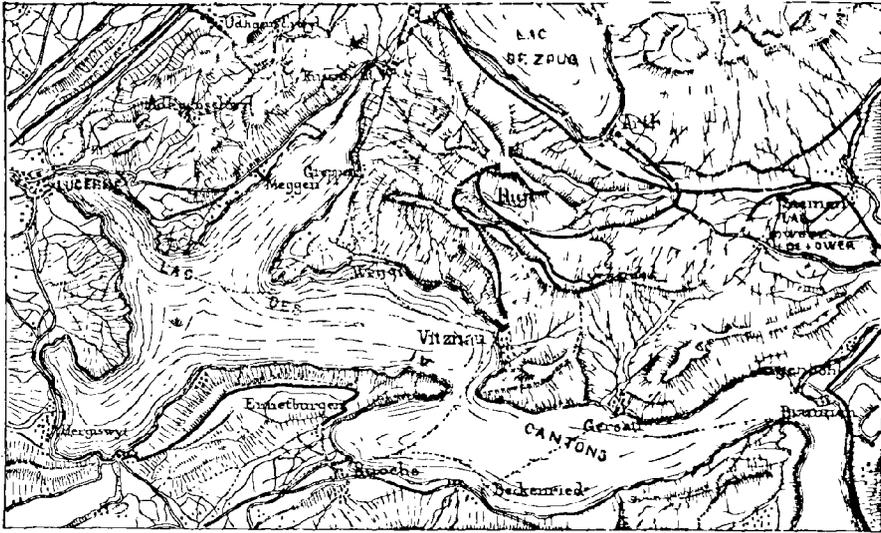


Fig. 2.
Le Mont Rigi et ses abords.

230 mm. et en courbe de 180 mètres. On arrive à la première halte, Freibergen, où se trouve une prise d'eau. De là jusqu'à Kaltbad la ligne est à double voie ; ici vient s'embrancher la ligne de la Scheideck dont nous parlerons plus loin.

A Kaltbad et à Freibergen il existe des ponts roulants servant au garage des trains. On continue à monter, et, après la station de Staffelhöhe, on arrive au Rigi Kulm. La hauteur franchie est de 1.329 mètres ; la pente moyenne est de 188 mm. ; le rayon minimum des courbes est de 180 m.

Il n'y a pas d'autres ouvrages d'art que le pont de Schnurtoibel et le tunnel, malgré les difficultés du tracé. Aussi cette ligne restera-t-elle toujours comme un modèle de choix de tracé, épousant les formes du terrain d'aussi près que possible.

La fig. 3 donne le profil en long de la ligne, et la fig. 4 une vue d'ensemble de la face sud de la montagne du Rigi.

Le Rigi est visité par tous les étrangers qui viennent à Lucerne, à cause de ses sites pittoresques ; de plus, on y a

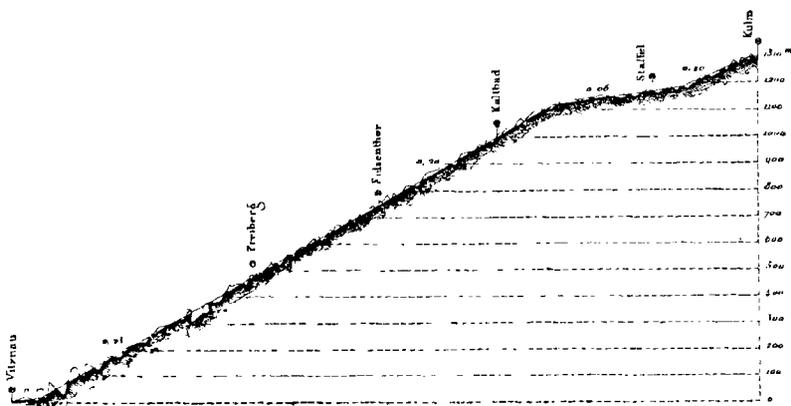


Fig. 3.

Profil en long du chemin de fer de Vitznau Rigi

établi des stations d'altitude très fréquentées ; aussi le mouvement des voyageurs est-il très considérable pendant la belle saison. On compte environ 120.000 voyageurs de mai à octobre, le nombre étant sensiblement le même à la montée qu'à la descente.

Le capital total engagé à la fin de 1904 était de 2.268.289 fr.

14. Chemin de fer d'Arth-Rigi. — Le succès de la ligne du Rigi tourna les esprits vers les entreprises analogues, et en février 1873 se constituait une société au capital de 25.000.000 de francs, dite « Société internationale des chemins de fer de montagne » dont le siège social était à Bâle.

MM. Riggerbach et Zschokke furent nommés les délégués du conseil d'administration. Cette société entreprit la construction d'une autre ligne à crémaillère, gravissant le Rigi par la face opposée à Vitznau, et réunissant par suite Vitznau par

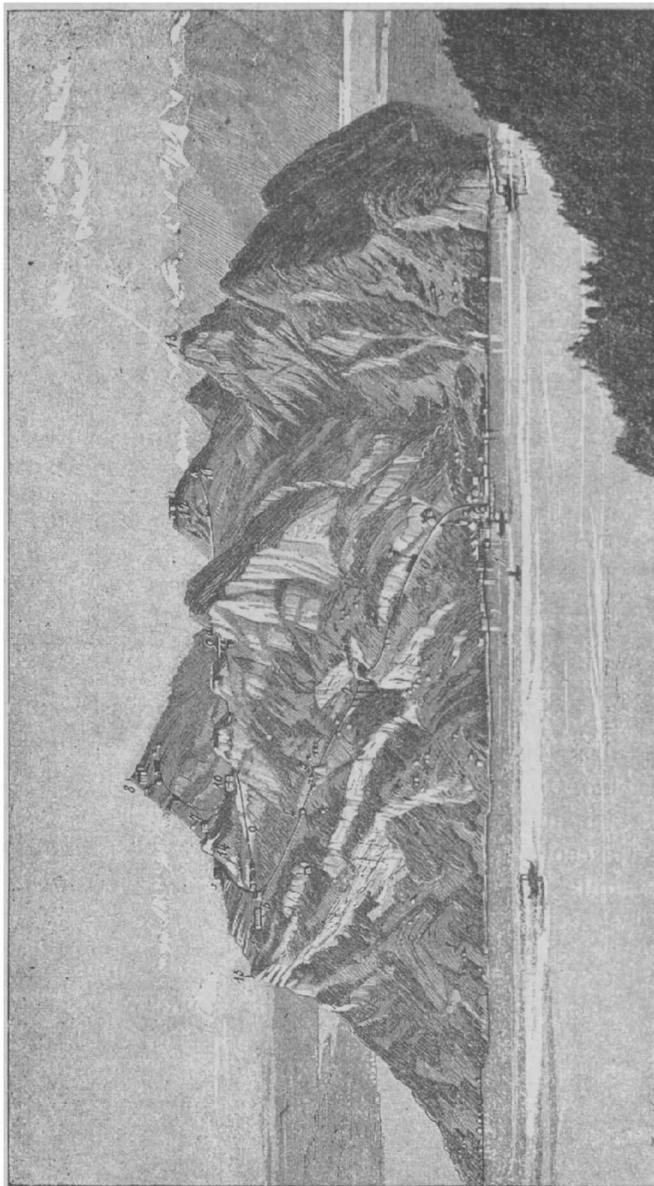


Fig. 4. — Vue du Mont Rigi.

le Kulm au lac de Zug ; son point d'arrivée est à Arth (voir la carte, fig. 2).

Cette ligne est d'abord une voie ordinaire allant d'Arth à Oberarth ; là commence une ligne continue à crémaillère, allant jusqu'au Kulm, et ayant une longueur de 8.970 mètres.

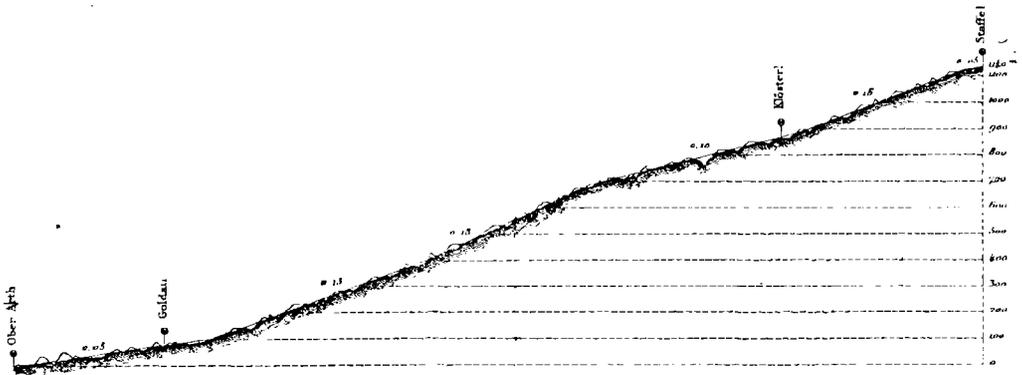


Fig. 5.

Profil en long du chemin de fer d'Arth-Rigi

Avant l'origine de la section à crémaillère se trouvent un premier pont sur l'Aabach, puis un tunnel de 37 mètres et successivement deux autres ponts sur l'Aabach. Vers la station de Goldau, on traverse le fameux éboulement du Rossberg. La pente, d'abord modérée, devient plus raide après la traversée de la route de Schwyz.

A la station de Kräbel se trouve une prise d'eau. Au delà, les abords de la ligne deviennent de plus en plus abrupts. La ligne est comme suspendue à un à pic de rochers, haut de 150 mètres.

Pendant la construction, cette partie de la ligne n'était accessible qu'à l'aide d'échelles de corde. Au-dessous de la voie est un véritable abîme. Au delà, la voie franchit un tunnel et un pont ; à Frutli se trouve un garage avec ponts roulants aux extrémités ; puis viennent deux ponts séparés par le tunnel du Pfederwald, et l'on atteint les stations de Klös-

terli, puis de Staffel. Au delà, les rails suivent parallèlement ceux du Vitznau-Rigi.

La pente maxima est de 212 millimètres, la pente moyenne de 131 millimètres.

Le rayon minimum des courbes est de 180 mètres, la largeur de la voie de 1 m. 433.

La ligne a été inaugurée le 3 juin 1875. Le capital engagé était à cette époque de 6.139.401 francs.

Les fig. 2 et 5 indiquent les plans et profils de la ligne.

Nous ne ferons que signaler en passant la troisième ligne du Rigi, celle du Rigi-Scheideck, qui est une ligne à adhérence ordinaire. Elle permet de parcourir la partie supérieure de la face du Rigi regardant le lac des Quatre-Cantons ; elle commence à Kaltbad, station du Vitznau-Rigi, et se termine à la côte 1602 devant l'hôtel de la Scheideck, après un parcours de 6.727 mètres. Les pentes maxima sont de 50 millimètres et les rayons minimum des courbes sont de 137 mètres.

Toutes ces lignes du Rigi suivent de près les reliefs du sol et comportent, celle de Vitznau un seul pont, celle d'Arth 7, et celle de la Scheideck 3.

Le pont de Schnurtobel, de la ligne de Vitznau, est un ouvrage métallique à trois travées discontinues de 23 m. 50 d'ouverture (voir fig. 43). Les piles sont également métalliques et reposent sur une fondation en pierre de taille.

La fig. 44 montre l'élévation du pont métallique de la Rothenfluhbach, de la ligne d'Arth.

La carte de la fig. 2 montre l'ensemble des lignes du Rigi et leurs abords.

Nous nous sommes un peu étendus sur la partie historique et sur la description du tracé de ces chemins, parce qu'ils sont le point de départ de toutes les lignes à crémaillère actuellement existantes.

Citons comme lignes analogues à celles du Rigi celles du Kahlenberg et du Schwabenberg.

15. Chemin du Schwabenberg. — En 1874 fut inauguré à Bude, près de Stadmaurhof, un chemin de fer analogue à ceux du Rigi. Il met en communication Bude avec le pla-

teau du Schwabenberg, très fréquenté l'été par les habitants de Bude.

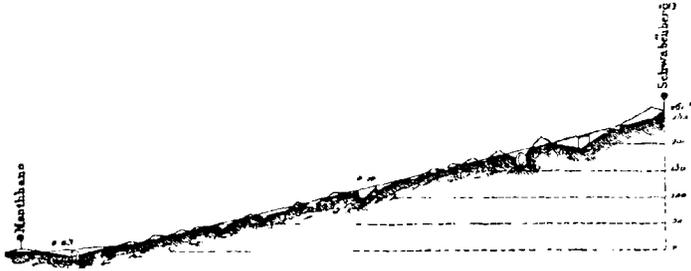


Fig. 6.
Profil en long du chemin du Schwabenberg

La longueur de la ligne est de 3 kilomètres, la hauteur franchie est de 260 mètres, la pente maxima atteint 102 mm. 5, la pente moyenne est de 96 millimètres, le rayon minimum des courbes est de 180 mètres.

La voie a une largeur de 1 m. 435.

La fig. 6 représente le profil en long.

16. Chemin du Kahlenberg. — Le chemin du Kahlenberg en Autriche, inauguré également en 1874, est tout à fait analogue au précédent.

Il part de Nussdorf, près Vienne, passe par Grinzig et Krapfenwald, pour arriver après un parcours de 5 kilomètres au sommet du Kahlenberg, ayant gravi une hauteur de 280 mètres (voir le profil en long fig. 7).

La ligne est à voie normale, et comporte deux voies d'un bout à l'autre. Le rayon minimum des courbes est de 180 m.

La pente maxima atteint 100 millimètres, la pente moyenne est de 56 millimètres.

La compagnie concessionnaire de ce chemin n'était pas munie du droit d'expropriation. Il en est résulté que les achats de terrain se sont élevés au chiffre effrayant de 1 million de francs, pour cette longueur de 5 kilomètres.

17. Ligne de Rorschach-Helden. — Ouverte en 1875, cette ligne a son point de départ à Rorschach, station de la ligne de l'Union Suisse, sur le lac de Constance, et aboutit,

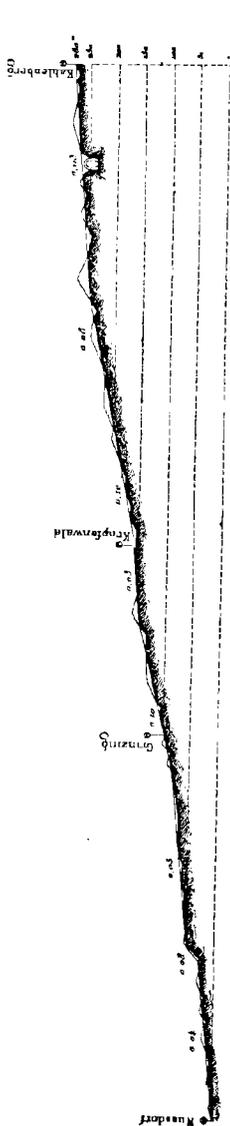


Fig. 7. — Profil en long du chemin du Kahlenberg.

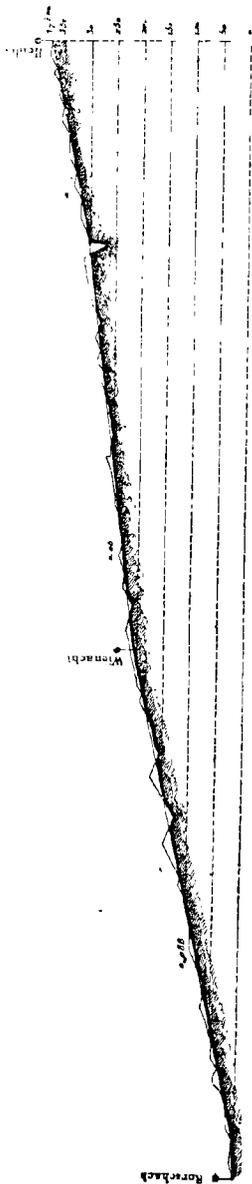


Fig. 8. — Profil en long du chemin de Rorschach-Heiden.

après un parcours de 5.500 mètres, au village de Heiden, station climatérique à l'altitude de 806, à 412 mètres au-dessus du lac de Constance. La pente moyenne est de 71 millimètres, la pente maxima de 90 millimètres ; les courbes ont au moins 180 mètres de rayon. La largeur de la voie est de 1 m. 435.

Cette ligne, à l'inverse des lignes du Rigi, est ouverte toute l'année à l'exploitation.

Le profil en long est indiqué fig. 8.

Citons encore la ligne d'Heidelberg, au sommet de la Königsthul, dans le grand duché de Bade.

18. Chemin de fer du Mont-Pilate. — Cette ligne est actuellement celle qui possède les plus fortes pentes, car les déclivités y atteignent 480 millimètres.

Son point de départ est Alpnach-Stadt, au bord du lac de Lucerne, à la cote 440. Ce point est desservi par la ligne du Brünig et les bateaux à vapeur du lac. Le point d'arrivée, au sommet du mont Pilate, entre les pics de l'Esel (2123 m.) et de l'Oberhaupt, est à la cote 2076, soit une différence de niveau de 1636 mètres. La longueur totale est de 4.500 mètres, soit une pente moyenne de 387 millimètres. Les fig. 9, montrent le plan et le profil en long. Le rayon minimum des courbes est de 80 mètres, la largeur de voie de 0 m. 80. A moitié chemin vers Aemsingen, on a ménagé un garage. La ligne suit d'aussi près que possible les formes du terrain. Le passage de l'éboulis du Risletern a donné lieu à des difficultés, il a fallu faire des travaux de consolidation, à l'aide de pilotis et de fascinaes. Les ouvrages d'art sont peu importants : on compte seulement un pont de 23 mètres d'ouverture, sur le Wolfortbach, et 7 tunnels dont le plus long a 97 mètres.

La cote maxima en remblai est de 6 mètres.

Les études et l'exécution des travaux ont présenté les plus grandes difficultés. On a dû construire la ligne par tronçons et se servir de la partie déjà construite pour approvisionner les chantiers d'avancement.

La crémaillère, dont nous avons déjà parlé, est à dents horizontales et de l'invention de M. le colonel Locher, auquel l'Académie des Sciences décerna le prix Poncelet.

19. Chemin de fer du Rothorn (1). — La ligne du Rothorn est un chemin de fer destiné à conduire les touristes partant de Brienz sur les bords du lac du même nom au sommet de la montagne du Rothorn.

La ligne, de 7 km. 600, a été ouverte durant l'été de 1892 ; la hauteur, gravie par des déclivités variant de 200 à 250 millimètres, est de 1.682 mètres ; le rayon minimum des courbes est de 60 mètres ; la largeur de voie est de 0 m. 80. Le développement total des courbes représente 41 0/0 de la longueur de la ligne. Ce tracé tourmenté a présenté de nombreuses difficultés pour l'établissement de la voie ; on ne compte pas moins de 23 ponts en fer, de 10 à 20 mètres de portée, et 6 tunnels avec ouvertures ménageant des vues sur le lac de Brienz.

La largeur de la plate-forme est de 4 m. 20.

Le système de crémaillère adopté est le système Abt à deux lames ; chaque lame a 1 m. 83 de longueur et le sommet des lames est au niveau du champignon des rails de roulement ; la voie est posée sur traverses métalliques de 1 m. 80 de longueur, espacées de 0 m. 90.

La ligne, commencée en juillet 1890 sous la direction de MM. Lindner et Bertschenger, a été terminée en juin 1892.

La dépense kilométrique s'est élevée au total de 274.000 fr.

20. Chemin de fer du Wengernalp. — Cette ligne, longue de 17 km. 900, s'étend de Lauterbrunnen à Grindelwald, en passant par le point haut de la Scheidegg, à l'altitude de 2.064 mètres ; elle complète en quelque sorte les chemins de l'Oberland Bernois reliant Interlaken à Grindelwald par Zweilütschinen et Burglauenen, avec embranchement de Zweilütschinen à Lauterbrunnen, comme l'indique la carte (fig. 10).

La ligne part de Grindelwald, à l'altitude de 107 mètres, descend légèrement sur Grund, puis remonte à 2.064 mètres, à la Scheidegg, pour redescendre à Lauterbrunnen à la cote 799 ; la déclivité maxima est de 250 millimètres.

(1) *Génie civil*, tome 23, 1893, page 380. — *Zeitschrift für Transportwesen und Strassenbahn*, tome 10, page 54.

La largeur de voie de 0 m. 80 a permis d'adopter comme courbes les plus raides des courbes de 60 mètres de rayon ; 34 0/0 de la ligne se trouvent en courbes de rayons variant de 60 mètres à 200 mètres.

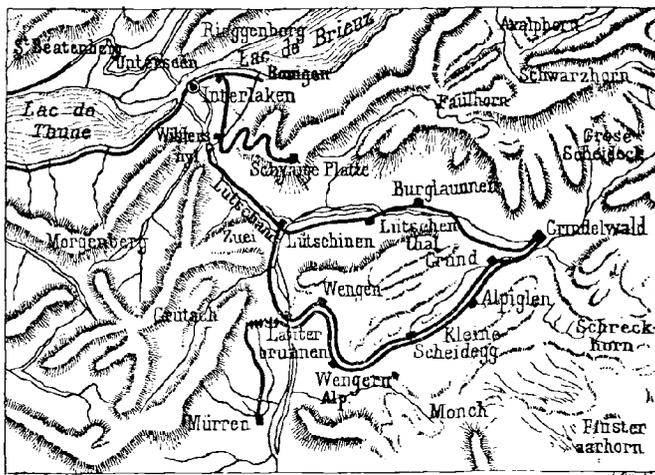


Fig. 10.

Carte des chemins de fer de l'Oberland Bernois

La voie repose sur des traverses métalliques de 1 m. 60 de long, pesant 26,8 kg. Les rails de roulement, du poids de 20,6 kg. le mètre, ont 100 millimètres de hauteur et 10 m. 494 de long ; l'espacement normal des traverses est de 1 mètre ; aux joints, qui sont en porte-à-faux, les traverses sont distantes de 0 m. 30. Les éclisses sont formées de fers d'angle, dont les ailes horizontales portent une échancre dans laquelle vient se placer une platine boulonnée sur chaque traverse de joint, de façon à résister à tout glissement longitudinal.

La crémaillère, du type Riggensbach modifié, est d'un modèle breveté dû à la fabrique de machines de Berne. Les frais d'établissement de cette ligne se sont élevés au total de 4.000.000 de francs, en chiffres ronds, pour une longueur de 17 km. 912, soit environ à 228.900 francs par kilomètre.

21. Chemin de fer de Snowdon (1). — La ligne de Snowdon a été entreprise en 1894 ; c'est une ligne de plaisance conduisant les voyageurs à la montagne de Snowdon (pays de Galles).

L'origine de la ligne est située auprès de Llanberis, terminus du chemin de fer de Londres et du Nord-Ouest, à l'altitude de 107 mètres ; la station supérieure, située à la cote 1084, est à 15 mètres au-dessous du sommet de la montagne ; la longueur totale de la ligne est de 7 km. 560 ; la déclivité maxima atteint 182 millimètres ; la voie a 0 m. 80 de largeur, le rayon minimum des courbes est de 80 mètres.

Le type adopté pour la crémaillère est le système Abt à deux lames ; le pas de la denture est de 120 millimètres ; la longueur d'une barre est de 1 m. 80 ; l'épaisseur des lames varie de 20 à 25 millimètres suivant la déclivité de la voie.

Les rails de roulement, longs de 9 mètres, pèsent 33 kilogrammes le mètre. Les traverses métalliques, longues de 1 m. 80, pèsent 38 kg. 5, elles sont placées à des distances variant de 0 m. 45 à 1 m. 35, et viennent buter contre des blocs de béton fondés dans la plate-forme.

La durée d'un voyage, arrêts intermédiaires compris, est de 1 h. 10 minutes. Grâce aux trois points de croisement existants, il est possible de faire par jour 15 trains emportant chacun 112 voyageurs, soit 1.680 personnes pour la journée.

Le prix pour la montée est de 4 fr. 40, de 3 fr. 10 pour la descente, et de 6 fr. 25 pour le voyage aller et retour.

Une circonstance fâcheuse a marqué les débuts de l'exploitation de la ligne de Snowdon.

Le jour de l'ouverture, la locomotive du premier train de voyageurs s'emballa complètement à la descente ; les roues dentées ayant quitté la crémaillère, elle dérailla et alla se briser dans un précipice bordant la ligne.

Fort heureusement, la voiture portant les voyageurs n'était pas attelée à la machine et le chef d'exploitation de la ligne, l'Ingénieur Oswell, ayant serré le frein, la voiture s'arrêta aisément. Les voyageurs en auraient été tous quittes pour la

(1) *Engineering*, avril 1896.

peur, si deux d'entre eux n'avaient eu la malencontreuse idée de sauter et n'eussent été victimes de leur imprudence.

La locomotive, dans sa chute, ayant brisé les poteaux de la ligne électrique, un second train suivant le premier ne put être arrêté en temps utile ; il vint se jeter sur les voitures arrêtées et brisa l'une d'elles, dont les voyageurs étaient sortis en temps opportun.

La gravité de cet accident a été évidemment augmentée par l'escarpement des flancs de la montagne à l'endroit où il s'est produit. La cause primordiale de l'accident, perte de contact de la roue dentée et de la crémaillère, a été attribuée à un affaissement de la voie, dû peut-être à la gelée.

22. Chemin de fer du Schneeberg (1). — Cette ligne relie la station de Wiener Neustadt, sur la ligne de Vienne

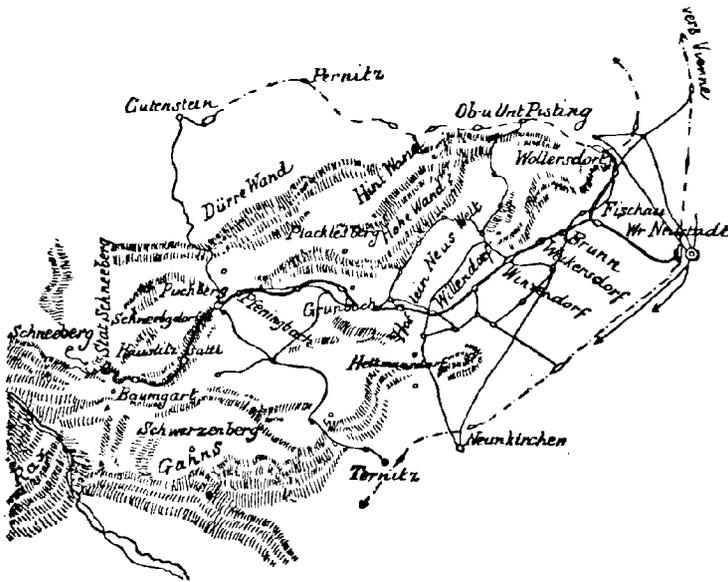


Fig. 11.
Carte du chemin de fer du Schneeberg

à Trieste, au sommet du Schneeberg (1.793 mètres). La longueur totale de la ligne est d'environ 37 km. 5 ; la première

(1) Brückmann, *Neuere Zahnradbahnen*. Berlin, 1898.

section de Wiener Neustadt à Püchberg, longue de 28 kilomètres, est une ligne ordinaire à voie normale et à simple adhérence, avec déclivités maxima de 40 millimètres ; la ligne à crémaillère, construite à voie de 1 mètre, part de Püchberg (576 mètres), s'élève à la station du Schneeberg, à l'altitude de 1.795 mètres, par une série de rampes de 75 à 200 millimètres, après avoir desservi trois stations intermédiaires ; le rayon minimum des courbes est de 80 mètres ; le plan et le profil de la ligne sont indiqués par les fig. 11 et 12.

Les rails de roulement, dont le poids est de 21 kg. 8 le mètre linéaire, reposent sur des traverses métalliques espacées de 0 m. 900 en voie courante et de 0 m. 450 au joint.

La crémaillère, du type Abt, est à une lame dans les pentes de 80 millimètres et au dessous ; dans les pentes plus raides, la crémaillère est à deux lames.

Ces lames, d'acier fondu, ont 1 m. 796 de longueur, 0 m. 110 de hauteur, 27 millimètres d'épaisseur ; le pas de la denture est de 120 millimètres.

La superstructure, avec les deux lames, pèse 139 kilogrammes le mètre.

Devant les difficultés d'établissement de prises d'eau aux stations intermédiaires, on a mis à profit très ingénieusement cette circonstance que la rampe maxima de 200 millimètres est à la partie supérieure du tracé, et l'on a mis sous chaque

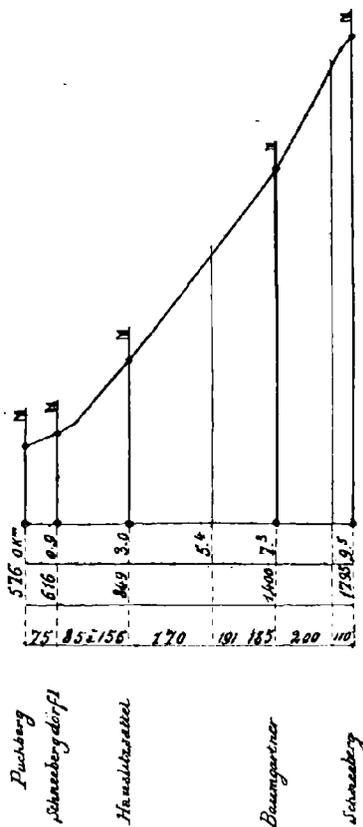


Fig. 12.

Profil du chemin du Schneeberg

voiture une caisse à eau, dont le contenu est envoyé à l'aide d'une pompe dans la soute de la locomotive, lorsque la provision de celle-ci menace de s'épuiser.

L'exploitation de la ligne à crémaillère du Schneeberg n'est pas régulière l'hiver ; en cette saison, on fait seulement un voyage lorsque le temps le permet et que 10 billets aller et retour ont été délivrés.

Pendant la belle saison, de mai à octobre, 3 trains journaliers ont lieu les jours ouvrables, 6 les dimanches et jours fériés.

La vitesse de marche est de 9 kilomètres à la montée, de 8 à la descente.

Le prix des places pour le trajet aller et retour de Wiener-Neustadt au Schneeberg est de 9 fr. 55 en 2^e classe et de 6 fr. 40 en 3^e.

23. Chemin de fer électrique du Mont Salève (1). —

Cette ligne, ouverte à l'exploitation en 1892, est le premier exemple de l'application de la traction électrique en crémaillère. Elle comporte une ligne reliant Etrambières, localité suisse voisine de Genève, au panorama des Treize Arbres, à l'altitude de 1.142 mètres, en desservant les villages de Mornex et Monnetier, renommés pour les cures d'air ; une autre section de la ligne part de Veyrier, près Annemasse, et aboutit également aux Treize Arbres, en se raccordant à Monnetier au premier tronçon décrit.

La largeur de voie est de 1 mètre, le rayon minimum des courbes est de 50 mètres ; les déclivités maxima sont de 250 millimètres. Etrambières étant à la cote 407, la hauteur rachatée entre ce point et les Treize-Arbres est de 735 mètres.

La crémaillère employée est la crémaillère Abt, à une lame dans les déclivités inférieures à 120 millimètres, à deux lames au-dessus.

Les rails de roulement sont du type Vignole, du poids de 13 kilogrammes le mètre, reposant sur des traverses métalli-

(1) Blondel et Dubois. Traction électrique. *Revue générale des chemins de fer*, juin 1896. — Féolde. *Génie civil*, 1893, t. XXII, pages 316, 330, 356.

ques de 25 kg. espacées de 0 m. 90. Le mouvement de chaque dynamo motrice est transmis à la roue à crémaillère à l'aide d'un arbre de transmission intermédiaire, et les paliers de l'arbre intermédiaire et ceux de l'essieu des roues à crémaillère sont portés par le bâti même du moteur, lequel repose lui-même directement par des coussinets sur l'un des essieux porteurs extrêmes et sur l'essieu porteur médian.

Le chemin de fer du Mont Salève a été établi par la Compagnie de l'Industrie électrique de Genève.

24. Chemin de fer de la Jungfrau (1). — Cette ligne a été décrite dans de nombreuses monographies ; aussi cherchons-nous surtout à faire connaître les particularités sur lesquelles l'attention du public n'a pas été portée et qui nous paraissent cependant les plus intéressantes.

Au fur et à mesure du développement des lignes à crémaillère, après l'exécution de la ligne du Rigi, puis du Mont-Pilate, l'idée d'atteindre le sommet de la Jungfrau (4.166 m.) prenait peu à peu plus de consistance.

En 1889, deux projets furent successivement présentés à quelques jours d'intervalle ; l'un émanait de M. Maurice Kœchlin, l'ingénieur bien connu par la part qu'il a prise à la construction de la tour Eiffel et du viaduc de la Tardes, près d'Evaux (Creuse) ; l'autre projet était de M. Trautweiler, l'un des Ingénieurs du Gothard et du chemin du Brünig.

Le projet de M. Kœchlin comportait, tout d'abord, une ligne à voie normale et faible déclivité, partant de Lauterbrunnen et arrivant jusqu'à Stechelberg par la vallée de la Lüt-schine Blanche, à l'altitude de 870 mètres. De ce point partait la ligne de montagne, longue de 6.307 mètres, comportant des déclivités de 55 à 59 0/0 ; la partie en tunnel avait une lon-

(1) *Die Interessantesten Alpen und Bergbahnen* von Karl Koppe. Berlin, 1896. — Sidler-Jungfraubahn *Zeitschrift für Electrotechnik*, tome 20, pages 589 à 593. — Siegfried Herzog. *Die Jungfraubahn-Zürich* A. Raustein, éditeur, 1904. — Godfernaux. *Revue des chemins de fer*. Janvier 1899. — *Génie Civil*, 48 et 25 juin, 1904.

gueur de 6.307 mètres et la station supérieure devait être établie à l'altitude de 4.043 mètres. Les dépenses de premier établissement étaient évaluées à 9 ou 10 millions.

Le projet de M. Trautweiler partait de Stegmatten, dans la vallée de Lauterbrunnen (865 m.), il comportait quatre tunnels et arrivait directement sous le sommet de la Jungfrau ; l'un des tunnels, long de 1.380 mètres, était en déclivité de 98 mm. La longueur totale de la ligne était de 6.500 mètres ; quatre stations intermédiaires étaient projetées ; de ces stations, des galeries étaient prévues vers les flancs de la montagne, pour permettre aux voyageurs de jouir des vues sur les glaciers. La section du tunnel était faible, de façon à réduire le cube des terrassements.

La traction prévue était la traction funiculaire, la force employée l'air comprimé : à cet effet des compresseurs d'air devaient être installés dans la vallée de la Lütschine, en utilisant les chutes d'eau de cette rivière torrentielle à fort débit.

Étant donnée la pente de presque 45° que présentait l'un des tunnels, des précautions tout à fait exceptionnelles devaient être prises pour parer au cas d'une rupture de câble.

A cet effet, la voiture devait former comme piston dans l'intérieur du tunnel qui faisait l'office d'un cylindre. La voiture pouvait ainsi descendre sur un matelas d'air, dont la pression était facile à régler, ce qui permettait de modérer exactement à volonté la vitesse du véhicule.

Des sortes d'ailes étaient prévues latéralement et se développaient automatiquement par la résistance de l'air ; elles pouvaient aussi s'ouvrir à la volonté du conducteur.

La dépense étant évaluée à 6.000.000 de francs, M. Trautweiler pensait pouvoir assurer la rémunération des capitaux engagés, en comptant sur un total de 8.000 voyageurs pendant la saison d'été et fixant le prix d'un voyage à 65 francs. La durée d'un trajet simple était évaluée à 2 heures. Pendant que les projets de M. Kœchlin et de M. Trautweiler étaient examinés et discutés, le constructeur du chemin du Mont Pilate, le colonel Locher présenta à son tour en 1890 un nouveau projet.

Le colonel Locher faisait remarquer qu'un voyage de deux

heures dans un tunnel serait fastidieux et qu'il importait d'en réduire la durée à 1/4 d'heure ou 1/2 heure.

Partant de cette idée, il proposait de construire deux tunnels parallèles, de 3 mètres de diamètre, dans lesquels les voitures glisseraient comme un piston dans un cylindre et seraient poussées par l'air comprimé, ou aspirées comme le sont les étuis contenant les dépêches dans les tubes pneumatiques de la Poste. Une pression de 1/10 d'atmosphère était suffisante pour obtenir une vitesse de 30 kilomètres à l'heure.

Le tracé du projet Locher avait une longueur de 6 kilomètres.

Les trois projets ci-dessus décrits présentaient l'inconvénient de se prêter mal ou pas du tout à la possibilité d'offrir commodément des vues sur les flancs de la montagne, grave défaut pour une semblable ligne ; en outre, le système de traction était d'une extrême complication ; enfin, étant donnée l'importance du capital de premier établissement, la réalisation des projets paraissait douteuse.

Les choses restèrent en l'état, lorsqu'au printemps de 1892 deux Ingénieurs des chemins de fer de l'Oberland Bernois, MM. Strub et Studer, projetèrent un chemin de fer de montagne partant de la station de la Petite Scheidegg (2.064 mètres) sur la ligne de Lauterbrunnen à Grindewald et aboutissant, non plus à la Jungfrau, mais au massif voisin de l'Eiger (3.970 mètres), dans le but de diminuer la longueur à construire et les frais de premier établissement.

La question en était là, lorsque Guyer-Zeller, président des chemins de fer du Nord-Est Suisse, présenta un projet combinant les solutions précédentes, car il aboutissait au sommet de la Jungfrau comme les projets de Kœchlin, Trautweiler et Locher, mais partait de la Petite Scheidegg en passant par l'Eiger, comme le projet de Strub et Studer.

Le projet de Guyer-Zeller rallia tous les suffrages, et le 21 décembre 1894 la concession fut donnée, pour la construction et l'exploitation d'un chemin de fer, de la Petite Scheidegg au sommet de la Jungfrau par l'Eiger et le Mönch.

La longueur du tracé, indiqué en plan par la fig. 13 et en perspective par la fig. 14, est d'environ 12 kilomètres ; la hauteur

à gravir est de 2.102 mètres ; la déclivité maxima est de 230 m/m. Nous allons décrire succinctement la ligne, en grande partie exécutée et exploitée aujourd'hui.

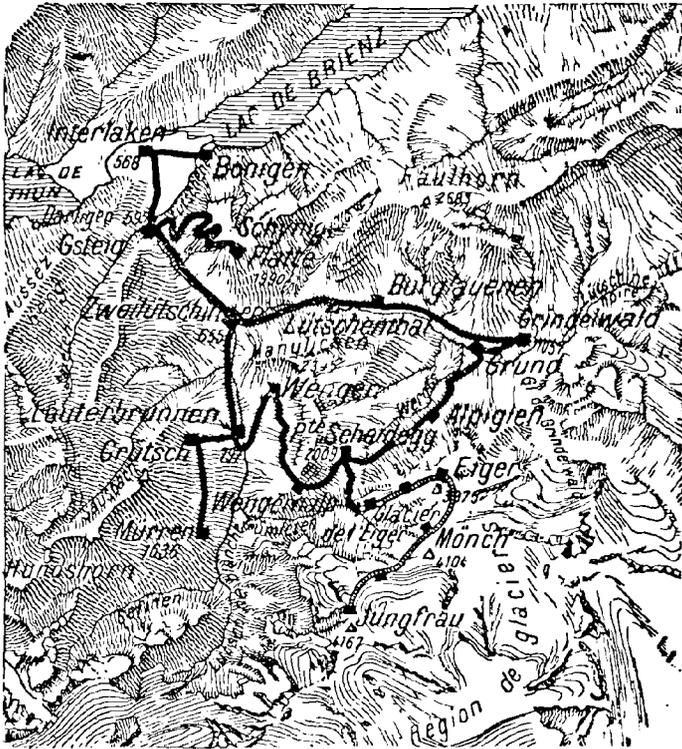


Fig. 13.
Carte du chemin de fer de la Jungfrau.

La première partie de la ligne, comprise entre la Petite Scheidegg et la station d'Eigergletscher, est à ciel ouvert, à part un tunnel de 87 mètres; cette station, située à la cote 2.323 mètres, est distante de 2.015 mètres de l'origine.

Au delà, la ligne entre dans un tunnel de 10 kilomètres de long, qui s'étend jusqu'à l'extrémité de la ligne.

La section de ce tunnel est de 16 mq. 9; sa largeur est de 3 m. 70, sa hauteur sous clé est de 4 m. 35.

A 2.880 mètres de l'origine se trouve la station de Rothstockwand, située à 2.530 mètres d'altitude; au-delà du kilo-

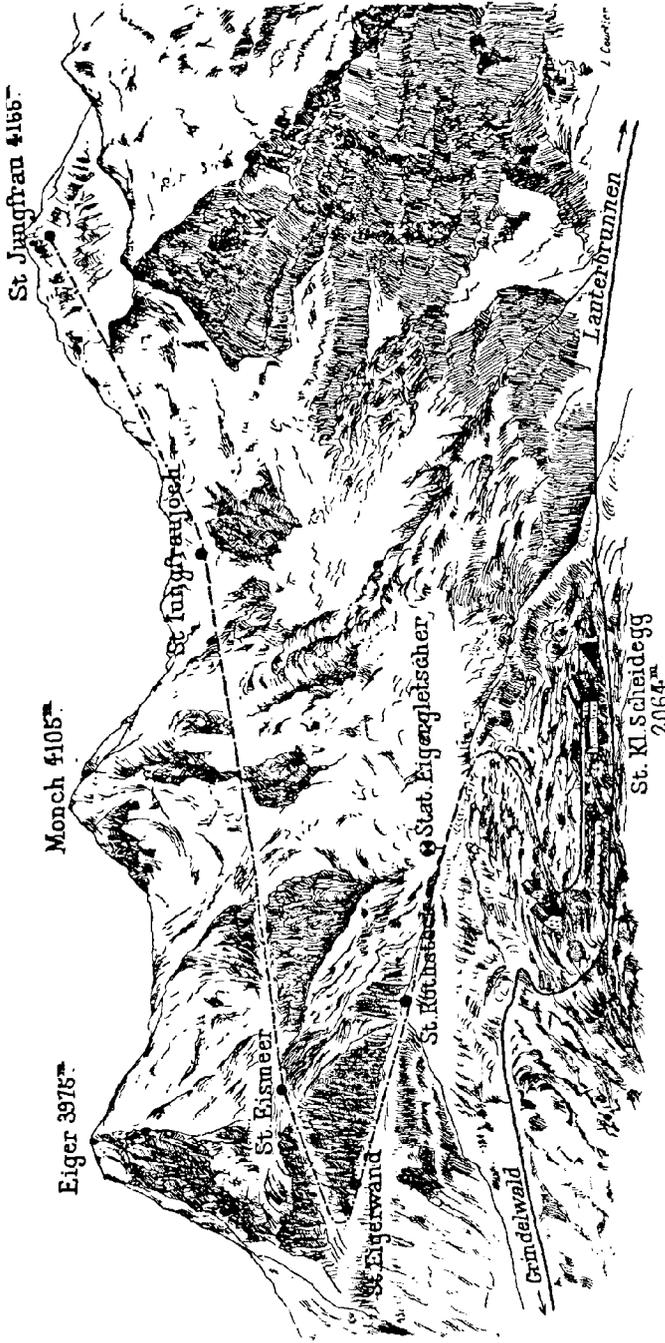


Fig. 44.
Vue d'ensemble du chemin de la Jungfrau.

mètre 4,400, à l'altitude de 2.867 mètres, est placée la station d'Eigerwand ; cette station, comme toutes celles situées au-delà, est complètement creusée dans le roc, en élargissement du souterrain de la ligne.

Au-delà d'Eigerwand, la ligne s'infléchit fortement, par une courbe de 550 mètres de rayon, en contournant le massif de l'Eiger pour se diriger vers le Monch.

Au point 5 km. 660, se trouve située la station d'Eismeer, à l'altitude de 3.156 mètres ; un balcon, ménagé à l'extrémité d'une galerie transversale, permet de jouir à cette station d'un coup d'œil merveilleux sur un ensemble de glaciers et de névés. Cette station est actuellement la dernière livrée à l'exploitation.

Le tracé, continuant en ligne droite, arrive à la station de Jungfrauoch, à l'altitude de 3.396 mètres, et à 9 km. 400 de l'origine, au col de la Jungfrau. De la station d'Eismeer à Jungfrauoch, la pente sera seulement de 6,6 0 0. A cette dernière station de Jungfrauoch seront pratiquées deux percées, l'une vers le Nord, l'autre vers le Sud, de façon à ménager des vues sur chaque versant de la montagne.

De Jungfrauoch à la station de Jungfrau, située à l'altitude de 4.093 mètres et à 12 km. 5 de l'origine, régnera une pente continue de 250 millimètres.

De la station de Jungfrau, un ascenseur élèvera les voyageurs au sommet de la montagne, à 72 mètres au-dessus de la station.

Les travaux de la ligne de la Jungfrau, commencés en 1896, furent retardés par la mort de Guyer-Zeller, décédé en 1899 ; néanmoins, la station de Rothstockwand fut livrée à l'exploitation le 2 août 1899 ; celle d'Eigerwand en 1903 ; celle d'Eismeer en 1905.

Le tableau ci-après (page 59) résume les principales conditions du tracé.

Sans entrer dans le détail des difficultés de la construction à de telles altitudes, nous dirons seulement que des bâtiments ont dû être édifiés près de la station d'Eigergletscher pour loger les employés et ouvriers de la Compagnie. Des précautions spéciales ont été prises dans la construction de ces

bâtiments pour éviter les déperditions de chaleur ; en outre, ils sont chauffés jour et nuit.

En plein hiver, les communications étant interrompues avec la vallée, le montant de la paye de chaque ouvrier est déposé à la banque populaire d'Interlaken.

STATIONS	Altitude	Distances de l'origine	Distances entre les stations	Déclivités maxima m/m
Petite Scheidegg	2.064	»	»	»
Eigergletscher	2.323	2.015	2.015	241
Rothstockwand	2.530	2.880	865	250
Eigerwand	2.867	4.400	1.520	250
Eismeer	3.161	5.660	1.260	250
Jungfrauoch	3.396	9.400	3.740	66
Jungfrau	4.093	12.500	3.100	250
Jungfrau (sommet)	4.166	12.500	»	»

La largeur de voie adoptée est de 1 mètre ; la longueur des rails de roulement est de 10 m. 50, correspondant à trois longueurs de barres de crémaillère de 3 m. 50 ; les rails de roulement pèsent 20 kg. 6 le mètre courant ; la crémaillère, du système Strub, pèse 34 kg. le mètre ; les traverses, en acier, ont 1 m. 80 de longueur et pèsent 37 kg. pièce. En voie courante, les traverses sont espacées de 1 mètre, et de 0 m. 50 aux joints de la crémaillère ou des rails de roulement. Le poids total de la superstructure est de 135 kilogrammes le mètre linéaire.

En 1902, alors que la ligne n'était ouverte que jusqu'au Rothstock, les recettes se sont élevées, pour une longueur exploitée de 2882 mètres, à la somme de 160.800 francs ; ce qui assurait au capital déjà engagé une rémunération de 4 0/0.

Le nombre des voyageurs, qui avait été de 25.506 en 1902, s'est élevé à 29.013 en 1903, lorsque la ligne a été exploitée jusqu'à l'Eigerwand.

En 1906, la ligne étant exploitée jusqu'à la station d'Eismeer, les recettes s'élevaient à 469.444 francs et le nombre des voyageurs atteignait 75.206 ; la longueur exploitée atteignant 5,7 km.

Dans ses prévisions, Guyer-Zeller comptait sur un total de 43.500 voyages aller et retour, se décomposant ainsi :

		Francs
20.000	aller et retour jusqu'à Eigergletscher à 3 fr.	60.000
2.500	— Eigerwand à 8 fr.	20.000
3.500	— Eismer à 14 fr.	49.000
7.500	— Jungfrauoch à 27 fr.	172.500
10.000	— Jungfrau à 35 fr.	350.000
	Recettes totales	<u>651.000</u>

Les débuts de l'entreprise sont évidemment encourageants au point de vue du développement du trafic, et font bien augurer de l'avenir de cette entreprise, la plus hardie qui ait encore été réalisée au point de vue de la construction des chemins de fer de montagne (1).

25. Tramway électrique de Barmen (2). — Ce tramway à crémaillère, ouvert à l'exploitation en 1894, met en communication la ville de Barmen, près Elberfeld, et son jardin public, avec la hauteur boisée de Töllethurm ; il présente la particularité d'être établi en partie dans une rue de la ville de Barmen.

Le point de départ est au centre de la ville, et le tracé suit la Luisen Strasse, à l'extrémité de laquelle se trouve le jardin public ; après avoir desservi deux haltes, la ligne, continuant à s'élever en rampe ininterrompue, arrive après un parcours de 1.630 mètres à la station terminus de Töllethurm ; la hauteur gravie est de 171 mètres ; la rampe maxima est de 200 millimètres ; les figures 15 et 16 montrent le plan et le profil de la ligne.

La largeur de la voie est de 1 mètre ; la partie en courbe

(1) Le Conseil d'Administration vient de décider la continuation des travaux de construction, d'Eismer jusqu'à la station de Jungfrauoch

(2) *Génie civil*. Numéro du 5 mars 1898. — *Chemin de fer de Barmen*, par Rudolph Zerner. — Blondel et Dubois, *Traction électrique*.

a un rayon de 150 mètres ; la ligne est à double voie ; l'entre-voie est de 2 m. 75.

Aux gares terminus, les voitures sont retournées sur une plaque tournante manœuvrée par un moteur électrique.

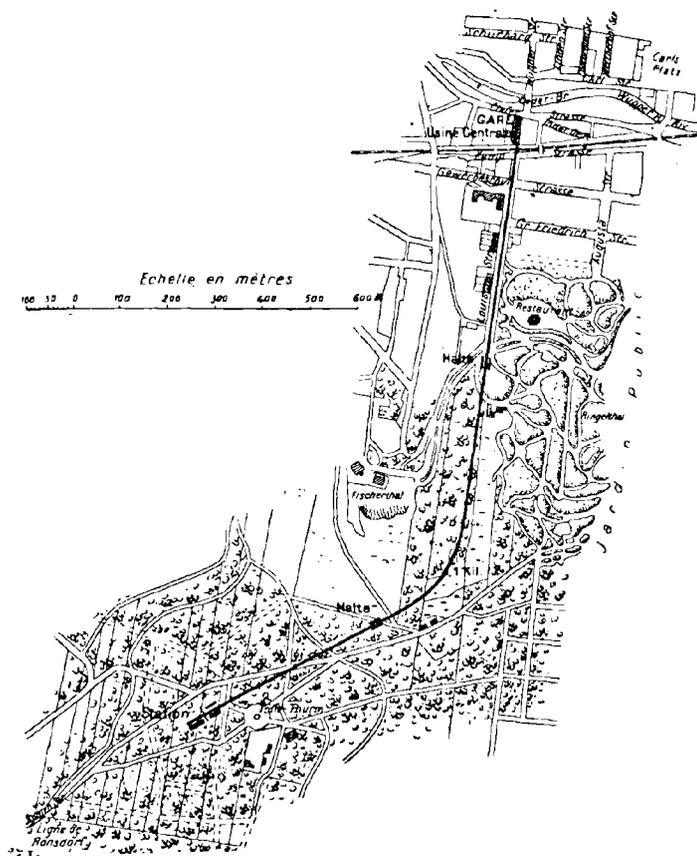


Fig. 15. — Plan du tramway de Barmen

Les rails de roulement, du type Phœnix dans la ville ; sont du type Vignole, pesant 20 kilogrammes le mètre et de 9 mètres de longueur, en dehors de l'agglomération.

Les rails sont posés sur des traverses métalliques distantes de 1 mètre.

La crémaillère est du type Riggenbach ; dans la rue, le niveau supérieur des montants est arrasé au niveau du pavage ; le vide existant entre les faces internes des montants verticaux est de 0 m. 090 ; le pas de la crémaillère est de 0,075, la longueur des tronçons est de 3 mètres.

Dans la ville, les montants de la crémaillère, au lieu d'être boulonnés directement sur les traverses, sont fixés sur des cornières qui sont boulonnées sur les traverses ; cette disposition permet d'employer le même type de crémaillère dans les rues et en rase campagne, malgré les 0 m. 04 de différence de hauteur existant entre le rail à ornière type

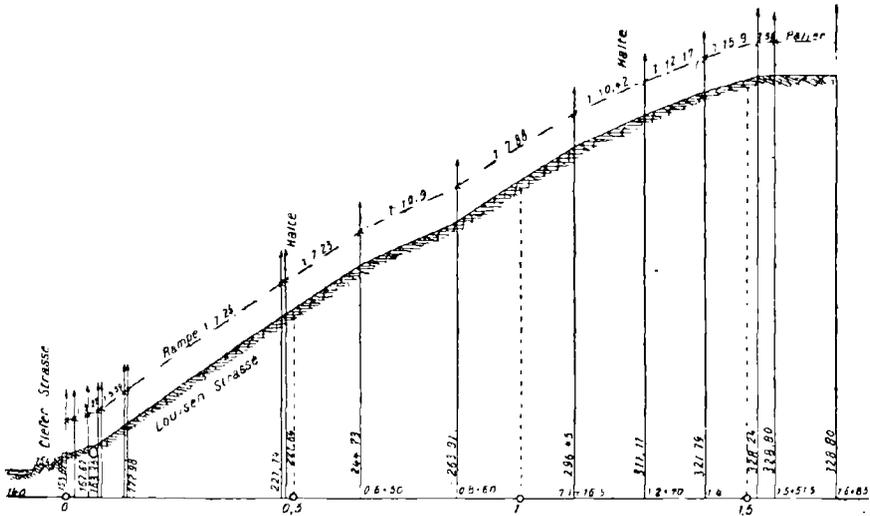


Fig. 16.

Profil en long du tramway de Barmen

Phœnix et le rail Vignole, ayant respectivement 0 m. 140 et 0 m. 100 de hauteur.

La tendance au glissement longitudinal de la voie est combattue par des patins fixés sous les rails, venant butter contre les traverses ; ces dernières sont à leur tour ancrées dans des massifs en maçonnerie tous les 30 ou 40 mètres.

Le nombre des voyageurs transportés dans une journée s'est élevé à 4.041, ayant exigé 113 voyages ; pendant l'an-

Le premier tronçon, long de 3 km. 3, part de Bex sur la ligne du Jura Simplon, à la cote 414, et s'étend jusqu'à Bévioux à la cote 487; là, commence la section à crémaillère, longue de 4 km. 9, qui se termine à Gryon, à l'altitude de 1.154 mètres; enfin, le dernier tronçon s'étend

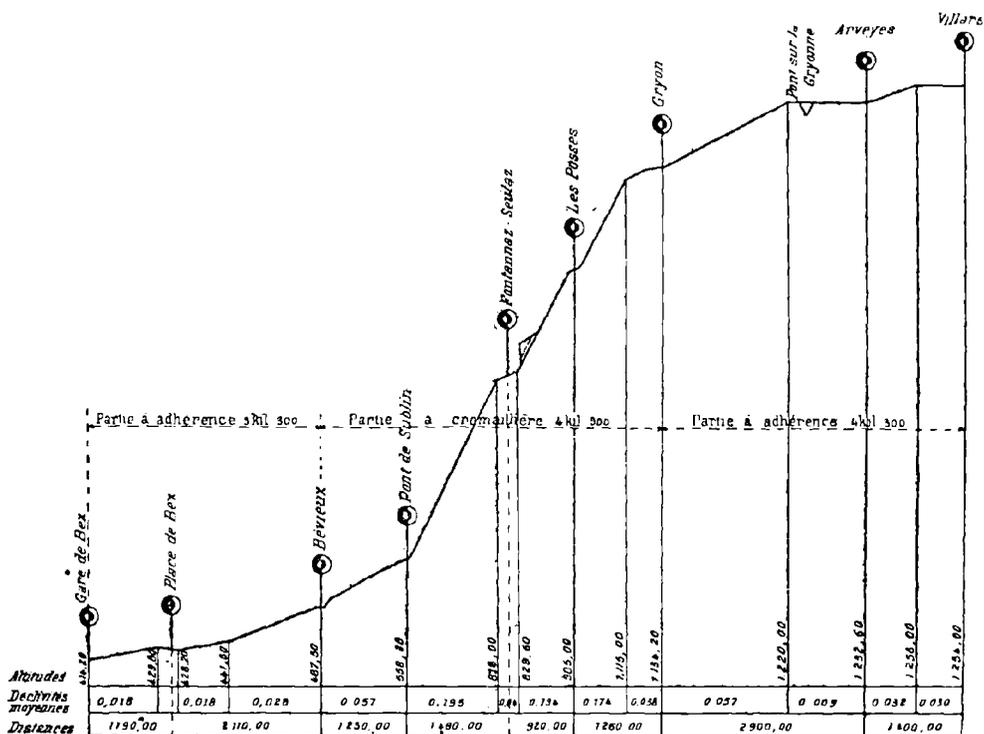


Fig. 48. — Profil en long du tramway de Bex-Gryon-Villars

de Gryon à Villars, à la cote 1.254; sa longueur est de 4 km. 3.

Le maximum des déclinivités est de 60 m/m dans les sections à adhérence, de 200 m/m en crémaillère. La largeur de voie est de 1 mètre, le rayon minimum des courbes de 30 mètres en adhérence, de 80 mètres en crémaillère; cependant les rayons descendent jusqu'à 60 mètres dans les voies de garage et les appareils de changement. La lar-

geur du terrassement en couronne est de 3 m. 60 en déblai ou en remblai.

Dans la section en crémaillère, les rails de roulement sont du type Vignole, du poids de 20 kg. le mètre ; ils ont 10 m. 80 de longueur et sont posés sur des traverses métalliques pesant 23 kg. 8, pièce ; il y a six barres de crémaillère de 1 m. 80, par travée de 10 m. 80, l'espacement des traverses est de 900 m/m.

La crémaillère employée est du type Abt à deux lames, sauf dans les déclivités inférieures à 90 m/m où la crémaillère n'a qu'une seule lame.

Les lames ont 125 m/m de hauteur et 25 m/m d'épaisseur ; la hauteur des dents est de 55 m/m, le pas de 120 m/m.

Les voitures ou les locomotives étant munies de deux roues dentées motrices, il y a toujours quatre dents en prise.

Les voitures automotrices devant circuler sur les sections à adhérence, la crémaillère est plus haute de 104 millimètres que les rails. Des pièces d'entrée du type habituel sont placées aux extrémités de la section à crémaillère.

Le courant employé pour la traction est un courant continu, à la tension de 600 volts, distribué par une ligne aérienne formée d'un fil de cuivre de 9 à 10 millimètres de diamètre, porté par des consoles métalliques fixées sur des poteaux en bois ; le retour du courant a lieu par les rails, avec éclissage électrique de ceux-ci ; la prise de courant sur la ligne aérienne se fait par trolley.

Ces locomotives, qui ont extérieurement un aspect semblable à celui d'une voiture à voyageurs, ont 5 mètres de longueur totale et un empattement de 2 m. 70.

27. Chemin de fer électrique de Gènes-Granavalo (1).

— Cette ligne, ouverte à l'exploitation dans les premiers jours de l'année 1901, met en relation l'agglomération de la ville de Gènes avec le faubourg de Granavalo. La longueur de la ligne est de 1.135 mètres, les déclivités maxima sont de 200 millimètres ; la hauteur gravie est de 195 m. 50, le rayon

(1) Mallet. *Mémoires de la Société des Ingénieurs civils*. Chronique, mars 1901, page 512.

minimum des courbes est de 80 mètres ; la largeur de la voie, mesurée entre les bords intérieurs des rails, est de 1 m. 20, chiffre un peu singulier ; nous ne connaissons pas les raisons qui ont fait adopter cette largeur de voie.

Au départ de Gênes, la ligne suit une voie publique, sur 138 mètres ; mais elle est séparée par une balustrade de la portion de 2 m. 80 de largeur réservée à la circulation.

Les rails, du type Vignole, pèsent 21 kg. le mètre ; ils sont arrasés au niveau du dessus de la crémaillère Riggenbach.

28. Chemin de fer électrique du Gornergrat (1). —

En 1898, fut ouvert à l'exploitation le chemin de fer du Gornergrat, à traction électrique, reliant la station de Zermatt, à l'altitude de 1.607 mètres, au sommet du Gornergrat à la cote 3.020 mètres. Avant l'ouverture à l'exploitation de la station d'Eisner de la ligne de la Jungfrau, la station du Gornergrat était le point de plus forte altitude atteint par une voie ferrée en Europe.

La station de Zermatt est le point terminus de la ligne de Viège-Zermatt, que nous avons décrite d'une façon détaillée ; c'est un centre d'excursion très fréquenté, car en 1905 la ligne de Viège-Zermatt n'a pas transporté moins de 41.292 voyageurs.

Le chemin de fer du Gornergrat, exécuté à voie de 1 mètre, a présenté de nombreuses difficultés au point de vue de l'établissement de la plate-forme, et le tracé assez sinueux est indiqué en plan par la fig. 19. Cependant le rayon minimum des courbes ne s'abaisse pas au-dessous de 80 mètres, la déclivité maxima de 200 millimètres est souvent atteinte.

De la station de Zermatt (1.607 mètres), la ligne traverse la Viège au moyen d'un pont de 24 mètres d'ouverture, après lequel le profil se tient pendant 1.291 mètres en rampe de 124 millimètres.

Au point 1 km. 738, se trouve le principal ouvrage d'art de la ligne, long de 120 mètres, traversant à 52 mètres au-dessus

(1) *Schweizerische Bauzeitung*. Volume XXXI, nos 16, 17, 18, 19, 20 et 21. — Brückmann. *Neuere Zahnradbahnen*. — *Génie civil*, tome 32, page 193. — *Revue générale des Chemins de fer*, juillet 1898.



Fig. 19. — Carte du chemin de fer du Cornergrat.

du thalweg le torrent de Findelenbach. C'est un viaduc à trois travées, dont les deux piles en maçonnerie ont environ 45 mètres de hauteur ; le tablier métallique, en rampe de 124 millimètres, repose sur deux poutres de rive équilibrées, du type Cantilever. Entre cet ouvrage et la station de Riffelalp, l'établissement de la voie a présenté de grandes difficultés, et 4 tunnels ont dû être percés sur ce parcours ; entre les stations de Riffelalp et Riffelberg, un autre tunnel a dû être encore exécuté. Le plan et le profil en long sont indiqués par les fig. 19 et 20.

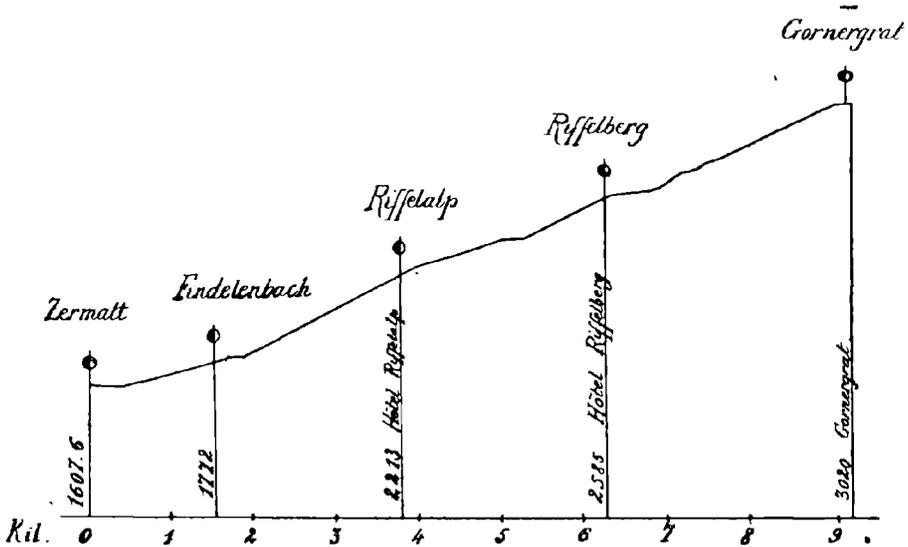


Fig. 20. — Profil en long du chemin de fer du Gornergrat.

La longueur totale de la ligne est de 9 km. 2 ; la hauteur gravie est de 1.411 mètres ; la pente moyenne est de 0 m. 156.

Les rails de roulement sont du type Vignole et pèsent 20 kg. 66 le mètre ; ils sont boulonnés sur des traverses métalliques pesant chacune 21 kilogrammes ; leur espacement en voie courante est de 0 m. 90 et de 0 m.45 au joint, qui est en porte-à-faux. Eu égard à la faible vitesse de 7 kilo-

mètres à l'heure, il n'a pas été prévu de dévers dans les courbes.

En prévision d'éboulements possibles, la voie est visitée avant chaque train, surtout avant le premier train du matin.

La crémaillère est du système Abt, à deux lames en acier Thomas, présentant une résistance à la rupture d'au moins 48 kilogrammes avec allongement de 20 0/0. Les lames ont 1 m. 80 de longueur et 110 millimètres de hauteur, elles sont fixées sur des coussinets en acier, assujettis par des boulons sur les traverses.

Le chemin du Gornergrat a transporté en 1905 un total de 38.121 personnes ; les recettes se sont élevées à 302.736 francs, les dépenses d'exploitation à 103.153 francs, correspondant à 7 fr. 80 par train-kilomètre ; le coefficient d'exploitation ressort à 65,93 0/0 ; la rémunération du capital a été de 5 0/0.

Le nombre journalier moyen des voyageurs pendant les mois d'exploitation a été d'environ 300 ; en août, il a atteint souvent le chiffre de 650 et s'est élevé à 916 le 18 août.

Le nombre journalier des trains de chaque sens est de 6 ; mais, dans la saison, il faut souvent dédoubler certains trains.

La ligne comporte des voies de croisement aux stations de Riffelalp et de Riffelberg ; mais il est devenu indispensable d'installer, en un point intermédiaire entre les stations de Zermatt et Riffelalp, une nouvelle voie de croisement pour les besoins du service ; les travaux sont en cours actuellement.

29. Chemin de fer du Vésuve (1). — Le chemin à crémaillère du Vésuve n'est qu'une section de la ligne conduisant de la station de Pugliano, faubourg de la ville de Resina reliée à Naples par un tramway, jusqu'à la station du funiculaire grimant le long du Vésuve.

La longueur de la section à crémaillère est de 1.641 mètres ; elle rachète une différence de niveau de 344 mètres ; la déclivité maxima est de 250 m/m.

La largeur de la voie est de 1 mètre.

(1) *Revue générale des chemins de fer*, octobre 1903, page 214.

Les rails de roulement, pesant 20 kilogrammes le mètre, ont 10 m. 50 de longueur, correspondant à trois longueurs de rail-crémaillère, système Strub ; les joints sont en porte-à-faux, avec éclisses cornières venant buter contre la tête des crampons et tirefonds, pour résister à tout mouvement longitudinal.

Les traverses de la voie sont en chêne, afin de pouvoir être remplacées plus facilement au cas où une coulée de lave viendrait traverser la ligne, cas assez fréquent.

La crémaillère, du système Strub, est identique à celle de la Jungfrau.

Le mode de traction adopté est la traction électrique ; le courant continu employé est produit à l'usine centrale, à la tension de 550 volts ; il est distribué par des conducteurs aériens, le retour se faisant par les rails de la voie.

La locomotive électrique pèse 10 t. 4, elle peut remorquer un train de 11 t. à la vitesse de 7 kilomètres à l'heure, en rampe de 250 millimètres ; elle a été construite par les ateliers de Winterthur ; l'équipement électrique est dû à la maison Brown Boveri.

30. Chemin de fer de Brunnen-Morschach. — Cette ligne part de Brunnen, auprès du débarcadère des bateaux à vapeur faisant le service du lac des Quatre Cantons, s'élève jusqu'au plateau de la montagne de Morschach et prend fin à la station d'Axenstein à l'altitude de 1.708 mètres, après avoir gravi une hauteur de 258 mètres.

La longueur du tracé est de 2.050 mètres, le rayon minimum des courbes est de 80 mètres, les déclivités maxima sont de 170 millimètres ; la largeur de la voie est de 1 mètre.

La crémaillère adoptée est du système Strub ; les tronçons du rail-crémaillère ont 3 m. 50 de longueur, les rails de roulement 10 mètres. De la station d'Axenstrasse, située auprès du grand hôtel (450 mètres), le tracé se dirige vers le sud, et traverse un tunnel de 292 mètres de long, puis se tient à flanc de coteau ; peu après, ce tracé arrive à la station de Morschach, desservant l'hôtel Axenfels (645 mètres), puis, décrivant une demi-circonférence, se dirige vers le Nord et, après avoir traversé la route des voitures sur un P. S., la ligne

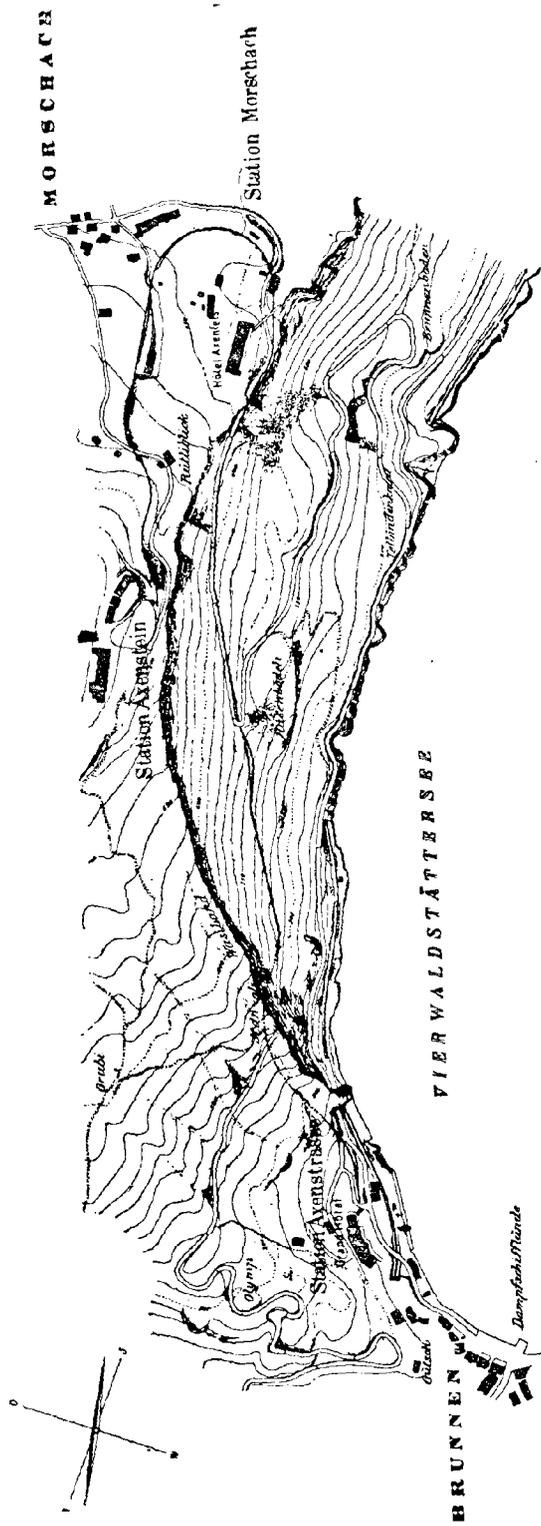


Fig. 21. — Plan du chemin de fer de Brunnen-Morschach.

arrive au terminus d'Axenstein (1.708 mètres). Le plan est donné par la fig. 21.

Le tracé de cette ligne a présenté de nombreuses difficultés ; peu après le point de départ, le tunnel a dû être implanté de façon à laisser intact le tunnel de la route de terre de l'Axenstrasse, surplombant en cet endroit le lac des Quatre Cantons, circonstance qui a nécessité la construction d'un grand mur de soutènement à arcades ; plus loin, l'obligation de ne pas traverser à niveau la route ordinaire reliant Morschach à l'Axenstrasse, a causé des sujétions assez gênantes.

Outre le tunnel et le mur à arcades, des travaux de maçonnerie d'une certaine importance ont dû être exécutés dans la partie à flanc de coteau, entre le tunnel et le mur à arcades, pour soutenir le talus du côté de la montagne. La ligne de Brunnen-Morschach a été ouverte à l'exploitation le 1^{er} août 1905. Les dépenses de premier établissement se sont élevées au total de 891.711 fr. 03 ; on en trouvera le détail aux annexes.

31. Tramway électrique du Mont Blanc (1). — Le projet d'un tramway permettant de faire l'ascension du massif du Mont Blanc a été déclaré d'utilité publique par un décret en date du 3 août 1904 ; ce projet est dû à M. Duportal, inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite.

Dès 1895, M. Issartier étudiait un projet entièrement souterrain, avec puits vertical de 2.000 mètres en hauteur ; en 1897, M. Souleyre, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, proposait un tracé partant de Saint-Gervais, passant par les Bosses du Dromadaire, le col de Vozat et l'Aiguille du Goûter, projet comportant des rampes aussi raides que celles du Mont Pilate, circonstance reconnue très défavorable.

En 1899, MM. H. et J. Vallot présentèrent un autre projet dont l'origine, de même que dans le projet Issartier, se trouvait près de la gare des Houches (Ligne du Fayet à Chamonix), à environ 1.000 mètres d'altitude ; après un parcours de

(1) Lieutenant-colonel Espitalier. *Génie civil*, 3 septembre 1904, page 289. — *Revue générale des chemins de fer*, septembre 1903.

2 kilomètres à ciel ouvert, la ligne entrerait définitivement en souterrain, desservait le Gros-Béchar, l'Aiguille du Goûter, les Bosses du Dromadaire et les Petits Rochers, à 450 mètres seulement, en plan, du sommet du Mont Blanc. La longueur du tracé projeté était de 11 km. 4, les déclivités maxima atteignaient 600 millimètres, chiffre très supérieur à la déclivité maxima de 480 millimètres du Mont Pilate, regardée déjà comme excessive.

M. Duportal est parti très justement de l'idée qu'il fallait, à tout prix, maintenir la ligne le plus longtemps possible à l'air libre, et ménager des vues aux voyageurs ; nous avons insisté sur l'importance capitale de cette considération à propos de la Jungfrau ; d'autre part, au point de vue des variations de température et surtout de pression, l'expérience a montré qu'il ne convenait pas de faire gravir aux voyageurs plus de 1.200 mètres verticalement dans une heure ; d'où cette conclusion qu'il n'y a pas intérêt à réduire outre mesure la longueur de la ligne ni à avoir recours à des rampes trop raides.

Le projet de M. Duportal, dont les fig. 22 et 23 montrent une vue perspective et le profil en long, part de la station du Fayet-Saint-Gervais, à l'altitude de 580 m. 50, et aboutit à l'Aiguille du Goûter à la cote 3.820 mètres, après un parcours de 18 km. 450 ; la section de l'Aiguille du Goûter au sommet du Mont Blanc n'est qu'à l'état de simple avant-projet ; les études n'en seront faites qu'après la réalisation de la ligne du Fayet à l'Aiguille du Goûter.

La ligne, après avoir traversé le torrent du Bonnant, est établie sur le chemin vicinal du Berchat, puis arrive à la station de Saint-Gervais. De là, on gagne par une rampe de 160 millimètres sur 6.250 mètres le col de Vozat (1.700 mètres), après avoir desservi le village de Mativon, point de vue connu sur la vallée du Bonnant.

A 1.500 mètres du col de Vozat, la ligne dessert le Pavillon de Bellevue (1.814 m. 50) ; au-delà, le tracé se développe en rampe de 200 millimètres sur le flanc sud du Mont Lachat ; après la station de ce nom (2.100 mètres), le tracé se dirige vers le Sud, puis vers l'Est, et, après une série de 6 lacets en

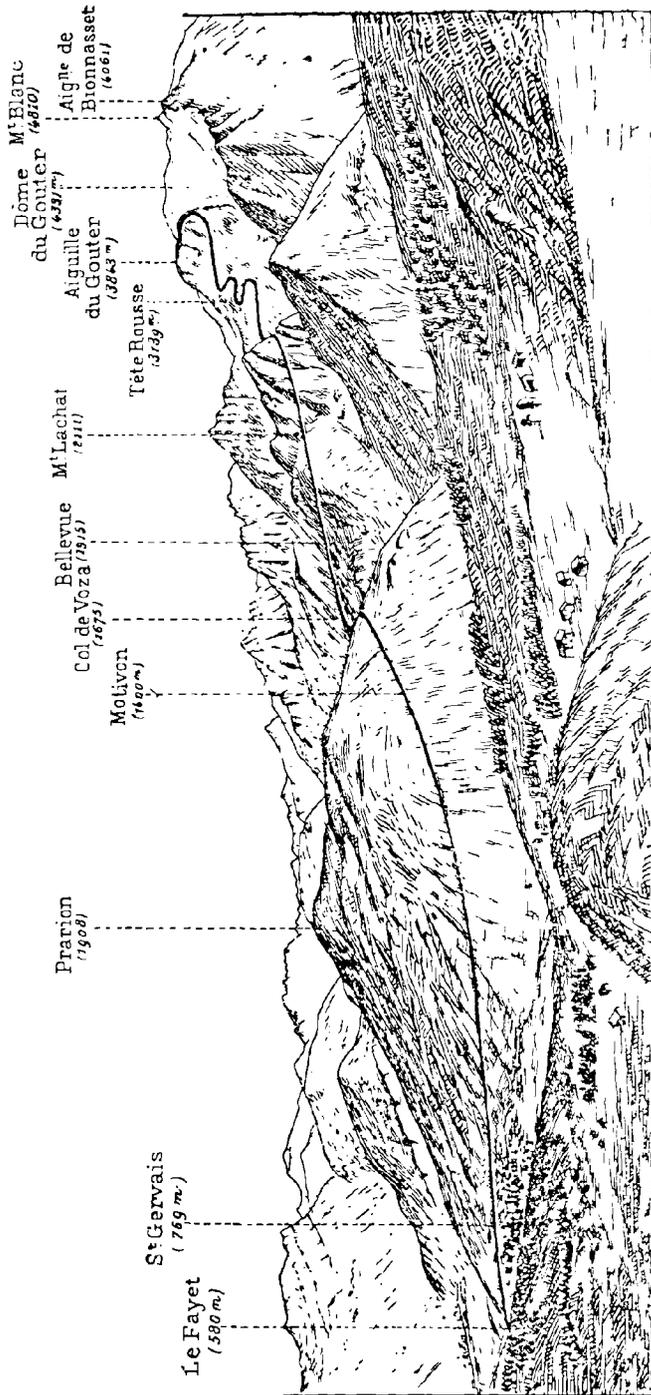


Fig. 22. — Vue d'ensemble du tramway du Mont Blanc.

rampe de 200 millimètres, arrive à la station des Rognes (2.645 mètres). La voie suit ensuite une crête rocheuse et, après avoir traversé plusieurs tunnels, arrive à la station de Tête Rousse, au point kilométrique 15 km. 620 et à l'altitude 3.165 mètres. Cette station, entourée de glaciers et située à une altitude considérable, sera évidemment très fréquentée et l'on remarquera, que, à part quelques tunnels de faible longueur, la ligne arrive à cette altitude à ciel ouvert, résultat extrêmement important, atteint actuellement seulement sur la ligne du Gornergrat, car à la Jungfrau la ligne entre en tunnel peu après la station d'Eigergletscher à l'altitude de 2.323 mètres. C'est une considération d'importance de tout premier ordre en faveur du projet Duportal.

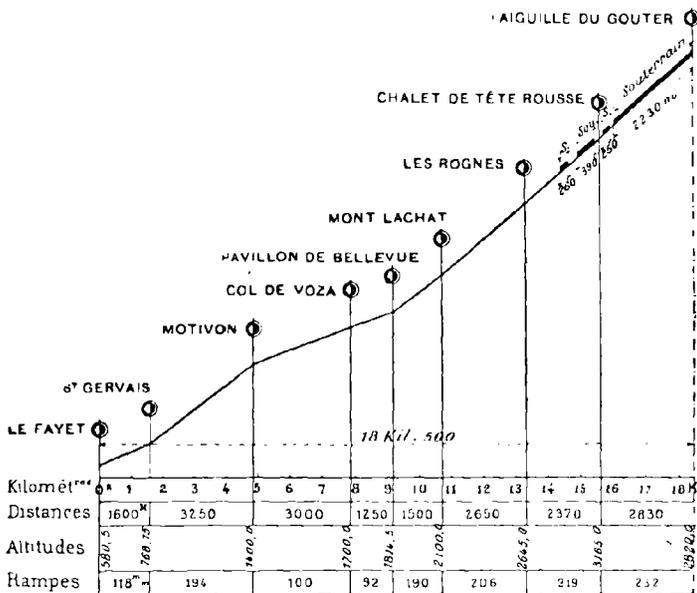


Fig. 23. — Profil en long du tramway du Mont Blanc.

Au-delà de Tête Rousse, la ligne entre définitivement en tunnel de 2.230 mètres de long, jusqu'au sommet de l'Aiguille du Gouter, à l'altitude de 3.820 mètres. Le tunnel, dont le tracé sera très sinueux, pourra ainsi s'approcher du flanc de

la montagne, ce qui permettra de pratiquer de nombreuses percées offrant des points de vue merveilleux sur les hauts sommets des Alpes.

On remarquera que le tracé se tient sur le versant méridional de la montagne, condition essentielle pour un tracé à ciel ouvert en haute montagne.

La voie, de 1 mètre de largeur, sera composée de rails de 10 m. 50 de longueur, pesant 20 kilogrammes le mètre et reposant sur 12 traverses métalliques.

L'espacement des traverses sera de 1 mètre, sauf aux joints des rails et de la crémaillère, où l'écartement sera réduit à 0 m. 50.

La crémaillère employée sera du type Strub, pesant 34 kg. le mètre ; les tronçons du rail-crémaillère auront 3 m. 50 de longueur.

Le poids total de la superstructure métallique sera de 145 kilogrammes le mètre.

Le rayon minimum des courbes s'abaisse jusqu'à 50 mètres ; la vitesse de marche prévue sera de 7 à 8 kilomètres à l'heure.

La voie de 1 mètre a été choisie pour permettre d'assurer une stabilité suffisante aux voitures ; celles-ci doivent en effet avoir, au point de vue du confort des voyageurs, une largeur d'au moins 2 m. 50 et une hauteur minima de 2 m. 90 ; en tenant compte de ce que la pression latérale du vent peut atteindre 90 kilogrammes par m. q., on est conduit, pour avoir une base assez large, à adopter la voie de 1 mètre.

Pendant la durée de l'exploitation, qui sera limitée à la période du 15 juin au 15 septembre, on prévoit la mise en marche de 10 trains dans chaque sens.

Chaque train, du poids de 30 tonnes, comprendra une locomotive de 14 tonnes et deux voitures d'une tare à vide de 4 tonnes, pouvant porter chacune 40 voyageurs ; des locomotives de 150 chevaux seraient suffisantes. L'énergie électrique, empruntée à la houille blanche, sera fournie sous forme de courant triphasé à 500 volts ; les dispositions prévues pour les installations électriques sont les mêmes qu'à la Jungfrau.

Les dépenses de la construction sont évaluées à 10 millions,

soit 340.000 francs par kilomètre ; on estime qu'avec toutes les dépenses un capital de 11 millions sera nécessaire.

33. Chemin de fer de Martigny-Chatelard. — Le 20 août 1906 a été livrée à l'exploitation la ligne à crémaillère allant de la station de Martigny, dans la vallée du Rhône, au Chatelard, à la frontière française ; c'est au Chatelard que la ligne du Fayet-Saint-Gervais à Chamonix, prolongée déjà jusqu'à Argentières, doit se souder à la ligne venant de Martigny, ce qui permettra de passer facilement de la haute vallée du Rhône dans la vallée de Chamonix.

La ligne de Martigny au Chatelard a été exécutée à voie de 1 mètre, sa longueur est de 19 km. 133, les déclivités maxima sont de 200 millimètres en crémaillère.

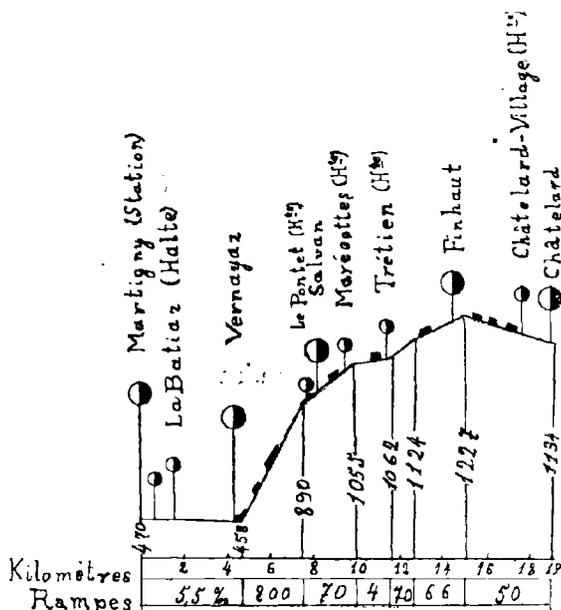


Fig. 24. — Profil du chemin de Martigny-Chatelard.

Entre Martigny et Vernayaz, la ligne reste en plaine et court, dans la vallée du Rhône, parallèlement au chemin de fer du Jura-Simplon ; au-delà de Vernayaz-Trient commence

l'unique section à crémaillère, longue de 2.500 mètres ; l'origine est à l'altitude de 476 m. 71, l'extrémité à la cote 890 m. 50 ; la ligne traverse deux petits tunnels et un troisième de 420 mètres ; au-delà, la traction se fait par simple adhérence et la déclivité maxima est de 70 millimètres. Après la station de Salvan, à 8.100 mètres de l'origine et à l'altitude de 937 mètres, la voie continue à s'élever et, après avoir franchi un tunnel de 579 mètres, arrive à la station de Finhaut, à 14.664 mètres de l'origine et à l'altitude de 1.227 mètres.

Au-delà, la ligne présente un profil faiblement accidenté et se termine à la frontière suisse au Chatelard, à 19 kilomètres de l'origine, à l'altitude de 1.134 mètres. Le profil en long du tracé est indiqué par la fig. 24.

La ligne compte 13 tunnels et deux ponts en maçonnerie de 35 mètres d'ouverture.

La crémaillère employée est du type Strub, mais d'un type plus robuste que celui de la Jungfrau ; la hauteur est plus grande et atteint 190 millimètres ; le poids du rail-crémaillère atteint 43 kg. 3 le mètre linéaire.

Passons maintenant à la description du tracé des lignes mixtes.

2° Chemins mixtes.

33. Ligne d'Ostermundigen. — La première ligne du système mixte qui ait existé en Europe est celle d'*Ostermundigen, près Berne*, exploitée depuis 1870.

Elle sert exclusivement au transport des pierres d'une carrière qu'elle dessert et n'a que 559 mètres de longueur.

Le tracé, entièrement en ligne droite, admet comme déclivité maxima 100 millimètres. La partie en crémaillère est comprise entre deux tronçons à adhérence et présente une pente continue de 100 millimètres.

La largeur de voie est de 1 m. 435. L'exploitation se fait toute l'année

34. Le chemin de Wasserfallgen (Wurtemberg), ouvert en 1870, dessert des hauts fourneaux appartenant au domaine royal.

Les machines transportent les scories des usines sur la montagne, et ramènent les trains chargés de minerai de fer.

La ligne a 8.250 mètres de longueur, les pentes maxima, presque continues, atteignent 78 mm.5. Les tronçons exploités par adhérence se composent seulement des voies de service à l'intérieur de l'usine.

La voien'a que 1 mètre de largeur, les courbes ont au moins 400 mètres de rayon.

35. Ligne de Friedrichsseggen à la Lahn. — Comme

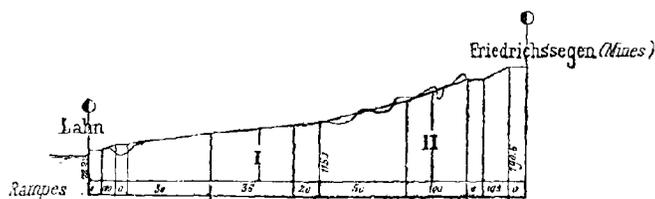


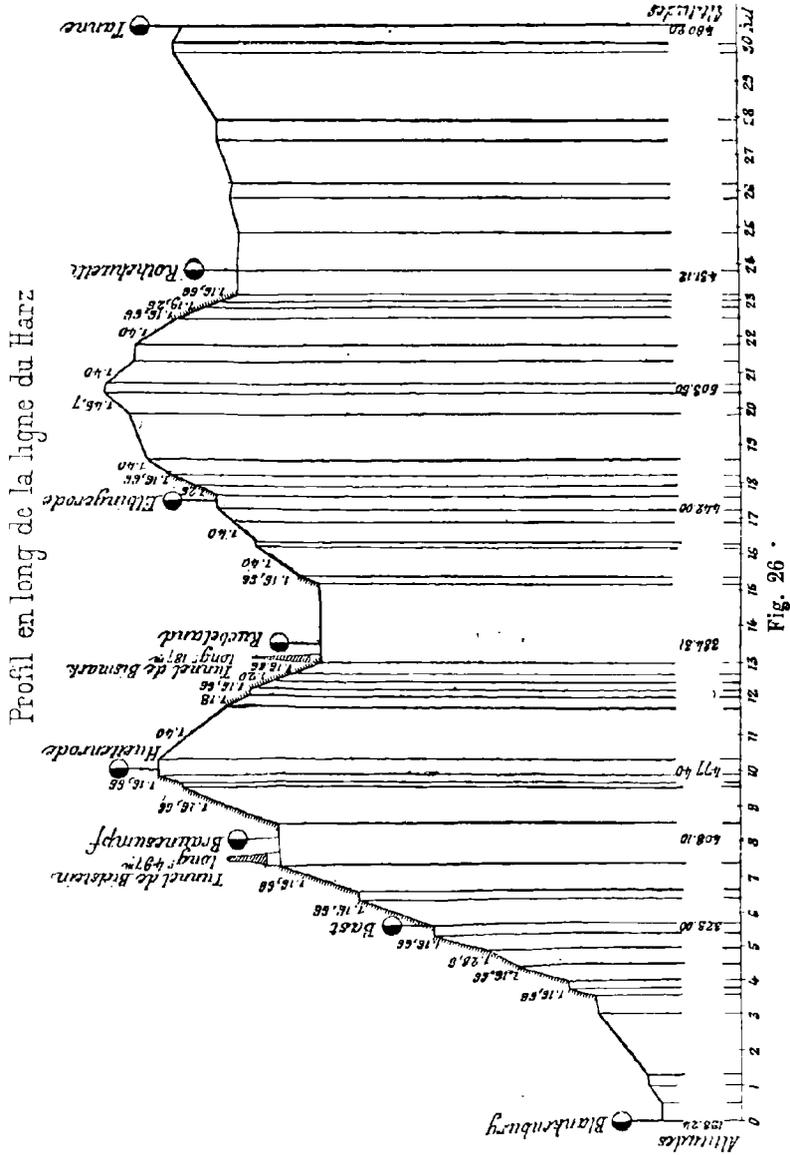
Fig. 25.

exemple de chemin mixte servant exclusivement au transport des minerais, nous parlerons brièvement de la *ligne de Friedrichsseggen à la Lahn*, près d'Ems, dans les provinces Rhénanes. Ce chemin, ouvert à l'exploitation en 1880, sert à apporter le minerai de plomb argentifère de la montagne, aux usines placées à mi-côte et aux magasins situés le long de la rivière. Il sert aussi à remonter les charbons de la rivière aux usines. Sa longueur totale est de 2.550 mètres, la hauteur rachatée de 119 mètres, la pente moyenne de 47 millimètres, la pente maxima de 50 millimètres, dans les parties exploitées par adhérence, et de 100 millimètres, dans les sections à crémaillère. La fig. 25 montre le profil en long. La voie a 1 mètre de largeur.

Les dépenses de premier établissement se sont élevées à 75.000 francs par kilomètre.

Notons aussi le *chemin de Murienhütte, près Gœlnitz*, à gauche de la vallée de Gœlnitz, dans la vallée de Zrakarocz.

Ce chemin, ouvert en février 1885, est mixte et sert au transport des minerais de fer et des bois en grume. Sa longueur est



de 3.875 mètres, dont 2.034 en crémaillère. Les pentes maxima sont de 110 millimètres en crémaillère et de 32 millimètres en adhérence.

Le minimum des rayons est de 200 mètres pour la section à crémaillère, et 100 mètres pour la section à adhérence, s'abaissant à 60 mètres dans les voies de service.

Les dépenses de premier établissement se sont élevées, y compris matériel roulant, à la somme de 662.500 francs, soit environ 170.000 francs par kilomètre.

Toutes ces lignes mixtes ont été construites d'après le système Riggerbach.

Nous allons décrire maintenant une ligne servant au transport des voyageurs et des marchandises, du système de M. Roman Abt, dont nous avons déjà parlé.

36. Chemin de fer de Blankenbourg à Tanne (Harz).

— Cette ligne, à voie normale, dessert une région où se trouvent des hauts-fourneaux, des mines, des carrières et des exploitations forestières (voir le profil en long, fig. 26).

Son point de départ est Blankenbourg, relié à la grande ligne par un chemin de fer aboutissant à la station d'Halberstadt. Les trois premiers kilomètres au-delà de Blankenbourg sont en faible déclivité et exploités par adhérence. Vers le kil. 3, commence la crémaillère, en rampe de 60 millimètres, régnant sur une longueur de 3 kilomètres, puis on arrive au palier et à la station de Bast. La rampe de 60 millimètres reprend ensuite, jusqu'au tunnel de Bielsten, long de 640 mètres. Ce tunnel, qui avait déjà été construit pour le service des mines, a été utilisé ; il a 640 mètres de longueur.

Après la station de Braunesumpf, où l'on charge des minerais, on remonte, en rampe de 60 millimètres, sur 2 kilomètres, jusqu'à Hüttenrode, à 280 mètres au-dessus de Blankenbourg, à une distance d'environ 10 kilomètres. De là, la voie redescend jusqu'à Rübeland, village qu'elle traverse à niveau par la route. Après le tunnel de Bismark, en pente de 3 mm. 5, on remonte jusqu'à Elbingeronde, traversé à niveau par la route, comme Rübeland. Au-delà, la ligne fran-

chit encore un faite, puis redescend par Rothehütte jusqu'à Tanne.

Cette ligne, exploitée par des machines du système Abt, n'a qu'une voie. Sa longueur est de 30 km. 5. Les rayons des courbes, dans les parties en crémaillère, ne s'abaissent guère au-dessous de 300 mètres; on a été jusqu'à 200 mètres, mais en diminuant la pente.

Les rampes maxima sont de 25 millimètres sur les parties à adhérence et de 60 millimètres dans les sections à crémaillère.

Le mouvement des terres a été de 3.500.000 mètres cubes. Le coût total de la ligne, matériel roulant compris, a été de 4.970.000 francs, soit 180.700 francs par kilomètre la longueur construite étant seulement de 27 km. 5, puisque sur 3 kilomètres on a utilisé une voie déjà existante.

Cette ligne, exploitée toute l'année, transporte comme un chemin de fer ordinaire des voyageurs et des marchandises.

Elle est ouverte à l'exploitation depuis 1885.

37. Ligne de Lehesten à Oerstelbruch (Allemagne).

— Cette ligne, à voie normale, dessert une ardoisière; c'est un chemin industriel construit d'après le système Abt. Sa longueur est de 2.700 mètres, avec rampes maxima de 80 millimètres en crémaillère, et de 35 millimètres sur les sections à adhérence. Elle se compose d'une série d'embranchements.

La crémaillère existe sur une longueur d'environ 1.200 mètres, presque entièrement en pente de 80 millimètres.

38. Chemin de fer de Langres-Marne à la ville de Langres. — Cette ligne, exploitée depuis 1887, est à voie de 1 mètre et construite d'après le système Riggerbach; c'est la première ligne à crémaillère construite en France.

Elle sert à faciliter les communications entre la ville de Langres et la station de la ligne de Paris à Belfort qui la dessert.

Cette gare, située au bord de la Marne, à 1.200 mètres en ligne directe de la ville, est placée à 136 mètres au-dessous de cette dernière. Une route de terre, longue de 3 kilomètres

en forte rampe, servait seule au transport des voyageurs avant l'établissement du chemin à crémaillère. La durée du trajet

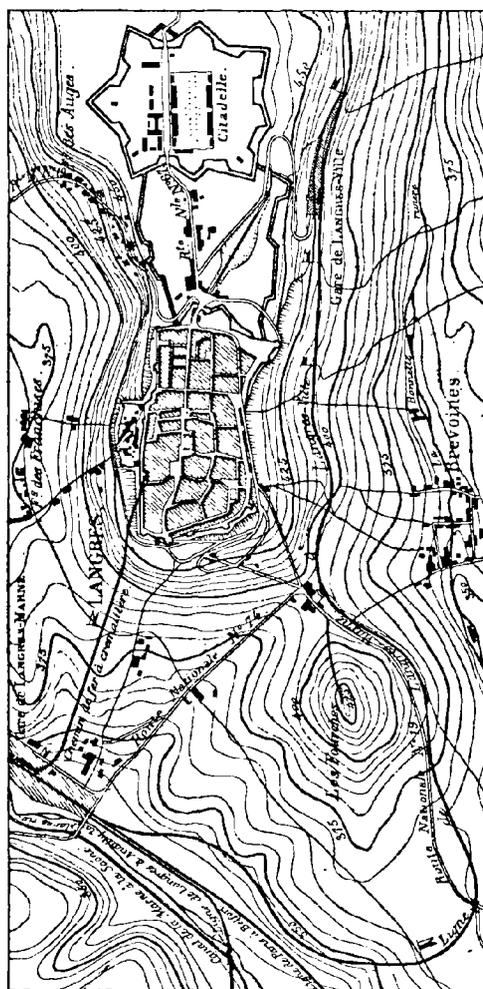


Fig. 27. — Plan de la ville de Langres et du chemin à crémaillère.

était de 20 minutes ; le chemin de fer met environ 10 minutes (voir le plan fig. 27).

Il y a bien une seconde gare desservant Langres, située seulement à 55 mètres au-dessous de la ville. Mais, comme elle est placée non sur la grande ligne mais sur un embranchement

ties sans crémaillère. Dans la première, on ne compte que trois courbes, une de 200 mètres de rayon et deux de 120. Dans les parties sans crémaillère, les rayons s'abaissent jusqu'à 60 mètres.

Le point de départ est placé dans la cour de la gare des voyageurs de Langres-Marne ; puis la ligne, traversant l'avenue de la station, tourne à gauche par une courbe de 60 mètres de rayon et se dirige en alignement droit, sur 960 mètres, vers l'angle N.-E. de l'enceinte de la ville. Aux abords des fortifications, la voie s'infléchit et pénètre dans la ville après avoir traversé un viaduc, longeant la falaise sur laquelle elle est bâtie. Ce viaduc a environ 65 mètres de longueur.

La première section en crémaillère, longue de 430 mètres, est comprise entre deux tronçons franchis par simple adhérence. Au-delà, vient la deuxième crémaillère, sur 577 mètres, comportant une pente de 172 millimètres sur 230 m. 70 (voir fig. 28).

La ligne a, comme ouvrages d'art, un passage inférieur, deux passages supérieurs et le viaduc d'entrée en ville.

Ce viaduc, placé en alignement droit, comprend cinq travées dont quatre de 10 m. 50 et la dernière de 9 m. 10. La première travée est en rampe de 172 millimètres. Les

Coupe longitudinale du viaduc d'entrée en ville

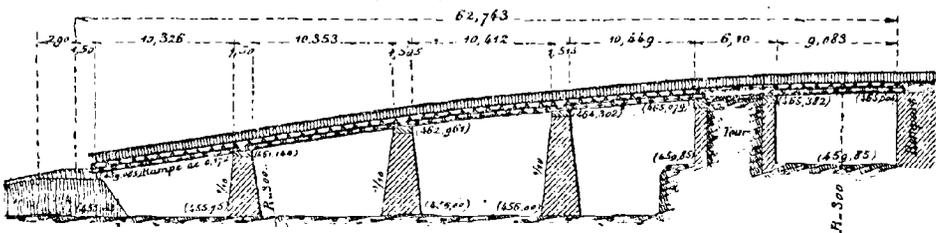


Fig. 29.

autres se trouvent dans un raccordement circulaire du profil en long avec le palier, raccordement de 300 mètres de rayon. La fig. 29 donne la coupe longitudinale de cet ouvrage.

Cette ligne sert à peu près exclusivement au transport des voyageurs et de leurs bagages.

Les dépenses de premier établissement se sont élevées au total de 490.430 francs, dont 102.965 fr. 47 pour l'infrastructure, non compris 82.887 fr. 36 pour acquisition de terrains en tout 185.852 fr. 83 pour l'infrastructure, soit 123.900 francs par kilomètre au total et environ 68.700 francs en déduisant les acquisitions de terrains.

Ce cas est un exemple bien frappant de la diminution de longueur qu'offrent les chemins à crémaillère comparés aux voies ordinaires, et même ici aux simples routes de terre.

L'endroit était évidemment merveilleusement choisi pour l'application d'une ligne à crémaillère. La ville de Langres, placée à l'extrémité d'un contrefort du plateau de Langres, est enserrée dans une enceinte fortifiée, s'étendant jusqu'à pic d'une falaise de 20 à 30 mètres de haut, qui forme le contour de la ville sur 3 côtés ; elle domine la vallée de 136 mètres et était bien difficilement accessible. C'était donc là tout à fait le cas d'appliquer la solution par crémaillère.

La diversité forcée des pentes du profil en long et les courbes en plan, avaient écarté tout d'abord les solutions par câble.

39. Ligne du Brünig. — La ligne du Brünig, construite à voie de 1 mètre, met en communication directe Lucerne et la région du lac des Quatre cantons avec Brienz et, par suite avec Interlaken ; sa longueur totale est de 58 kilomètres. Au départ de Lucerne et jusqu'au pied du Pilate, la ligne suit, à quelque distance, la rive ouest du lac ; puis elle s'infléchit, suit le lac d'Alpnach et arrive à Alpnachstadt ; jusque-là, c'est une ligne ordinaire, exploitée par adhérence avec des machines à trois essieux. A partir de la station d'Alpnachstadt (440 mètres) commence la partie en montagne, comprenant des portions de ligne à crémaillère et d'autres à adhérence. La ligne remonte une vallée abrupte, passe contre les lacs de Sarnen et de Lungern, franchit le col du Brünig à l'altitude de 1.004 mètres, arrive dans la vallée de l'Aare, qu'elle descend jusqu'à Meyringen, où se trouve un point de rebroussement.

Le tracé, se dirigeant alors en sens inverse, descend vers le lac de Brienz (Voir le profil en long fig. 30).

A partir de Meyringen, à 14 kilomètres de Brienz, l'exploitation est faite de nouveau par une machine ordinaire à 3 essieux.

La gare de Brienz est à la cote 570 ; entre Meyringen et le

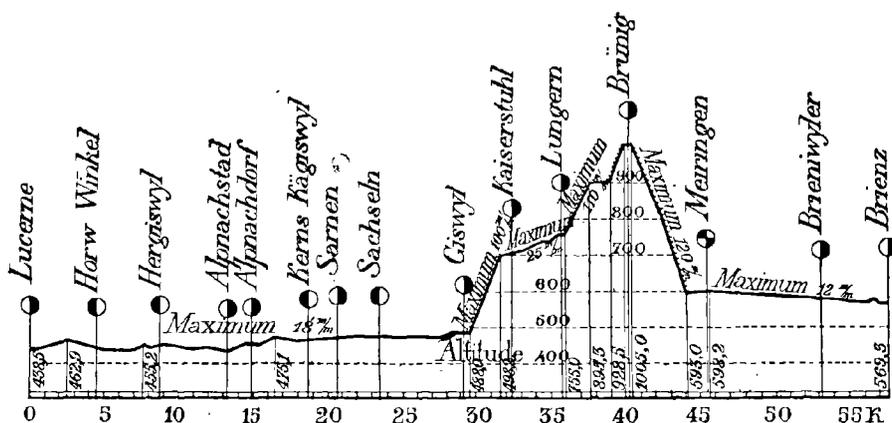


Fig. 30.
Profil en long de la ligne du Brünig.

Brünig, distants de 7 kilomètres, la hauteur franchie est de 400 mètres, soit une pente moyenne de 57 millimètres par mètre.

Au-delà du Brünig, vers Alpnach, la crémaillère s'étend jusque vers Gyswil, sur une longueur totale de 9 kilomètres, avec pentes maxima de 120 millimètres, et courbes de rayon au moins égal à 120 mètres, en crémaillère comme en adhérence. Dans ces dernières sections, les pentes ne dépassent pas 25 millimètres.

Les dépenses de premier établissement pour les 58 kilomètres se sont élevées à 8.400.000 francs. Dans la partie de montagne, l'infrastructure a coûté en moyenne environ 80.000 francs par kilomètre, y compris quelques tunnels, dont la section est de 15 mq. 9.

Le rail employé pèse 24 kg. 2 le m. l., sa longueur est de

9 m. 60 ; il repose sur 10 traverses en fer pesant chacune 37 kg. 8.

La crémaillère, type Riggerbach modifié, est très haute et repose directement sur les traverses ; elle pèse 78 kg. le m. l.

La superstructure a coûté 43 francs le m. l., dont 24 francs pour la crémaillère seule (ballast non compris).

En 1888, il a été transporté 150.298 voyageurs ; les recettes se sont élevées à 401.644 francs ; les dépenses ont été de 215.937 francs.

En parcourant cette ligne, on est frappé du bon état de la voie ; les courbes se maintiennent parfaitement.

On ne constate pas de traces d'usure sur les dents de la crémaillère ; et les machines ne semblent pas fatiguées.

Le rayon de 120 mètres, conservé comme minimum, contribue sans doute beaucoup à rendre l'exploitation aisée et normale. Il est clair que sur d'autres lignes on est souvent descendu trop bas sous ce rapport.

40. Ligne du Hoellenthal. — Nous extrayons de l'étude de MM. L. Vigreux et F. Loppé sur les chemins de fer à crémaillère, parue dans la *Revue technique de l'Exposition de 1889* (5^e partie, 1^{er} fascicule) et de l'*Engineering* (février-mars 91), les renseignements suivants sur le tracé de cette ligne.

Le Hoellenthal est une vallée de la forêt Noire, très abrupte, s'étendant de Fribourg en Brisgau au lac du Titi. Elle est très fréquentée par les touristes et il s'y fait un grand commerce de bois ; la ville de Neustadt, située près du lac, est le siège de diverses industries.

La ligne du Hoellenthal met en communication Fribourg et Neustadt ; elle a été prolongée jusqu'à Donaueschingen, sur le Danube, et met par suite en communication les vallées du Rhin et du Danube.

La question de la construction de cette ligne remonte à 1846 ; mais des études, entreprises vers 1860, démontrèrent que la ligne coûterait plus de 45 millions, ce qui fit renoncer au projet.

La question fut reprise vers 1878, et la construction, commencée en 1884, fut terminée en 1886. La longueur de la ligne

est de 34.750 mètres. La hauteur à gravir de Fribourg à Neustadt est de 625 m. 34. La ligne est à voie normale.

Les fig. 31 et 32 donnent le profil en long et le plan de la ligne.

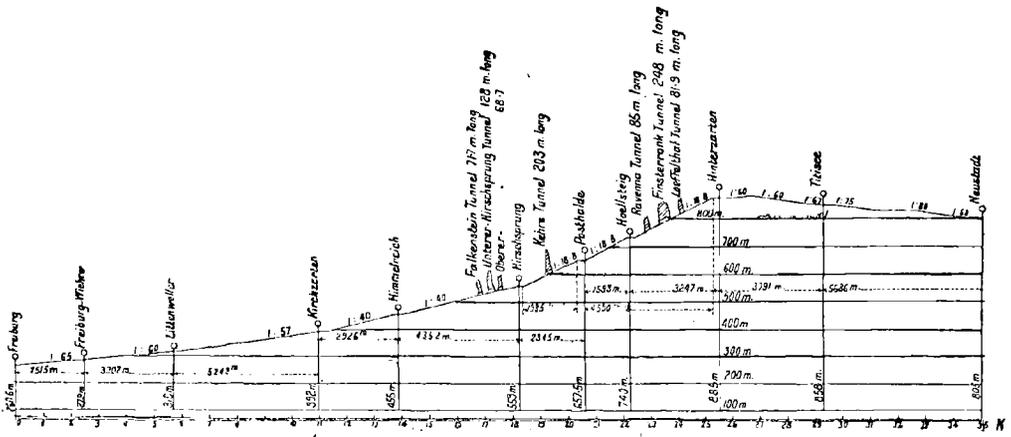


Fig. 31.
Profil en long de la ligne du Hoellenthal.

La première partie, exploitée par adhérence, s'étend de Fribourg à Hirschsprung ; elle a 18.250 mètres de longueur. Le tronçon de 7.250 mètres compris entre Kirchzarten et Hirschsprung comporte des pentes de 25 millimètres, et des courbes raides, séparées par de faibles portions d'alignements droits ; c'est une partie du tracé très accidentée et comparable aux lignes du Sömmering, du Brenner et du Gothard.

De Hirschsprung à Hinterzarten, est établie une crémaillère en rampe de 55 millimètres. C'est la rampe maxima ; elle a 7 kilomètres de longueur.

La section d'Hinterzarten à Neustadt a 9.500 mètres et se trouve à peu près dans le même cas que la section relativement peu accidentée de Fribourg à Hirschsprung.

Le minimum des rayons est de 300 mètres en adhérence et de 260 mètres en crémaillère.

Le prix de revient kilométrique est ressorti à 225.000 francs, matériel compris.

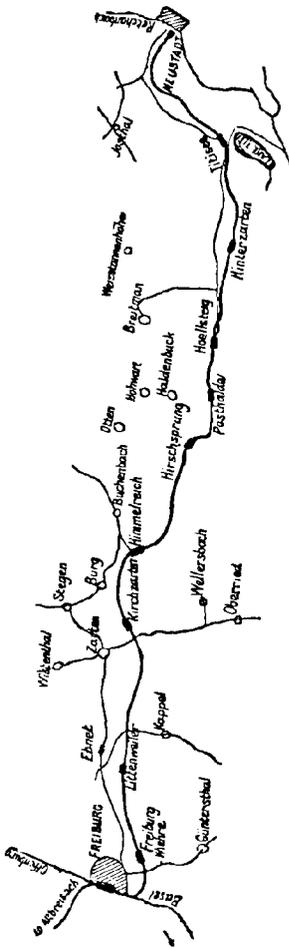


Fig. 32. — Plan de la ligne du Hoellenthal.

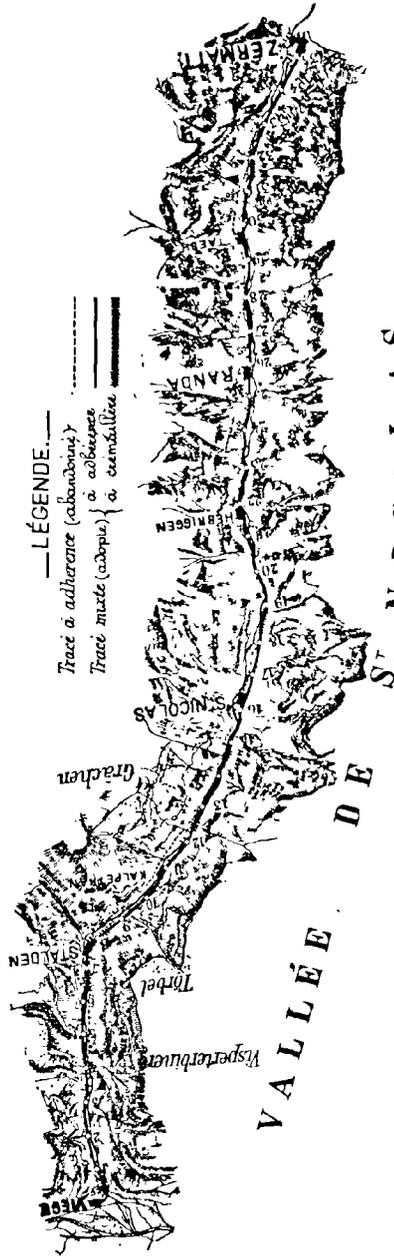


Fig. 33. — Plan de la ligne de Viège à Zermatt.

Cette ligne offre un exemple intéressant de comparaison entre un chemin à crémaillère, système mixte, et une voie ordinaire.

La crémaillère adoptée diffère un peu, comme nous le verrons, du type Riggenbach.

31. Chemin de fer de Viège à Zermatt (Suisse). — La ligne du Hoellenthal montre déjà que, dans certains cas, l'adoption de la crémaillère dans les parties les plus accidentées d'un tracé peut rendre possible la construction d'une ligne abandonnée comme ligne à adhérence, à cause du coût de son établissement. C'est un fait sur lequel il est bon d'insister ; car ce n'est plus là un cas semblable à celui du Rigi, où les reliefs du terrain nécessitaient absolument l'emploi de la crémaillère. Ici, ce sont les conditions techniques qui exigeaient la crémaillère, là, ce sont les conditions économiques.

La ligne de Viège à Zermatt offre un exemple plus intéressant peut-être encore, à cause de la comparaison complète, et faite de près, entre un tracé ordinaire et un tracé mixte à crémaillère. A Viège-Zermatt, l'hésitation entre les deux tracés était beaucoup plus grande, et ce n'est qu'à la suite d'études approfondies que l'on a pu prendre parti (Voir aux annexes).

M. Meyer, ingénieur en chef de la construction, a publié des renseignements complets sur cette ligne, dans une étude parue dans le n° d'août 1890 de la *Revue des Chemins de Fer*. Nous lui emprunterons les renseignements ci-dessous.

La vallée de Zermatt en Valais débouche à Viège, station de la ligne du Simplon-St-Maurice-Brigue, dans la vallée du Rhône. La vallée de Zermatt se trouve sur la rive gauche du Rhône. Elle est très fréquentée durant la belle saison par les touristes, attirés par ses sites pittoresques, par la vue du Cervin, et l'ascension du Gornergrat (3.136 m.), qui se fait par un chemin de fer électrique, à crémaillère, atteignant l'altitude de 3.020 mètres.

Avant l'établissement du chemin de fer, aucune route carrossable n'existait de Viège à Zermatt ; le trajet devait se faire à pied ou à mulet, durant 18 kilomètres, jusqu'à St-Nicolas.

Néanmoins, 12.000 visiteurs venaient chaque année parcourir cette vallée (voir la carte fig. 33).

Un premier tracé par adhérence, figuré en pointillé, fig. 33, fut étudié. Il comportait des courbes de 60 mètres et des pentes de 45 millimètres avec largeur de 1 mètre. La longueur du tracé était de 35.885 mètres, la hauteur à racheter de 955 m. De Viège, (654 m.) on se tenait sur la rive droite, jusqu'au point 4.200, où l'on traversait la rivière par un pont biais ; une rampe de 45 millimètres menait à Stalden (786), on retraversait ensuite la Viège sur un viaduc, et la rampe de 45 millimètres continuait jusque vers St-Nicolas (1.100). Au-delà, on traversait de nouveau la Viège, pour monter par une rampe de 45 millimètres jusqu'à Randa (1.409 m. 50). A partir de là, la vallée étant assez plate, les rampes étaient faibles jusqu'au delà de Taesch (1.445). Une rampe de 45 millimètres amenait à Zermatt, en se reportant sur la rive droite peu après Taesch.

Les dépenses totales étaient évaluées à 5.850.000 francs, soit 163.000 francs par kilomètre. L'infrastructure, y compris les expropriations, le ballastage, la pose de la voie, le télégraphe et l'imprévu, entraient dans le total pour une somme de 3.900.000 francs.

La question fut reprise et étudiée à nouveau, en vue de l'application d'un système mixte. On reconnut que l'on pouvait ainsi réaliser sur le capital de premier établissement une économie de 500.000 francs environ, soit 14.300 francs par kilomètre. On adopta comme pente maxima 120 millimètres, ce qui permit de rester plus longtemps à fond de vallée, et de concentrer les difficultés sur une plus faible longueur. On obtenait ainsi un raccourcissement de tracé, et une diminution de 787 mètres dans la longueur des tunnels.

La ligne de Viège-Zermatt terminée, le règlement des comptes a permis de constater une économie s'écartant fort peu du chiffre indiqué ci-dessus.

Description du Tracé actuel. — La ligne est à voie de 1 mètre. Elle part (voir le plan fig. 33) de la gare de Viège par une courbe de 60 mètres, en traversant la Viège, qu'on suit de près jusqu'au point 6.200 mètres. Cette section comporte des pentes maxima de 0,017 et n'a présenté aucune difficulté (voir profil en long, fig. 34).

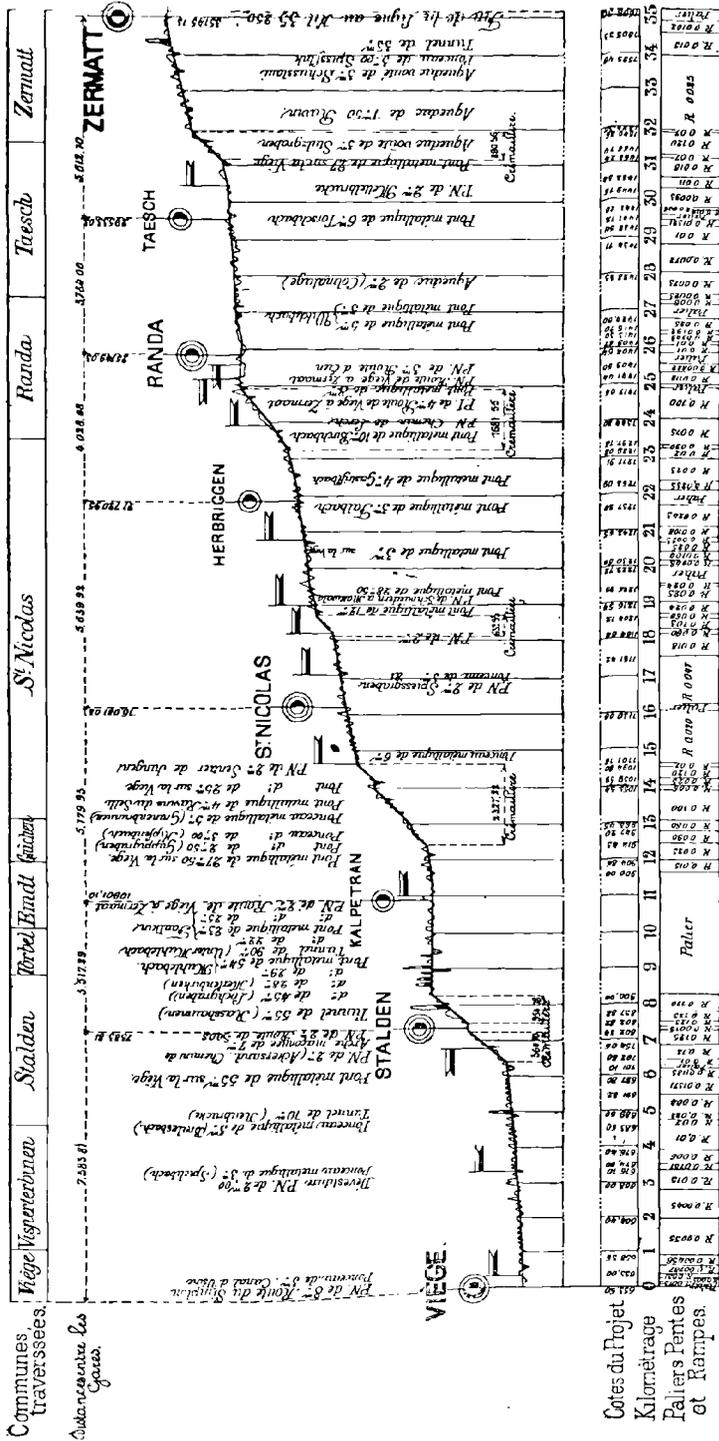


Fig. 34. — Profil en long de la Ligne de Viège-Zermatt.

Au point 6.250, on traverse à nouveau la Viège, sur un pont métallique biais, de 35 mètres d'ouverture. Un peu au-delà, commence une section à crémaillère de 964 m. 71 de longueur, avec rampes de 0 m. 120 à 0 m. 125, jusqu'à Stalden 802 m. 68). Au-delà, la crémaillère reprend en rampe de 0 m. 125 et 0 m. 120, sur 954 m. 08, en traversant une forte tranchée et un tunnel de 55 mètres. Au point 8 km. 312, on est à la cote 900 ; sur 3.356 mètres, la ligne reste en palier dans un terrain tourmenté. Divers travaux d'art, tunnels, murs de soutènement, ont été nécessaires. Au point 8 km. 980, on franchit sur un viaduc métallique, de 54 mètres d'ouverture, le ravin de Mühlebach. Après deux tunnels et deux viaducs, on arrive à la halte de Kalpatran, point 10 km. 900, où se trouve une prise d'eau. Le palier se termine au point 11 km. 633, et l'on gravit des rampes de 0 m. 015 et 0 m. 025. On franchit ensuite de nouveau la Viège sur un pont métallique, de 27 m. 50, et une section à crémaillère reprend sur 2.237 m. 22, longeant en surplomb les cascades de la Viège. Cette partie, très accidentée, est fort curieuse. Au point 14 km. 150, on traverse de nouveau la rivière par un pont métallique de 25 mètres, et l'on arrive à St-Nicolas à la cote 1.130 mètres.

Au-delà, reprend une section à crémaillère de 632 m. 93, en rampe de 83 millimètres, après avoir franchi la Viège ; et au delà de la halte d'Herbrigen (1.257 m. 20 d'altitude) vient une autre section à crémaillère, comportant des pentes de 100 millimètres, qui règnent jusqu'au plateau de Randa ; elle a 1.681 m. 55 de long. Au delà de Randa, la ligne suit la Viège d'assez près pour avoir pu servir à l'endiguer. Après Taesch, à la cote 1.441 mètres, on traverse encore la rivière, et l'on reprend une crémaillère sur 890 m. 86, avec pentes de 100 millimètres. Le tracé redevient très accidenté. Enfin, après un dernier tunnel, on arrive à la gare de Zermatt, à la cote 1.609 mètres et au point 35 km. 050. Le profil en long est indiqué fig. 34.

Dans les parties en crémaillère, le rayon minimum des courbes est de 100 mètres ; dans les parties sans crémaillère, le rayon des courbes s'abaisse à 80 mètres.

La longueur totale des sections à crémaillère est de

6.533 mètres ; on a employé la crémaillère pour les pentes supérieures à 25 millimètres.

A cause de la longueur des parties à adhérence et de leur enchevêtrement continu avec les sections à crémaillère, on a adopté le système Abt, qui paraissait naturellement indiqué, mais qui n'a cependant été choisi qu'à la suite d'études comparatives avec d'autres lignes à crémaillère (Voir annexe n° 4, le rapport de MM. Rodieux et Haueter).

42. Chemin de fer des mines de Padang (Sumatra) (1).

— Le réseau des chemins de Sumatra a été établi surtout en vue de la desserte du bassin houiller de Padang, découvert en 1867.

Dès 1873, une étude complète de la question fut faite par l'Ingénieur Cluysenaer, dont le projet consistait en une ligne à adhérence avec déclivités de 38 millimètres ; le rayon minimum des courbes était de 100 mètres. Le pays traversé est extrêmement accidenté, car le bassin houiller, situé à 60 kilomètres de la côte, en est séparé par la chaîne du Barisan, de telle sorte que, pour relier les mines de houille à la côte, il faut franchir ces montagnes.

Le projet à adhérence, étudié par l'Ingénieur Cluysenaer, comportait 32 tunnels, et les dépenses de premier établissement s'élevaient à 65.100.000 francs pour 219 kilomètres soit 297.260 francs par kilomètre.

Ces dépenses étaient de nature à faire hésiter le gouvernement Hollandais et, en 1878, un chemin de fer mixte à crémaillère et adhérence fut étudié. Le tracé projeté pouvait être établi moyennant une dépense de 44.100.000 francs, soit une réduction de 21.000.000 sur le tracé à adhérence.

C'est le projet à crémaillère qui a été exécuté ; les travaux furent commencés en 1887 et la ligne fut ouverte à l'exploitation en 1892.

Les fig. 35 et 36 montrent le plan et le profil du réseau.

Le tracé part de la baie de la Reine sur l'Océan Indien à

(1) *Engineering*, 19 avril et 10 mai 1895, 3 septembre 1897. — Moreau, *Mémoire de la Société des Ingénieurs civils*, décembre 1904.

Port-Emma à 2 mètres d'altitude, remonte vers le Nord ; la ligne étant à simple adhérence jusqu'à Kajoetanam (144 m.) au kilomètre 60 ; là, commence une première section à crémaillère de 12 km. 650 de longueur, en rampe de 23 à 53 mil-

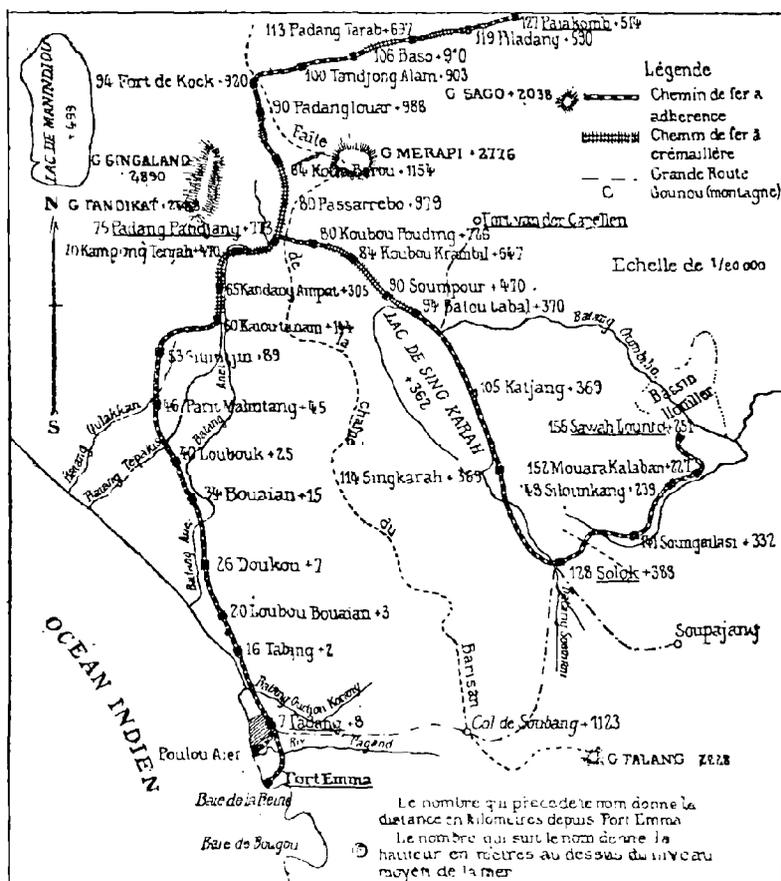


Fig. 35. — Plan du chemin de fer des mines de Padang.

limètres jusqu'à Padang-Ampat et de 70 à 80 millimètres jusqu'à Padang-Pandjang (773 m.) au kilomètre 75 ; la ligne traverse peu après le point de faite, à la cote 780 mètres, et tournant au Sud, descend vers le lac de Sing-Karah par une

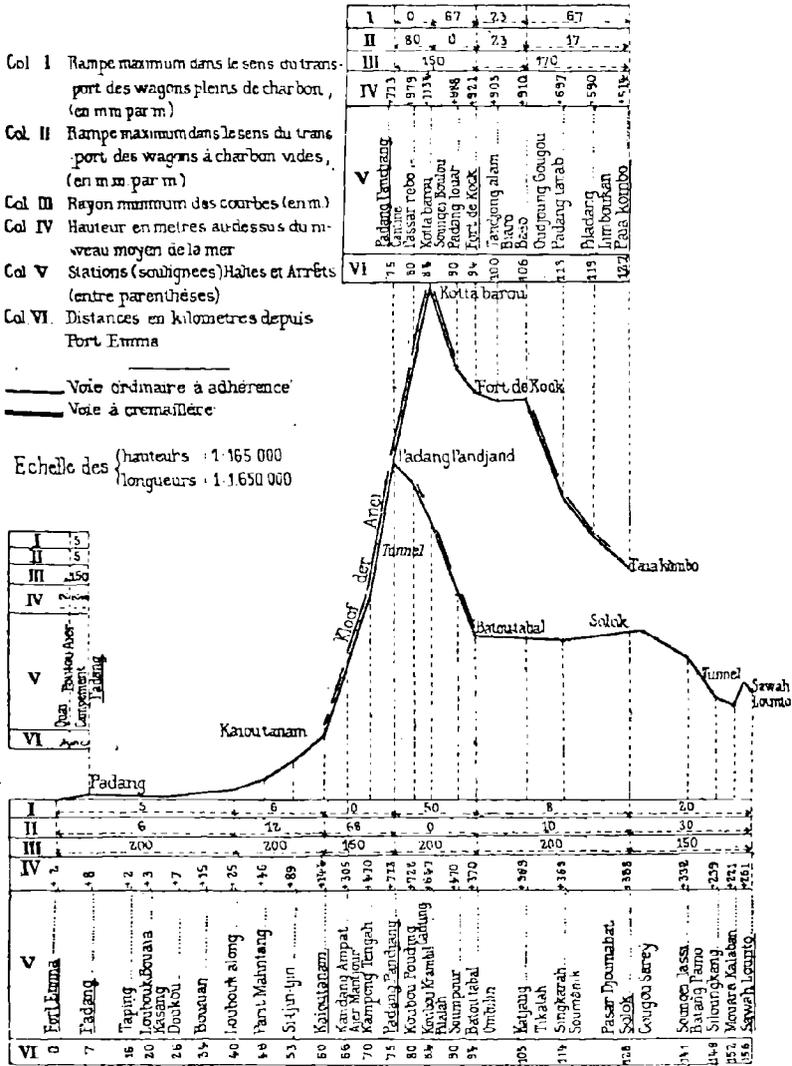


Fig. 36.
 Profil en long du chemin des mines de Padang.

suite de cinq sections à crémaillère successives, présentant ensemble une longueur de 7.780 mètres, jusqu'à Batutebal (370 m.) au kilomètre 94 ; les déclivités ne sont pas supérieures à 50 millimètres.

De Batutebal, la ligne est à adhérence jusqu'aux gisements bouillers, à la station terminus de Sawah-Lunto, 755 kilomètres du point de départ.

De Padang-Pandjang part un embranchement se dirigeant sur Payancambo, au kilomètre 127, par le fort de Koch. Cet embranchement, de 52 kilomètres, comporte plusieurs sections à crémaillère, dont la longueur cumulée est de 8,033 kilomètres ; les déclivités maxima sont de 80 millimètres.

Le point culminant de la ligne est franchi entre Padang-Pandjang et Fort de Koch, à Kota-Baru, à l'altitude de 1.154 mètres. Le plan et le profil en long sont indiqués par les fig. 35 et 36.

La ligne a été exécutée à voie de 1 m. 067 et le rayon minimum des courbes ne s'abaisse pas au-dessous de 150 mètres.

Les rails, du type Vignole, de 7 mètres de long, pèsent 25,7 kg. le mètre ; ils reposent sur des traverses en acier du système Post, pesant 39 kg. le mètre, espacées de 0 m. 875 en voie courante et de 0 m. 490 au joint, dans les sections à crémaillère.

La crémaillère est du type Riggenbach, du poids de 57 kg. le mètre, chaque tronçon a 3 mètres de long : elle repose sur les traverses par l'intermédiaire de coussinets en fonte. La superstructure de la voie à crémaillère pèse 187 kg. le mètre.

Pour échapper à la complication des appareils de changement des voies à crémaillère, les stations ont été toutes établies en palier.

43. Chemin de fer de l'Etat d'Herzégovine (1). — Cette ligne, dont le plan et le profil sont indiqués par les

(1) Lelarge. *Revue générale des chemins de fer*, juin 1892.

fig. 37 et 38, fait communiquer le port de Metkovic, sur l'Adriatique, avec la ville de Sarajevo. Les sections à crémaillère sont comprises entre les stations de Konjica (279 m.) et Hadzici (557 m.) ; dans l'intervalle, la voie passe au col de Juan à l'altitude de 876 mètres.

Les déclivités des sections à crémaillère sont faibles et ne dépassent pas 60 millimètres ; dans les sections à adhérence, les déclivités ne dépassent pas 15 millimètres ; ce qui caractérise surtout cette ligne, c'est la faible largeur de la voie, réduite à 0 m. 760. Cette largeur a été adoptée parce que l'on a conservé définitivement les dispositions prévues au moment des travaux pour l'exécution d'une ligne stratégique, l'établissement de la ligne remontant à la guerre de 1876-1878. Les rayons des courbes ne s'abaissent pas au-dessous de 125 mètres.

La crémaillère adoptée est du type Abt, à deux lames, reposant par l'intermédiaire de coussinets sur des traverses métalliques de 1 m. 60 de long, pesant 37 kg ; les rails, du type Vignole, pèsent 21,8 kg.

le mètre et reposent sur 10 traverses en bois dans les sections à adhérence. Dans les sections à crémaillère, la voie est posée sur traverses métalliques formées de fers U de 1 m. 60 de longueur, pesant 37 kg. pièce.

Les lames de la crémaillère sont en acier Bessemer, d'une résistance de 48 à 56 kg. par millimètre carré avec 20 0/0 d'allongement. L'ensemble de la crémaillère à deux lames et de ses accessoires pèse 37,93 kg. le mètre, et le poids d'un



Fig. 37.

Plan des chemins d'Herzégovine.

mètre linéaire de voie complète dans les sections à crémail-
lère est de 127,7 kg.

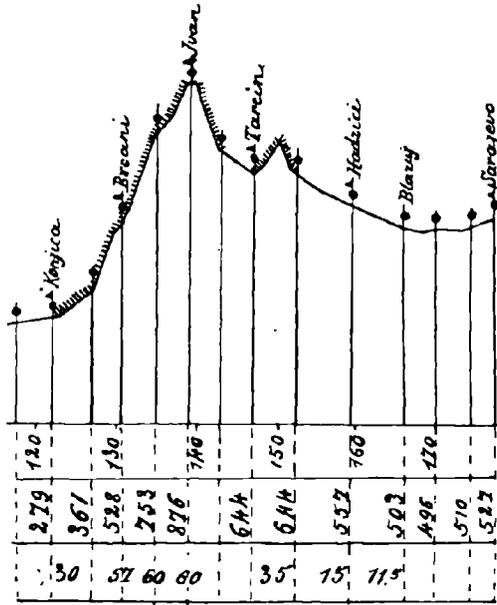


Fig. 38. — Profil en long des chemins d'Herzégovine.

44. Chemins de fer de l'Oberland Bernois (1). —

Nous avons parlé de ces lignes à propos du chemin de la Jungfrau et du Wengernalp ; elles ont été ouvertes à l'exploitation en 1890.

L'une d'elles va d'Interlaken à Lauterbrunnen, par Zweilütschinen, l'autre part de Zweilütschinen et va jusqu'au Grindelwald, par Burglaunen.

Le tracé de ces lignes est indiqué par les fig. 10 et 13, et les fig. 39 et 40 en montrent le profil.

L'étude remonte à l'année 1873 ; mais elles ne furent concédées qu'en 1889.

(1) Bruckner. *Neuere Zahnradbahnen.* — *Schweizerische Bauzeitung*, 1895, volume 51. — Strub, *Berner-Oberland, Bahnen.* — Moutier. *Revue générale des chemins de fer*, juillet 1893.

Entre Interlaken et Zweilütschinen se trouve la station de Wildersvyl, d'où part une ligne à crémaillère montant à la Schynige Platte ; de Lauterbrunnen, un funiculaire mène au Grütsch, d'où une ligne électrique conduit à Mürren. La lon-

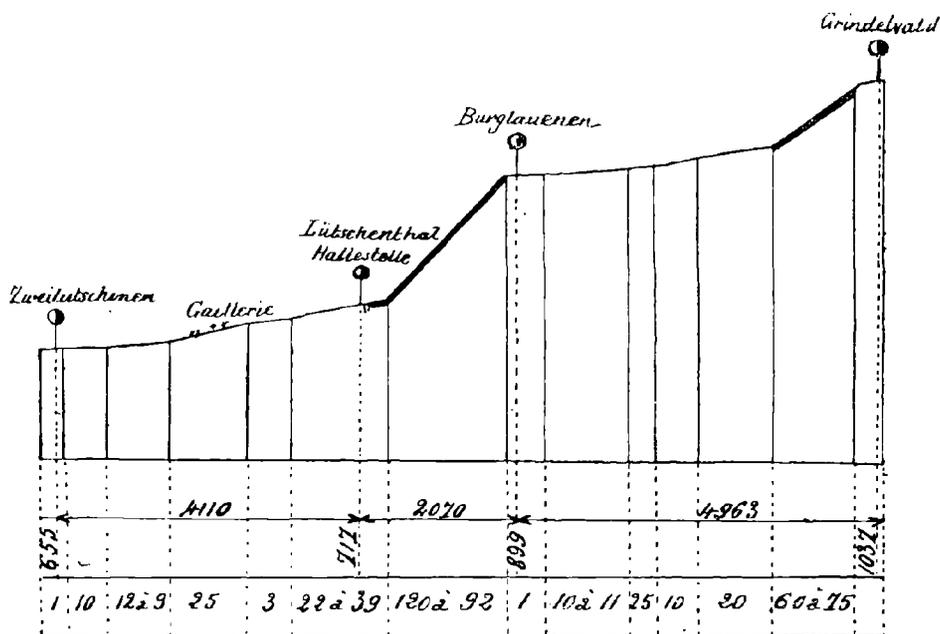


Fig. 39.

Chemins de l'Oberland Bernois. — Profil entre Zweilütschinen et Grindelwald.

gueur, d'Interlaken à Lauterbrunnen est de 12 km. 295 ; de Zweilütschinen au Grindelwald, la distance est de 4 km. 097.

Sur les sections à adhérence, les déclivités maxima sont de 25 millimètres, et de 120 millimètres en crémaillère, comme le montrent les fig. 39 et 40 représentant les profils en long de ces lignes.

La voie, exécutée à la largeur de 1 mètre, ne comporte pas de rayon inférieur à 120 mètres en crémaillère et à 100 mètres en adhérence.

Les rails de roulement, de 9 m. 60 de long, pèsent 23 kilogrammes au mètre ; ils ont 110 millimètres de hauteur, et

reposent sur des traverses en chêne, longues de 1 m. 80. La plate-forme des terrassements a une largeur normale de 3 m. 70 en couronne. Les frais d'établissement des chemins de fer de

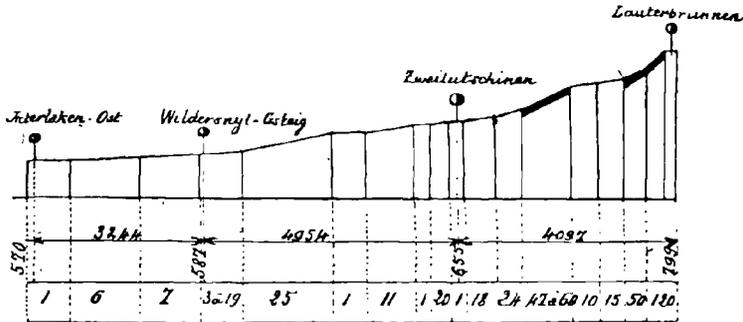


Fig. 40.

Chemins de l'Oberland Bernois. — Profil entre Interlaken et Lauterbrunnen.

l'Oberland Bernois se sont élevés au total de 3.197.847 francs pour une longueur de 23 km. 440, soit 136.426 francs par kilomètre.

45. Chemin de Beyrouth-Damas (1). — Les premiers projets d'une ligne reliant Beyrouth à Damas remontent à l'année 1858 ; mais après diverses vicissitudes la question resta pendante, et ce fut seulement en 1891 qu'elle fut résolue définitivement. La ligne projetée en 1889, exclusivement à adhérence, aurait eu une longueur de 190 kilomètres, malgré un tunnel de faite de 4 kilomètres, à l'altitude de 1.200 mètres ; la ligne mixte, étudiée ensuite, permit de réduire de 43 kilomètres la longueur totale et de réaliser une économie de 10 millions sur les dépenses de premier établissement.

L'emploi de la crémaillère était particulièrement indiqué pour cette ligne, qui traverse successivement les deux chaînes de montagnes parallèles du Liban et de l'Anti-Liban.

Commencés en 1892, les travaux d'infrastructure étaient terminés dans le second semestre de 1893, et l'ouverture à l'exploitation eut lieu le 3 août 1893.

(1) Blanche. *Revue générale des chemins de fer*, juin 1896.

La ligne entière de Beyrouth à Damas est longue de 146 kilomètres, mais la crémaillère n'a été employée que pour la traversée de la chaîne du Liban, sur des déclivités variant de 60 à 70 millimètres.

Après une courte section de 5 kilomètres en adhérence, commencent les sections à crémaillère, dont les 16 parties présentent ensemble un développement de 32 km. La fig. 41 montre le profil en long de la ligne.

Dans les sections à adhérence, les déclivités maxima sont de 25 millimètres ; les rayons minimum des courbes sont de 100 mètres. Dans les sections à crémaillère, le rayon minimum des courbes est de 100 mètres ; la déclivité maxima est de 70 millimètres.

La largeur de voie, entre les bords intérieurs des rails, est de 1 m. 05 ; la hauteur des rails de roulement est de 116 millimètres ; leur poids au mètre courant est de 27,6 kg.

Les traverses métalliques, du type Viège-Zermatt, sont espacées en voie courante de 0 m. 90 d'axe en axe ; elles ont une longueur de 1 m. 85 et pèsent 37,8 kg. pièce.

Au joint, ainsi qu'au milieu de la travée, les traverses sont distantes seulement de 450 millimètres ; la longueur d'une travée de joint en joint des rails de roulement est de 9 m. 90, comportant 11 traverses. Le rail est fixé sur la traverse par deux crapauds mobiles, et les éclisses, du type à cornière, portent à la base des encoches qui, butant contre les crapauds, arrêtent la tendance au glissement longitudinal.

La crémaillère est du système Abt, à 2 lames de 26 millimètres d'épaisseur, 1 m. 80 de longueur ; le pas de la denture est de 120 millimètres ; la hauteur totale des lames est de 110 millimètres ; la hauteur de la tête d'une dent au-dessus du creux est de 50 millimètres et de 15 millimètres au-dessus de la ligne primitive ; l'écartement des deux lames d'axe en axe est de 66 millimètres ; les lames reposent sur les traverses métalliques par l'intermédiaire de coussinets de fonte.

Dans les sections à crémaillère, pour parer au glissement longitudinal, les traverses viennent buter contre des blocs de béton espacés d'environ 50 mètres.

Le poids de la superstructure métallique se décompose ainsi :

Ligne de Beyrouth-Damas. — Poids de la superstructure métallique.

DÉSIGNATION des pièces	Nombre de pièces par kilomètre	Poids en kilogrammes		
		par pièce	par kilomètre	Ensemble par kilomètre
Rails	202	273,3	55.240	
Traverses.	1.212	37,8	45.894	
Eclisses	404	6,8	2.755	
Boulons d'éclisses	808	0,40	323	
Boulons de fixation des rails	4.848	0,2	1.357	
Crapauds	4.848	•	1.457	
Rondelles	5.656	0,024	136	
Poids de la voie courante				T. 407.462
Lames de crémaillère	1.111	32,2	35.777	
Coussinets	1.111	6,7	7.444	
Eclisses	1.111	0,42	467	
Boulons des lames.	2.222	0,51	1.133	
Boulons de fixation des coussinets.	2.222	0,30	667	
Rondelles	2.244	0,024	107	
Poids de la crémaillère et des accessoires.				T. 45.595
Poids total de la superstructure				T. 452.757

Les frais de premier établissement de la ligne se sont élevés au total de 15 millions et demi, soit 106.250 par kilomètre.

Les tarifs maxima autorisés sont pour les voyageurs :

- 1^{re} classe 0.17 par kilomètre
- 2^e classe 0.15 » »
- 3^e classe 0.05 » »

pour les marchandises 0 fr. 20 par tonne et par kilomètre.

La durée totale du voyage de Beyrouth à Damas varie de 10 à 12 heures, soit une vitesse moyenne de 10 à 12 kilomètres à l'heure.

46. Chemin de fer du Nilgiri (1) (Indes Anglaises). — Cette ligne est destinée à relier les voies ferrées du sud de l'Inde, avec Oastacemund résidence d'été ; le point de départ est situé à Madapolam, station de la ligne de Madras.

La longueur de la ligne du Nilgiri est de 30 kilomètres, dont 26 km. 6 en crémaillère continue.

La plate-forme, de 4 m. 8 de largeur, est soigneusement asséchée en vue des pluies exceptionnelles, car la hauteur d'eau tombée en quelques heures atteint fréquemment 150 millimètres.

L'établissement de la ligne a nécessité la construction de nombreux ouvrages d'art dans des conditions particulièrement difficiles.

On ne compte pas moins de 23 grands ponts et 113 petits.

Un certain nombre de ponts métalliques se trouvent situés en déclivité de 80 millimètres, et, comme au Rigi, on a pris des précautions pour arrêter tout mouvement longitudinal du tablier. A cet effet, on a rivé sous les poutres une cornière, qui vient buter contre la maçonnerie de la culée d'aval, l'extrémité d'amont de la poutre pouvant se dilater librement.

Les déclivités maxima sont de 80 millimètres, le rayon minimum des courbes est de 100 mètres, la hauteur maxima rachetée est de 1.575 mètres et le point culminant du tracé est à l'altitude de 2.200 mètres.

La voie, de 1 mètre de largeur, est formée par des rails Vignole de 25 kilogrammes le mètre, posés sur des traverses en bois, dont l'équarissage est de 0 m. 20 × 0 m. 15 dans les sections à crémaillère.

Les lames de la crémaillère sont en acier, de 22 millimètres d'épaisseur. Les dents ont été découpées mécaniquement à la machine, dans l'usine de MM. Cammel et C^{ie} à Sheffield, comme pour le chemin de fer de Snowdon.

(1) *Minutes of Proceedings of the Civil Engineers*, volume CXLV, 1901. Weightman, *The Nilgiri Mountain Railway*. — Mallet, *Mémoires de la Société des Ingénieurs Civils*. Chronique, mars 1901, page 312.

Le coût kilométrique de la ligne a été de 235.000 francs.

Les machines, du poids de 31 t. 5, peuvent remorquer une charge de 60 tonnes sur la rampe de 80 millimètres.

47. Chemin de fer de Saint-Gall-Gais (1). — Cette ligne, à voie de 1 mètre, mise en service en 1889, a son point de départ à proximité de la station de Saint-Gall, sur la ligne de Saint-Gall à Winterthur, à l'altitude de 672 mètres.

Peu après le départ, une section à crémaillère continue, en rampe de 90 à 92 millimètres, permet de s'élever de l'altitude de 680 m. 50 à la cote 759 ; la ligne, s'élevant toujours, presque sans contrepente, arrive à la station de Gais à la cote 919.

La longueur totale de la ligne est de 14 kilomètres, dont 3.348 mètres en crémaillère, répartis entre cinq sections.

Les déclivités maxima sont de 92 millimètres, et la crémaillère a été employée dès que la déclivité était supérieure à 40 millimètres.

Le rayon minimum des courbes s'abaisse à 30 mètres, ce qui a conduit à avoir 11 types différents de tronçons de crémaillère, pour les courbes à droite ou à gauche de 30, 50, 60, 80 et 100 mètres et au-dessus de 100 mètres, sujétions évidemment très fâcheuses.

La ligne présente cette particularité qu'elle est établie en accotement, le long d'une route, sur une grande partie de son parcours, car sur 14 km. 12, 5 kilomètres sont établis sur accotement.

La zone réservée à la circulation ordinaire a une largeur minima de 4 m. 50 ; cette zone est séparée de la voie ferrée par un petit caniveau de 0 m. 30 de largeur.

Le ballast a 2 m. 20 de largeur en couronne et 2 m. 50 à la base.

Le poids de la superstructure métallique est de 105,6 kg. au mètre, en voie ordinaire, et de 173,1 kg. en crémaillère.

Les rails, en acier, du type Vignole, ont 118 millimètres de hauteur, 52 millimètres de largeur à la table de roulement et

(1) Martin et Clarard, *Monographie*. Paris, 1891. Baudry, éditeur.

94 millimètres au patin ; ils pèsent 25,6 kg. le mètre ; leur longueur est de 8 m. 995 ; les rails reposent sur des traverses métalliques en acier, de 1 m. 80 de longueur, pesant chacune 38,8 kg.

Les dépenses de premier établissement se décomposent ainsi par kilomètre de ligne :

Administration, frais d'études, frais généraux	5.050 francs
Intérêts du capital	804 —
Terrains	17.651 —
Infrastructure	31.701 —
Superstructure	36.905 —
Bâtiments, téléphone, signaux	12.875 —
Machines et matériel roulant	30.759 —
Mobilier et approvisionnements	1.972 —
Total par kilomètre	<u>137.717 francs</u>
A déduire : intérêts et contributions diverses	761 —
Montant définitif	<u>136.956 —</u>
soit pour la ligne entière une dépense de	1.903.386 francs

Une ligne à adhérence, étudiée de St-Gall à Gais, aurait eu une longueur de 16,5 km. et aurait coûté 3.500.000 francs.

La ligne à crémaillère a donc permis de réaliser, sur les frais de premier établissement, une économie de 1.500.000 francs, tout en desservant mieux la région.

48. Chemin de fer d'Usuy-Pass (1) (Japon). — Cette ligne, établie de 1891 à 1893, traverse un pays extrêmement accidenté ; elle relie Yokohama et Karusava, en passant au col d'Usuy-pass, dont l'altitude dépasse 1.000 mètres ; bien que la distance entre Yokohama et Karusava ne soit que de 11 kilomètres, la ligne comporte 26 tunnels et 18 viaducs, sur 8 kilomètres.

La crémaillère adoptée est du système Abt, à 3 lames, repo-

(1) Balzer. *Zeitung des Vereines deutscher Eisenbahn-verwaltungen*. 1899. — Dolezalek. Wiesbaden, 1903, page 170.

sant sur des traverses métalliques. La longueur des sections à crémaillère est de 9 kilomètres, qui se développent en déclivités de 66 millimètres. La largeur de voie est de 0 m. 90 ; l'espacement des traverses courantes est de 0 m. 860, d'axe en axe.

49. Chemin de fer d'Ilmenau-Schleusingen (1). — Cette ligne, à voie normale, a été ouverte à l'exploitation en 1904, et traverse le Thuringerwald ; elle relie la ligne de Plane Ilmenau à celle de Thomar Schleusingen ; sa longueur est de 32 kilomètres ; la hauteur maxima rachetée est de 374 mètres ; le point culminant est à l'altitude de 746 m. 90 ; la fig. 42 indique le profil en long de la ligne.

Les déclivités maxima sont de 25 millimètres en adhérence, de 60 millimètres en crémaillère. La longueur cumulée des cinq sections à crémaillère est de 6 km. 24.

La voie courante est constituée par des rails de 9 mètres de long, pesant 31,16 kg. le mètre, reposant sur douze traverses métalliques, de 2 m. 50 de longueur.

La crémaillère est du système Abt, à deux lames, reposant sur des coussinets distants de 0 m. 90 d'axe en axe. Une lame longue de 1.796 mètres pèse 33,66 kg. ; ses coussinets pèsent 10,07 kg. pièce.

§ 4

TERRASSEMENTS ET TRAVAUX D'ART

50. — Les terrassements et travaux d'art des chemins à crémaillère ne donnent pas lieu à des remarques particulières. Les usages et les règles sont les mêmes que pour les voies ordinaires.

Sur des lignes à pentes aussi fortes que les voies à crémaillère, les raccordements des pentes entre elles et avec les paliers doivent être faits par des courbes convenables. Au

(1) Balzer. *Zeitung des Vereines deutscher Eisenbahn-verwaltungen*. 1899. Dolezalek. Wiesbaden, 1903, page 170.

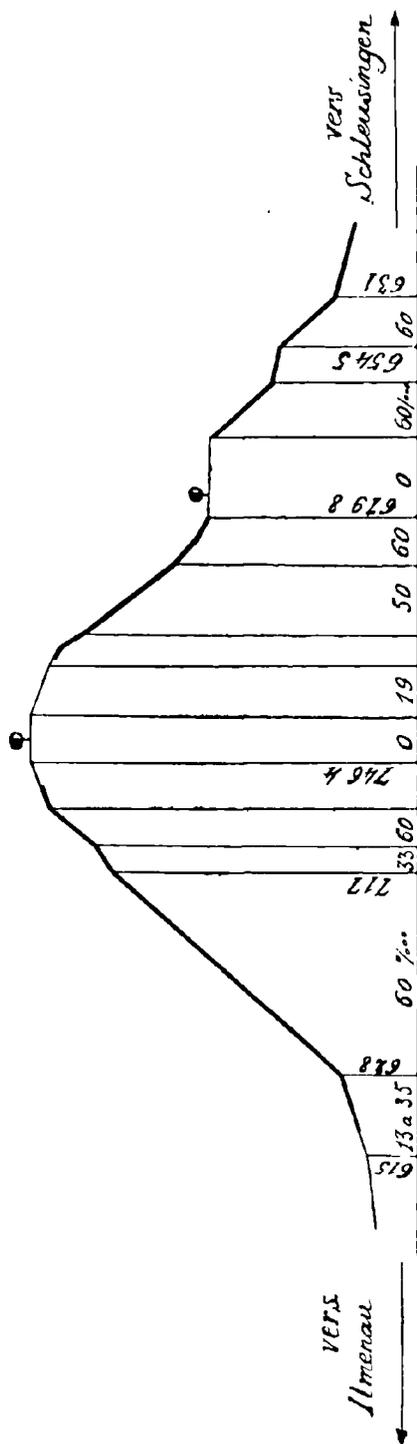


Fig. 42.

Profil en long de la ligne d'Ilmenau-Schleusingen.

Rigi, on a pris des arcs de cercle de 1.000 mètres de rayon ; à Langres, on s'est contenté d'un cercle de 300 mètres de rayon.

Les ouvrages d'art ne présentent pas non plus de particularité à noter, si ce n'est celle qui résulte de la forte inclinaison de la ligne. Nous en donnons néanmoins quelques exemples.

La figure 43 représente l'élévation du pont de Schnurtobel, de la ligne de Vitznau-Rigi. La fig. 44, celle du pont du Rothenfluh de la ligne d'Arth-Rigi. Ces deux ponts sont métalliques, avec piliers métalliques.

Le pont de Rothenfluh, dont chacune des deux travées a 14 m. 70 de portée, pèse 1.000 kg. par mètre courant.

La fig. 29 représente la coupe longitudinale du viaduc d'entrée en ville de la ligne de Langres, dont la construction est revenue à 30.285 francs pour 62 m. 75 de longueur totale.

La fig. 46 représente le viaduc de Mühlebach, de la ligne de Viège-Zermatt ; c'est un pont métallique en arc de cercle, de 53 m. 732 d'ouverture. La hauteur du rail au-dessus du fond de la vallée est de 45 mètres. La voie est à la partie supérieure de l'arc et au-dessus de lui ; elle est supportée par un treillis de 0 m. 800 de hauteur, reposant sur l'arc par l'intermédiaire de palées. Le poids des fers de cet ouvrage est de 81 t. 200.

Le pont sur le ravin de Faulkin est représenté fig. 47. C'est une poutre droite en treillis, de 25 mètres de portée ; sa hauteur est de 2 m. 60 ; le poids total atteint 23 t. 800.

La coupe détaillée du viaduc du Faulkin est indiquée fig. 48.

La fig. 45 indique avec détail la coupe transversale de la poutre droite du viaduc d'entrée en ville du chemin de Langres, dont nous avons donné fig. 29 la coupe longitudinale. Les poutres de ce viaduc sont coupées au droit de chaque appui ; à leur extrémité inférieure, elles buttent contre un sommier de fonte solidement encastré dans la maçonnerie ; la dilatation se fait vers l'extrémité supérieure de la poutre qui reste libre.

Cette disposition, adoptée en principe sur les lignes à cré-

Fig. 44. — Ligne d'Arth-Rigi, Viaduc de Rotenfluh.

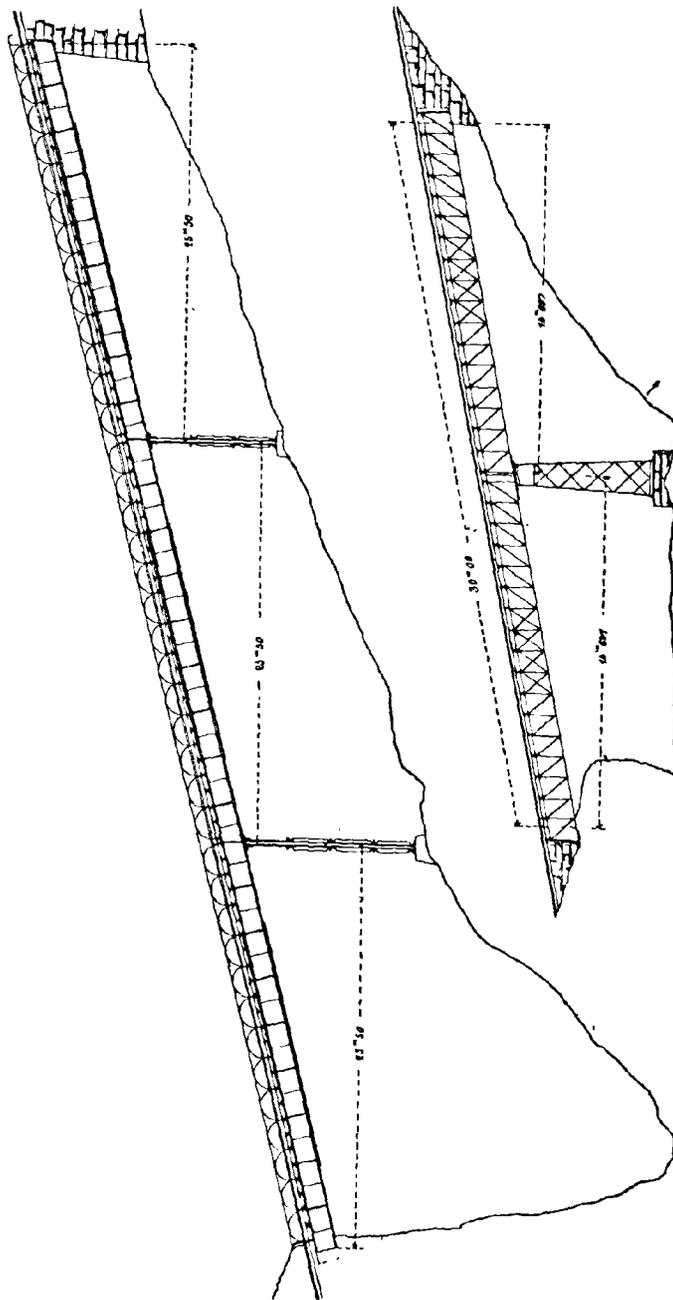


Fig. 43. — Ligne de Vitznau-Rigi, Viaduc de Schnurtobel.

maillère, a pour but de s'opposer au glissement de la poutre sous l'effet de la poussée longitudinale transmise par la crémaillère.

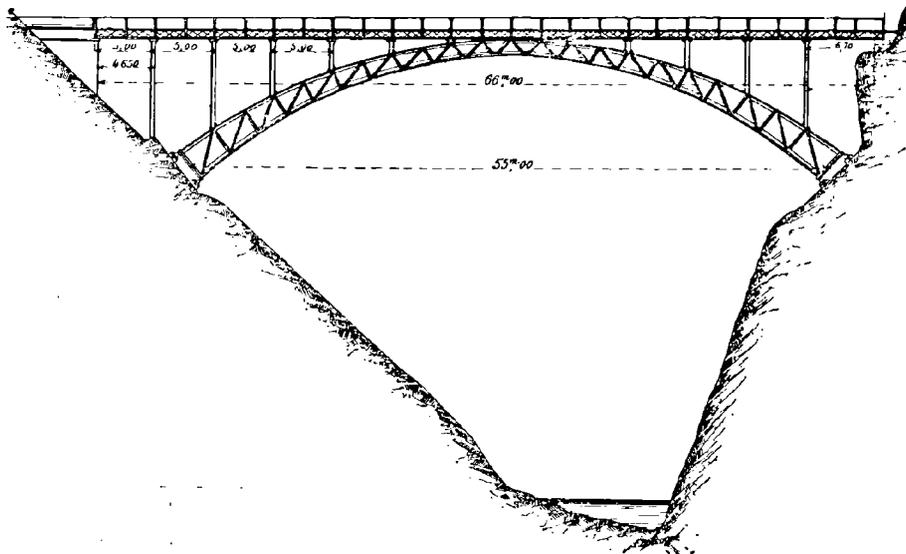


Fig. 46. — Viaduc de Mühlebach (Viège-Zermatt).

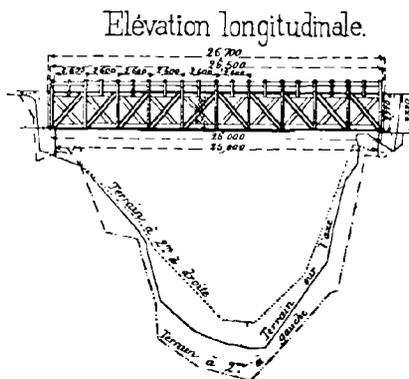


Fig. 47. — Viaduc de Faulkin (Viège-Zermatt).

Les lignes à crémaillère ne présentent en général que des ouvrages courants et relativement peu importants. Suivant en effet de près les ondulations du sol, les cotes de hauteur sont

faibles, l'on évite soigneusement les traversées à grande hauteur, et autant que possible les tunnels.

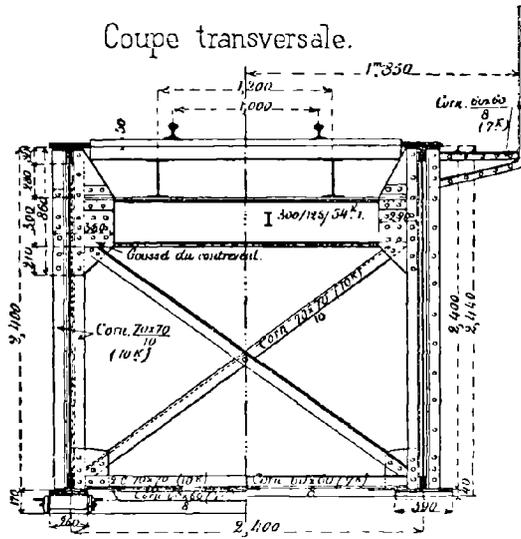


Fig. 48.
Viaduc de Faulkin.

La fig. 49 représente le type adopté pour les tunnels de la ligne de Viège à Zermatt.

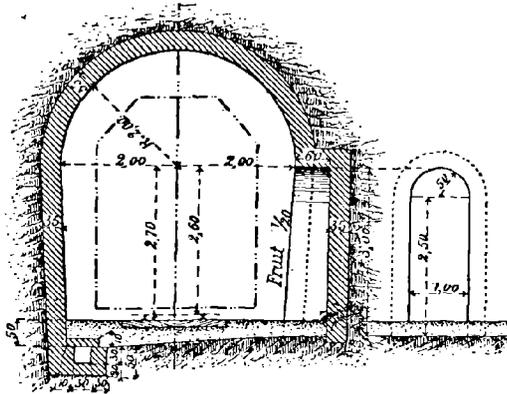


Fig. 49.
Tunnel dans la terre ou la roche friable.

En général, on peut dire que, sur les lignes à crémaillère, on cherche surtout l'économie et la simplification. Ainsi les clôtures sont supprimées.

Au chemin du Brünig, la plupart des ponts de petite ouverture ne sont pas munis de parapets.

On donne aux profils des terrassements des sections aussi faibles que possible.

En France, on est limité à cet égard par les règlements administratifs prescrivant :

1° de placer la crête du ballast à l'aplomb de la partie la plus saillante des véhicules ;

2° de réserver une distance de 0 m. 90 entre cette crête du ballast et l'arête extérieure du terrassement.

On arrive ainsi, pour un chemin à voie de 1 mètre et un gabarit de 2 m. 40, à donner en couronne aux remblais une largeur minima de 4 m. 20.

Ce règlement impose par suite aux chemins de montagne d'ordre secondaire un excédant de dépenses de construction que l'on pourrait peut-être réduire.

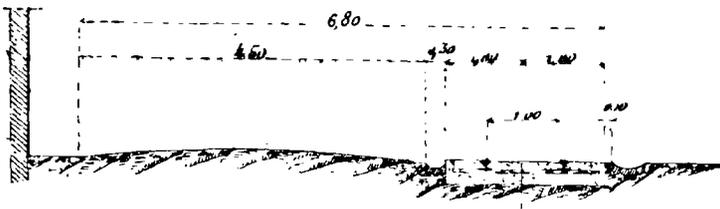


Fig. 50.

En Suisse, où la tolérance est plus grande, on réalise de ce chef une économie assez notable, ce qui favorise dans une certaine mesure la construction de ces petites lignes de montagne.

A Viège-Zermatt, pour un gabarit de 2 m. 40 de largeur, on a seulement donné en couronne aux remblais une largeur de 3 m. 60, ce qui réduit à 0 m. 20 la banquette de l'accotement.

Par rapport aux lignes françaises, c'est une réduction de 0 m. 60, soit $1/7$ de la largeur totale.

A l'Oberland Bernois, pour une largeur de voie de 1 mètre et un gabarit de 2 m. 70, on a donné aux remblais une lar-

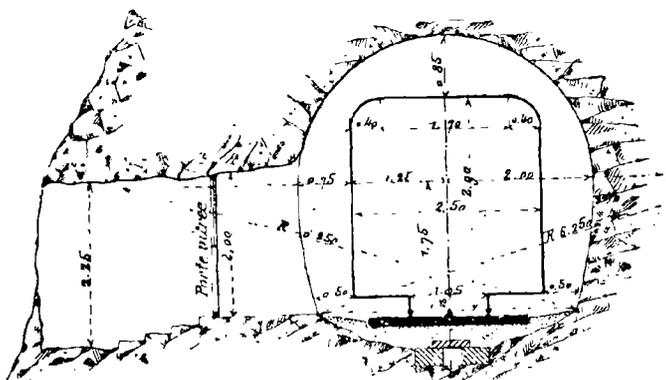


Fig. 51. — Profil projeté pour le tramway du Mont-Blanc.

geur en couronne de 3 m. 70 ; en profil réduit, la largeur de la plate-forme au niveau du ballast est de 2 m. 50.

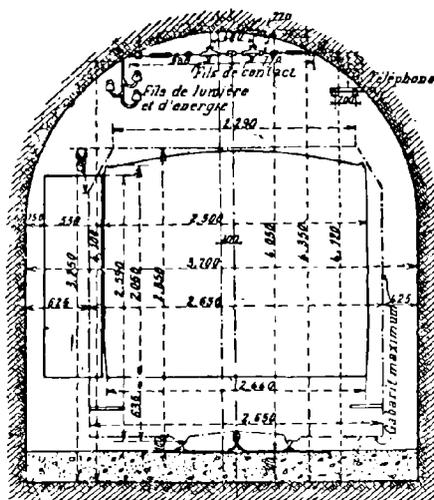


Fig. 52. — Profil du tunnel de la Jungfrau.

Au chemin de Saint-Gall-Gais, établi à voie de 1 mètre, la largeur du ballast en couronne est de 2 m. 20 ; la largeur à la

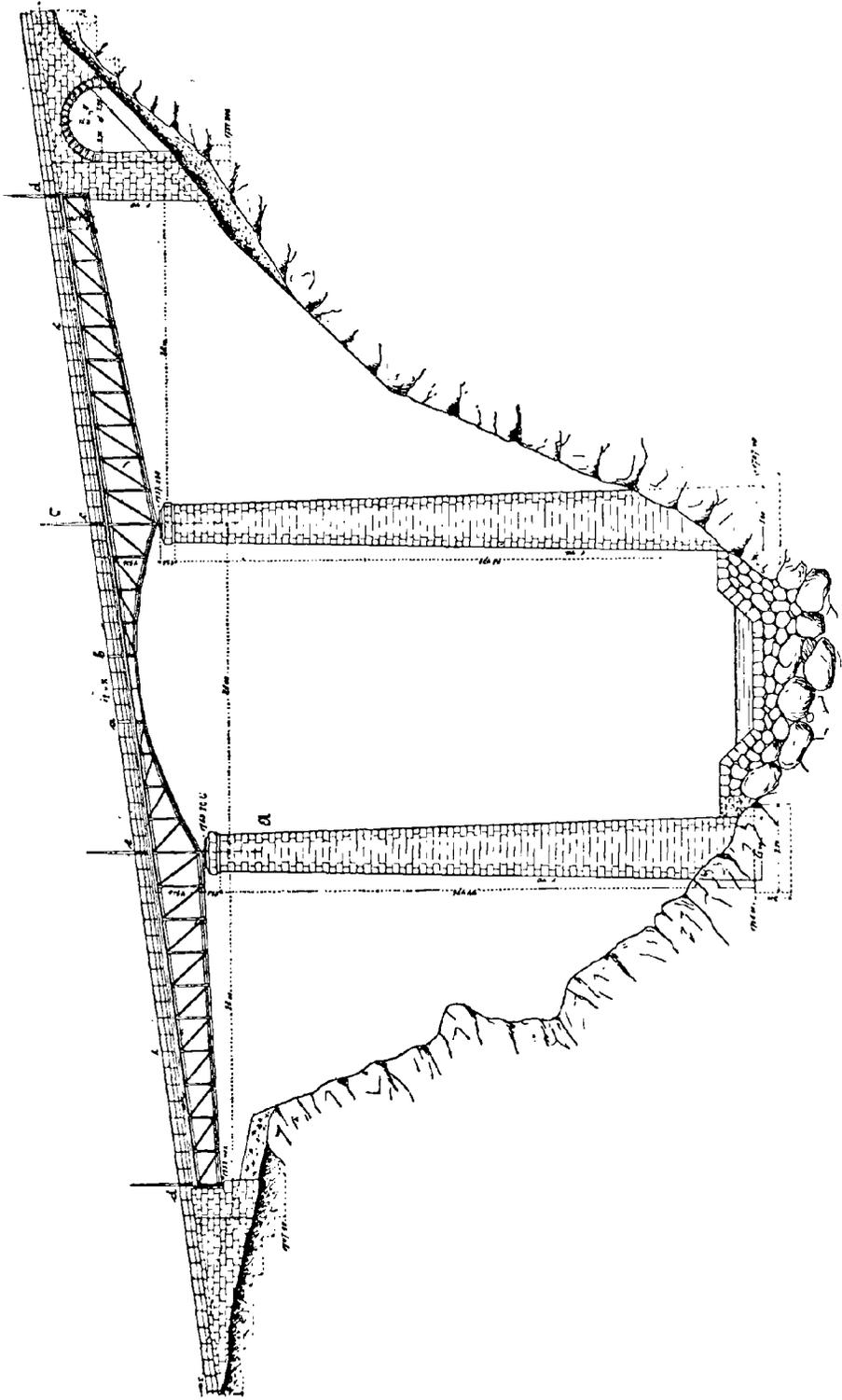


Fig. 53. — Élévation du viaduc de Findelenbach (Ligne du Gonergrat).

base est de 2 m. 50, ce qui conduit à une largeur de 3 m. 50 pour la plate-forme du terrassement.

Lorsque la voie borde une route de terre, la largeur minima réservée à la circulation est de 4 m. 50, et la route est séparée du chemin de fer simplement par un petit caniveau de 0 m. 30 de largeur, comme l'indique la fig. 50.

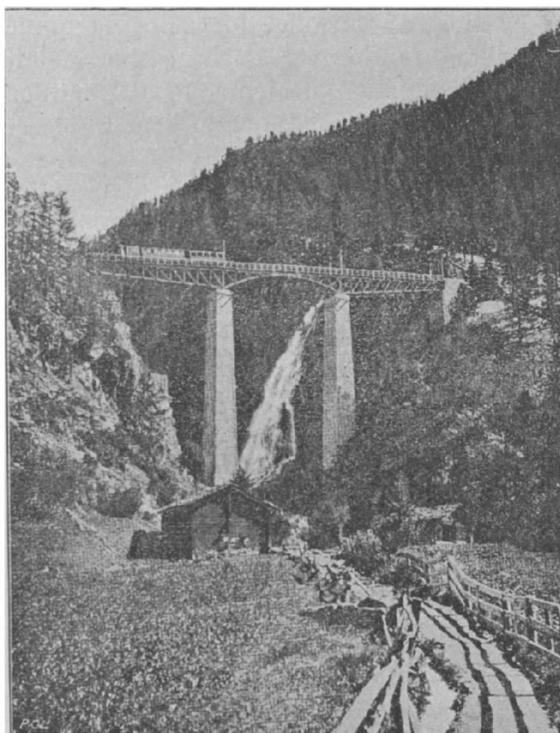


Fig. 54.

Pour le tramway électrique du Mont Blanc, où le matériel a été prévu au gabarit de 2 m. 50, avec voie de 1 m. 05, la largeur en couronne au niveau du ballast est de 3 mètres. La section des tunnels, aussi réduite que possible, doit cependant être suffisante pour assurer une ventilation convenable. La fig. 51 montre la section prévue pour les petits tunnels du

tramway du Mont Blanc, section qui serait insuffisante pour un tunnel un peu long.

A la Jungfrau, on a adopté le profil représenté par la fig. 52. La largeur est de 3 m. 70, la hauteur sous clé de 4 m. 05, la section de 16 m. q.

Au Gornergrat, la section du tunnel a 3 m. 80 de large et une hauteur sous clé de 4 mètres.

La fig. 53 montre l'élévation du viaduc du Findelenbach établi sur la ligne du Gornergrat. Le tablier métallique du type « Cantilever » est en déclivité de 124 millimètres et repose sur deux piles en maçonnerie hautes respectivement de 48 m. 80 et 49 m. 80 ; les trois travées ont chacune 28 mètres d'ouverture libre. Les deux poutres de rive sont distantes de 4 mètres ; la largeur entre garde-corps est de 4 mètres.

La fig. 54 donne la vue générale de l'ouvrage et des abords.



CHAPITRE II

VOIE ET CRÉMAILLÈRE

§ 1

VOIES A CRÉMAILLÈRE. — GÉNÉRALITÉS

51. Dispositions de la voie. — Poids des rails. — Eclissage. — La voie courante n'offre aucune particularité à noter sur les lignes à crémaillère, si ce n'est que, la voie étant munie de crémaillère, les rails sont moins fatigués, n'ayant pas à subir l'action des freins à la descente.

Le type adopté sur ces chemins est exclusivement le rail Vignole, reposant sur des traverses ordinaires ou, le plus souvent, sur des traverses métalliques.

Au Vitznau-Rigi, le rail pèse 16 kg. 6 le mètre courant, pour une charge maxima de 6.250 kg. par essieu.

Au chemin de Wasseralfingen, qui est un chemin mixte, le rail pèse 32 kg. au mètre, pour une charge maxima de 5.500 par essieu.

Au Hoellenthal, le rail pèse 39 kg. 2 par mètre, pour une charge maxima de 13 t. 5 par essieu (voie normale).

A Langres, le rail pèse 23 kg. 300 pour une charge maxima de 7.800 kilos par essieu ; au chemin de Viège-Zermatt, 24 kg. 2 pour un poids maximum par essieu de 10.250 kg.

Ces derniers rails sont donc légers comparés à ceux des autres lignes. Ils sont en acier et par barres de 10 m. 556.

Le rail de Viège-Zermatt a une section de 31 cm.q., son

moment d'inertie en centim. est de 504, son moment résistant $\frac{R}{I} = 96$. Sur la ligne de Blankenbourg à Tanne (voie normale), le rail d'acier pèse 30 kg. par mètre courant.

En général, on considère qu'un rail de 21 à 23 kg. ne doit pas supporter un essieu chargé de plus de 8 tonnes.

La fixation des rails sur les traverses et l'éclissage ne donnent lieu à aucune remarque particulière pour les lignes à crémaillère.

Toutefois, sur une ligne à pente aussi extraordinaire que celle du mont Pilate, on a, malgré la continuité de la crémaillère, pris des précautions spéciales pour éviter tout glissement ; nous y reviendrons en décrivant la superstructure de cette ligne.

Les traverses en bois ou métal n'offrent d'autre particularité que de recevoir, au milieu, la crémaillère ou ses supports et, latéralement, diverses pièces, comme des longrines en bois ou métalliques, reliant les traverses les unes aux autres pour contrebuter la poussée de la crémaillère. Les traverses métalliques sont aujourd'hui presque exclusivement employées sur les lignes à crémaillère ; par suite de leur forme, elles présentent par elles-mêmes une grande résistance au glissement longitudinal de la voie, contre lequel il faut se prémunir sur ces lignes à très fortes pentes.

Mais, avant de s'occuper des moyens de consolidation, il convient d'examiner la construction de la crémaillère et de se rendre compte des efforts qu'elle a à supporter.

52. Consolidation de la voie. Poussée longitudinale de la crémaillère. — Par exemple, les machines de Vitznau-Rigi peuvent développer un effort de traction de 6.000 kg., effort exercé tout entier au contact des dents de la roue avec les dents de la crémaillère. Celle-ci est donc poussée en sens inverse de la marche du train, avec un effort de 6 tonnes. Il y a lieu de se préoccuper de cette poussée longitudinale et d'aviser aux moyens d'y résister énergiquement. Il faut donc consolider fortement la voie, la rendre absolument indéformable. Ce but est atteint généralement en rendant toutes les traverses solidaires les unes des autres, de manière qu'une

d'elles ne puisse obéir à un mouvement de translation, sans entraîner avec elle les voisines.

A cet effet, on a relié tout d'abord les traverses par deux cours de longrines, placées symétriquement de chaque côté de l'axe de la voie, courant parallèlement aux rails et fixées à chaque traverse par des tirefonds. Aujourd'hui, ce dispositif est à peu près abandonné : au lieu de longrines en bois qui se pourrissaient promptement, on relie les traverses entre elles par des fers \sqsubset , posés à plat et fixés sur chaque traverse par des tirefonds.

Quand les traverses sont des traverses métalliques, qui, par leur forme, résistent beaucoup mieux au glissement longitudinal, la nécessité de consolider la voie par des liens longitudinaux est moins grande, et l'on compte souvent simplement sur les rails pour assurer la liaison des traverses les unes aux autres. Remarquons aussi que, dans ce dernier cas, la fixation du rail sur la traverse est plus sûre. La vis fixant le rail sur la traverse ne peut en effet mâcher le trou percé dans le métal, comme le tirefonds mâche le bois de la traverse ordinaire.

Sur toutes les lignes comme celles du Vitznau-Rigi, de Langres, etc..., on a, outre ce moyen de consolidation, assuré absolument l'invariabilité d'une traverse tous les 75 ou 100 mètres, en la faisant buter contre deux traverses jumelées, placées verticalement et solidement maçonnées en terre.

Au Brünig, où les traverses ne sont pas reliées les unes aux autres par des fers à \sqsubset ou des moises, on a eu soin de placer, tous les 80 mètres environ, des rails verticaux solidement encastrés dans un massif de béton, et contre lesquels une traverse vient s'appuyer pour résister à la poussée.

Les longrines de bois destinées à consolider la voie ont été remplacées, même au Rigi, par des fers \sqsubset placés à plat et fixés aux traverses par des tirefonds. Mais les eaux pluviales suivent ce fer \sqsubset comme un canal et, s'introduisant entre le tirefonds et son trou, pénètrent jusque dans la traverse, dont elles amènent la pourriture. On remédie à cet inconvénient, en plaçant sous la tête du tirefonds une tresse de chanvre enduite de minium, qui assure l'étanchéité.

Ces fers \sqsubset sont assemblés entre eux par des éclisses, laissant

le jeu de la dilatation, ou simplement fixés par des tirefonds sur une traverse de joint.

Pour éviter que l'effet de la poussée ne fatigue les tirefonds assemblant ce fer \sqcup avec chaque traverse, on rive sous ce fer \sqcap un fragment de cornière, qui vient buter contre la traverse de joint, et y reporte la poussée longitudinale.

Au chemin de fer de Langres, ce fer \sqcup a 80 millimètres de largeur. Malgré les mesures prises on ne parvient pas à y empêcher le cheminement de la voie.

Lorsque la pente du chemin est inférieure à 100 millimètres, la nécessité de l'entretoisement n'apparaît plus aussi impérieusement, et on le supprime sur certaines lignes à pentes moins raides. Les traverses métalliques, d'un usage courant sur les lignes à crémaillère, ont aujourd'hui remplacé au Rigi les traverses en bois.

53. Supports et mode d'attache de la crémaillère.

— Sur les chemins où la crémaillère est continue, elle est fixée directement sur les traverses par des boulons. Mais, lorsque la ligne comporte des sections exploitées par simple adhérence, si le dessus de la crémaillère était au même niveau que les rails, la roue dentée toucherait le sol dans la traversée des passages à niveau. Il faut donc, dans ce cas, rehausser la crémaillère par un support intermédiaire placé sur la traverse.

En outre, sur les lignes à exploitation continue, la nécessité d'expulser facilement la neige de l'intervalle des dents de la crémaillère a conduit à surélever cette dernière et à la faire reposer sur des coussinets.

A l'origine, on avait placé deux cours de longrines dans l'axe de la voie et posé sur ces longrines la crémaillère (Rorschach-Heiden, Wasseraifingen) (fig. 59).

Mais, outre la prompte pourriture des traverses, la différence de dilatation entre le bois et le fer offrait de sérieux inconvénients. Aussi a-t-on renoncé aux longrines, et l'on supporte la crémaillère par des coussinets en métal, sur le dessus desquels elle est solidement fixée par des boulons. La crémaillère Strub, découpée dans un rail Vignole, est exempte de ces complications ; le patin du rail repose directement sur les

traverses de la voie, et les éclisses, fixées comme nous le verrons à ces traverses, s'opposent au glissement longitudinal.

Sur les lignes à crémaillère ordinaires, dont les pentes n'excèdent pas 250 millimètres, les dispositions précédentes sont suffisantes pour assurer l'assiette de la superstructure, toujours maintenue par le ballast. Mais au Mont Pilate, où la pente atteint 480 millimètres, il a fallu fonder la voie beaucoup plus solidement, et n'en faire qu'un seul tout inébranlable.

A cet effet, on a maçonné la voie et on a recouvert la partie supérieure du terrassement de dalles de granit, de 0 m. 20 d'épaisseur, ayant toute la largeur du chemin, soit 1 m. 20.

Les traverses métalliques, de 1 m. 20 de longueur, sont constituées par des fers à U de 140 millimètres de largeur d'âme et de 63 millimètres de hauteur. Les ailes du fer à U sont encastées jusqu'à mi-hauteur dans la dalle de granit, de telle façon que la partie supérieure soit parallèle à l'axe de la voie.

Ces traverses sont solidement fixées sur le dallage par des boulons de fondation ou des étriers (Voir fig. 82 et 83.)

Les rails ont 6 mètres de longueur; chacun d'eux est supporté par six traverses, ayant un espacement moyen de 1.310 ou 380 millimètres.

L'éclissage des rails est à noter. Deux fers profilés symétriques, de 52 millimètres de hauteur, prennent entre eux le patin du rail jusqu'à mi-hauteur, ainsi que la partie supérieure du patin.

Quatre boulons fixent ces fers aux traverses, et six boulons traversant les patins des rails à réunir assurent l'éclissage.

La portée des rails sur les autres traverses se fait d'une façon analogue, par des fers profilés de 140 millimètres de longueur, fixés à la traverse par quatre boulons et assemblés par deux boulons traversant le patin du rail (voir fig. 81).

On laisse pour la dilatation un jeu de 2 millimètres, correspondant à une différence de température de 60°.

Les rails sont fixés aux traverses métalliques par des boulons à crochet, comme le montre la coupe de la fig. 85 relative au chemin de la Jungfrau.

Le tableau ci-joint résume divers renseignements sur la superstructure de la voie courante des lignes à crémaillère.

54. Tableau résumant les données de la superstructure des lignes à crémaillère. — Rails et traverses.

NOMS DES LIGNES	Largeur de voie	Pentes maximas	Rayon minimum	Poids des traverses métalliques	Espacement des traverses	Hauteur du rail	Poids par mètre courant			OBSERVATIONS
							du rail	de la con- solidation	de la cré- maillère	
Ostermundigen	1,435	400	»	kg. traverses en bois	0,75	m/m 120	kg. 2,5	kg. 58		
Vitznau-Rigi	»	250	180	»	0,750	80	16,6	1,5	simple	55,55
Kahlenberg	»	400	»	»	»	»	4,8	»	»	55,55
Schwabenberg	»	402,5	»	»	»	»	4,8	»	»	55,45
Arth-Rigi	»	212,57	»	»	»	»	4,78	»	»	55,55
Rorschach-Heiden	»	90	240	»	4,00	»	4,78	»	»	53,5
Langres	1,00	172	120	»	0,55	»	23,3	17	mixte	49,5
Hoellenthal	1,43	55	200	42,5	»	129	36,2	»	mixte	101
Blankenbourg à Tanne	1,435	60	200	40	0,550	120	30	»	mixte	»
Viège-Zermatt	1,00	120	100	32,8	1,070	110	24,2	»	mixte	»
Mont Pilate	0,800	480	80	»	0,880	»	»	»	»	»
Le Brünig	1,00	120	120	»	0,498	»	24,2	»	mixte	78
Beyrouth-Damas	1,05	70	400	37,8	0,635	»	27,6	»	mixte	45,6
Jungfrau	1,00	250	100	37	0,450	100	20,6	»	simple	34

Dans les parties sans crémaillères le rayon des courbes descend à 60 m.
Traverses acier fondu, 10 traverses par travée de 9 mètres.
Y compris les coussinets, tirefonds et boulons.
L'espacement de 550 s'applique à la travée de joint et celle de 1070 aux traverses courantes en voie ordinaire.
La cote de 880 est l'espacement dans les parties en crémaillère.
La cote 450 s'applique aux traverses de joint.
La cote 635 s'applique aux traverses du milieu.
La cote 680 s'applique aux traverses courantes.
La cote de 380 s'applique aux traverses de joint et du milieu.
La cote de 1,310 aux traverses courantes.
La cote de 0,450 s'applique au joint et au milieu de la travée.
Poids complet de la superstructure 125 kg. le m. l.

55. Généralités. Efforts supportés par la crémaillère. — Les crémaillères employées sont de divers systèmes ; mais, quel que soit le système, il comporte toujours une ou plusieurs roues dentées, engrenant avec les dents d'une crémaillère fixe placée dans l'axe de la voie.

Les échelons, les dents de la crémaillère, ont par suite, à subir toute la réaction de l'effort de traction et le transmettent à leur support.

On a toujours, et à juste raison, donné aux dents de la roue motrice des profils obtenus par développante de cercle. Il en résulte, pour le profil conjugué des dents de la crémaillère, des lignes droites. On sait, en effet, que, dans ce système, la distance de l'axe de la roue à la ligne primitive de la crémaillère peut varier légèrement sans que l'engrènement cesse d'être convenable. De plus, l'usure est plus régulière que dans les autres systèmes de tracé.

On avait appliqué sur une des premières lignes à crémaillère un engrenage à lanterne, sur la ligne d'Ostermundigen, et on a dû y renoncer à cause des chocs et de l'usure considérable qui en résultait.

L'effort total de traction se répartit toujours au moins sur deux dents de la crémaillère.

Mais la crémaillère peut avoir à supporter un effort plus grand que celui correspondant à la traction du train. C'est lorsqu'à la descente la roue dentée tourne dans la crémaillère en retenant le train, quand on serre les freins.

Soient, i l'angle de la voie avec l'horizon,

P le poids total du train,

V sa vitesse,

L le parcours effectué jusqu'à l'arrêt.

Au moment du serrage des freins, la force totale motrice sollicitant le train sur la pente est

$$\frac{PV^2}{2g} + P \sin i.$$

Soit F la force destinée à annuler la force vive ; elle communiquerait, sur une longueur L , une vitesse V à la masse

$\frac{P}{g}$; soit γ son accélération. On a $V = \gamma t$, $L = \frac{1}{2} \gamma t^2$, d'où

$$\gamma = \frac{V^2}{2L}.$$

Les forces étant proportionnelles aux accélérations :

$$\frac{F}{P} = \frac{\frac{V^2}{2L}}{g} \text{ et } F = \frac{V^2 P}{2gL}.$$

La pression totale sur la crémaillère sera donc :

$$Q = \frac{PV^2}{2gL} + P \sin i.$$

Toutefois, les trains descendant lentement sur les lignes à crémaillère, le premier terme est généralement faible vis-à-vis du second.

Appliquons la formule à la ligne de Vitznau-Rigi, où $V = 2^m$, $P = 20.000 \text{ kg.}$, $\sin i = \text{tg } i = \frac{1}{4}$.

Supposons que l'arrêt doive pouvoir s'effectuer sur 10 mètres ; on a :

$$L = 10 \text{ et } Q = \frac{20.000 \times (2)^2}{2 \times 9,8 \times 10} + \frac{20.000}{4} = \frac{4.000}{9,8} + 5.000,$$

soit $Q = 400 + 5.000$. Mais, par contre, on voit par cette formule l'importance, au point de vue des réactions en jeu, qu'il y a à éviter toute accélération, car, pour une vitesse de 3 mètres par seconde, au lieu de 2 mètres, le terme dû à la force vive aurait une valeur de 900 kilos, c'est-à-dire qu'il ferait plus que doubler.

Quelle est la force absorbée par le frottement des dents de la roue dentée sur les dents de la crémaillère ? Le frottement de deux roues dentées se calcule par la formule

$$F = \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'} \right) \frac{f \times p}{2} \times P, \text{ dans laquelle :}$$

r et r' désignent les rayons des roues,

f le coefficient de frottement,

p le pas,

P la pression des dents.

Pour une crémaillère, $r' = \infty$ et $F = \frac{1}{r} \times \frac{f \times \rho \times P}{2}$;

pour les machines du Rigi,

$$r = 0,525 \quad f = 0,1 \quad \rho = 0,100$$

$$\text{et } F = P \times \frac{0,1 \times 100}{1050} = P \times \frac{10}{1050} = \frac{P}{105},$$

soit approximativement $\frac{1}{100}$ de la pression des dents.

Mais il est clair que cette quantité varie essentiellement avec f , coefficient de frottement des dents l'une contre l'autre, valeur qui dépend du soin que l'on apporte au graissage des dents de la crémaillère et des circonstances atmosphériques. En tous cas, il y a évidemment intérêt à graisser avec soin les dents de la crémaillère; aussi prend-on toujours cette précaution.

La crémaillère est constituée par une série de tronçons que l'on réunit par un solide éclissage, en ménageant le jeu de la dilatation. On donne aux divers tronçons une longueur d'environ 3 mètres et il ne serait guère possible d'augmenter cette longueur, à cause de la dilatation. En effet, le métal est soumis en ces pays de montagne à des différences de température d'au moins 50° (de - 10° à + 40°), ce qui, pour un coefficient de dilatation de 0,00001235, correspond à un allongement de $\frac{0^m,00185}{2}$ pour une longueur de 3 mètres, en supposant la division faite à la température moyenne de 25°.

Cela fait encore un déplacement d'environ 0 m. 001 pour le dernier échelon ou la dernière dent de la crémaillère. Aussi cette longueur de 3 mètres a-t-elle été constamment adoptée et n'a-t-elle jamais été dépassée notablement sur aucune ligne à crémaillère, sauf pour la ligne de Saint-Gall-Gais, où la longueur des tronçons de crémaillère atteint 4 m. 995.

Lorsque la crémaillère est destinée à une ligne où la traction se fait d'un bout à l'autre à l'aide de la crémaillère, le rayon du cercle primitif de la roue dentée est égal au rayon des roues porteuses, et la roue dentée peut être calée directement sur un essieu porteur. Le niveau des échelons ou, pour

parler plus exactement, celui de la ligne primitive de la crémaillère doit être alors le même que celui de la surface de roulement des rails. La crémaillère est fixée sur les traverses et a peu de hauteur.

Mais, sur les lignes mixtes où les sections à crémaillère et à adhérence se succèdent les unes aux autres, il faut que, dans les parties sans crémaillère, la roue dentée ne puisse pas venir toucher le sol. Dans ce cas, cette roue est portée par un arbre spécial, et la crémaillère est supportée par des coussinets ou des longrines reposant sur les traverses afin de la surélever au-dessus du niveau des rails.

Nous avons vu précédemment, à propos du tracé (p. 31), qu'avec la longueur de 3 mètres, choisie pour la crémaillère, on ne pouvait guère adopter des rayons de courbe inférieurs à 100 mètres sans se heurter à des difficultés de construction. Mais cette condition change avec le système de crémaillère, aussi y reviendrons-nous plus loin. Constatons seulement que c'est là encore un motif s'opposant à l'augmentation de longueur de barre des crémaillères.

56. Calculs des efforts de flexion et de cisaillement supportés par la crémaillère. Exemples. — Les échelons ou les dents de la crémaillère travaillent dans des conditions particulières que nous allons examiner.

Supposons d'abord qu'il s'agisse d'une crémaillère type Riggerbach, constituée par des échelons en fer trapézoïdaux, rivés dans des fers \sqsubset dont les montants sont verticaux.

La pression des dents est appliquée normalement à la face de la dent de la crémaillère et tend à faire fléchir ce barreau, dont les extrémités sont prises dans les montants verticaux des fers \sqsubset .

Par suite, α désignant l'angle de la dent de la crémaillère, avec la verticale, la pression P donne une composante normale à la voie, qui tend à faire fléchir le barreau, et une composante parallèle à la voie qui tend à le cisailer :

$$\begin{aligned} P_n &= P \sin \alpha, \\ P_p &= P \cos \alpha. \end{aligned}$$

La pression de la roue dentée sur l'échelon de la crémaillère s'exerce sur toute la largeur de cette roue, et on peut la supposer uniformément répartie sur cette étendue. D'autre part, le mode de construction permet de supposer l'échelon encastré dans les montants de la crémaillère. L'échelon est donc dans le cas d'une pièce encastrée à ses extrémités, supportant une charge uniformément répartie sur une certaine portion de sa longueur.

Généralement, on suppose que la pression est répartie sur toute la largeur de l'échelon, sur toute sa portée, ce qui est inexact.

Nous allons établir la formule donnant la résistance d'une telle pièce.

Soient, l la portée de la pièce encastrée en A et B ;

p la charge par mètre courant répartie sur une longueur $a < l$ du point C au point D entre A et B.

Les réactions des appuis sont $\frac{pa}{2}$.

Les équations donnant la valeur du moment fléchissant sont au nombre de trois, suivant que le point d'abscisse x est compris entre A et C, entre C et D ou entre D et B. Ces équations sont, en désignant par μ la valeur inconnue du moment d'encastrement :

$$\text{I} \left\{ \begin{array}{l} \text{EI} \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{pa}{2} x - \mu \\ \text{EI} \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{pa}{2} x - \frac{p}{2} \left(x - \frac{l-a}{2} \right)^2 - \mu \\ \text{EI} \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{pa}{2} x - pa \left(x - \frac{l}{2} \right) - \mu \end{array} \right.$$

intégrant, il vient :

$$\text{II} \left\{ \begin{array}{l} \text{EI} \frac{dy}{dx} = \frac{1}{4} pax^2 - \mu x \\ \text{EI} \frac{dy}{dx} = \frac{1}{4} pax^2 - \frac{1}{6} p \left(x - \frac{l-a}{2} \right)^3 - \mu x \\ \text{EI} \frac{dy}{dx} = \frac{1}{4} pax^2 - \frac{1}{2} pax^2 - \mu x + \frac{pal}{2} x + C. \end{array} \right.$$

Les deux premières équations II n'ont pas de constantes

parce que pour la première $\frac{dy}{dx} = 0$ pour $x = 0$, et que, pour la seconde, la valeur de $\frac{dy}{dx}$ doit être la même pour cette équation que pour la première quand $x = \frac{l-a}{2}$.

En écrivant de même que les deux dernières équations II donnent la même valeur $a \frac{dy}{dx}$ pour $x = \frac{l+a}{2}$, nous déterminerons la valeur de C :

$$\frac{1}{4} p a x^2 - \frac{1}{6} p \left(x - \frac{l-a}{2} \right)^3 - \mu x = -\frac{1}{4} p a x^2 + x \left(\frac{p a l}{2} - \mu \right) + C.$$

Réduisant, il vient :

$$\frac{1}{2} p a x^2 - \frac{1}{6} p \left(x - \frac{l-a}{2} \right)^3 = \frac{p a l}{2} x + C$$

et, comme $x = \frac{a+l}{2}$, il vient :

$$\frac{1}{2} p a \left(\frac{a+l}{2} \right)^2 - \frac{1}{6} p a^3 = \frac{p a l}{2} \left(\frac{a+l}{2} \right) + C; \text{ développant, on obtient :}$$

$$\frac{1}{8} p a^3 + \frac{1}{8} p a l^2 + \frac{1}{4} p a^2 l - \frac{1}{6} p a^3 - \frac{1}{4} p a^2 l - \frac{1}{4} p a l^2 = C$$

et réduisant on a

$$C = -\frac{1}{24} p a^3 - \frac{1}{8} p a l^2 = \frac{-p a}{24} (a^2 + 3l^2).$$

Ayant la valeur de C, la dernière des équations II donne la valeur de μ , moment d'encastrement, car pour $x = l$

$$\frac{dy}{dx} = 0$$

donc on a :

$$-\frac{1}{4} p a l^2 + l \left(\frac{p a l}{2} - \mu \right) - \frac{p a}{24} (a^2 + 3l^2) = 0$$

d'où :

$$-\mu l = \frac{1}{4} p a l^2 - \frac{p a l^2}{2} + \frac{p a}{24} (a^2 + 3l^2) = \frac{1}{4} p a l^2 - \frac{p a l^2}{2} + \frac{p a^3}{24} + \frac{p a l^2}{8}$$

d'où :

$$\mu l = \frac{1}{8} p a l^2 - \frac{1}{24} p a^3$$

et

$$\mu = \frac{pa}{24l} (3l^2 - a^2).$$

En étudiant de plus près ces formules, on reconnaîtra que μ est le moment fléchissant maximum, et quand on calcule le moment d'encastrement, en supposant la charge uniformément répartie sur la longueur l , on trouve que ce moment, qui est aussi le moment maximum, est $\mu' = \frac{pa^2}{12}$ et que toujours $\mu' < \mu$. Ainsi, en prenant l'exemple indiqué par M. Abt dans son livre *Die drei Rigi Bahnen* et relatif à la crémaillère de Rorschach-Heiden, en supposant la charge uniformément répartie, on trouve que le métal travaille à 5 kilos, 2 par mmq. de section.

$$\mu a = 6.000 \text{ kilos, } b = 126 \text{ mm. } a = 100 \text{ mm.}$$

$$\mu' = \frac{6.000 \times 0^m,126}{12} = 63,$$

tandis que

$$\mu = \frac{6.000}{24 \times 0,126} (3 \times \overline{0,126^2} - \overline{0,1^2}) = \frac{6.000}{24 \times 0,126} \times 0,037628$$

ou $\mu = 75,2$.

Donc le travail du métal n'est pas 5 kg. 2, mais

$$5 \text{ kg. } 2 \times \frac{75}{63} = 6 \text{ kg. } 2,$$

c'est-à-dire qu'il est évalué par la formule simplifiée à environ 1/5 au-dessous de sa valeur.

Quant à l'effort tranchant qui est maximum dans l'encastrement, il a nécessairement pour valeur la moitié de la charge totale.

Les montants verticaux tendent évidemment à être fendus par la poussée longitudinale de la crémaillère; mais ils offrent toujours un excès de résistance, sauf pour le dernier échelon d'aval, le plus près du joint du tronçon.

Mais nous reviendrons sur ce point en nous occupant de la construction des crémaillères.

Nous décrirons six types de crémaillère :

1° Crémaillère Riggenbach ;

- 2° Crémaillère Bissinger et Klose ;
- 3° Crémaillère Klose ;
- 4° Crémaillère Abt ;
- 5° Crémaillère Locher ;
- 6° Crémaillère Strub.

§ 2

DESCRIPTION DES DIVERS TYPES DE CRÉMAILLÈRE

57. Crémaillère Riggenbach. — Les fig. 55 et 56 montrent les types de crémaillère du Rigi et de Rorschach-Heiden.

La crémaillère est formée de deux fers \sqsubset dont les montants verticaux retiennent les échelons formés de fers trapézoïdaux.

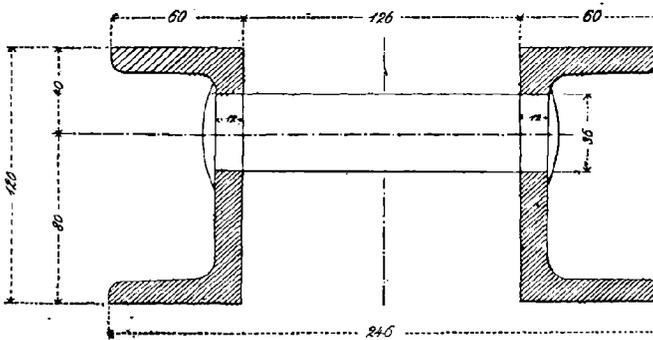


Fig. 55. — Crémaillère du Rigi.

Les angles de ces fers sont arrondis sur toute la profondeur de leur portée dans les montants verticaux du fer \sqsubset , et la forme de cette portée empêche toute rotation de l'échelon sous la pression de la roue dentée. Les deux extrémités de l'échelon sont rivées à froid, de sorte que la résistance au surécarterment est largement assurée.

Le pas de la crémaillère est généralement de 100 millimètres.

L'angle α , que forme avec la voie la face de la dent, est d'environ 60° .

M. Riggenschach a construit généralement deux types d'échelons :

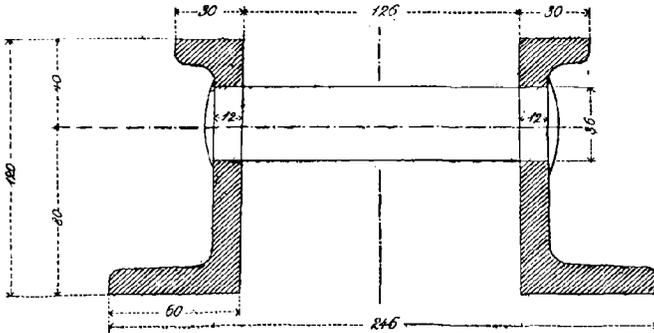


Fig. 56. — Crémaillère de Rorschach-Heiden.

Les dimensions du premier type sont $\frac{54 + 36}{2} \times 36$ comme l'indique la fig. 57, et l'angle $\alpha = 61^\circ 11' 20''$; la roue dentée a alors un diamètre primitif de 1,050 mm. ;

Dans le second type, les dimensions de l'échelon sont $\frac{29 + 47}{2} \times 32$, $\alpha = 60^\circ 57' 30''$; la roue dentée a dans ce cas un diamètre primitif de 764 mm.

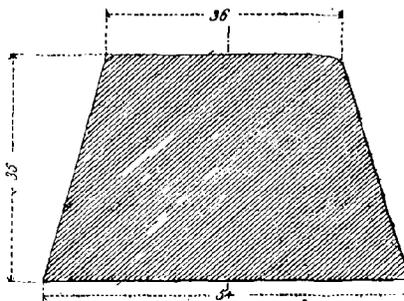


Fig. 57.

C'est le premier type qui a été appliqué à Langres.

Au Rigi, le vide intérieur entre les montants verticaux des

fers \sqcup est de 126 mm. ; la roue dentée motrice a 102 mm. de largeur ; il reste donc de chaque côté un jeu de 12 mm.

Cette quantité a été conservée à peu près dans les constructions plus récentes.

La coupe (fig. 55) de la crémaillère du Rigi indique que les ailes horizontales supérieures du fer \sqcup sont aussi larges que les ailes inférieures. Cela tient à ce que ces ailes supérieures sont destinées à pouvoir résister à la traction de grappins fixés aux voitures et passant au-dessous d'elles. En cas de vent très violent tendant à renverser la voiture, ces grappins seraient retenus par l'aile du fer à \sqcup , et s'opposeraient au renversement de la voiture.

On a supprimé cette aile supérieure sur les lignes moins exposées que le Rigi (voir fig. 56).

Comme nous l'avons dit plus haut, le dernier échelon d'aval tend à cisailer le métal du fer \sqcup tout comme les autres, et il n'y a pour résister à cet effort que la longueur du métal restant entre le dernier échelon et l'extrémité du tronçon.

Pour renforcer cette partie délicate et augmenter cette longueur, on a réservé au Rigi une longueur plus grande entre le dernier échelon d'aval et l'extrémité inférieure du tronçon qu'entre le premier échelon d'amont et l'extrémité supérieure du tronçon ; le premier intervalle est égal à 35 mm. et le second à 21 mm.

Cette disposition a l'inconvénient d'empêcher le retournement bout pour bout de la crémaillère, pour utiliser les deux faces des dents des échelons. Mais on ne peut l'éviter qu'en donnant au montant du fer \sqcup une épaisseur suffisante. On le fait souvent, pour profiter de l'économie que procure le retournement.

La crémaillère Bissinger, que nous décrivons plus loin, évite cet inconvénient.

Des expériences ont été faites jadis à propos du Rigi sur ce point délicat, dont l'importance n'avait pas échappé aux ingénieurs habiles qui le construisaient.

M. Abt indique que l'on trouva dans ces essais une résistance au cisaillement de 37 kilos par millimètre carré. Ces essais étaient faits du reste simplement en chargeant, jusqu'à

rupture du montant, le dernier échelon d'aval de la crémaillère.

Rappelons ici que le profil rond a été essayé pour les échelons de la crémaillère au chemin d'Ostermundigen, mais que les résultats ont été mauvais.

La pression maxima, admise pour les crémaillères du Rigi, pression entre les dents de la roue et celles de la crémaillère, est de 6.000 kilos.

Au chemin d'Arth-Rigi, où cette pression a été portée à 6.300 kilos, il en est résulté une usure plus sensible des dents de la roue motrice.

Cette pression de 6.000 kilos au Vitznau-Rigi, de 6.300 à l'Arth-Rigi est égale à l'effort de traction total de la machine ; elle se répartit donc sur toutes les dents simultanément en contact, et l'on a toujours au moins deux dents en prise.

Les tronçons de crémaillère ont à peu près 3 mètres de longueur (de 2.996 à 2.998 mm., afin de laisser le jeu de la dilatation).

Les parties destinées aux courbes sont, une fois construites, courbées à l'atelier à la demande du rayon.

La crémaillère de Vitznau-Rigi pèse 53 kg. au mètre, celle de Wasseraalengen 47 kg. seulement ; à Langres, son poids est de 49 kg. 5 (voir le tableau récapitulatif au n° 54).

Passons à la fixation de la crémaillère sur ses supports et à la jonction des divers tronçons.

58. Fixation de la crémaillère. Eclissage. — La crémaillère est portée quelquefois directement par les traverses.

Ce dispositif, qui a le mérite de la simplicité, ne peut s'appliquer que sur un chemin où la crémaillère est continue et qui, en outre, n'est pas exploité pendant l'hiver.

Sans un surhaussement, il serait en effet bien difficile d'enlever la neige de la crémaillère. De toute façon cette disposition rend évidemment le nettoyage de la crémaillère plus difficile.

Néanmoins, c'est la disposition qui a été primitivement adoptée au Vitznau-Rigi (voir la fig. 58) ; l'aile inférieure du fer  reposait directement sur la traverse, où elle était fixée

par deux tirefonds. Pour éviter que la poussée longitudinale, tendant à faire glisser la crémaillère sur les traverses, ne vienne arracher les tirefonds, on a rivé sous les ailes inférieures un fragment de cornière. L'aile verticale de cette cornière, placée perpendiculairement à l'axe de la voie, vient buter contre la traverse, de façon à arrêter toute tendance au glissement.

Les joints des tronçons de crémaillère sont faits sur une traverse (voir fig. 58). Une sorte de selle en fer plat, boulonnée mi-partie sur un tronçon, mi-partie sur l'autre, consolide l'assemblage.

Sur la ligne de Rorschach-Heiden, où l'exploitation est continue et où les voitures doivent pouvoir passer sur une voie ordinaire, il a fallu surélever la crémaillère. A cet effet, on l'a supportée par deux longrines placées dans l'axe du chemin, reposant sur les traverses (voir fig. 59). Cette disposition a donné de mauvais résultats. Les longrines se pourrissent, et la mise en place de la crémaillère ne peut se faire avec autant de précision qu'en employant des supports métalliques; de plus, les différences de dilatation du bois et du fer ont amené des disjonctions.

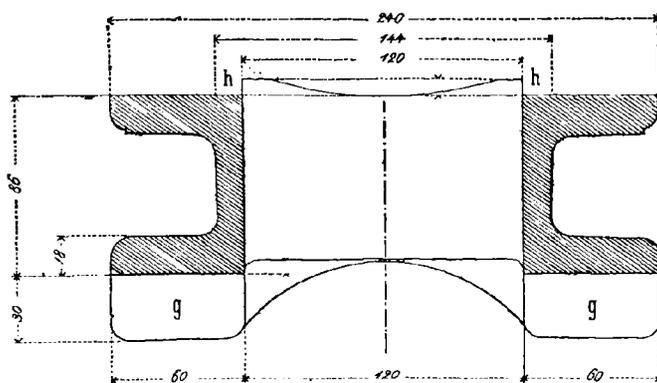


Fig. 60. — Coussinet de Wasseraaltingen.

Le principe de cette dernière solution est partout employé, mais on supporte la crémaillère au droit de chaque traverse

par des coussinets de fonte, et l'on a renoncé aux longrines.

La fig. 60 montre les détails de construction du coussinet employé à Wasseralfingen, comme coussinet de joint. Il est fixé à la traverse par quatre tirefonds et à l'aile inférieure de la crémaillère par quatre boulons. Deux de ces boulons peuvent glisser dans leur trou ovalisé, de façon que l'extrémité inférieure de chaque tronçon puisse obéir à la dilatation, l'extrémité supérieure restant fixe.

A la partie inférieure du coussinet, se trouve une nervure *g g* qui peut buter contre la traverse, de façon à empêcher toute poussée sur les tirefonds. Trois autres nervures, placées à la partie supérieure et comprises entre les montants verticaux des fers \sqcup de la crémaillère, empêchent toute tendance à un déplacement latéral.

Sur les traverses intermédiaires, la crémaillère est supportée par des cales de bois.

A Langres, on a remplacé ces cales de bois par des coussinets moins longs que les coussinets de joint. Ces coussinets

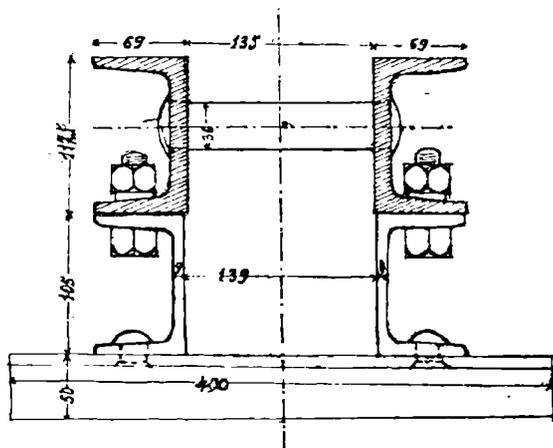


Fig. 61. — Oberland Bernois. Voie courante.

ont 105 millimètres de hauteur et pèsent 10 kg. 350 la pièce, tandis que ceux de joint pèsent 17 kg. 500.

Pour empêcher le glissement longitudinal, on a rivé aussi

sous la crémaillère des cornières de 130 millimètres qui viennent buter contre le coussinet de joint.

Quelquefois les joints des tronçons de crémaillère sont placés en porte-à-faux, et des éclisses latérales assurent la jonction. Les fig. 61 à 63 représentent les dispositions adoptées pour la fixation de la crémaillère au chemin de l'Oberland Bernois.

La coupe de la fig. 61 est celle de la voie courante ; celle de la fig. 62 est faite au joint ; enfin la fig. 63 représente la disposition de l'éclissage.

Cette crémaillère fortement surhaussée peut être facilement débarrassée de la neige et de la glace et, grâce aux coussinets, la crémaillère n'a qu'une faible hauteur et reste ainsi assez légère. Par contre, un déplacement latéral de la crémaillère est plus à craindre, ce qui rend l'entretien de la voie minutieux.

Lorsque les traverses sont métalliques, cas général actuellement, la fixation de la crémaillère ou des coussinets sur ces traverses se fait à l'aide de boulons. Nous décrirons surtout cette disposition en parlant des crémaillères Abt ou Strub.

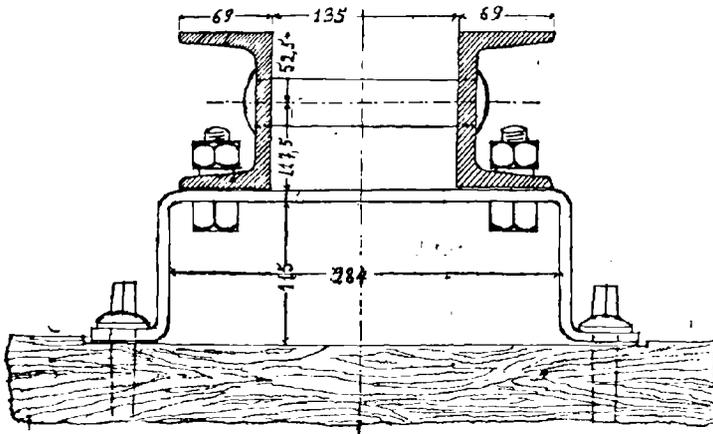


Fig. 62. — Oberland Bernois, Joint.

Enfin, une autre solution a été employée au Brünig pour supprimer les coussinets tout en surélevant la crémaillère. Elle consiste à donner aux montants des fer \sqcup une hauteur

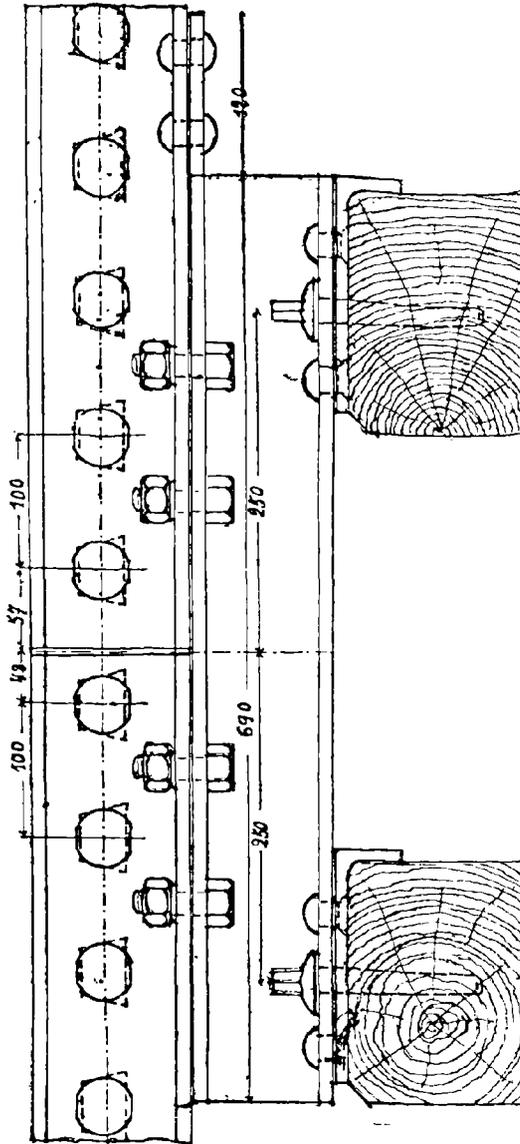


Fig. 63. — Elevation de la crémaillère de l'Oberland Bernois à l'éclissage.

suffisante, pour placer l'axe de l'échelon à la cote exigée (voir fig. 64). Cette disposition rend naturellement la crémaillère

plus lourde. Avec les échelons, la crémaillère du Brünig pèse environ 78 kg., tandis que celle du Rigi n'en pèse que 55 et celle de Langres 50.

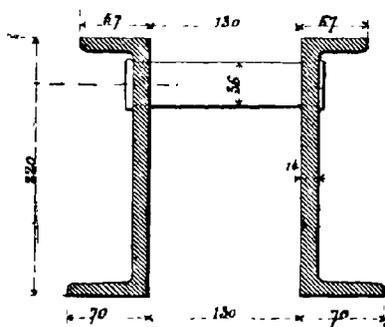


Fig. 64. — Brünig.

En tenant compte du poids des coussinets, le type de Langres est encore plus léger. Mais il est clair que le type du Brünig a pour lui sa simplicité et sa facilité de mise en place.

L'espacement des supports de la crémaillère est variable. Au Rigi, les traverses supportant directement la crémaillère sont espacées de 750 millimètres ; à Langres, les coussinets supportant la crémaillère sont équidistants de 1 mètre.

Cette quantité doit varier nécessairement suivant le type de crémaillère, les charges remorquées et les pentes de la ligne.

59. Pièce d'entrée et de sortie de la crémaillère. —

Sur les lignes mixtes, lorsque l'on passe d'une section ordinaire à une section à crémaillère, on ne peut entrer en crémaillère brusquement, sans transition, à cause des chocs qui en résulteraient ; de plus, l'engrènement pourrait ne pas se produire.

Aussi dispose-t-on toujours un tronçon de crémaillère mobile autour d'un axe horizontal à une extrémité, et porté par un ressort à l'autre extrémité abordée par la roue dentée de la locomotive.

Lorsque la dent de la roue de la machine choque la pièce d'entrée, deux cas peuvent se présenter :

1° La dent qui se présente tombe dans un vide de la denture de la pièce d'entrée. Dans ce cas, l'engrènement se produit immédiatement ;

2° La dent choque un plein de la crémaillère.

Dans ce cas, la dent de la roue appuyant sur la dent de la pièce d'entrée, celle-ci s'abaisse sur ses ressorts, et le mouvement continue, les têtes des dents de la roue motrice roulant sur les têtes des dents de la crémaillère.

Si le pas de la denture de la pièce d'entrée était le même que celui de la roue, et par suite de la crémaillère, le mouvement pourrait continuer indéfiniment sans que l'engrènement se produisît jamais, la roue étant calée sur un essieu porteur ou sur un essieu accouplé avec ce dernier. Mais on a soin de faire le pas de la denture de la pièce d'entrée légèrement plus petit que celui de la crémaillère, de sorte qu'à chaque tour les dents de la roue s'appuient de plus en plus en arrière sur les dents de la pièce d'entrée, et qu'à un certain moment l'engrènement a lieu.

Soit en effet a la distance séparant les arêtes des dents de la roue dentée et de la crémaillère au moment du premier contact.

Soient p et p' les pas de la roue dentée et de la crémaillère. L'engrènement se produira, p' étant plus petit que p , quand on aura, en désignant par n le nombre de dents venues en contact à ce moment, $np = a + np'$, d'où $n = \frac{a}{p - p'}$. L'engrènement aura donc lieu d'autant plus vite que la quantité $p - p'$ sera plus grande.

Si, par exemple, la largeur de la dent est de 27 millimètres au sommet, et si $p - p' = 2$ millimètres, la plus grande valeur de a étant $\frac{27}{2}$, l'engrènement aura lieu pour $n = \frac{\frac{27}{2}}{2} = \frac{27}{4}$, soit dès la 7^e dent.

Mais on peut voir aisément qu'alors même que le pas de

PIÈCES D'ENTRÉE.

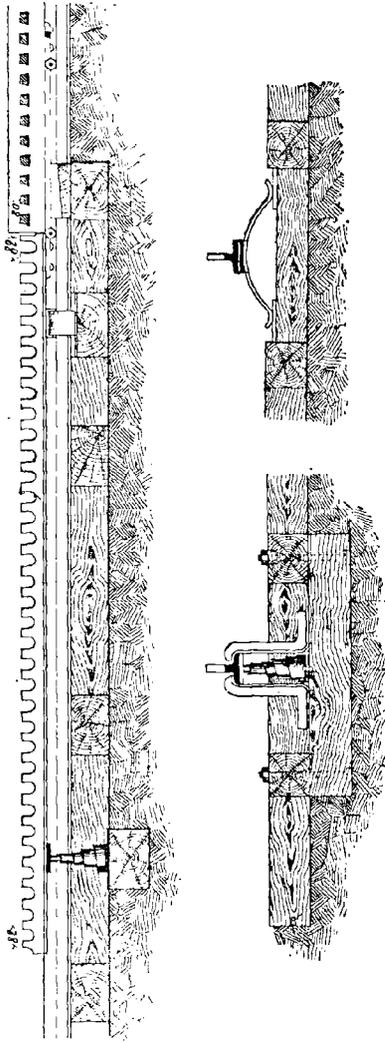


Fig. 65. — Type de Wasseralfingen.

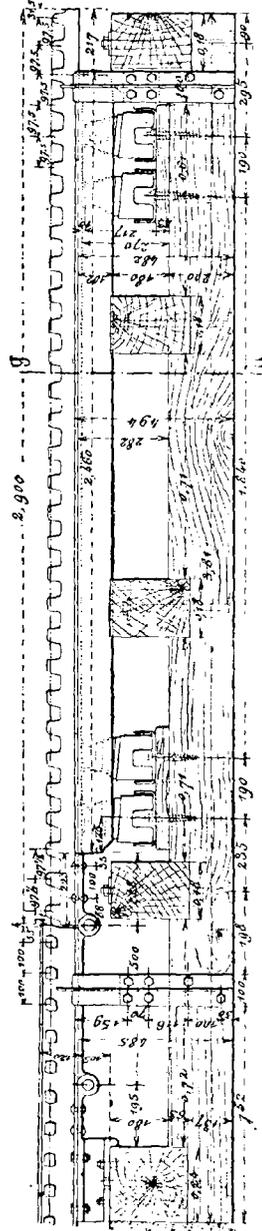


Fig. 66. — Type de Langres.

la pièce dentée serait le même que celui de la crémaillère, l'engrènement finirait par avoir lieu.

En effet, le roulement ayant lieu sur la tête des dents au lieu d'avoir lieu sur le cercle primitif, à chaque tour de la roue dentée la dent qui a choqué la pièce d'entrée décrit une circonférence ayant pour rayon non pas le rayon primitif, mais ce rayon primitif augmenté d'une partie de la hauteur de la dent.

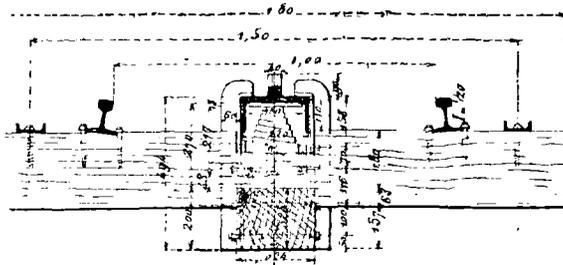


Fig. 67. — Pièce d'entrée de Langres.

Par suite, au bout du premier tour de roue, cette dent de la roue ne tombera plus sur la tête d'une dent de la crémaillère dans la même position qu'au moment où elle a abordé la pièce d'entrée. La différence s'accroît toujours dans le même sens, il arrivera forcément un moment où l'arête de la dent de la roue tombera dans un vide, et l'engrènement se produira.

Mais en général on donne à la pièce d'entrée un pas légèrement plus petit que celui de la crémaillère.

Une fois l'engrènement produit, la roue dentée et la crémaillère ayant des pas différents, il en résulte forcément des glissements sur toute l'étendue de la pièce d'entrée ; car, chaque fois que la roue dentée tourne d'une dent, elle ne peut pas tourner d'une quantité correspondante à la valeur de son pas mesuré sur la circonférence primitive.

Cet inconvénient n'existe pas avec les machines à deux mécanismes distincts comme la machine Abt.

La fig. 65 représente la pièce d'entrée de Wasseraifingen, avec le détail des ressorts à feuilles et à spirale. Les grappins

servent à limiter le soulèvement de la pièce d'entrée et à assurer la fixité de son niveau.

Les fig. 66 et 67 représentent l'élévation de la pièce d'entrée de Langres qui diffère peu de celle de Wasseraifingen, ainsi que sa coupe transversale.

Seulement, tandis qu'à Wasseraifingen le pas de la division de la pièce d'entrée est de 82 millimètres, pour un pas de roue dentée de 80 millimètres, à Langres au contraire le pas de la pièce d'entrée est de 97 mm. 5 pour un pas de 100 millimètres de la roue. Généralement le pas de la pièce d'entrée est toujours inférieur au pas de la roue dentée, comme à Langres.

La pièce d'entrée, comme le montre la figure, n'est pas faite à échelons ; c'est une véritable crémaillère dont les dents sont découpées dans une lame de fer ou d'acier.

Souvent la première dent de la pièce d'entrée, qui reçoit le choc et s'use plus vite, est mobile et peut être changée quand elle est usée.

La disposition des pièces d'entrée est due à M. Abt.

On peut, à l'aide de ces pièces d'entrée, passer sans arrêt d'une section à adhérence à une section à crémaillère, et *vice versa*. Il suffit d'un ralentissement. On a soin de disposer des paliers, ou des raccordements à faible pente, dans les parties de ligne où se trouvent ces pièces d'entrée.

Remarquons qu'une fois l'engrènement produit, la pièce d'entrée supporte une partie de l'effort de traction, celle qui correspond au travail de la roue dentée. Cet effort se reporte sur le boulon de l'articulation. Aussi ne serait-il pas prudent de placer une pièce d'entrée dans une rampe un peu forte.

L'engrènement se produit, du reste, beaucoup plus aisément quand la pièce d'entrée est placée en palier ou sur une déclivité très faible. Il y a lieu de tenir compte de ce fait quand on étudie le profil d'une ligne à crémaillère ; car en réalité il se produit toujours des chocs très nuisibles quand la pièce d'entrée n'est pas placée dans une partie en palier.

60. Crémaillère Hissinger et Klose. — Cette crémaillère est une modification de la crémaillère Riggerbach ; elle a été appliquée au chemin du Hoellenthal (grand duché de Bade).

La disposition essentielle de cette crémaillère consiste en ce que chaque échelon n'est plus rivé contre le montant vertical du fer \perp . Les extrémités de chaque échelon sont tournées et pénètrent librement dans le fer \perp . Sur quatre échelons, l'un d'eux présente une tête fileté faisant saillie sur le montant, et l'on serre à l'aide d'un écrou, de façon à assurer la solidité de la crémaillère et d'empêcher toute déformation latérale (voir fig. 68 et 69).

Les barreaux reposent en dessous sur une saillie régnant longitudinalement sur toute la longueur du montant vertical, de telle sorte que tout mouvement de rotation du barreau sous l'effort de la dent devient impossible. Les tronçons de crémaillère ont 3 mètres de longueur, moins le jeu de la dilatation, soit 2 m. 998; ils sont assemblés entre eux sur un coussinet. Le joint est consolidé par des éclisses latérales en fer plat (fig. 69), serrées contre les montants du fer à \perp par les têtes des échelons, qui présentent à cet effet une tête fileté et un écrou.

Cet éclissage à l'aide de plates-bandes a l'avantage d'éviter la tendance au cisaillement du métal du montant, en dessous du dernier échelon d'aval d'un tronçon de crémaillère, et cela tout en conservant à ce montant vertical une épaisseur d'âme minima.

Par suite, le dernier échelon d'aval et le premier échelon d'amont peuvent être placés chacun à la même distance de l'extrémité qui leur est contigüe.

Il en résulte que la crémaillère est semblable à ses deux extrémités.

La crémaillère repose sur les traverses par l'intermédiaire de coussinets en fonte. On a rivé sous les ailes des montants verticaux des fers qui, venant buter contre le coussinet, empêchent toute tendance au glissement longitudinal. Les coussinets eux-mêmes portent des nervures, qui s'appuient contre les traverses, dans le même but et pour éviter le cisaillement des rivets, car les traverses employées sont des traverses métalliques (voir fig. 72).

L'avantage principal de cette crémaillère, c'est que l'on peut aisément changer un échelon usé ou avarié, sans toucher aux autres, tandis que, dans la crémaillère Riggenbach,

il faut dériver tous les échelons, pour en changer un seul.

Toutefois il ne faut pas exagérer l'importance de cet avantage, car en réalité les échelons de la crémaillère ne s'usent que fort peu, et depuis trente-cinq ans que le Rigi est exploité, il n'y en a eu jusqu'ici qu'un nombre assez restreint de remplacés.

La réduction possible de l'épaisseur d'âme des montants, par suite des joints à éclisse, est très réelle et économique ; comme les échelons extrêmes d'aval et d'amont sont disposés symétriquement, la crémaillère peut être retournée bout pour bout si besoin est.

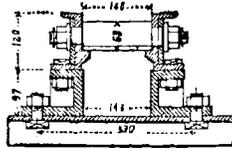


Fig. 70.

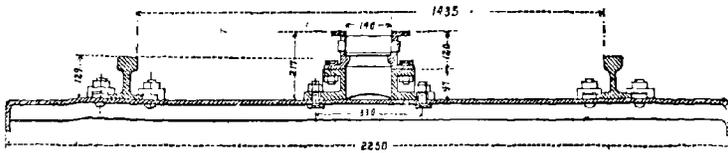


Fig. 71.

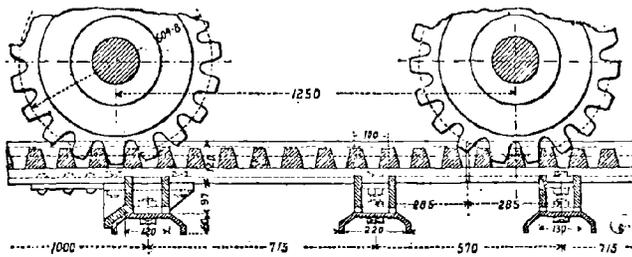


Fig. 72.

Coupes longitudinale et transversale de la crémaillère du Hoellenthal.

M. Bissinger fait aussi remarquer que les trous ménagés dans les montants verticaux des fers \sqcap doivent être découpés

à l'emporte-pièce pour la crémaillère Riggenbach, à cause de leur forme trapézoïdale. Pour la crémaillère Bissinger, ces trous peuvent être faits à la machine à percer, ce qui permet plus de rigueur dans l'espacement d'axe en axe des échelons.

La fig. 71 indique la coupe transversale de la voie du Hoellenthal.

La fig. 70 donne l'ensemble de la crémaillère et de son coussinet.

La fig. 72 montre la coupe suivant l'axe longitudinal de la voie, de la crémaillère et des traverses qui la supportent.

La crémaillère Bissinger et Klose, type du Hoellenthal, pèse, avec les coussinets, boulons et éclisses, 101 kg. par mètre.

61. Crémaillère Klose. — Cette crémaillère dérive de la précédente; elle en diffère en ce que les extrémités des dents ne sont plus boulonnées, mais pénètrent simplement dans l'âme des montants verticaux de la crémaillère; de dis-

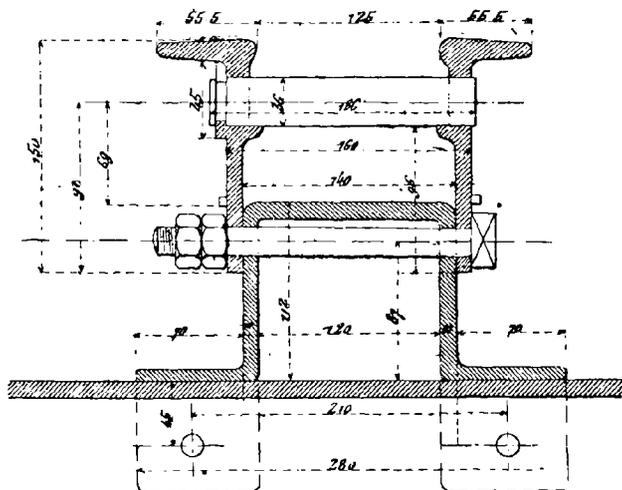


Fig. 73. — Crémaillère Klose et son coussinet.

tance en distance, quelques têtes d'échelons sont rivées de façon à assurer l'invariabilité de l'écartement des montants

verticaux. Les barreaux portent à leur partie inférieure contre une saillie intérieure des montants, de façon à empêcher toute rotation de ces barreaux sous la pression des dents des roues motrices.

Les montants verticaux sont boulonnés à leur base sur des sortes de coussinets fixés sur les traverses de la voie comme l'indique la fig. 73. Ces supports reposent sur les traverses par des semelles ayant la forme de selles, qui épousent le profil de la traverse. Au joint, l'assemblage est assuré par des éclisses intérieures, comme le montre la fig. 74.

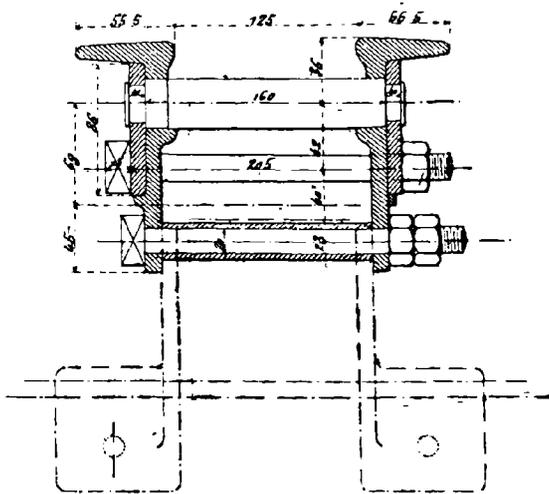


Fig. 74. — Crémaillère Klose : Joint.

Ce type de crémaillère, assez compliqué, ne s'est pas répandu ; il a été employé pour la première fois en 1889 au chemin de Saint-Gall-Gais et ensuite pour la ligne de Freudenstadt-Kloster-Reichenbach, en Wurtemberg.

La crémaillère de Saint-Gall-Gais pèse seule 53 kilogrammes le mètre, et 67 kg. 5 avec les accessoires ; au total la superstructure de la voie à crémaillère pèse 173 kilogrammes le mètre, y compris les traverses métalliques.

Aux essais, on a reconnu qu'il fallait un effort de 60 tonnes pour briser un échelon.

La longueur d'un tronçon de crémaillère est de 4 m. 497 ; les joints sont tantôt soutenus, tantôt en porte-à-faux.

62. Crémaillère de la « Maschinen Fabrik » de Berne. — Ce type est une modification de la crémaillère Riggenbach, ayant pour objet d'offrir plus de résistance avec un poids moindre de métal.

Les principales particularités consistent en ce que la largeur entre la face interne des montants verticaux est plus faible et réduite de 125 à 120 millimètres, et que ceux-ci sont plus hauts, ce qui permet d'avoir des dents plus faibles sans diminuer leur moment résistant.

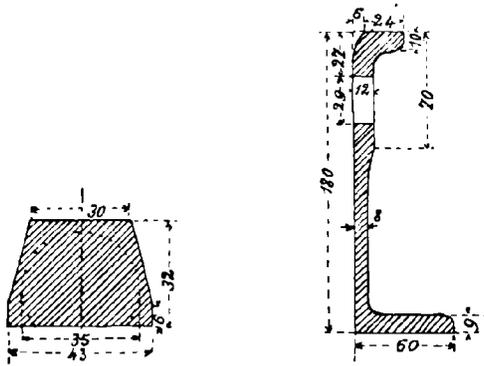


Fig. 75 et 76. — Crémaillère de la Maschinen-Fabrik de Berne.

Les montants verticaux dont la coupe est représentée par la fig. 76 ont une épaisseur d'âme de 12 millimètres à l'endroit de la portée des échelons et de 8 millimètres seulement au-dessous. Ils se terminent à la base par de larges ailes de 60 millimètres, boulonnées sur les traverses métalliques de la voie. A la partie supérieure, les ailes n'ont que 24 millimètres ; elles sont chanfreinées à l'intérieur sur 6 millimètres de façon à éviter l'attaque par les roues dentées dans les courbes de faible rayon, comme le montre la fig. 76. Au joint, la continuité est assurée par de longues éclisses, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des montants verticaux.

Le glissement longitudinal est empêché par des fers plats,

rivés sous l'aile des montants verticaux et venant buter contre les traverses de la voie, disposition dérivée de celle adoptée au Hoellenthal.

Le profil des dents est indiqué par la fig. 75 ; on remarquera qu'elles sont chanfreinées sur leur arête inférieure, pour obtenir une usure plus régulière des roues dentées. La forme adoptée pour leur extrémité permet une bonne rivure ; cependant les dimensions de la portée dans l'âme du montant paraissent un peu faibles.

Cette variante du type Riggensbach a été adoptée en particulier aux chemins du Wengern Alp, de la Schynige Platte en 1893 et plus récemment, en 1898, au chemin de Stansstadt-Engelberg.

Aux essais faits à Zurich pour la crémaillère du Wengern Alp, la rupture d'un échelon ne s'est produite que sous une charge de 39 à 43 tonnes.

Le métal employé pour les montants verticaux résistait à une charge de 43 kilogrammes par mm. q. avec allongement de 25 0/0 ; le fer des échelons présentait une résistance de 39 kilogrammes par mm. q., avec allongement de 30 0/0.

La crémaillère du Wengern Alp pèse 49 kilogrammes le mètre linéaire, les traverses 14 kilogrammes le mètre ; la superstructure pèse au total 130 kilogrammes le mètre, traverses comprises.

Inconvénients des crémaillères à échelons. — Toutes ces crémaillères à échelons ont pour elles la simplicité et la solidité, qualités essentielles. Mais comme toutes choses elles ont des défauts, et le principal c'est que la marche des machines sur ces crémaillères est parfois saccadée. Lorsqu'une dent de la roue motrice vient en contact avec un nouvel échelon, il se produit parfois une secousse qui est désagréable pour les voyageurs. Ces chocs, sensibles déjà à la marche de 8 kilomètres à l'heure, augmentent rapidement avec la vitesse ; on ne pourrait les éviter qu'en diminuant le pas, c'est-à-dire l'écartement des échelons qui est généralement de 100 mm. Malheureusement cela n'est pas possible, car les dents de la roue motrice n'auraient plus alors l'épaisseur voulue pour résister aux efforts qu'elles ont à supporter.

D'après M. Tschieret (Génie civil, 1887), au Rigi, lorsque les barreaux de la crémaillère prennent du jeu dans les montants, la graisse tombant de la roue dentée et recouvrant l'échelon passe entre cet échelon et le montant vertical, par le jeu survenu dans l'encastrement. Cette graisse apparaît à l'extérieur de la crémaillère et se traduit par une tache noire autour de la tête du barreau (1). On a constaté en effet sur cette ligne au bout de vingt ans d'exploitation que 10 0/0 des dents de la crémaillère avaient pris du jeu dans leur portée. La plupart du temps ce jeu était la conséquence d'un défaut de construction. Très souvent, cette défectuosité finissait par compromettre la régularité de marche et une fissure se manifestait dans les montants verticaux; une consolidation de ces montants devenait ainsi nécessaire. Enfin la construction des crémaillères à échelons est assez compliquée; elle présente des opérations multiples, ce qui augmente leur prix de revient.

Pour essayer de parer à ces inconvénients, un collaborateur de M. Riggenbach, connaissant le fort et le faible de ce système de crémaillère, en a imaginé un autre différant assez notablement des crémaillères à échelons; nous allons le décrire.

M. Abt a construit, en outre, une machine spéciale appropriée à la marche sur crémaillère; nous nous en occuperons plus tard, quand nous traiterons des locomotives.

63. Crémaillère Abt Constitution. Calcul des dents. Fixation de la crémaillère. Exemples divers. — Avantages comparatifs. — La crémaillère Abt n'est plus formée d'échelons fixés entre des montants. C'est une crémaillère à lame, dont les dents d'un même tronçon sont toutes découpées dans une lame d'acier. Plusieurs lames parallèles fixées côte à côte, de façon que les dents soient croisées, constituent la crémaillère. Ces lames, au nombre de deux ou trois, sont fixées dans des coussinets, qui les entretouillent et assurent le parallélisme (figure 77).

Le nombre des lames est de deux ou de trois, suivant que

(1) Cet effet peut se constater aux chemins de Langres et du Hoellenthal d'une façon très nette.

l'effort de traction est plus ou moins grand. S'il y a deux lames, les axes des dents, au lieu de se correspondre en projection verticale, sont déplacés l'un par rapport à l'autre de la moitié du pas, c'est-à-dire qu'au plein d'une lame correspond le

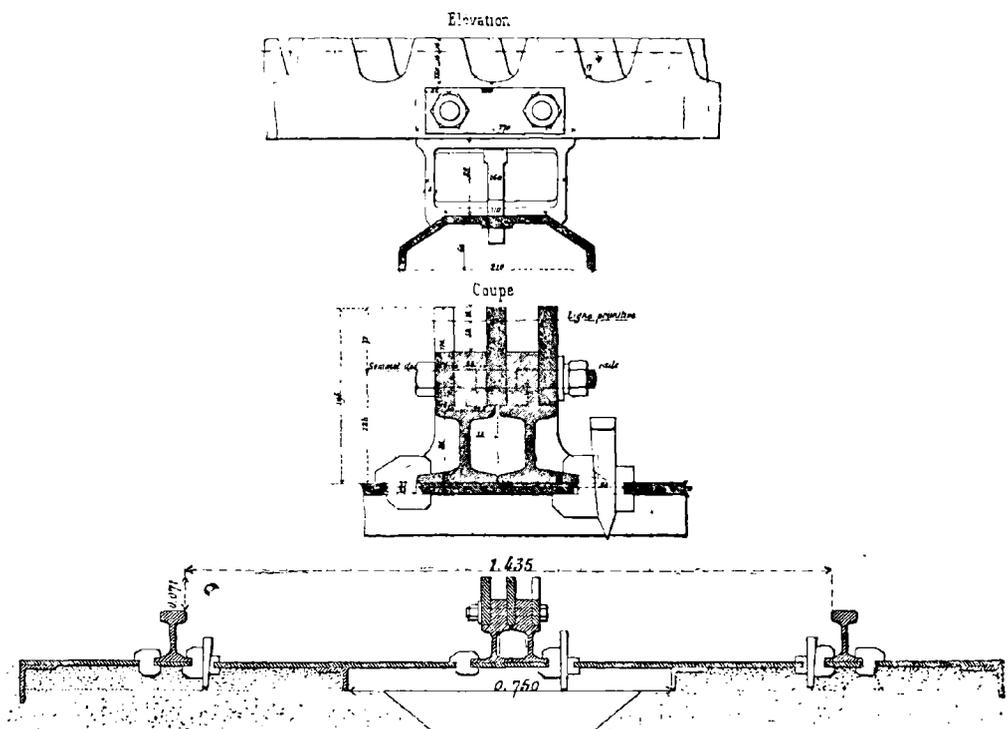


Fig. 77. — Crémaillère de la ligne du Harz.

vide de l'autre. S'il y a trois lames, le déplacement est d'un tiers de pas. La denture adoptée est le tracé par développante de cercle ; il y a donc toujours sur chaque lame au moins une dent en prise, soit en tout 2 ou 3 au minimum, suivant le nombre des lames. On conçoit dès lors qu'un pareil système puisse donner un mouvement plus doux qu'un système à échelons, et qu'il soit possible d'avoir une marche plus rapide et d'admettre un effort de traction plus considérable, si les autres circonstances le permettent.

La crémaillère à lames, surtout quand il n'y a que deux lames, ne s'oppose plus d'elle-même à l'emploi de courbes de très faibles rayons. Mais, disons-le tout de suite, en fait il y a d'autres circonstances qui limitent l'emploi de courbes de faibles rayons, notamment l'usure rapide des boudins des roues de la machine et peut-être aussi l'attaque des arêtes des dents de la crémaillère dans les courbes raides. Il convient, avant d'abaisser les rayons, de suivre les résultats d'exploitation des lignes actuelles.

Les dimensions normales des lames sont généralement les suivantes :

Épaisseur de la lame, 20 mm. ; hauteur, 110 mm. ; hauteur de la dent, 50 mm. ; distance du dessus de la dent à la ligne primitive, 15 mm. ; partie pleine de la crémaillère au-dessous de la dent, 60 mm. ; pas, 120 mm., partagé par moitié entre la dent et le creux.

La longueur des lames est de 2 m. 540.

En général on limite à 1.300 kilos l'effort maximum supporté par chaque dent ; la largeur de la dent étant de 20 mm., cela fait 65 kg. de pression par mm. de largeur de dent, chiffre que la pratique a indiqué comme ne devant pas être dépassé. Nous avons vu en effet que, pour la crémaillère Riggenbach, la pression maxima sur une dent a été fixée à 6.000 kg., pour une largeur de dent de 100 mm. soit 60 kg. par mm. de largeur de dent.

Chaque longueur de lame de 2 m. 54 pèse 40 kg. ; ce qui en fait un objet aisément maniable et facile à poser. L'effet de la dilatation sur cette longueur est très peu sensible.

La face des dents fait avec l'axe de la lame un angle de $12^{\circ}36'$; il en résulte que la pression exercée sur la dent se décompose en deux : une parallèle à la voie, et l'autre normale. Ces composantes, pour une réaction normale de 1.300 kg., sont respectivement égales à :

$$1300 \times \cos(12^{\circ}36') = 1270 \text{ kg. et } 1300 \times \sin(12^{\circ}36') = 280 \text{ kg.}$$

Calculons le travail de la pièce dans le cas le plus défavorable. Ce cas se produira évidemment quand la roue dentée sera en prise avec une dent de la crémaillère située au milieu de la

portée, entre deux coussinets consécutifs, généralement espacés de 1 mètre. On peut regarder la lame comme simplement posée sur ses deux coussinets, sans tenir compte de l'espèce d'encastrement réalisé sur ces coussinets, et comme supportant en son milieu la composante normale de la pression des dents égale à 280 kg.

Si l est la distance des coussinets, P le poids chargeant la pièce, le moment fléchissant maximum au milieu est $M = \frac{Pl}{4}$.

Le module de résistance $\frac{I}{v} = \frac{1}{6} ah^3$, h étant la hauteur de la lame, a sa largeur ;

La résistance du métal sera :

$$R = \frac{Mv}{I} = \frac{M}{\frac{I}{v}}, \text{ où } v = \frac{h}{2};$$

$$\text{donc } R = \frac{M}{\frac{1}{6} ah^3} = \frac{\frac{Pl}{4}}{\frac{1}{6} ah^3} = \frac{6Pl}{4ah^3} \text{ et } P = 280 \text{ kg.}, \quad a = 18^{\text{mm}},$$

$$l = 100^{\text{mm}}.$$

Nous prendrons pour h la hauteur minima au-dessous du creux de la dent, $h = 60$ mm. ; d'où l'on tire $R = 3$ kg. 9, chiffre très normal.

Quant à la composante parallèle à la lame, elle tend seulement à cisailer la dent, sa section étant au minimum de $20 \times 45 = 900$ mm. q. Cela fait par mm. carré $R \times \frac{1270}{900} = 1$ kg. 41.

Ces lames sont donc dans de bonnes conditions, au point de vue de la résistance aux efforts qu'elles ont à subir.

Des essais ont été faits sur la résistance de ces lames, et ils ont montré que l'on pouvait exercer sur chaque dent une pression de 17 tonnes avant d'arriver à cisailer l'arête supérieure.

Ces lames sont solidement fixées dans des coussinets en fonte ou en acier, reposant sur les traverses ; des boulons traversant le coussinet et les lames assurent la fixation. Les

nous l'avons vu, que par une force maxima de 1.270 kg., et, s'il y a deux roues dentées, par une force de 2.540 kg. La résistance est plus que double.

Si tous les écrous étaient desserrés, ils ne travailleraient plus que par leur résistance au cisaillement, et dans chaque boulon le travail du métal par millimètre carré serait de

$$\frac{2540}{314 \times 6} = 1 \text{ kg. } 35.$$

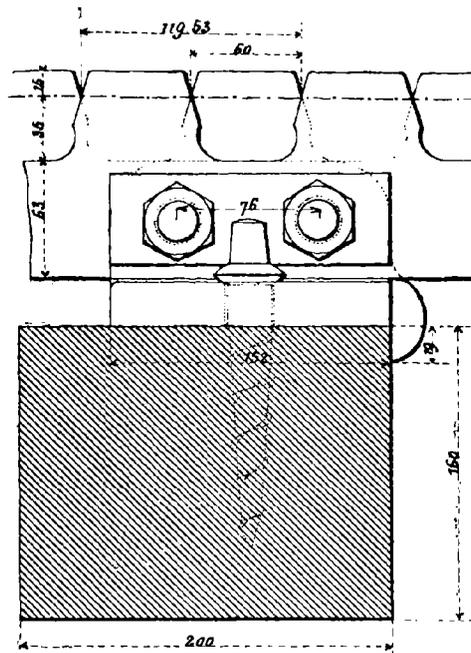


Fig. 79. — Chemin de Manitou au Pikes Peak. Elévation de la crémaillère.

Mais ce serait un cas très anormal que celui où les six écrous d'une même lame seraient tous desserrés à la fois.

Quoi qu'il en soit, il y a là une sujétion d'entretien qui existe également avec les crémaillères à échelons ; elle n'est pas très considérable, il est vrai, car l'employé qui visite les tirefonds des rails peut facilement regarder les boulons de la crémaillère.

64. Exemples divers. Avantages comparatifs. — Pièces d'entrée et de sortie. — Les fig. 77, 78 et 79 indiquent le type de crémaillère des chemins de fer du Harz et de Manitou au Pikes Peak (États-Unis).

La ligne d'Oerstelbruch, qui dessert seulement une ardoisière, comporte une crémaillère à deux lames comme celle du Manitou au Pikes Peak. Chaque lame a 15 millimètres d'épaisseur, 100 millimètres de hauteur. Les coussinets sont en fonte et fixés sur des traverses en bois.

Au Harz, le nombre des lames est de trois ; mais la charge des trains atteint 120 tonnes. Chaque lame a 15 millimètres d'épaisseur et 110 millimètres de hauteur. Les coussinets, en acier fondu, sont formés de deux parties symétriques, emboîtant la lame du milieu. Ils reposent sur des traverses en acier pesant 42 kg. pièce.

A Viège-Zermatt, il n'y a que deux lames, de 25 millimètres d'épaisseur pour les rampes supérieures à 100 millimètres, et de 20 millimètres pour les rampes inférieures à 100 millimètres.

Au chemin de Manitou au Pikes Peak, on emploie deux lames de 32 millimètres d'épaisseur, car l'effort de traction y est très élevé, et les rayons des courbes s'abaissent à 110 mètres pour une largeur de voie normale, avec pentes de 250 millimètres.

La fabrication des lames de crémaillère est assez simple.

En sortant du laminage, les lames sont entaillées à chaud, de façon à ébaucher aussi bien que possible la forme des dents. Ensuite on les réunit par paquets de 40 à 50, en se servant des trous destinés aux boulons, et on les finit à l'aide d'une machine à raboter.

Le métal des lames doit présenter une résistance à la rupture de 48 à 50 kg. par millimètre carré (acier Thomas), un allongement d'au moins 18 0/00 mesuré sur 200 mm. ; la striction est de 50 à 58 0/0.

Une lame de 2 m. 640 de longueur utile (2 m. 636 de longueur réelle) pèse en moyenne 40 kg., soit environ 15 kg. par lame et par mètre courant.

Une crémaillère à trois lames pèse donc environ 45 kg. par

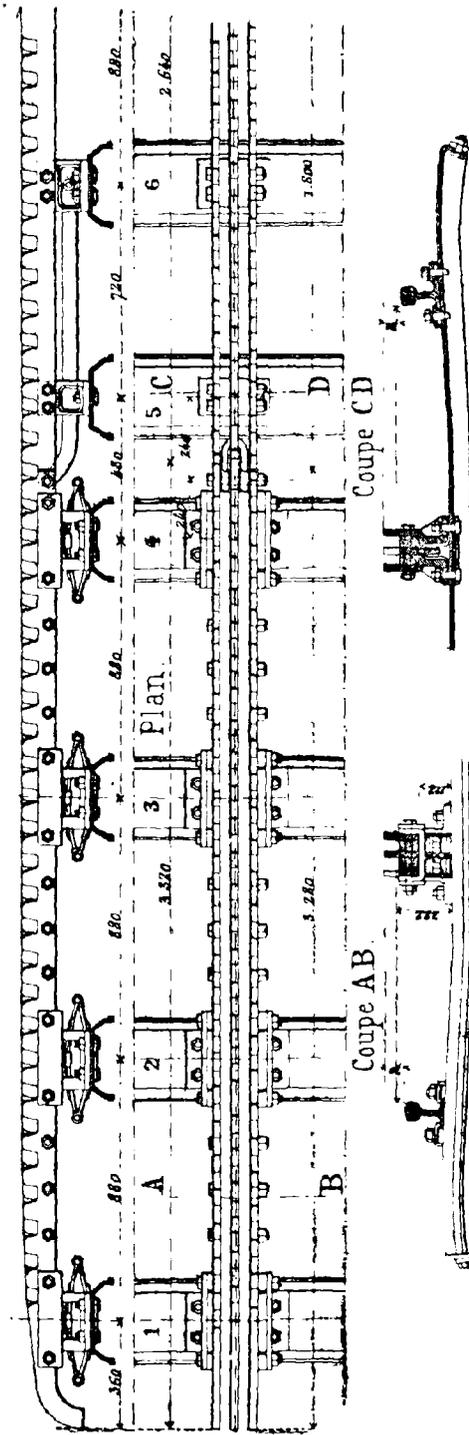


Fig. 80. — Ligne de Viège-Zermatt. — Pièce d'entrée et de sortie.

mètre courant, sans compter les boulons et les coussinets.

L'avantage de la crémaillère Abt, c'est de donner un mouvement plus doux, tout en permettant une marche plus rapide et de lourdes charges. Combinée avec l'emploi de la locomotive système Abt, elle permet un trafic plus considérable que la crémaillère Riggenbach. Le but de M. Abt a toujours été du reste d'appliquer la crémaillère qu'il a imaginée à des lignes présentant un trafic notable, à des chemins d'utilité publique.

Pièce d'entrée et de sortie. — Les fig. 80 représentent les dispositions de la pièce d'entrée de la ligne de Viège-Zermatt. Le principe est le même, mais elle diffère par quelques dispositions de détail des pièces d'entrée employées pour le système Riggenbach. On remarquera notamment le patin courbe, destiné à recevoir le choc de la dent de la roue motrice à l'arrivée de la machine. Avec la machine Abt, qui a deux mécanismes moteurs distincts, la roue dentée est immobile au moment où elle aborde la pièce d'entrée, et quand le choc de la dent contre l'arrondi de cette pièce a lieu, deux cas peuvent se présenter :

1° La résistance du mécanisme moteur est plus grande que le frottement de la dent sur l'arrondi de la pièce d'entrée.

Dans ce cas la roue dentée reste immobile jusqu'à ce que la dent tombe dans le premier vide de la crémaillère ; et l'engrènement a lieu. Ce cas est le plus fréquent.

2° La résistance du mécanisme moteur est inférieure au frottement de la dent sur l'arrondi de la pièce d'entrée.

La dent tourne alors, la tête des dents de la roue roulant sur la tête des dents de la crémaillère ; mais la distance d'axe en axe des dents de la crémaillère d'entrée étant égale au pas, la distance d'axe en axe des dents de la roue dentée mesurée suivant le cercle des dents, est au contraire supérieure au pas ; par suite chaque dent de la roue s'appuie toujours plus en arrière sur la tête des dents de la crémaillère jusqu'à ce que, rencontrant un vide, elle y tombe, et l'engrènement a lieu. Ici la pièce d'entrée a le même pas que la crémaillère courante ; nous avons déjà parlé plus haut de cette disposition.

Son avantage est qu'une fois l'engrènement produit, le roulement a lieu dans la pièce d'entrée comme dans la crémaillère courante, tandis que, si les divisions de la pièce d'entrée sont plus petites que celles de la crémaillère normale, on a le désavantage, sur toute la longueur de la pièce d'entrée, d'avoir une roue dentée roulant sur une crémaillère d'un pas différent du sien.

65. Crémaillère système Locher, type du Mont-Pilate.

— Considérons une roue dentée roulant sur sa crémaillère et ramenons les mouvements à se faire sur les cercles et lignes primitifs.

Soit F , la force parallèle à la voie sollicitant la roue ; elle se décomposera en deux : une force verticale V et une horizontale H . Or, la composante V tend évidemment à soulever la roue, avec d'autant plus d'intensité que l'inclinaison du plan est plus grande ; soit α l'angle de la voie avec l'horizontale ; on a : $V = F \sin \alpha$. Pour $\alpha = 30^\circ$ (pente de 0 m. 500 par mètre), la composante $V = \frac{1}{2} F$.

L'expérience a pleinement confirmé le raisonnement précédent.

Quand il s'est agi d'étudier la crémaillère destinée au chemin du Pilate, on fit des essais avec la crémaillère ordinaire sur une pente de 480 mm., égale à celle que devait présenter la voie. Il fut constaté que, sur une pareille pente, la roue dentée sortait très facilement de la crémaillère ; l'engrènement n'était plus assuré.

M. le colonel Locher renonça alors à la crémaillère ordinaire, et il eut l'idée de placer la roue dentée dans un plan horizontal, en disposant aussi horizontalement les dents de la crémaillère.

En réalité il y a deux roues dentées disposées symétriquement par rapport à l'axe de la voie et engrenant chacune avec des crémaillères placées dos à dos, comme l'indique la fig. 81.

C'est en somme la disposition du chemin de fer du Mont-Cenis, de M. Fell ; seulement le rail central est remplacé par les crémaillères.

La crémaillère est constituée par des barres d'acier Martin de 2 m. 398 de longueur, larges de 130 millimètres, hautes de

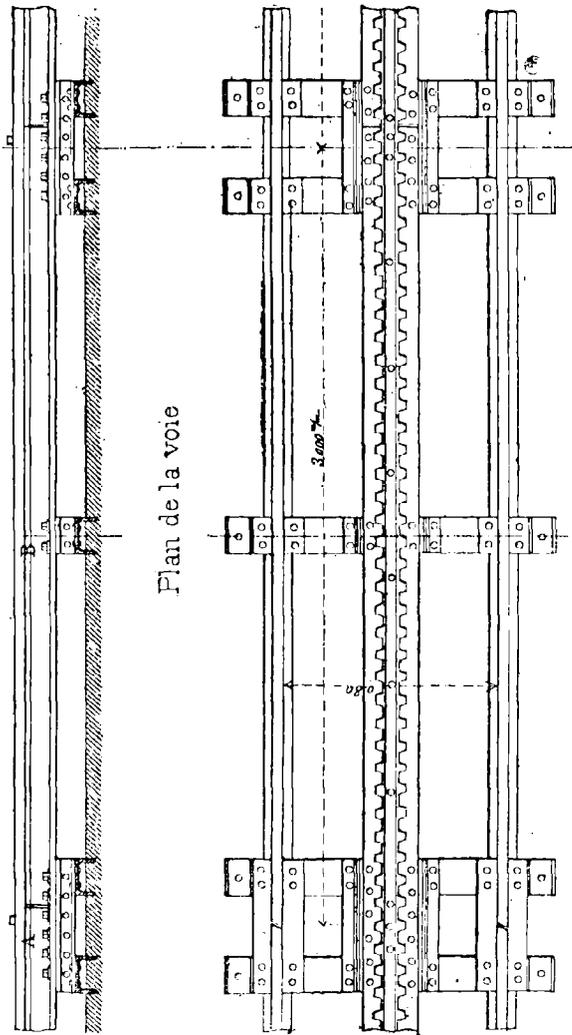


Fig. 81. — Crémaillère du chemin de fer du Mont-Pilate.

40 millimètres. Dans ces barres sont découpées les dents. Les dents ont un pas de 85 mm. 7 ; leur hauteur est de

28 millimètres, dont 13 au-delà de la ligne primitive, et 15 en dedans.

Les barres laissent à leurs abouts un jeu de 2 millimètres pour la dilatation, quantité correspondant à une différence de température de 60°, de -20° l'hiver à $+40^{\circ}$ l'été.

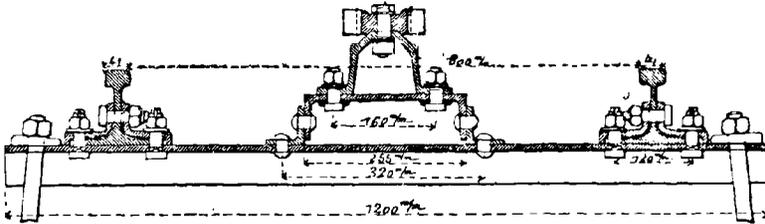


Fig. 82. — Crémaillère du Mont-Pilate. — Coupe transversale.

Chaque barre constituant la crémaillère double est supportée par un fer Zorès de 100 millimètres de hauteur, régnant sur toute la longueur de la crémaillère et formant une table d'appui.

Ce fer Zorès est lui-même soutenu au droit des traverses métalliques de la voie, par des fers \sqsubset de 140 millimètres de longueur dont les ailes sont boulonnées sur des cornières rivées aux traverses de la voie, ainsi que l'indique la fig. 82.

Les barres de crémaillère sont fixées aux fers Zorès par des boulons.

Les joints des fers Zorès et de la crémaillère sont croisés.

L'éclissage des fers Zorès est assuré par des fers \sqsubset de 255 millimètres de largeur, 72 de hauteur et 520 millimètres de longueur.

Les ailes sont boulonnées à des cornières rivées sur chacune des traverses de joint. Voir fig. 81.

La disposition est semblable à celle qui a été décrite pour les traverses courantes. Ces détails de construction se voient du reste clairement sur les figures.

L'effort de traction ou, ce qui revient au même, la poussée de la crémaillère, tend à cisailer les boulons qui la fixent au fer Zorès en cas de desserrage de leur écrou. Il y a donc intérêt à maintenir ces boulons soigneusement serrés.

Comme l'indiquent les figures 81, 82, 83, l'ensemble de la crémaillère et les rails sont supportés par des traverses métalliques reposant sur des dalles de granit placées elles-mêmes sur un massif de maçonnerie. Deux boulons de fondation fixent invariablement la traverse sur les dalles ; de telle sorte que la voie ne fait qu'une seule pièce. Avec des pentes de 480 millimètres ces précautions étaient indispensables pour éviter tout glissement.

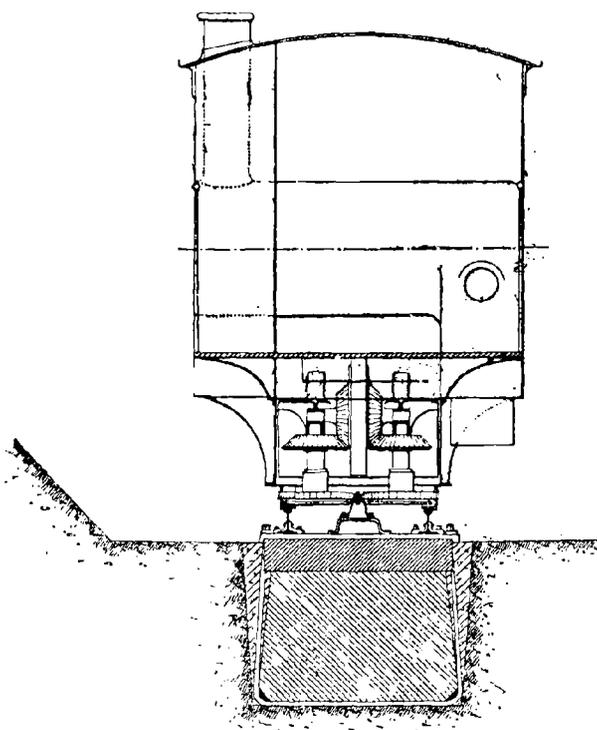


Fig. 83. — Chemin du Mont-Pilate. — Profil en travers.

Les dalles de granit ont 0 m. 20 d'épaisseur et 1 m. 20 de largeur.

Les traverses, faites en fer \sqsubset , ont 1 m. 20 de longueur également, 140 millimètres de largeur et 63 millimètres de hauteur.

Les rails ont 6 mètres de long, les tronçons de crémaillère 3 mètres.

Dans une travée de 6 mètres, il y a six traverses espacées de 1310 ou 380 millimètres d'axe en axe. Les joints, soit du rail, soit de la crémaillère, tombent toujours entre deux traverses distantes de 380 millimètres.

Les dispositions de la voie et de la crémaillère adoptées au Mont-Pilate méritent assurément de fixer l'attention des ingénieurs.

La solidité de la voie permet d'y prendre un point d'appui pour empêcher les voitures d'être renversées par le vent en cas d'ouragan. C'est assez fréquent sur les flancs du Mont-Pilate, car le climat y est rude et le temps variable. Les vents violents n'y sont pas rares.

Jusqu'à présent la voie s'est admirablement comportée et a parfaitement résisté aux efforts en vue desquels son mode de construction avait été étudié.

66. Dispositif du tramway de Trait-Planches à Montreux. — Le type représenté par la fig. 84 dérive de la cré-

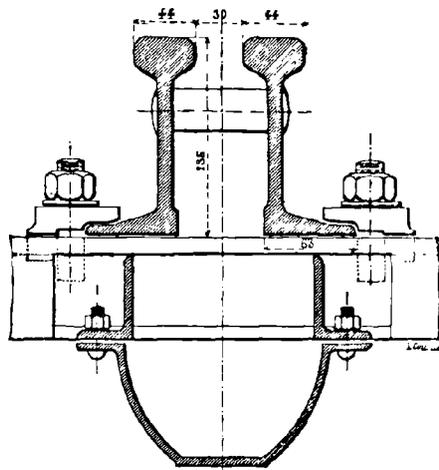


Fig. 84.

maillère Riggenbach. La crémaillère n'est plus placée dans l'axe de la voie, mais l'un des rails de roulement est utilisé

pour former l'un des montants verticaux ; un contre-rail forme l'autre montant ; l'ornière existant entre le rail et le contre-rail n'a que 30 millimètres de largeur, ce qui permet le passage des véhicules ordinaires par dessus cette ornière, comme s'il s'agissait d'un passage à niveau ordinaire d'une voie ferrée.

Les échelons, de section trapézoïdale, sont rivés à l'extérieur du rail et du contre rail, de même que dans la crémaillère Riggerbach, ainsi que l'indique la figure 84.

Cette disposition est évidemment fort ingénieuse ; toutefois, il faut le reconnaître, l'effort de traction ne s'exerçant que d'un seul côté du train, la roue dentée subit un effort de torsion. D'autre part, il y a lieu de noter que ce tramway suit une rue de Montreux en déclivité de 150 millimètres, par conséquent extrêmement peu empruntée par les voitures. Le rail-crémaillère étant placé à environ 0 m. 40 du bord du trottoir, les roues des voitures n'ont à franchir que très exceptionnellement l'ornière de la crémaillère. Il n'est donc guère possible de se prononcer sur la valeur pratique de cette modification.

67. Crémaillère Strub. — La crémaillère Strub que montrent les figures 85 et 86, employée pour la première fois au chemin de fer de la Jungfrau en 1899, est faite tout différemment (1).

Les dents de cette crémaillère sont découpées dans le champignon d'un rail Vignole à patin élevé. Les dents affectent une forme cylindro-conique, et entre deux dents consécutives l'âme du rail est creusée, de façon à ménager un vide ; le fond de cette cavité est tracé suivant une surface cylindrique dont les génératrices sont perpendiculaires au plan médian du rail, placé dans l'axe de la voie.

Avec cette forme de crémaillère, la roue dentée n'est plus guidée latéralement en cas de tendance au soulèvement ;

(1) Strub. Superstructure du chemin de la Jungfrau. *Schweizerische Bauzeitung*, 3 avril 1897. — Godfèrnoux, *Revue Générale des chemins de fer*, janvier 1899.

distantes de 0 m. 50 du joint des rails de roulement et du rail-crémaillère ; les traverses courantes sont distantes de 1 mètre ; les rails de roulement, de 10 m. 494 de longueur, sont soutenus par douze traverses ; on compte, par travée de rail de roulement, trois tronçons de crémaillère, de 3 m. 496 chacun.

A la Jungfrau, les traverses sont métalliques ; au Vésuve, au contraire, la crémaillère Strub est posée sur traverses en bois. Comme l'indique la figure 86, le niveau supérieur du rail-crémaillère est à 70 millimètres au-dessus des rails de roulement.

Les dimensions habituelles de la crémaillère Strub sont les suivantes :

Hauteur totale du rail-crémaillère.	170 mm.
Hauteur totale du champignon.	70 »
Largeur du champignon.	62 »
Inclinaison des faces des dents	1/4
Hauteur des dents.	30 »
Largeur de la tête des dents au sommet.	33 »
Largeur de la tête des dents à la base.	48 »
Poids du rail-crémaillère : 31 à 34 kg. le mètre linéaire.	
Largeur de la roue dentée	70 »

Le métal choisi pour le rail-crémaillère est l'acier doux, présentant une résistance à la rupture de 45-kilogrammes par mm. q., avec allongement de 20 0/0.

La crémaillère Strub paraît aussi rigide que les crémaillères à échelons ; elle permet l'emploi d'un frein à mâchoires, qui donne toute sécurité contre la tendance au soulèvement ; l'éclissage en porte-à-faux assure un parfait affleurement des tronçons au joint, la mise en place est facile ; cette crémaillère est d'une construction simple et robuste, aussi semble-t-elle destinée à se répandre promptement.

La crémaillère Strub est actuellement employée aux chemins de la Jungfrau, de Trieste-Opicina, du Vésuve ; on compte en faire usage pour les lignes projetées de Fleimserthal dans le Tyrol et dans une colonie allemande du Sud de l'Afrique ; elle a été employée également au chemin de Mar-

tigny-Chatelard, prolongement de la ligne du Fayet-St-Gervais à Chamonix.

Toutefois, le rail-crémaillère employé sur cette dernière ligne est plus lourd et plus haut que le type de la Jungfrau ; le poids est de 43 kg. 3 au mètre, et la hauteur atteint 190 millimètres. Le patin ne repose pas directement sur les traverses, mais sur des fers U de 60 millimètres de hauteur, rivés sur les traverses métalliques.

Cette grande hauteur du rail-crémaillère était indispensable, la ligne suivant pendant un long parcours la route de Martigny à Saint-Maurice et la traction se faisant par simple adhérence dans cette section.

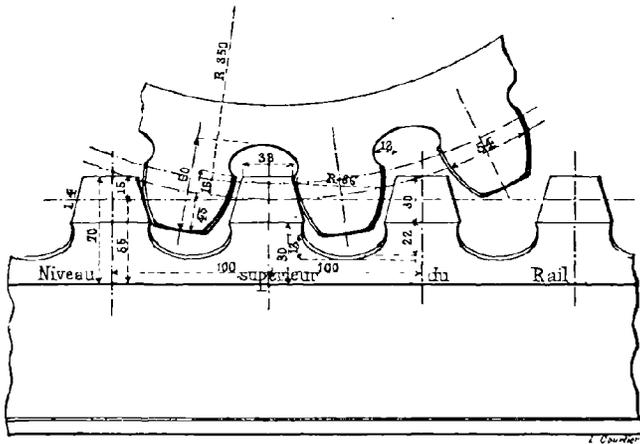


Fig. 86. — Crémaillère Strub.

68. Appareils de changement. Ponts roulants. —

Lorsque les appareils de changement doivent être établis dans une portion de voie à crémaillère, on conçoit aisément que l'existence de cette crémaillère en saillie ne permet plus l'emploi d'aiguilles ordinaires.

Au chemin du Rigi et au Mont Pilate on fait usage de ponts roulants. Chaque pont roulant peut contenir l'ensemble de la machine et du train, composé au maximum de deux voitures. Il comporte 2 tronçons distincts de voie à crémaillère.

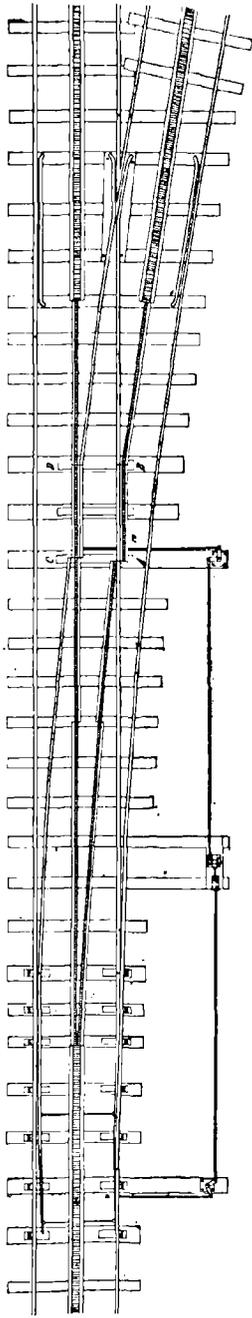


Fig. 87. — Appareil de changement dans une section à crémaillère.

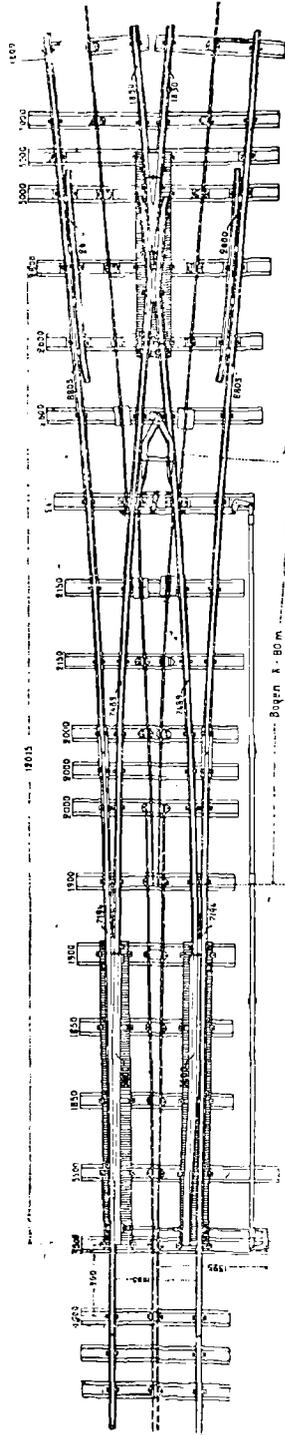


Fig. 87 bis. — Changement de voie du Gornegrat.

Ce pont est placé dans une portion de voie en pente de 60 millimètres. Le plancher, dans le sens de la voie, a une longueur totale de 15 m. 500 ; il est mobile dans le sens perpendiculaire à la voie et peut se mouvoir sur des chemins de roulement placés au fond de la fosse.

En outre, le plancher est encore soutenu par 3 rouleaux solidement fixés sur la maçonnerie. Le mouvement est imprimé à l'ensemble du système par une manivelle actionnant des roues dentées qui se meuvent sur deux crémaillères placées au fond de la fosse.

Ces ponts roulants ont l'inconvénient de laisser un vide à l'extrémité d'une des voies desservies ; aussi a-t-on cherché à les remplacer par des aiguilles.

Seulement dans ce cas, outre le système des aiguilles employées sur les voies ferrées ordinaires, il faut placer un élément de crémaillère mobile. Ce n'est jamais une crémaillère à échelons qui est employée à cet usage, mais bien une crémaillère à dents découpée dans une barre d'acier. La fig. 87 montre du reste la disposition générale de l'aiguillage.

Au Gornegrat on a employé une disposition ingénieuse qui a pour but d'éviter une avarie de l'appareil en cas de prise en talon l'aiguillage étant disposé pour l'autre branche que celle suivie. A cet effet, comme le montre la fig. 87 *bis*, on a disposé auprès de la pointe de cœur une sorte de triangle mobile que le boudin des roues de la machine vient rencontrer en cas de mauvaise position de l'aiguillage. Cette pièce mobile à l'aide de leviers et renvois agit alors sur les tronçons mobiles des rails et de la crémaillère et les dispose correctement.

Il est naturellement bien préférable, quand cela se peut, de ne pas placer les appareils de changement dans les parties de voie munies de crémaillère. Autant que possible, on place toujours les changements de voie dans les parties exploitées par simple adhérence.

69. Prix de revient de la crémaillère. — Le prix de revient du mètre linéaire de voie à crémaillère varie naturel-

lement beaucoup suivant les circonstances particulières où l'on se trouve.

Dans les circonstances ordinaires, on peut compter pour la crémaillère et ses supports (non compris les rails, traverses, ballast, etc.) au moins 30 francs le m. l. Au Hœllenthal, la crémaillère est revenue, mise en place, à 42 fr. 50 le mètre linéaire. A Langres, la crémaillère seule a coûté 27 francs le mètre linéaire.

En moyenne, le prix de revient varie de 30 à 40 francs le mètre linéaire, suivant le profil de la ligne et les charges à remorquer.

CHAPITRE III

LOCOMOTIVES DES CHEMINS A CRÉMAILLÈRE. LOCOMOTIVES A VAPEUR. TRACTION ÉLECTRIQUE. MATÉRIEL ROULANT

§ 1.

GÉNÉRALITÉS. DESCRIPTION DES PRINCIPAUX TYPES DE MACHINES. LOCOMOTIVES A VAPEUR

70. Généralités, machines simples, mixtes, à deux mécanismes. — Une machine destinée à une ligne à crémaillère peut être construite de deux façons bien différentes.

Ou bien, comme au Rigi, on renonce franchement à se servir de l'adhérence pour la traction ; dans ce cas, les roues porteuses sont folles sur leur essieu et la roue dentée supporte tout l'effort de traction : c'est une machine simple. Ou bien, comme à Langres, on veut faire contribuer les roues porteuses au travail de la traction, en utilisant leur adhérence ; dans ce cas, elles sont calées sur leur essieu et suivent le mouvement de la roue dentée, qui ne supporte plus qu'une fraction plus ou moins grande de l'effort total de traction. On a alors une machine mixte.

Dans ce dernier cas, la roue dentée étant reliée par bielles et manivelles aux roues porteuses, toutes doivent fournir des rotations égales, sous peine de glissement, et par suite avoir les mêmes diamètres. En effet, la roue dentée ayant un dia-

mètre D et tournant d'un angle $d\alpha$, la roue porteuse de diamètre D' tournant aussi du même angle $d\alpha$, à cause des transmissions, avancera d'une quantité $D' \times d\alpha$ et il faut que $D \times d\alpha = D' \times d\alpha$. Si donc $D \lesseqgtr D'$, il y aura forcément un glissement égal à $(D - D') d\alpha$. Or, si l'égalité entre le diamètre de contact de la roue porteuse et le diamètre du cercle primitif de la roue dentée peut être réalisée avec une machine neuve, on conçoit que cette égalité ne subsiste plus au bout de quelque temps de service. Il y a donc toujours des glissements dans la marche en crémaillère avec cette machine.

Les machines simples ont surtout le grave inconvénient de ne pouvoir être employées que sur les voies munies de crémaillère, ce qui restreint beaucoup leurs applications.

Car, ainsi que nous l'avons déjà vu, ce sont surtout les lignes mixtes qui sont destinées à se développer, lignes présentant alternativement des sections avec et sans crémaillère. Il faut que la même machine puisse les parcourir les unes et les autres, indifféremment, et pour cela employer des machines du second type, des machines mixtes.

Le système simple, n'utilisant pas l'adhérence, présente même dans la marche en crémaillère l'inconvénient de faire supporter tout le travail moteur par la roue dentée. Considérons, par exemple, la machine du Rigi, pesant en service 12.500 kg. : son mécanisme à adhérence pourrait, en comptant sur un coefficient d'adhérence de $\frac{1}{7}$, fournir dans l'effort de traction total un appoint de 1.786 kg. L'effort total de traction étant de 6.000 kg., c'est à peu près les $\frac{3}{10}$, et à la vitesse ordinaire de la machine, d'environ 7 km. à l'heure, c'est un travail de 46 chevaux que la roue dentée doit fournir en sus.

La machine mixte, au contraire, présente l'inconvénient inhérent à la solidarité des roues porteuses et dentées, qui, ainsi que nous l'avons exposé, se traduit par un travail de glissement. Toutefois, il ne faut pas exagérer la valeur de ce travail perdu ; afin de bien fixer les idées, nous allons en calculer immédiatement la valeur pour une machine déterminée.

Prenons comme exemple la machine de Wasseraflingen, dont le poids adhérent est de 11 tonnes. L'effort de traction maximum susceptible d'être produit par le mécanisme à adhérence sera de $\frac{11.000 \text{ kg.}}{7} = 1.570 \text{ kg.}$ Par suite, lorsque la roue développera un chemin de 0 m. 001, le travail produit sera de $1.570 \text{ kg.} \times 0 \text{ m. 001} = 1,570 \text{ kgm.}$ Supposons que la roue dentée ait un diamètre primitif de 6 millimètres plus faible que celui des roues porteuses, la différence de chemin parcouru dans un tour de roue sera de $3,1416 \times 6 = 19$ millimètres, représentant pour le mécanisme à adhérence un travail perdu de $19 \times 1,570 = 29,8 \text{ kgm.}$ correspondant au travail du glissement. Mais, la roue dentée ayant un diamètre primitif de 764 millimètres et la pression des dents étant de 3.000 kg., le travail produit sera de :

$$\pi \times 0,764 \times 3.000 = 2 \text{ m. } 4 \times 3.000 = 7.200 \text{ kgm.}$$

La perte de travail correspondant au glissement n'est donc au maximum que de $\frac{29,8}{7.200}$ soit $\frac{4}{1.000}$; elle est donc en pratique tout à fait négligeable et du même ordre de grandeur que le glissement des roues solidaires sur les files de rails intérieurs et extérieurs dans les courbes.

Il importait de bien établir ce point, car on est toujours porté à attribuer beaucoup d'importance à ce défaut des machines mixtes, tandis que le raisonnement et la pratique ont montré que ce défaut n'avait en réalité aucune importance au point de vue de la perte de travail.

Si le diamètre des roues porteuses est plus grand que le diamètre primitif de la roue dentée, au bout d'un certain temps, les bandages s'usent, la différence s'atténue et le défaut devient de plus en plus faible jusqu'à l'égalité des deux diamètres.

Au delà, les bandages continuant à s'user, leur diamètre devient inférieur à celui du cercle primitif de la roue dentée, et le glissement reparaît.

Mais ce glissement est positif ou négatif suivant les cas. Dans le premier cas, quand le bandage de la roue porteuse tend à faire marcher la machine plus vite que ne le permet

la roue dentée, le frottement de glissement s'ajoute à la force de traction.

Si le contraire a lieu après usure des bandages, c'est l'inverse qui se produit ; la force de glissement tend à retarder la marche de la machine en produisant un travail négatif.

Aussi se place-t-on toujours dans le premier cas. Car, si le défaut signalé est insignifiant au point de vue de la force perdue, on comprend aisément que, dans le second cas, il se produit des réactions qui fatiguent la crémaillère et la roue dentée, et amènent des secousses.

De plus, dans les courbes raides, le glissement des bandages sur le rail est augmenté ; et l'usure de ces bandages, qui se creusent en forme de gorge, est très rapide.

Un autre défaut des machines mixtes, produit aussi par la solidarité des mécanismes à adhérence et à crémaillère, est le suivant. Ces machines, devant parcourir des sections avec et sans crémaillère, doivent prendre dans ces sections des vitesses bien différentes.

Il en résulte que les pistons moteurs doivent avoir aussi des vitesses très variables. Par suite, si au point de vue du travail de la vapeur on leur donne une vitesse convenable dans les sections à crémaillère, ils prendront une vitesse exagérée dans les sections à adhérence, qui doivent être parcourues beaucoup plus vite. Pour arriver à donner dans les deux cas la vitesse moyenne normale aux pistons, on est obligé d'avoir recours à des arbres intermédiaires, conduits par des pignons et engrenages ; cela amène des complications, augmente les frottements et produit quelquefois des chocs, sans arriver à donner des vitesses supérieures à 15 kilomètres dans les sections à adhérence.

Cette vitesse est certainement suffisante dans la plupart des cas, car ces lignes de montagne présentent toujours dans les parties sans crémaillère des rampes d'au moins 25 à 35 mm. Mais, pour pouvoir néanmoins avoir une vitesse plus grande, on a imaginé un autre type de machines, étudié surtout par M. R. Abt, type qui comprend deux mécanismes moteurs distincts. Les roues à adhérence sont alors commandées par deux cylindres, et la roue dentée motrice

par deux autres. De cette façon on peut adopter dans les parties sans crémaillère telle vitesse que l'on désire, sans être gêné par la connexion des deux systèmes à adhérence et à crémaillère.

Cet avantage se traduit nécessairement par une complication et une augmentation de poids des locomotives. A surface de chauffe égale elles sont plus lourdes. Ce dernier défaut est sensible pour les machines de faible tonnage.

Ainsi la machine à 4 essieux, type Riggenbach, employée à Langres, pèse 314 kg. par mq. de surface de chauffe, tandis que la machine à 2 mécanismes type Abt, de Viège à Zermatt, pèse 361 kg. par mq., et celle de Diacophtho-Kalavryta, dont la tare à vide est sensiblement la même que la machine de Langres, pèse 437 kg. par mq.

Ces machines, dans la pensée du constructeur, sont surtout destinées à faire face à un trafic important et à remorquer des charges assez fortes à des vitesses moyennes.

Pendant longtemps, la crémaillère n'a été employée que pour des lignes à faible trafic ; depuis quelques années, la crémaillère a été appliquée sur des lignes ayant un trafic notable. Mais, dès que le trafic devient un peu important, le défaut capital du poids mort de la machine pèse lourdement sur le rendement économique de la traction.

La locomotive à crémaillère répond bien au but que l'on s'est proposé lors de sa création, c'est-à-dire de parer au défaut d'adhérence sur les très fortes rampes ; mais elle ne peut remédier à l'inconvénient résultant de l'influence du poids mort.

Or, à surface de chauffe égale, une machine mixte pèsera toujours plus qu'une machine à simple adhérence, et cela quel que soit le système adopté pour la machine.

On peut donc diviser les machines destinées aux chemins à crémaillère en trois classes.

1^{re} classe. Machines simples. — Destinées exclusivement aux lignes entièrement à crémaillère. Ce sont généralement des lignes de plaisance, ou de petits chemins industriels, à très fortes pentes et de faible longueur.

Ces machines remorquent de très faibles charges à de très

petites vitesses ; elles sont légères. Les roues porteuses sont folles sur leur essieu. La roue dentée est commandée seule par les pistons moteurs.

2^e classe. Machines mixtes. — Destinées aux lignes comprenant des sections à adhérence et des sections à crémaillère. Elles sont un peu plus lourdes que les précédentes, franchissent généralement des rampes moins raides et moins longues, et peuvent remorquer de plus fortes charges. Les pistons moteurs agissent, à la fois, sur les roues porteuses et sur la roue dentée.

3^e classe. Machines à deux mécanismes. — Destinées également aux lignes comprenant des sections à adhérence et à crémaillère. Elles sont généralement plus lourdes que les machines des catégories précédentes. Leur but est de marcher aussi vite que possible dans les sections sans crémaillère.

Un mécanisme spécial met en mouvement les roues dentées motrices et les roues adhérentes, et la machine comporte quatre cylindres.

Nous examinerons successivement chacune de ces classes dans l'ordre indiqué, qui est aussi l'ordre chronologique dans lequel ces locomotives ont été successivement créées.

La première machine du Rigi a été conçue et exécutée par M. Riggerbach ; les machines à deux mécanismes ont été surtout étudiées par M. R. Abt. Le type de la machine du Harz, créé par lui, est devenu classique et a été toujours suivi depuis lors, pour les machines à deux mécanismes. M. Riggerbach a également eu l'idée de construire des machines à deux mécanismes.

Citons aussi la machine de MM. Locher et Guyer Freuler, destinée aux pentes exceptionnelles du mont Pilate.

71. 1^{re} Classe. — Machines simples. — Machines du Rigi et du Mont-Pilate. — *Machines de la ligne Vitznau-Rigi.* — La machine primitive du Rigi, représentée par la fig. 88, a sa chaudière presque verticale, portée par deux châssis reposant sur deux essieux distants de 3 mètres.

Les roues, munies d'un bandage, sont folles sur leur essieu, et ne servent qu'à porter la machine en la guidant. Les cylin-

dres sont extérieurs et horizontaux, ils ont un diamètre de 270 mm., les pistons ont une course de 400 mm. et agissent par l'intermédiaire de bielles sur un arbre auxiliaire *mm* portant deux roues dentées qui ont un diamètre primitif de 222 mm. 7 et sont munies de 14 dents chacune. Ces roues attaquent l'essieu porteur *aa*, sur lequel est calée la roue dentée *z*, par l'intermédiaire de deux roues dentées *nn* de 636 mm. 6 de diamètre primitif et munies de 20 dents (voir fig. 88 le détail). On le voit, lorsque la roue dentée motrice fera un tour, l'arbre auxiliaire fera $\frac{636}{222} = 2,86$ tours, ce qui correspond à environ 5 coups de piston.

Cette disposition était nécessaire pour donner aux pistons une vitesse suffisante.

Autrement, s'ils eussent agi directement sur l'essieu moteur, à cause du faible diamètre de la roue dentée et de la vitesse réduite, ces pistons se seraient mus beaucoup trop lentement, et la vapeur aurait été mal utilisée.

L'arbre auxiliaire porte aussi une poulie de frein que peuvent venir enserrer deux mâchoires manœuvrées par le machiniste à l'aide de tringles et leviers. Ce frein sert normalement pour l'arrêt aux stations.

La roue dentée motrice, fixée sur l'arbre moteur, a un diamètre primitif de 636 mm. 6 ; elle est munie de 20 dents de 49 millimètres de largeur sur la circonférence primitive. Le pas est de 100 millimètres.

L'essieu porteur *bb* est situé à l'avant de la machine ; il porte aussi, calée en son milieu, une roue dentée *z*, identique à la roue motrice et engrenant avec la crémaillère. De part et d'autre sont aussi calées sur le même essieu deux poulies de frein *p* et *q*, qui peuvent être serrées entre des mâchoires de friction, manœuvrées par une vis et des renvois de levier placés à portée du mécanicien. Ce frein est du reste un appareil de secours, destiné à être utilisé seulement en cas de rupture des autres appareils qui servent à arrêter la machine. La locomotive n'est jamais attelée au train qu'elle pousse à la montée et retient à la descente, de façon à rassurer complètement les voyageurs, en donnant toutes les sécurités possi-

bles. Il y a encore un troisième frein, fort curieux, qui est un frein à air comprimé ; c'est celui du reste qui sert constamment pour modérer la vitesse, car un frein à friction s'userait promptement et les surfaces en contact s'échaufferaient fortement et presque immédiatement. A cet effet, la machine descendant, la distribution est renversée, et un robinet A permet l'entrée de l'air dans les boîtes à tiroir. Dès lors, les pistons aspirent l'air et le refoulent dans un tuyau venant déboucher près du mécanicien ; une valve *h* permet de régler la sortie de cet air comprimé. En fermant l'ouverture de ce tuyau, l'air comprimé n'a plus d'issue, et la machine s'arrête presque immédiatement.

Le robinet d'entrée de l'air, A, est placé sur le tuyau d'échappement de la vapeur, de façon qu'en le tournant on puisse à volonté laisser pénétrer l'air dans ce tuyau, ou laisser le tuyau continu en vue de la marche normale.

La compression de l'air est naturellement accompagnée d'un dégagement de chaleur. Pour empêcher les garnitures du piston et la glace du tiroir de gripper, on fait arriver un filet d'eau dans les cylindres. Cette eau en se vaporisant rafraîchit les cylindres et les tiroirs.

On voit qu'il y a en réalité trois freins absolument indépendants, et que chacun d'eux, à lui seul, est en état d'arrêter la machine.

Enfin notons aussi deux grappins, courant sous les ailes de la crémaillère, qui peuvent venir saisir ces ailes et maintenir énergiquement la machine sur les rails, dans le cas où elle tendrait à être soulevée, soit par un obstacle placé dans la crémaillère, soit par l'effet d'un vent violent (Voir le croquis de détail fig. 88).

Les caisses à eau et à charbon sont à l'arrière de la machine ; à l'avant est réservé un petit compartiment grillé pour les bagages.

La chaudière n'est verticale que sur la pente moyenne de 190 millimètres. La forme verticale a été choisie à cause des variations considérables du niveau de l'eau de la chaudière sur une ligne comportant des pentes de 250 millimètres. Mais les tubes sont trop courts, et l'utilisation du combustible est

très imparfaite. Aussi a-t-on remplacé les chaudières verticales par des chaudières horizontales.

Les autres organes accessoires sont les mêmes que sur les machines ordinaires des voies ferrées.

Voici les principales données de cette machine, qui peut remorquer sur les rampes maxima un train de 9 tonnes à la vitesse de 5 kilomètres à l'heure :

Diamètre intérieur de la chaudière . . .	1 m.	20		
Tubes	{	longueur . . .	1	850
		diamètre . . .	0	048
		nombre . . .		284
Surface de chauffe	{	boîte à feu . . .	2 mq.	88
		tubes . . .	55	50
		totale . . .	58	38
Timbre . . .		10 kg.		
Surface de grille . . .		0 mq. 82		
Cylindres	{	diamètre . . .	0 m.	270
		course . . .	0	400
Empattement . . .		3 m.		
Diamètre	{	des roues porteuses . . .	0 m.	660
		de la roue dentée motrice . . .	0	636
Travail maximum, 105 chevaux-vapeur.				
Soit 135 kilogrammètres par mq. de surface de chauffe.				
Poids	{	à vide . . .	10.000	kg.
		en service . . .	12.500	kg.
Pression maxima sur la dent . . .		5.400	kg.	

Les machines primitives telles que nous venons de les décrire ont fait un service régulier jusqu'en 1884. A cette époque on les a reconstruites ; comme elles ont fonctionné seulement six mois par an, depuis 1870, elles ont donc fait un service effectif de sept années et parcouru 30.000 kilomètres.

Les nouvelles machines ont leur chaudière à peu près horizontale ; voici leurs principales données :

Surface de chauffe de la boîte à feu	6 mq.
— totale	48
Longueur des tubes	2 m.
Nombre des tubes	161
Surface de grille	1 mq.
Course des pistons	0 m. 400
Diamètre des cylindres	0 270
Empattement	3 m. 000
Poids de la machine	{ à vide . . . 14 t. en service . . 17 t.

Les machines de l'*Arth-Rigi* diffèrent peu de la précédente.

La chaudière est horizontale ou plutôt son axe est incliné de 10 0/0 sur l'horizon. La modification principale porte sur les roues d'engrenage de l'essieu moteur. Au lieu d'être calées sur cet essieu comme à Vitznau, de part et d'autre de la roue dentée motrice, on a complètement accolé à cette roue motrice deux couronnes dentées engrenant avec les roues d'engrenage calées sur un arbre intermédiaire recevant directement le mouvement des pistons.

De plus, la roue dentée motrice est calée sur un arbre spécial, au lieu d'être simplement placée sur un essieu porteur. La disposition du Rigi présentait des inconvénients en pratique.

On a perfectionné aussi la prise d'air de la boîte à fumée, en fermant par un clapet le débouché du tuyau d'échappement, de façon à éviter que des escarbilles puissent s'introduire au moment de l'aspiration dans les cylindres et les boîtes à tiroir.

La vitesse des machines du Rigi est fixée à 1 m. 77 par seconde, tant à la montée qu'à la descente.

A cette vitesse, les machines peuvent remorquer un poids de 9 tonnes, sur une rampe de 250 millimètres.

Locomotives du Schneeberg et du Schafberg (1). — Ces machines, construites par la maison Krauss et Cie pour la voie de 1 mètre, sont munies de balancier comme celles de la ligne du

(1) Brückmann. *Neuere Zahnradbahnen*.

Wengern Alp, mais la disposition adoptée est un peu différente.

La machine est toujours à 3 essieux ; celui d'arrière, simplement porteur, est un essieu radial système Adam. Les cylindres sont encore placés entre les deux essieux accouplés ; ils transmettent le mouvement aux balanciers placés à l'avant ; mais ceux-ci, au lieu d'attaquer l'essieu d'avant comme au Wengern Alp, actionnent l'essieu médian à l'aide d'une bielle.

Les roues accouplées ne sont pas calées sur leur essieu ; mais tournent folles sur lui. Ces machines sont donc essentiellement des machines simples, n'utilisant pas l'adhérence pour leur propulsion ; leurs dimensions principales sont indiquées ci-dessous :

Diamètre des cylindres.	320 m/m
Course des pistons	600 »
Diamètre primitif des roues dentées	573 »
Diamètre des roues accouplées.	706 »
Diamètre des roues porteuses.	520 »
Surface de grille	0 mq. 900 »
Surface de chauffe.	36 mq.
Poids à vide	13.730 kg.
Poids en service.	17.350 »
Effort de traction	7.500 »

Ces locomotives peuvent remorquer un train de 17 tonnes en rampe de 230 millimètres à la vitesse de 7 kilomètres à l'heure, ce qui correspond à un travail de 193 chevaux-vapeur, soit 5,3 chevaux par mq. de surface de chauffe.

Machine du Mont Pilate. — Cette machine, destinée à se mouvoir uniquement en crémaillère, n'est pas montée sur un véhicule spécial, elle est placée sur la voiture même qu'elle doit faire mouvoir.

Les pentes atteignant 480 millimètres, on a, pour éviter l'effet des variations du niveau de l'eau dans la chaudière, employé un type tubulaire, disposé perpendiculairement à l'axe de la voie, comme le montre la fig. 90,

La surface de chauffe totale est de 21 mq. ; la surface de grille est de 0 mq. 380.

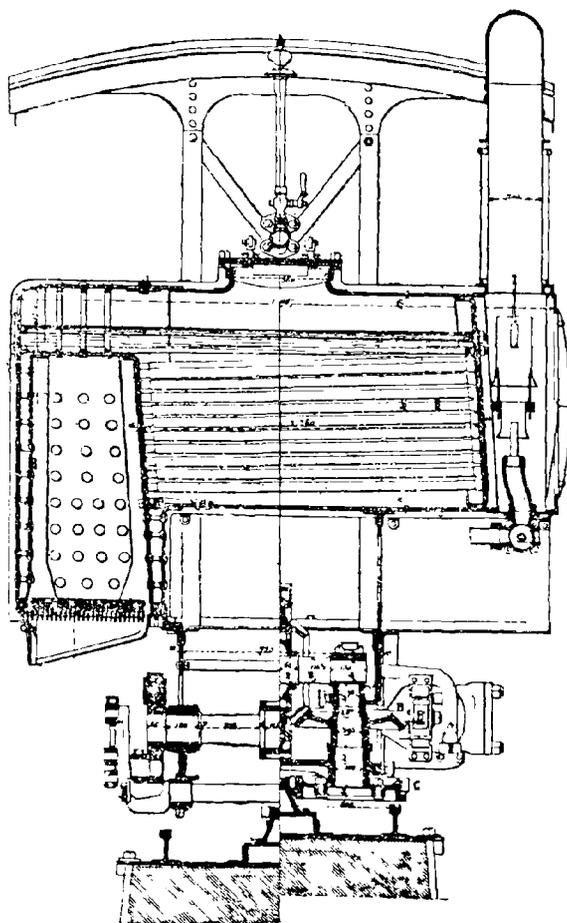


Fig. 89. — Coupe transversale de la machine du Mont-Pilate.

Le poids total à remorquer est de 5.500 kg. ; la vitesse adoptée étant de 1 mètre par seconde, le travail à développer est de 5.500 kgm., répondant à 73 chevaux-vapeur, soit 262 kgm. par mq. de surface de chauffe.

Les cylindres moteurs sont extérieurs au châssis. La distribution est du système Brown.

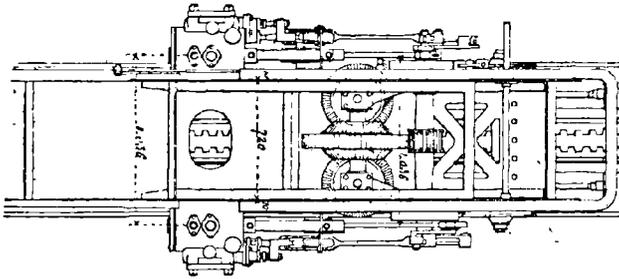


Fig. 91. — Machine du Mont-Pilate. Plan du mécanisme.

Voici les principales données de la machine :

Surface de grille	0 mq. 380
Surface de chauffe directe	2 mq. 400
Surface de chauffe indirecte	18 mq. 600
Surface de chauffe totale	21 mq. 000
Diamètre des cylindres	0 m. 220
Course des pistons	0 m. 300
Nombre de tours par minute de l'arbre auxiliaire.	180
Diamètre primitif des roues dentées.	0 m. 409
Pas.	0 m. 0857
Nombre de dents	15
Diamètre des roues porteuses.	0 m. 400
Empattement	6 m. 100
Timbre	12 at.
Eau { Chaudière.	0 mc. 485
{ Caisse	0 mc. 800
Combustible.	350 kg.
Poids de la machine	6.500 kg.
Poids du véhicule	1.100 kg.

Total en service avec 31 personnes. 10.500 kg.

Toute la machinerie est placée à l'arrière de la voiture fig. 83 et 91).

Les châssis sont constitués par deux poutres, distantes de 720 mm. ; l'espace libre entre eux forme la caisse à eau.

Les roues dentées motrices ont leur engrènement absolument assuré par l'artifice suivant :

Au-dessous de la couronne dentée et tournant avec elle, on a placé un bandage d'acier qui vient rouler sur une plate-bande formant rail, disposée un peu au-dessous de la crémaillère et fixée au fer Zorès qui soutient l'ensemble de la crémaillère (fig. 82). Cela fait en quelque sorte comme un rail central du système Fell, avec la crémaillère en sus.

Le guidage du véhicule est absolument assuré, et l'on a pu du même coup supprimer les boudins des roues porteuses, facilitant ainsi le passage dans les courbes, qui s'abaissent jusqu'à 80 mètres de rayon. Avec un rayon aussi faible, les lignes primitives des deux crémaillères n'ont plus exactement le même développement, malgré leur faible écartement en plan.

Tant pour ce motif que pour parer à de légers défauts provenant de la division de la crémaillère, on a laissé un certain jeu dans l'engrenage commandant les roues dentées motrices, de telle façon que la distance des arbres sur lesquels elles sont fixées puisse varier très légèrement quand le besoin s'en fait sentir.

Pour mieux guider le véhicule et avoir un frein de sécurité, on a installé vers l'avant de la voiture deux autres roues dentées semblables aux roues motrices.

Le véhicule repose par trois points seulement sur deux essieux, distants de 6 m. 10, deux sur l'essieu inférieur et un sur l'essieu supérieur, afin que les quatre roues portent toujours en plein sur les rails, malgré les pentes et les courbes.

On a fixé vers l'avant de la voiture des grappins qui peuvent venir embrasser les rails et s'opposer au renversement.

Il y a trois espèces de freins : un frein à air système Riggenbach, un frein à friction dont la poulie est calée sur l'arbre auxiliaire, et un autre frein à friction installé sur l'arbre des roues dentées placé vers l'avant de la voiture, près de l'essieu d'avant.

Ce frein comporte une commande automatique, de

façon à agir dès que la vitesse du véhicule dépasse 1 m. 30 par seconde.

Passons maintenant à un type plus répandu, celui des machines mixtes, pouvant se mouvoir à la fois avec et sans crémaillère.

72. 2^e classe. Machines mixtes à un seul mécanisme.

— **Machines d'Ostermundigen, Wasseraflingen, Friederichsseggen à la Lahn, Langres, mines de Padaug, Wengern Alp, Snowdon.** — *Machine d'Ostermundigen.*

— L'idée des machines mixtes est aussi ancienne que celle des machines simples. Car, dès 1870, M. Riggenbach en installait une pour le chemin des carrières d'Ostermundigen. A vrai dire, ce n'était pas là une véritable machine mixte, telle que nous les comprenons aujourd'hui, en ce sens que les mécanismes à adhérence et à crémaillère n'étaient pas solidaires ; mais un mécanisme à débrayage permettait de faire agir à volonté les pistons moteurs sur le mécanisme à adhérence ou de les laisser commander seulement la roue dentée.

Les pistons mettaient directement en mouvement l'essieu portant la roue dentée. Cet essieu était réuni par des bielles à l'essieu porteur d'arrière, qui était double. Les roues étaient calées sur un essieu extérieur creux, traversé par un essieu intérieur sur lequel étaient calées les manivelles.

L'embrayage rendait solidaires à volonté ces deux essieux concentriques. On voit que, dans les sections à adhérence, la roue dentée tournait à vide.

Cette disposition de l'embrayage a permis de tourner la difficulté relative aux deux vitesses différentes de la machine, dans les sections avec crémaillère. En effet, le diamètre des roues porteuses est de 1 m. 15 et celui de la roue dentée est de 0 m. 764. Mais, comme le rapport des engrenages est d'environ 1 à 3, une même vitesse des pistons donne à la machine une allure convenable soit en crémaillère, soit dans les sections à adhérence.

Si au contraire les deux mécanismes eussent été solidaires,

il aurait fallu, pour que les chemins parcourus par les roues porteuses et la roue dentée fussent égaux, que le rapport des engrenages fût égal au rapport des diamètres $= \frac{1,150}{0,764} = 1,5$. Alors, la vitesse des pistons n'eût pas été satisfaisante dans les deux cas.

Cette disposition, tout en fonctionnant convenablement, présentait quelques inconvénients, notamment celui-ci : à l'entrée en crémaillère, il fallait s'arrêter pour manœuvrer l'organe d'embrayage, et de même à la sortie.

Pour éviter cet embrayage, on a été amené à construire le véritable type mixte, dans lequel les roues porteuses et la roue dentée motrice sont constamment solidaires.

Machine de Wasseralfingen. — C'est en 1876 que M. Riggenschach construisit cette locomotive pour le chemin mixte de Wasseralfingen.

La fig. 92 représente cette machine. Le mouvement des pistons est transmis par bielles et manivelles à un arbre auxiliaire ; sur cet arbre est calé un pignon qui communique directement son mouvement à la roue dentée motrice calée sur un faux essieu spécial. On a pu supprimer ici les roues dentées intermédiaires, à cause de la faiblesse du travail à produire. Ce faux essieu entraîne à son tour les deux roues porteuses à l'aide de bielles et manivelles.

Pour faciliter le nettoyage de la crémaillère et l'enlèvement des neiges, l'exploitation étant continue toute l'année, il a fallu surélever l'essieu portant la roue dentée et par suite surélever aussi la crémaillère. Cette machine, pesant 9 tonnes à vide, a une surface de chauffe de 23 m. q. et peut développer un travail maximum de 93 chevaux. Elle a servi de type pour toutes les machines mixtes construites depuis lors.

Nous n'insisterons pas davantage sur la description de cette machine, mais nous décrirons avec quelques détails un type qui en dérive, la machine construite plus récemment pour le chemin de Langres.

Auparavant nous allons décrire les machines de Friedrichsseggen à la Lahn.

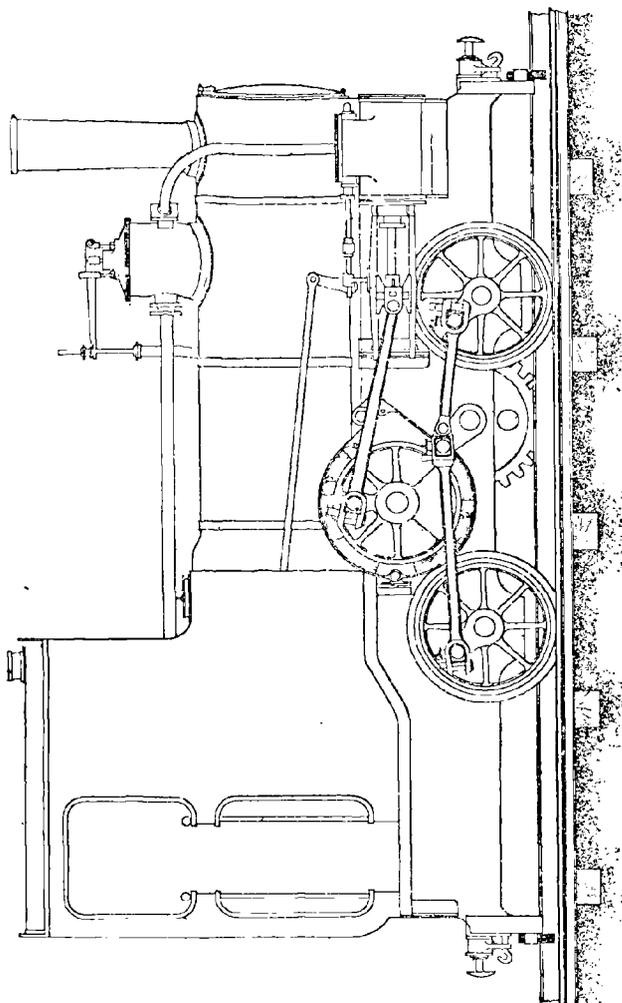


Fig. 92. — Machine de Wasserralpingen.

Machines du chemin de Friederichsseen à la Lahn. — Ces machines datent de 1880 et dérivent du type précédent.

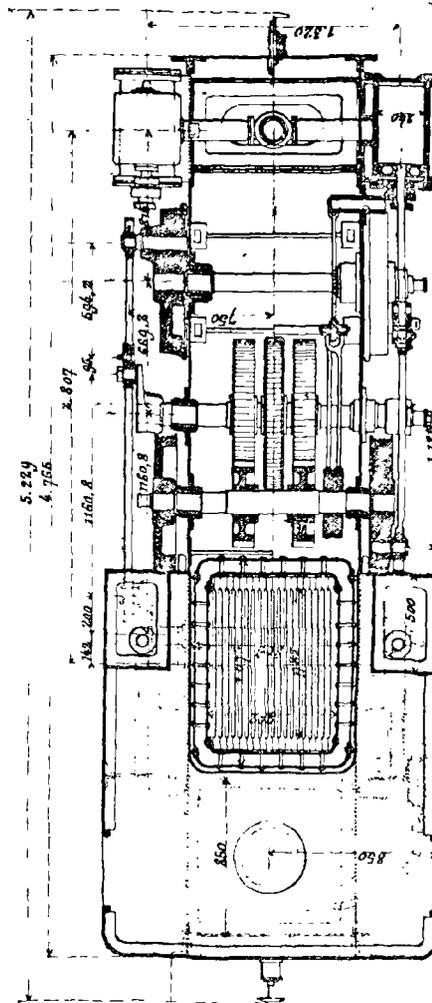


Fig. 93. — Plan de la machine du chemin de fer de Friederichsseen à la Lahn.

Leur vitesse est réglée à 10 kilomètres dans les parties à adhérence et à 5 dans les sections à crémaillère. La charge à remorquer est de 10 tonnes à la montée et de 18 tonnes à la descente. Voici les principales données de cette locomotive :

Surface de grille	0 m.q. 62
Surface de chauffe	25 m.q.
Diamètre des roues à adhérence . .	0 m. 770
Diamètre de la roue dentée. . . .	0 m. 764
Empattement	1 m. 850
Timbre	9 at.
Poids en service	11 t. 8
Poids à vide.	10 t.
Pression de la vapeur	9 at.
Rapport des vitesses angulaires de l'arbre auxiliaire et de l'arbre de la roue dentée	23 à 40

Les figures 93, 94 et 95 représentent en détail cette machine, très analogue à la machine de Wasseraifingen.

Machine de Langres. — Cette locomotive est représentée par la fig. 96 (1). Elle est portée par deux essieux distants de 1 m. 85. Les cylindres sont extérieurs et commandent par bielles et manivelles un arbre auxiliaire, comme à Wasseraifingen. Sur cet arbre sont calés, symétriquement par rapport à l'axe de la machine, deux pignons engrenant avec deux autres roues dentées de plus grand diamètre, accolées symétriquement de part et d'autre à la roue dentée motrice. L'axe de cette roue, à son tour, transmet son mouvement par bielles et manivelles aux roues porteuses.

Or, le diamètre primitif des pignons calés sur l'arbre auxiliaire est égal à 0 m. 353 et le diamètre primitif des roues accolées à la roue dentée motrice est 0 m. 613; le rapport $\frac{0,613}{0,353} = 1,74$, c'est-à-dire que, lorsque la roue dentée fait un tour, l'arbre en fait 1,74.

(1) *Nouvelles Annales de la construction*, mars 1888.

Le diamètre des roues porteuses étant de 0 m. 773, la machine avance par tour de roue de 2 m. 428 ; la vitesse

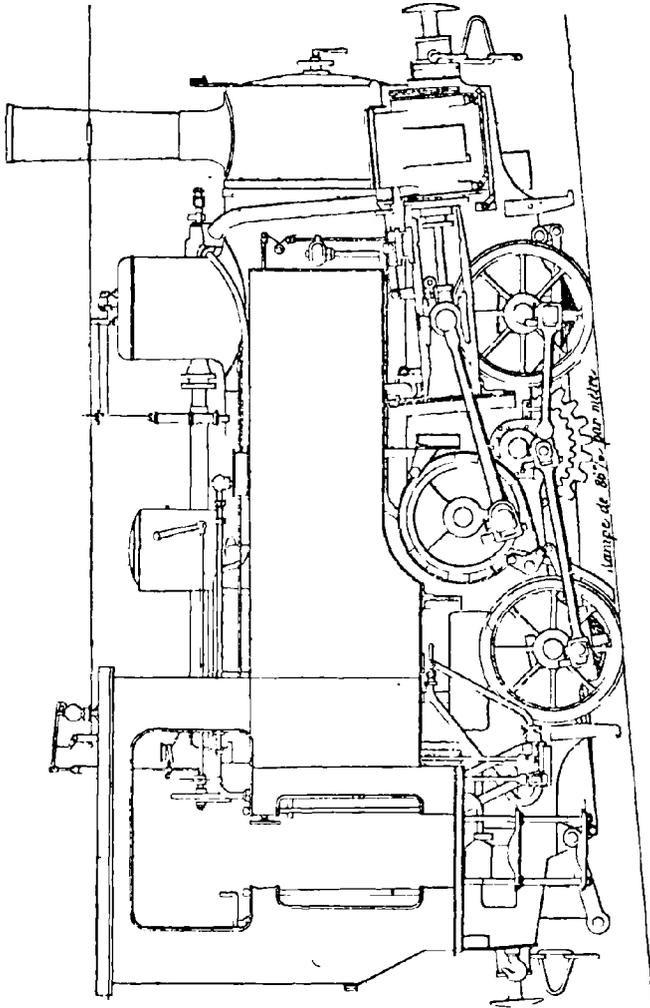


Fig. 96. — Machine de Langres.

normale étant de 10 km. à l'heure, soit 166 m. 67 par minute, le nombre de tours par minute sera $\frac{166,67}{2,428} = 69$ tours environ.

Par suite, l'arbre intermédiaire fera, à cette vitesse, un

nombre de tours égal à $69 \times 1,74 = 120$. Cela fait 4 coups de piston par seconde, ce qui place le mécanisme moteur dans de bonnes conditions de vitesse.

La chaudière ou plutôt son axe est incliné de 0 m. 086 par mètre, de façon que cette ligne soit horizontale sur la pente moyenne du chemin. Le dôme de prise de vapeur est placé vers l'avant de la machine ; il porte une soupape à ressort (balance). Vers le milieu se trouve une sablière, permettant au mécanicien d'envoyer du sable sous les roues porteuses, en cas de verglas.

La surface de chauffe totale est de 36 m. q. 20, la surface de grille de 0 m. q. 76.

La machine pèse à vide 12 t. 400 ; en ordre de marche 13 t. 600.

Elle peut remorquer, à la vitesse normale de 10 kilomètres, un train de 12 t. 5 sur les rampes de 172 mm. que comporte la ligne, ce qui correspond à un travail d'environ 200 chev. vapeur ou 5 chevaux, 5 par m. q. de surface de chauffe ; c'est évidemment un chiffre très élevé, justifié seulement par la faible longueur de la rampe de 172 millimètres qui n'existe que sur 230 mètres. Il est évident que, sur cette rampe extrême, la machine, pour maintenir sa vitesse de 10 km., doit être forcée, et qu'on lui impose un maximum de travail. Aussi, en pratique, a-t-on été amené à réduire la charge en ne composant le train que d'un seul wagon, autant que possible.

Sur les rampes de 30 millimètres la machine fonctionne par adhérence et n'y est pas exposée à patiner, car l'effort de traction limite, en supposant le coefficient d'adhérence égal à $1/7$, est de 2.000 kg., tandis que l'effort de traction réel n'atteint pas 1.100 kg.

La machine est munie d'un frein à air comprimé, système Riggenbach, absolument semblable à celui que nous avons décrit pour la machine du Rigi.

L'arrêt normal est produit dans les gares par un frein semblable à celui des freins de grue ; il est installé sur l'arbre intermédiaire. Cet arbre porte à l'extérieur, près des longerons, deux poulies clavetées sur lui. Deux lames métalliques flexibles peuvent presser contre les jantes de ces poulies des gar-

nitures de bois, en produisant un serrage énergique sous l'action d'un levier mù par le mécanicien. Ce frein, agissant sur l'arbre intermédiaire, produit à la fois l'arrêt de la roue dentée motrice et l'arrêt des roues à adhérence. Il peut servir sur toute la longueur de la ligne, qu'il y ait ou non de crémaillère.

Le troisième frein, semblable à ceux déjà décrits, ne peut servir que dans les portions de voie à crémaillère.

L'essieu d'avant porte une roue dentée, folle sur l'essieu, semblable à la roue dentée motrice, à laquelle sont accolées deux poulies cannelées faisant corps avec la roue dentée. En serrant des mâchoires de friction contre ces poulies, on arrête la roue dentée et par suite la machine, quand la roue dentée engrène avec la crémaillère.

Le diamètre des roues porteuses est supérieur de 9 millimètres au diamètre du cercle primitif de la roue dentée motrice. Nous avons expliqué que, dans ce cas, les glissements résultant de cette différence se font dans le sens de la marche de la machine et que la marche de celle-ci s'améliore avec l'usure des bandages, jusqu'au moment de l'égalité des diamètres.

Les caisses à eau et à charbon sont placées sur les côtés de la machine.

La machine a été construite, sur les indications de M. Riggenbach, par la société Alsacienne, dans ses usines de Belfort.

Voici en résumé les principales données de la machine :

Largeur de voie.	1 m. 00	
Diamètre {	Roues adhérentes	0 m. 773
	Primitif de la roue dentée motrice.	0 m. 764
Nombre de dents	24	
Empattement.	1 m. 850	
Diamètre des cylindres	0 m. 280	
Course des pistons	0 m. 450	
Timbre.	11 kg.	
Surface de grille.	0 m. 76	
— de chauffe	36 m. q. 20	

Poids	}	à vide	12 t. 400
		en service.	15 t. 600
Longueur de tampon en tampon		3 m. 500	
Plus grande largeur		2 m. 070	
Largeur sans les marchepieds		1 m. 910	

A cause des faibles rayons des courbes, les bandages des roues des locomotives du chemin de Langres s'usent avec la plus grande rapidité. Ces bandages se creusent très vite en gorge.

Il est probable que ce fait tient en grande partie à l'inégalité existant entre le diamètre primitif de la roue dentée motrice, d'une part, et le diamètre au roulement des bandages des roues porteuses.

La machine étant à un seul mécanisme, les roues porteuses sont évidemment soumises à un fort glissement dans les courbes raides.

L'influence des courbes doit être fort sensible, car, sur la ligne du Brünig, où les rayons minimum sont de 120 mètres, l'usure des bandages des machines, du même type que celle de Langres, n'a rien d'anormal.

Machines du chemin des Mines de Padang (Sumatra). — Les machines de cette ligne, construites par la fabrique d'Esslingen, rappellent les machines de Langres décrites ci-dessus, mais elles sont plus puissantes.

Le tableau ci-après résume les principales dimensions des deux types de machines de cette ligne.

Les machines du type A, représentées par la fig. 97, sont portées par trois essieux ; les deux d'avant sont accouplés, l'essieu d'arrière est simplement porteur, il est muni d'un axe de rotation système Adam.

Comme à Langres, les cylindres attaquent directement un arbre intermédiaire qui, à l'aide d'une double réduction, conduit l'arbre spécial portant la roue dentée motrice, arbre qui entraîne, à l'aide de bielles, l'essieu d'avant et l'essieu d'arrière.

L'effort maximum de traction en rampe de 80 millimètres est de 7.500 kilogrammes.

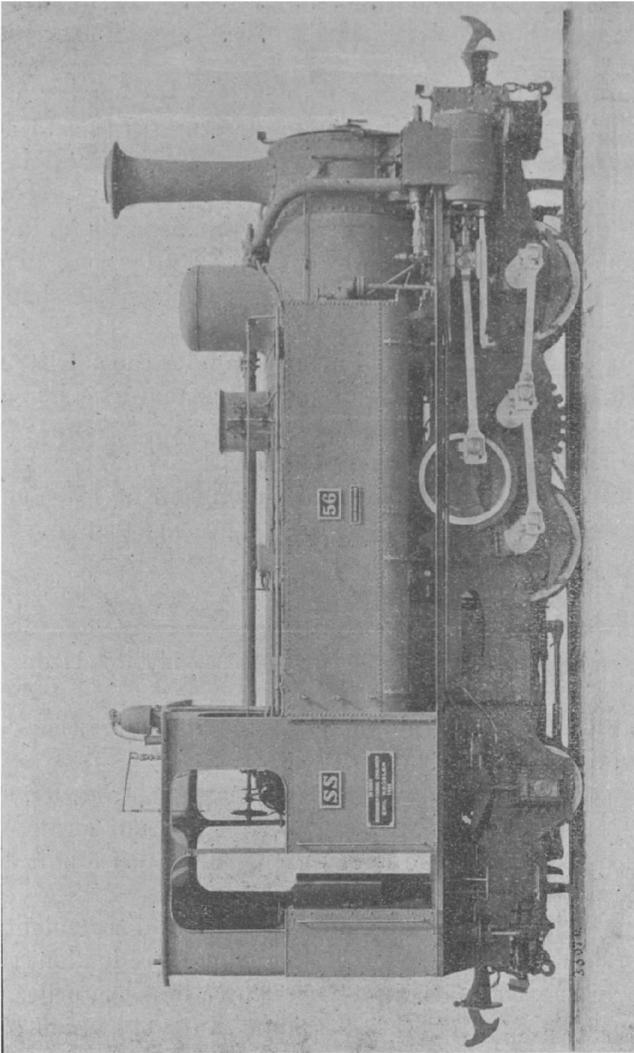


Fig. 97. — Machine des Mines de Padang, type A.

Les machines du type B, que représente la fig. 98 ne sont portées que par deux essieux, et les pistons conduisent par bielles l'essieu porteur d'arrière, lequel à son tour, actionne à l'aide de bielles l'essieu portant la roue dentée motrice.

	Type A	Type B
Diamètre des cylindres	340 m/m	430 m/m
Course des pistons	500	500
Nombre des essieux.	3	2
Nombre des essieux couplés	2	2
Diamètre des roues	Roue dentée motrice	975 m/m
	Roues couplées	—
	Roues porteuses	650
Charge sur les essieux	Avant	9 t. 6
	Milieu	9 t. 6
	Arrière.	7 t. 050
Surface de grille	1 mq. 408	1 mq. 328
Surface de chauffe.	80 mq. 417	65 mq. 693
Pression à la chaudière	11 atm.	12 atm.
Poids de la machine	Vide.	21 t. 280
	En service	26 t. 250
		17 t. 860
		21 t. 610

Outre les freins ordinaires à air comprimé et à poulie, ces machines sont munies d'un frein mixte à main et à vapeur, agissant sur les poulies de la roue à crémaillère laissée folle sur l'essieu d'avant.

Locomotives du Wengern Alp (1). — Ces machines ont été construites pour la voie de 0 m. 80 ; elles sont portées à l'avant par deux essieux, munis chacun d'une roue dentée

(1) Brückmann. *Neuere Zahnradbahnen*, page 17. Berlin, 1898.

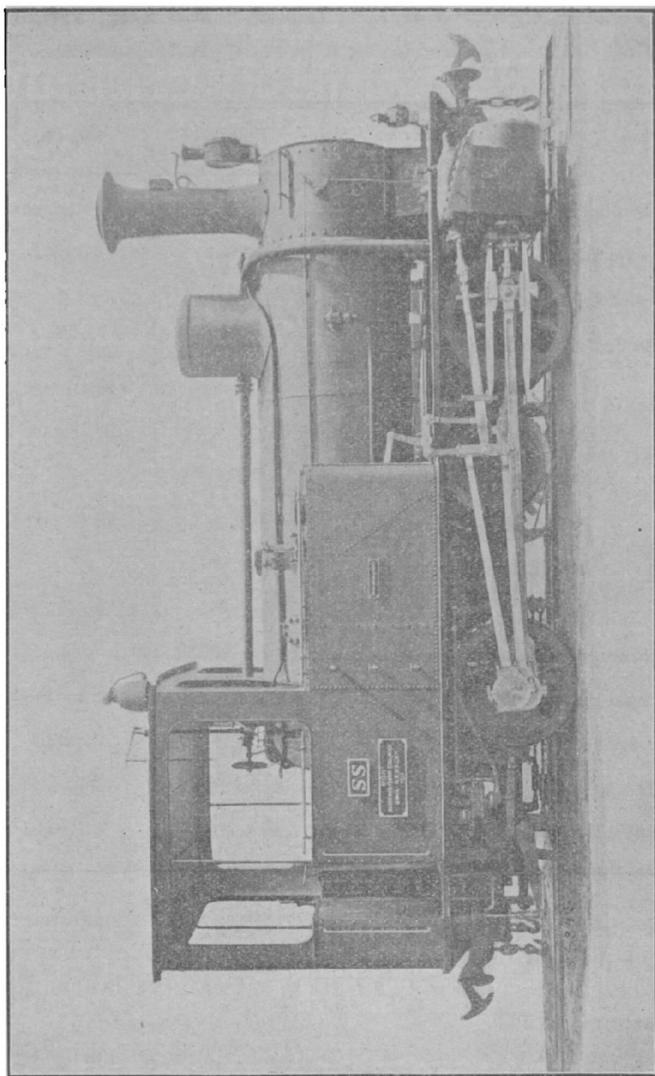


Fig. 98. — Machine des Mines de Padang type B.

motrice ; le troisième essieu, placé à l'arrière, est simplement porteur ; il est muni du dispositif radial Bissel.

Le mouvement est transmis du cylindre, placé entre les deux essieux accouplés, à l'essieu d'avant par l'intermédiaire d'un balancier.

Les données principales de ces machines sont résumées ci-dessous :

Diamètre des cylindres	300 m/m
Course des pistons	550
Rapport de transmission	$\frac{1}{1,4}$
Diamètre des roues porteuses	520 m/m
Diamètre des roues accouplées	653
Diamètre des roues dentées	573
Surface de grille	0 mq. 66
Surface de chauffe	33 mq. 76
Distance des roues accouplées	1 m. 230
Empattement total	2 m. 83
Poids { à vide	13.500 kg.
{ en service	17.000
Effort de traction	6.600

Ces machines remorquent un train de 8 tonnes sur une rampe de 250 millimètres à la vitesse de 7 kilomètres à l'heure, ce qui représente un effort de traction de 6.570 kilogrammes et un travail de 170 chevaux-vapeur, soit 5,03 chevaux par mq. de surface de chauffe ; c'est le même chiffre que pour les machines de Langres.

Le prix de ces machines à l'usine est ressorti à 41.250 francs, soit 3 fr. 05 par kilogramme, prix élevé.

Locomotives du chemin de Snowdon. — Ces machines sont tout à fait analogues aux précédentes. Construites également pour la voie de 0 m. 80, leurs dimensions et leur puissance sont à peu près identiques.

Elles peuvent remorquer un train de 18 tonnes à la vitesse de 6 à 7 kilomètres à l'heure sur une rampe de 182 millimètres.

Le prix de ces machines à l'usine a été de 2 fr. 60 le kilogramme.

La fig. 99 représente la disposition d'un frein automatique appliqué sur ces machines.

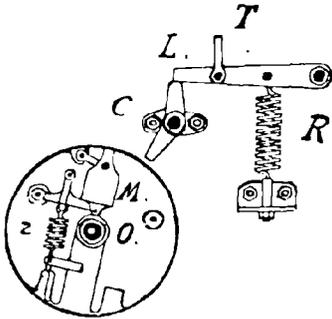


Fig. 99.

Dès que la vitesse dépasse un maximum fixé, la masse M, s'éloignant de l'axe de rotation O malgré l'action du ressort à boudin R, vient faire saillie, et butte contre le renvoi coudé C, lequel dégage l'extrémité du levier L; ce dernier, sollicité par le ressort puissant R, tourne vers

le bas et tire la tige T; cette dernière découvre un orifice situé à la partie supérieure du dôme de prise de vapeur; la vapeur pénètre dans le cylindre du frein et actionne ce dernier. A la vitesse de 8 kilomètres à l'heure, l'arrêt est obtenu sur un parcours de 2 m. 50 à 3 mètres.

73. Machines à deux mécanismes. Considérations générales. — C'est en 1885 que l'on inaugura la ligne à voie normale de Blankenbourg à Tanne dans le Harz, et que l'on y appliqua les machines à deux mécanismes construites par M. R. Abt.

Depuis, un assez grand nombre de ces machines ont été construites et mises en service; M. Abt a toujours combiné l'emploi de ses machines avec la crémaillère à lames, dont il est l'inventeur.

Mais plus récemment, en 1887, au chemin de fer du Hœlenthal, l'ingénieur, M. Bissinger, a construit une locomotive à deux mécanismes, analogue aux machines Abt, circulant sur une voie munie d'une crémaillère à échelons.

Toutes ces machines ont en vue le service de trains relativement lourds; aussi doivent-elles présenter une surface de chauffe plus considérable que les machines simples et par suite être plus lourdes.

Cela conduit généralement à les faire supporter par trois

essieux, dont deux seulement sont accouplés sur les lignes à faible rayon.

L'essieu d'arrière est généralement un essieu du système Bissel.

Il en résulte une conséquence fâcheuse : une fraction seulement du poids adhérent est utilisée dans les sections à adhérence.

Le mécanisme à adhérence est extérieur ; les deux cylindres sont extérieurs aux longerons ; au contraire, les deux cylindres commandant le mécanisme à crémaillère sont placés entre les deux longerons.

Comme nous l'avons dit, ces machines à deux mécanismes remorquent des trains assez lourds. Par suite, une seule roue dentée ne serait plus suffisante pour résister à l'effort de traction. On est obligé de recourir à l'emploi de deux roues dentées, placées l'une derrière l'autre, accouplées par une bielle, chacune d'elles ne supportant alors que la moitié de l'effort total.

Nous examinerons d'abord les machines du système Abt, qui sont actuellement les plus répandues comme machines à deux mécanismes.

74. Machines à deux mécanismes. Système Abt. Machines de Blankenbourg à Tanne, Viège-Zermatt, Lehesten à Oertelsbruch, Diacophto à Kalavryta. — Type de la ligne de Blankenbourg à Tanne. — Ces machines, très puissantes, peuvent remorquer un train de 135 tonnes sur une rampe de 60 millimètres, à la vitesse de 10 kilomètres à l'heure.

Elles sont portées par 4 essieux, dont 3 accouplés ; un quatrième essieu placé à l'arrière, au-delà du foyer, ne sert que comme essieu porteur ; il est à articulation, système Bissel, et placé à 2 m. 40 de l'essieu moteur le plus proche. L'empattement des trois essieux moteurs est de 3 m. 05.

L'emploi d'un essieu à articulation était nécessaire pour permettre le passage dans les courbes de 250 mètres de rayon, avec la voie à largeur normale.

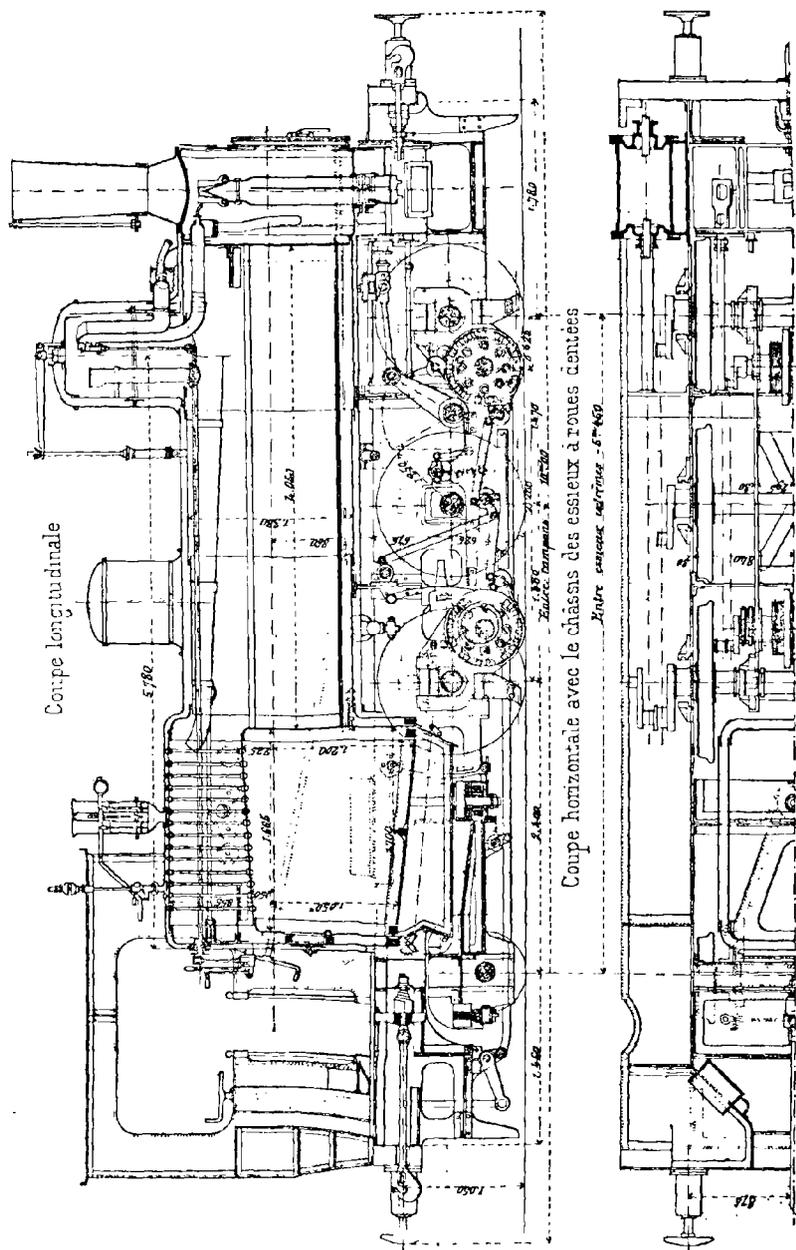


Fig. 100. — Machine de Blankenbourg à Tanne.

De plus, les approvisionnements en eau et charbon étant répartis vers l'arrière, la pression sur les essieux moteurs varie aussi peu que possible.

Les cylindres du mécanisme à adhérence (voir fig. 100) sont extérieurs ; ceux du mécanisme à crémaillère sont intérieurs.

La transmission de mouvement du cylindre à la roue dentée ne se fait pas simplement par bielles et manivelles, à cause de la grande hauteur régnant entre l'axe du cylindre et celui de la roue dentée. Le piston agit à l'aide d'une bielle sur l'une des extrémités d'un levier, dont l'autre extrémité entraîne par une bielle le bouton de manivelle de la roue dentée. Comme il y a deux roues dentées, le mouvement est transmis à l'autre par une bielle.

L'ensemble du mécanisme des roues dentées est porté par un châssis spécial, prenant directement ses points d'appui sur les essieux porteurs, de façon à éviter les variations causées dans la profondeur de l'engrènement par la flexion des ressorts.

Il importe de s'arrêter un instant sur la constitution des roues dentées.

Nous avons déjà dit que la crémaillère Abt, de la ligne de Blankenbourg à Tanne, est une crémaillère à trois lames. Par suite, chaque roue dentée est en réalité constituée par trois roues dentées accolées.

Chacun de ces disques dentés engrène avec une lame de crémaillère, et leurs dents sont croisées, de façon à se chevaucher en projection verticale.

Par suite d'une irrégularité, ces disques dentés pourraient se rompre s'ils étaient fixés d'une manière invariable les uns par rapport aux autres.

On leur a ménagé un certain jeu, en interposant entre eux des rondelles de caoutchouc, qui permettent de très petits mouvements relatifs des disques dentés, les uns par rapport aux autres.

En effet, ces rondelles permettent un léger jeu aux boulons transversaux qui réunissent les disques composant la roue dentée.

expériences faites sur la ligne du Harz, et sur lesquelles nous reviendrons, ont montré qu'elles donnent toute satisfaction.

Comme l'indique la fig. 101, l'ensemble de la roue dentée est enserré, à l'aide des boulons B, entre deux poulies de frein PP dont le pourtour est cannelé.

Dans les machines du Harz, le mécanisme des roues dentées est absolument indépendant du mécanisme à adhérence. Les cylindres sont commandés par un régulateur spécial. Un frein spécial est affecté aussi aux roues dentées.

La machine est munie d'un frein à air comprimé, genre Rigggenbach.

Voici les principales données des machines du Harz :

Surface de grille		1 m. q. 80
Tubes {	Nombre de tubes	251
	Longueur.	4 m. 05
	Diamètre.	0,045
Surface de chauffe. {	Surface de chauffe indirecte. .	127 m. q. 739
	— directe	8 m. q. 305
	— totale.	136 044
Mécanisme à adhérence. {	Diamètre des cylindres du mécanisme à adhérence	0 m. 450
	Course des pistons	0 m. 400
	Diamètre des roues motrices	1 m. 25
	Diamètre des roues porteuses	0 m. 75
Mécanisme à crémaillère. {	Diamètre des cylindres du mécanisme des roues dentées.	0,300
	Course des pistons.	0,600
	Diamètre primitif des roues dentées.	0,573
Poids de la machine en service		55 t.
Répartition de la charge. {	Essieux moteurs.	47 t. 5
	Essieu porteur	7 t. 5
Pression de la vapeur dans la chaudière		10 atm.

On trouvera aux annexes la nomenclature de toutes les machines du Harz et de la C^{ie} Halberstadt-Blankenbourg avec leurs principales dimensions.

Type de la ligne de Viège à Zermatt. — Ces machines sont plus légères que les précédentes ; elles pèsent 29 tonnes et peuvent remorquer, à la vitesse de 8 kilomètres à l'heure, un train de 50 tonnes, sur les rampes de 120 millimètres.

Dans les sections à adhérence et en faible déclivité, elles peuvent atteindre une vitesse de 30 kilomètres, en rampe de 25 millimètres.

La machine rappelle par ses dispositions celles du Harz ; mais, à cause de son moindre poids, elle est portée seulement par trois essieux, dont deux accouplés et un essieu Bissel à l'arrière du foyer.

La grande surface d'appui de cette machine lui assure une marche stable et, grâce à l'essieu Bissel, elle passe néanmoins facilement dans les courbes de 80 mètres qui existent dans les parties à adhérence de la ligne. Mais ces courbes raides amènent une prompte usure des boudins des roues.

La machine est pourvue d'un frein à sabot ordinaire, de deux freins à air comprimé, genre Riggerbach, agissant, l'un sur le mécanisme à adhérence, l'autre sur le mécanisme à crémaillère, et d'un frein à friction, agissant sur des poulies accolées aux roues dentées.

Tous les véhicules sont munis d'un frein à vide, système Hardy-Smith.

Voici les principales données de ces machines :

Système à adhérence	{	Diamètre des cylindres	0 m. 320
		Course des pistons.	0 m. 450
		Diamètre des roues motrices	0 m. 900
		Diamètre des roues porteuses	0 m. 600
Système à crémaillère	{	Diamètre des cylindres	0 m. 360
		Course des pistons.	0 m. 450
		Diamètre des roues dentées.	0 m. 688
		Pas de la denture.	0 m. 120
Ecartement des essieux à crémaillère		0 m. 930	

Surface de chauffe	{	Boîte à feu	6 m. q. 5
		Tubes	59 m. q.
		Totale	65 m. q. 5
Diamètre extérieur des tubes		45 mm.	
Longueur des tubes		2 m. 50	
Timbre de la chaudière.		12 atm.	
Contenance de la chaudière		2 m. c.	
—	des soutes à eau	2 m. c. 5	
—	— à charbon.	1 m. c.	
Poids à vide		23 t. 500	
—	en service	29 t.	
Charge maxima d'un essieu		10 t. 250	

Ces machines peuvent développer un effort de traction total de 9.500 kg. correspondant à un travail maximum de 245 chevaux.

Type de la ligne de Lehesten à Oertelsbruch. — Ces machines sont plus légères que les précédentes ; elles sont construites pour la voie normale et destinées à remorquer des trains de 50 tonnes sur les rampes maxima de la ligne, qui ne dépassent pas 80 millimètres. Elles ont deux essieux moteurs accouplés et un essieu porteur. Bissel placé en arrière du foyer.

Voici leurs principales dimensions :

Surface de grille.		1 m. q. 10	
Système à adhérence	{	Diamètre des cylindres	0 m. 300
		Course des pistons	0 m. 400
		Diamètre des roues motrices.	0 m. 900
		Distance des essieux moteurs.	2 m. 00
Système à crémaillère	{	Diamètre des cylindres.	0 m. 300
		Course des pistons	0 m. 500
		Diamètre primitif des roues dentées	0 m. 573
		Distance des essieux des roues dentées	1 m. 05

Surface de chauffe	{	Surface de chauffe directe.	5 m. q. 50
		Surface de chauffe indirecte	42 m. q. 50
		Surface de chauffe totale	48 m. q. 00
		Pression dans la chaudière.	18 atmosph.
Nombre de tubes		134	
Poids	{	à vide	18 t. 4
		en service.	23 t. 2

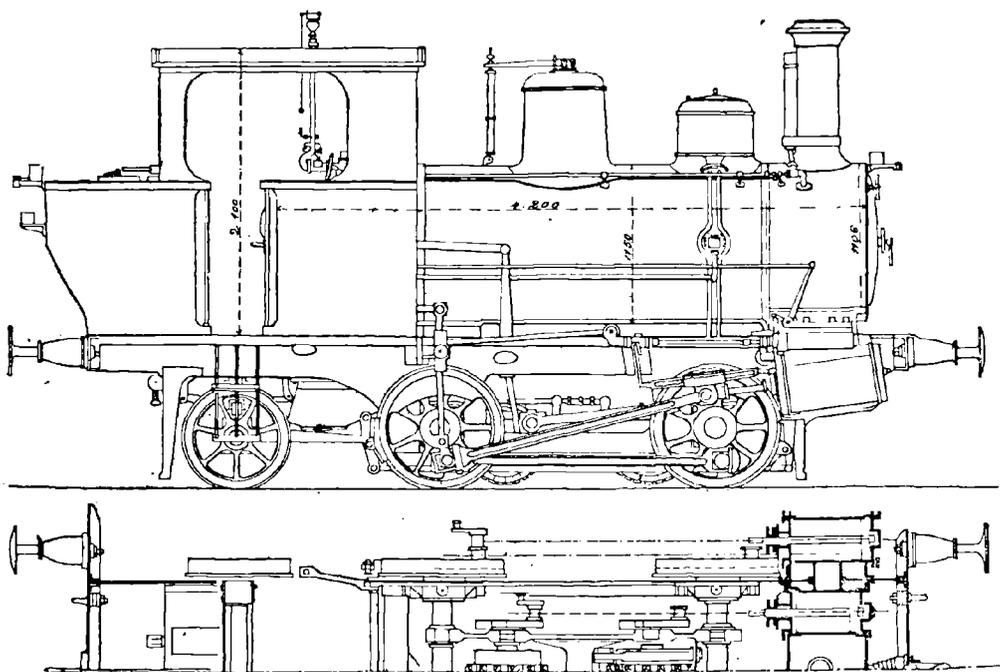


Fig. 102. — Machine système] Abt, [de la] ligne de Lehesten à Oertelsbruch.

Les fig. 102 et 103 représentent diverses vues de cette machine, qui peut développer un effort de traction de 6.200 kg. correspondant à une puissance de 185 chevaux-vapeur.

Le mécanisme à adhérence fonctionne d'une façon continue, et le mécanisme des roues dentées seulement sur les parties à crémaillère.

La production de vapeur doit donc devenir de suite plus

intense en crémaillère, puisque la chaudière doit pouvoir alimenter les deux mécanismes.

Mais, par suite de l'échappement de vapeur sortant des quatre cylindres, le tirage de la cheminée augmente dans les mêmes proportions, et la machine arrive à produire la vapeur qu'elle consomme.

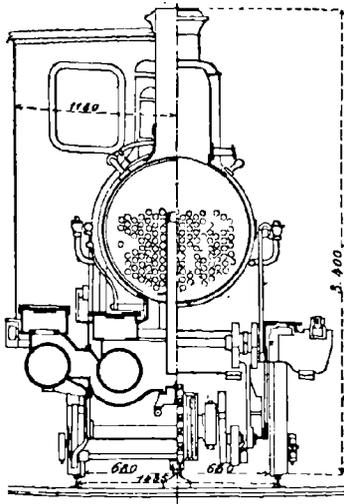


Fig. 403. — Machine de la ligne de Lehesten à Oertelsbruch.

Type de la ligne de Diacophto à Kalavryta. — Ces machines, destinées à une voie de 0. m. 760 sont portées par trois essieux accouplés et un essieu Bissel à l'arrière.

L'empattement des essieux accouplés est de 1 m. 90.

Les caisses à eau et les soutes à charbon sont placées longitudinalement le long de la chaudière.

Voici les principales conditions de la machine, construite par la Société Cail :

Système à adhérence	}	Diamètre des cylindres	0 m. 240
		Course des pistons	0 m. 340
		Diamètre des roues motrices	0 m. 600
		Diamètre des roues porteuses	0 m. 500
		Effort de traction $\frac{0,65 d^2 l}{D}$	2.540 kg.

Système à crémaillère	{	Diamètre des cylindres	0 m. 220
		Course des pistons	0 m. 500
		Diamètre primitif des roues dentées	0 m. 497
		Pas	0 m. 120
		Nombre de dents	13
Chaudière	{	Effort de traction	2.900 kg.
		Timbre	12 kg.
		Nombre de tubes	142
		Diamètre extérieur	35
		Longueur entre les plaques tubulaires	1 m. 660
Surface de chauffe du foyer	2 m. q. 80		
— des tubes	25 m. q. 77		
— totale	28 m. q. 57		
Surface de grille.	0 m. q. 750		
Poids de la machine à vide	12.500 kg.		
— en service	15.600 kg.		

La construction de cette machine a présenté cette difficulté particulière d'avoir à placer quatre cylindres à l'avant d'une machine à voie de 0 m. 760. L'expérience indiquera dans quelle mesure un bon entretien est possible avec un mécanisme aussi resserré.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur la description des principaux types de la machine Abt. Nous ferons seulement remarquer qu'il y a un certain nombre de machines Abt à un seul mécanisme, destinées au service de lignes entièrement à crémaillère Abt (Monte Generoso, Puerto Cabello à Valencia, Manitou au Pike's Peak, etc., etc.).

Passons maintenant à la description des machines du Hoellenthal.

75. Machines à deux mécanismes. Types du Hoellenthal, de St-Gall-Gais, de Gais-Appenzel, du Brüntg, de Tiszolcz-Zolyombrézo. — *Machines du Hoellenthal.* — Ces machines, dues à M. Bissinger, rappellent par toutes leurs dispositions les machines Abt; elles ne présentent avec ces dernières que des différences peu sensibles.

Cesont des machines-tenders à trois essieux accouplés.
Le troisième essieu est placé au-dessous du foyer et tra-
verse le cendrier.

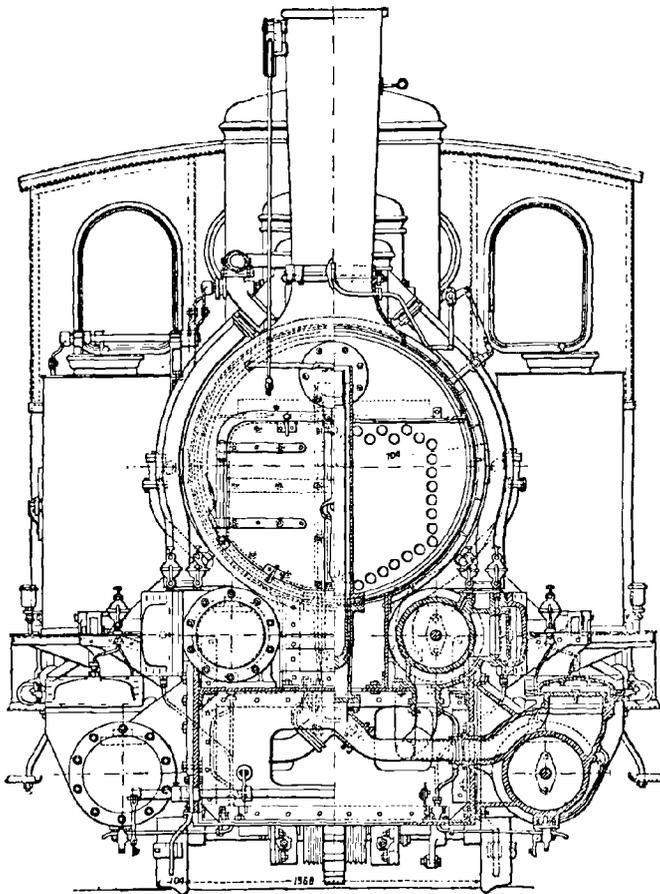


Fig. 105.

Machine du Hœllenthal. — Demi-coupe et élévation d'avant.

La totalité du poids adhérent est ainsi utilisée dans les rampes des sections sans crémaillère, qui comportent des déclivités maxima de 25 mm. par mètre. La ligne est à voie normale, ce qui donne plus d'espace pour placer les cylindres des doubles mécanismes.

Le mécanisme à adhérence est commandé par deux cylindres extérieurs, celui à crémaillère par deux cylindres intérieurs. Ces derniers attaquent les roues dentées par l'intermédiaire d'un levier dont l'extrémité supérieure est mue par une bielle motrice. A l'extrémité inférieure de ce levier s'attachent deux bielles, dont l'une entraîne la manivelle d'une des roues dentées, et la seconde l'autre roue dentée (voir la fig. 104). En outre, les deux roues dentées sont accouplées par une bielle.

Pour donner toute sécurité, on a calculé les dimensions de la crémaillère et des roues de telle façon qu'une seule des roues dentées puisse suffire pour résister à l'effort de traction. On a du reste observé en service que les roues à adhérence patinent quelquefois dans les sections à crémaillère.

Les essieux des roues dentées sont fixés sur un cadre rigide, s'appuyant sur deux essieux à adhérence, pour éviter que la flexion des ressorts ne fasse varier la profondeur de l'engrènement ; ce cadre peut être déplacé au fur et à mesure de l'usure des pignons dentés.

A cet effet les coussinets portant les essieux de ces pignons peuvent être relevés au fur et à mesure de l'usure des bandages des roues adhérentes, de façon à maintenir constante la hauteur de ces essieux au-dessus de la ligne primitive de la crémaillère.

Ce dispositif est emprunté aux machines du Harz.

Voici les principales dimensions de ces machines :

Système à adhérence	{	Surface de grille	1 m. q. 370
		Diamètre des cylindres	0 m. 336
		Course des pistons.	0 m. 550
		Diamètre des roues	0 m. 800
Système à crémaillère	{	Empattement	3 m. 500
		Diamètre des cylindres	0 m. 315
		Course des pistons	0 m. 500
		Diamètre des roues dentées	0 m. 6048
Surface de chauffé	{	Nombre de dents.	19
		Distance des axes des essieux.	1 m. 250
		directe	6 m. q. 600
		indirecte.	78 m. q. 000
		totale.	84 m. q. 600

Timbre de la chaudière	10 atmosphères
Poids de la { à vide	34 t. 3
machine { en service	42 t. 4
Capacité des caisses à eau.	4 m. c.
Capacité des caisses à charbon	1 t. 5

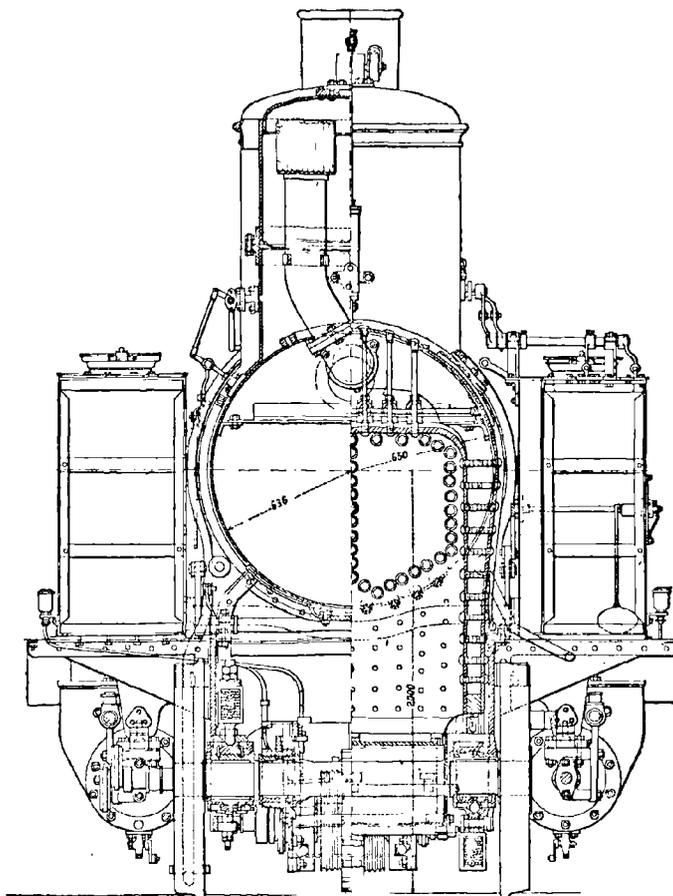


Fig. 106.
Machine du Hœllenthal. — Demi-coupe et élévation d'arrière.

Les fig. 105 et 106, tirées de l'*Engineering*, montrent les coupes transversales d'arrière et d'avant de la machine.

La coupe d'avant montre que l'échappement de chaque cylindre dans la cheminée est séparé.

Les deux culottes d'échappement sont concentriques.

Les mécanismes à adhérence et à crémaillère sont tous deux munis d'un frein à air comprimé distinct.

Ces machines peuvent remorquer, à la vitesse de 20 kilomètres à l'heure, un train de 100 tonnes sur les rampes de 25 millimètres, et, dans les sections à crémaillère en rampe de 55 millimètres, la même charge à la vitesse de 10 kilomètres à l'heure, en courbe de 240 mètres de rayon.

Machines du chemin de Saint-Gall-Gais. — Ces machines à deux mécanismes, construites pour la voie de 1 mètre, ne comportent qu'une seule roue dentée motrice ; elles sont portées par deux essieux accouplés et un essieu Bissel placé sous le tender.

Le mécanisme à crémaillère est intérieur ; il est fixé à un châssis portant sur les deux essieux accouplés.

Les pistons de ces cylindres attaquent un arbre intermédiaire, sur lequel est monté un pignon engrenant directement avec la roue à crémaillère.

La vapeur peut être envoyée directement dans les cylindres à crémaillère, ou au contraire n'y être admise qu'après avoir travaillé dans les cylindres extérieurs à adhérence, à la volonté du mécanicien.

Les données principales de ces locomotives sont les suivantes :

Diamètre des roues à adhérence.	0 m. 80
Diamètre des roues à crémaillère.	0 m. 86
Diamètre des cylindres à crémaillère et à adhérence	0 m. 36
Course des pistons	0 m. 40
Surface de grille.	1 mq. 40
Surface de chauffe { Foyer	6 mq.
{ Tubes	88
{ Totale	94
Timbre de la chaudière	12 kg.

Poids	{	A vide	26 t.
		Maximum	32 t. 5
		Adhérent moyen	20 t.
Empattement des essieux à adhérence.			3 m.

Ces machines peuvent passer dans les courbes de 30 mètres de rayon de la ligne ; elles développent un travail de 250 chevaux-vapeur pour un poids moyen de 125 kg. par cheval.

Elles remorquent un train de 37 tonnes sur des rampes de 92 millimètres, en courbe de 30 mètres. Leur vitesse en crémaillère varie de 7 à 12 kilomètres à l'heure ; dans les sections à adhérence elles remorquent un train de 40 tonnes à la vitesse de 30 kilomètres à l'heure.

Machines de Gais-Appenzell. — A la fin de l'année 1904, la ligne de Saint-Gall-Gais ayant été prolongée de Gais à Appenzell, de nouvelles machines ont été construites pour cette ligne par la fabrique de Winterthur.

Les quatre cylindres de ces locomotives sont extérieurs ; les cylindres à adhérence sont placés au-dessous des cylindres à crémaillère.

Dans les sections à crémaillère, la machine travaille comme une machine Compound, les cylindres à adhérence jouant le rôle des cylindres à haute pression. Pour obtenir un rapport convenable entre les volumes des cylindrées des deux mécanismes, on a donné à la manivelle de l'essieu à crémaillère une vitesse de rotation double de celle du mécanisme à adhérence.

Les données principales de ces locomotives sont les suivantes :

Diamètre des roues motrices	{	Adhérence	815 m/m
		Crémaillère	860 »
Rapport de la transmission.			$\frac{1}{2,21}$
Diamètre des cylindres			370 m/m
Course des pistons			400 »
Timbre de la chaudière			14 atm.
Surface de grille			1,26 mq.

Surface de chauffe	27,5 mq.
Poids en service.	33,6 t.
Poids adhérent	22 »
Charge remorquée en rampe de 90 millimètres.	60 »

Nouvelles machines du Brünig (1). — Ces machines, analogues aux précédentes, ont été construites également pour la voie de 1 mètre par la fabrique de Winterthur et livrées

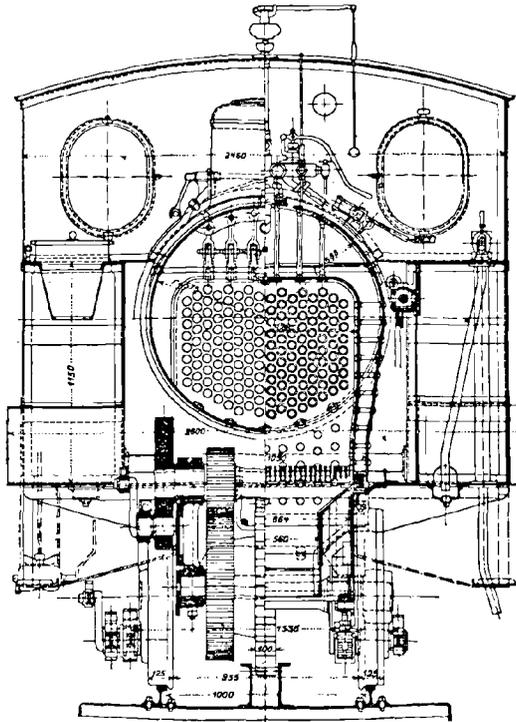


Fig. 107. — Machine du Brünig. — Coupe transversale.

en 1906 (voir fig. 107-109). Dans les sections à crémaillère, en déclivité de 120 millimètres, elles peuvent développer un effort total de traction de 11.000 kilogrammes, ce qui leur permet

(1) *Schweizerische Bauzeitung*, 16 juin 1906, page 283.

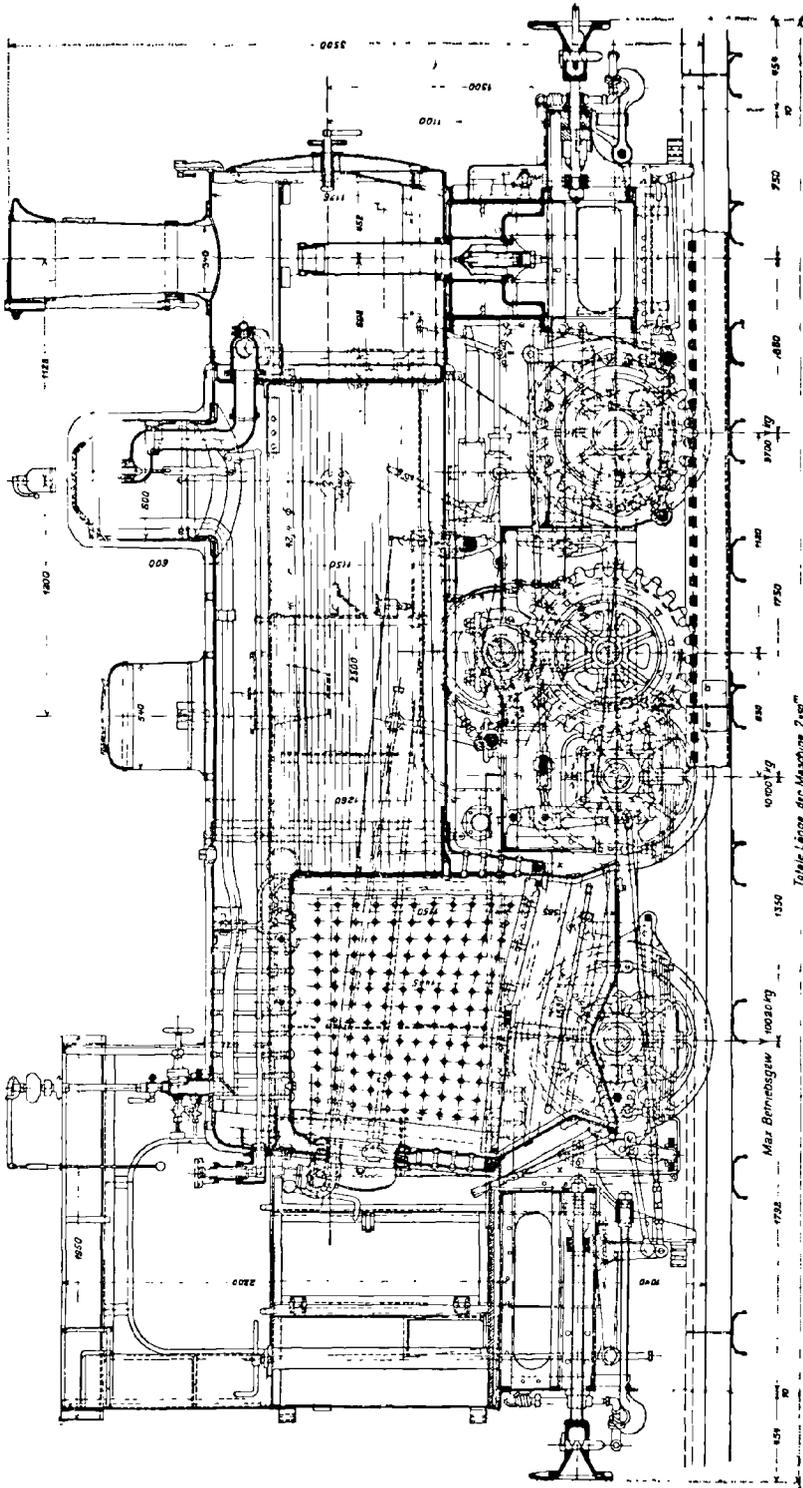


Fig. 108. — Machine du Brûig. — Coupe en long.

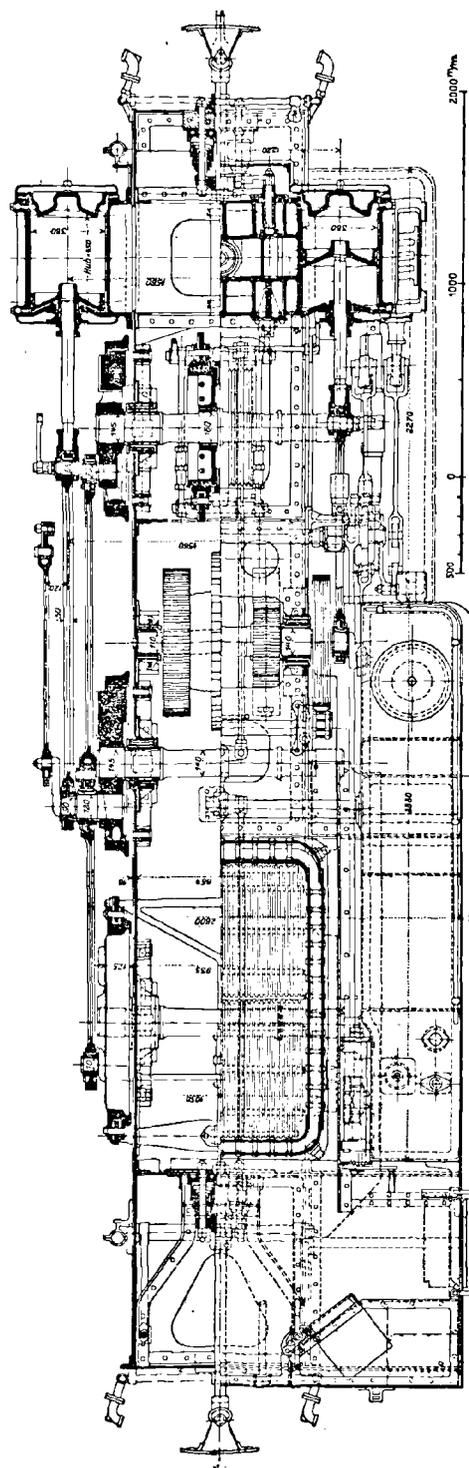


Fig. 109. — Machine du Brünig. — Plan et coupe horizontale.

de remorquer sur ces rampes un train de 50 tonnes, à la vitesse de 11 kilomètres à l'heure.

Ces machines n'ont qu'une seule roue dentée motrice ; les cylindres à crémaillère sont placés au-dessus des cylindres à adhérence et conduisent un arbre intermédiaire placé au-dessus de la roue dentée. Cet arbre est muni de deux roues dentées, symétriques par rapport à l'axe de la machine, engrenant avec deux autres roues calées sur l'arbre de la roue dentée motrice. Lorsque la locomotive arrive dans une section à crémaillère, la vapeur sortant des cylindres à adhérence est envoyée dans les cylindres à crémaillère, de telle sorte qu'au moment où la machine doit développer le plus grand effort, le moteur est un moteur Compound, condition essentiellement favorable au bon rendement.

Quatre freins distincts assurent la sécurité ; ce sont :

1° Un frein à main agissant par des sabots sur l'essieu à adhérence d'arrière.

2° Un frein à poulie monté sur l'arbre intermédiaire de la roue à crémaillère motrice.

3° Un frein d'urgence à friction, agissant sur la roue à crémaillère montée sur l'essieu porteur d'avant et non clavetée sur cet essieu.

4° Le frein à air habituel, type du Rigi.

Les principales dimensions des machines sont résumées ci-dessous :

Mécanisme à adhérence.	}	Diamètre des cylindres.	380 m/m
		Course des pistons	450 »
		Diamètre des roues	910 »
		Empattement	3.000 »
Mécanisme à crémaillère.	}	Effort de traction	5.000 kg.
		Diamètre des cylindres	380 m/m
		Course des pistons	450 »
		Rapport de transmission	$\frac{1}{2,2}$
Surface de chauffe.	}	Diamètre de la roue dentée	860 »
		Effort de traction	6.000 kg.
			62,2 mq.

Surface de grille	1,3 »
Timbre	14 atm.
Poids { à vide	23.500 kg.
{ en service	30.000 »

Locomotives du chemin de fer de Tiszolcz-Zolyombrézo (Hongrie)(1). — Ces machines, construites pour la voie de 1 m. 435, sont les plus puissantes des locomotives à crémaillère.

Ce sont des machine-tenders pesant en service 71 tonnes ; elles sont portées par 6 essieux ; les 4 d'avant sont accouplés et le poids adhérent est de 53 tonnes ; les deux essieux d'arrière, placés sous la partie formant tender, sont simplement porteurs.

Les deux roues dentées motrices sont portées par un cadre spécial reposant sur le deuxième et le troisième essieu accouplés. Les cylindres actionnant ces roues dentées sont inclinés et intérieurs ; leurs pistons conduisent la roue dentée la plus éloignée à l'aide d'une bielle ; les deux roues dentées sont accouplées par bielles.

Ces locomotives remorquent, en rampe de 50 millimètres, un train de 175 tonnes, à la vitesse de 9 à 12 kilomètres à l'heure.

Les principales données de ces machines sont les suivantes :

Mécanisme à adhérence.	{	Diamètre des cylindres	500 mm.
		Course des pistons	500 »
		Diamètre des roues motrices	1.050 »
		Diamètre des roues porteuses	750 »
Mécanisme à crémaillère.	{	Diamètre des cylindres	420 »
		Course des pistons	450 »
		Diamètre des roues dentées	688 »
Poids à vide	56 t.		
Poids maximum en service	71 »		
Poids moyen en service	65 »		
Empattement des roues extrêmes accouplées.	4 m. 30		
Effort total de traction des 2 mécanismes.	15 t.		

(1) *Handbuch der Ingenieurwissenschaften*. R. et S. Abt. Leipzig, 1907.

Nous arrêterons là notre description des principaux types de machines usités sur les voies à crémaillère.

Nous allons maintenant examiner quelques détails de construction de ces machines, en nous efforçant de laisser de côté tout ce qui n'est pas essentiel à la machine considérée au point de vue des voies à crémaillère.

Ce qui nous intéresse ici, ce sont les dispositions spéciales à adopter dans les machines locomotives en vue de leur service sur des lignes à crémaillère, ce qui les différencie en un mot des machines ordinaires destinées à l'exploitation de lignes entièrement à adhérence.

§ 2.

DÉTAILS DE CONSTRUCTION DES LOCOMOTIVES POUR CHEMINS A CRÉMAILLÈRE

76. Dispositions relatives des divers organes. — Les machines à roues dentées ont leurs châssis intérieurs ; les cylindres sont placés à l'extérieur et fixés au châssis. Dans les machines à quatre cylindres, les cylindres commandant le mécanisme à crémaillère sont, dans certains types, placés à l'intérieur des châssis, à leur partie supérieure et de part et d'autre de la boîte à fumée.

Dans d'autres types, comme nous l'avons vu, les cylindres sont tous à l'extérieur, les cylindres à crémaillère étant placés au-dessus des cylindres à adhérence, disposition qui permet un examen plus facile des pièces en mouvement.

L'emploi du balancier comme mode de transmission du mouvement du piston au mécanisme à crémaillère, usité il y a quelques années, paraît abandonné actuellement par les constructeurs.

Les locomotives pour chemins uniquement à crémaillère,

ou pour lignes mixtes à un seul mécanisme, ne comportent que deux essieux porteurs ; c'est admissible à cause de la faible vitesse de ces machines.

Sur les lignes à crémaillère parcourues par des trains lourds allant jusqu'à 75 et 100 tonnes, on emploie des machines à deux mécanismes. Ces machines sont toujours portées au moins par trois essieux à cause de leur plus grand poids, et surtout à cause de la nécessité de loger les roues dentées entre deux essieux porteurs.

Les deux essieux accouplés sont placés à l'avant, et le troisième essieu est généralement un essieu porteur situé à l'arrière ; il est articulé de façon à permettre le passage dans des courbes de faible rayon. L'articulation est généralement du système Bissel ou Adam.

L'inconvénient de cette disposition est que la charge de l'essieu porteur est perdue pour l'adhérence sur les sections sans crémaillère ; mais, lorsqu'on admet des trains aussi lourds, il ne serait pas prudent d'exploiter par adhérence des rampes supérieures à 35 ou 40 millimètres.

L'essieu porteur est placé soit à l'arrière du foyer (Viège-Zermatt), soit directement au-dessous, dans le cendrier (Hoelenthal).

Cependant certaines machines à faible empattement, comme les nouvelles machines du Brünig, ont leurs trois essieux porteurs accouplés mais l'empattement n'est que de 3 mètres ; le rayon minimum des courbes est de 120 mètres.

Même remarque pour les machines à voie normale de Tiszolcz-Zolyombrézo.

Quand la machine comporte deux axes à roues dentées, ces axes sont placés entre deux essieux porteurs consécutifs.

Le dôme de prise de vapeur est placé vers l'avant de la machine.

Les caisses à eau sont placées tantôt au-dessous de la chaudière entre les longerons, tantôt à côté de la chaudière, les soutes à charbon étant placées à l'arrière, au niveau de la plateforme du mécanicien.

Nous ne parlerons pas des soupapes de sûreté, vis de changement de marche, pompes alimentaires, injecteurs,

foyers, etc., tous ces organes étant identiques à ceux des locomotives ordinaires et placés de la même façon.

77. Puissance relative des machines comparée à leur surface de chauffe et à leur poids. Comparaison avec les machines ordinaires. — Voici un tableau comparatif indiquant ces diverses données pour les principaux types de machines des chemins à crémaillère :

DÉSIGNATION des LIGNES	Poids de la machine à vide	Surface de chauffe	Poids par m. q. de surface de chauffe	Puissance en chevaux vapeur	Chevaux vapeur par m. q. de surface de chauffe
	kg.	m. q.	kg.		ch. v.
Vitznau-Rigi	14.000	48	291	125	2,6
Arth-Rigi	13.500	50,34	270	165	3,00
Langres	12.400	36,2	345	160	4,4
Viège-Zermatt	23.500	65,5	358	245	3,74
Hœllenthal	34.300	84,6	405	310	3,6
Diacophto-Kalavryta	12.500	28,57	435	100	3,5
Blankenbourg à Tanne.	47.500	136	349	475	3,5
Beyrouth-Damas	34.100	88	354	453	5,14
Oberland	23.600	56,2	421	324	5,76
Padang	21.280	73,8	288	380	5,15
Snowdon	13.500	33,9	398	184	5,42
Wengern Alp	13.500	33,7	400	166	4,91
Schneeberg	14.000	36	375	210	5,83

Les machines-tenders, destinées au service des gares sur le réseau P.-L.-M., pèsent 370 kilos par mètre carré de surface de chauffe. On voit par suite que les machines simples sont relativement très légères ; les machines mixtes à un seul mécanisme, comme celles de Langres, sont encore légères, mais

§ 2. — DÉTAILS DE CONSTRUCTION DES MACHINES 233

les machines à deux mécanismes sont notablement plus lourdes.

Il ne faudrait pas comparer ces données à celles qui résultent de l'examen des types normaux de machines usités par les compagnies, sans bien remarquer au préalable que toutes les machines à crémaillère ont des tubes très courts qui ont environ la moitié de la longueur de ceux des machines ordinaires. Il en résulte que la surface de chauffe indiquée pour les machines des chemins à crémaillère est par unité plus efficace, puisque la quantité d'eau vaporisée par les diverses parties des tubes d'une locomotive est de moins en moins grande à mesure que l'on s'éloigne de la boîte à feu.

Aussi les machines à chaudières courtes, employées sur les chemins à crémaillère, ont-elles une vaporisation très active, justifiée par la faible longueur des tubes.

Par contre, le combustible est évidemment moins bien utilisé que sur des machines à tubes plus longs.

Les chiffres indiqués montrent que les locomotives ne sont pas très légères comme machines à quatre roues.

M. Couche indique, comme locomotive à quatre roues, une machine exposée en 1867 par la Société de Graffenstadt, pesant 23 tonnes à vide pour 91 m. q. de surface de chauffe, soit 252 kilogrammes par mètre carré de surface de chauffe.

Ce résultat n'est pas très surprenant, puisqu'en sus des organes ordinaires, toute machine destinée à une ligne à crémaillère doit forcément recevoir le mécanisme denté et quelques organes de sécurité accessoires.

Quant aux machines à deux mécanismes, elles sont encore plus lourdes, puisque leur poids varie de 358 à 453 kilogrammes par mètre carré de surface de chauffe. Toutefois, quand il s'agit de machines puissantes, l'influence du poids du mécanisme double est peu sensible, comme le montre l'exemple des machines de la ligne de Blankenbourg à Tanne.

En ce qui concerne la puissance des machines, rapportée au mètre carré de surface de chauffe, on sait qu'elle varie beaucoup suivant les types, et qu'elle s'élève jusqu'à 8 chev. 5 par mètre carré de surface de chauffe.

Dans les locomotives à deux cylindres, on ne dépasse pas

souvent 3 chev. 5, et, toutes les fois que les circonstances ne le commandent pas impérieusement, il est prudent de ne pas dépasser ce chiffre pour un service normal et régulier.

On peut naturellement admettre un chiffre plus élevé, quand il s'agit de faire donner à la machine un coup de collier de peu de durée. Par exemple, pour une rampe très raide, mais très courte.

Mais en aucun cas il n'est prudent de dépasser 4 chev. 5 à 5 chevaux par mètre carré de surface de chauffe pour des machines tubulaires, même à tubes courts.

La machine de la voiture automobile du Mont-Pilate pèse, avec ses accessoires, 6.500 kilos pour 21 m. q. de surface de chauffe, et peut développer 5.500 kilogrammètres.

Elle pèse donc 309 kilos par mètre carré de surface de chauffe, et chaque mètre carré de cette surface correspond à 3,5 chevaux-vapeur.

La machine n'est pas surmenée et travaille dans des conditions très normales.

Des expériences faites à la Compagnie d'Orléans ont montré qu'une machine à voyageurs à deux cylindres développait en bon service normal 3 chev. 67 par mètre carré de surface de chauffe (1).

78. Consommation de combustible. — Les données sur ce point sont très rares et ne fournissent que des indications sans valeur au point de vue général.

Cette quantité varie évidemment d'une ligne à l'autre.

D'après M. Riggerbach, les machines de son système consommeraient de 2 kg. à 2 kg. 5 par heure et force de cheval.

Au Rigi, pour un train de 26 tonnes (machine comprise), la consommation était, avec les machines à chaudière verticale, de 28 kg. 85 de charbon par train-kilomètre (2) ; tandis que les machines de Blankenbourg à Tanne, pour des trains de 120 tonnes, ne consommeraient que 13 kg. 7 par train-kilo-

(1) Compte rendu de la Société des ingénieurs civils, 10 juin 1890. Durand et Lencauchez.

(2) Abt, *Die drei Rigibahnen*.

§ 2. — DÉTAILS DE CONSTRUCTION DES MACHINES 235

mètre (1) ; et celles de St-Gall-Gais, 13 kg. 59. Ce chiffre est sensiblement celui des machines de Viège-Zermatt. En 1904 et 1905, les 6 locomotives de cette ligne ont consommé en moyenne 13 kg. par kilomètre. Au chemin du Brünig, la quantité de charbon brûlé par train-kilomètre est de 18 kg. ; à Langres, la consommation atteindrait 40 kg.

La dépense en combustible par train-kilomètre était au Rigi de 0 fr. 90 pour l'année 1880. Sur les lignes normales des grands réseaux, cette dépense varie en général de 0 fr. 30 à 0 fr. 40 par train-kilomètre.

Mais il faut bien avoir présent à l'esprit que les pentes du Rigi atteignent 0 m. 250 par mètre, tandis que sur les lignes ordinaires les pentes ne peuvent guère dépasser 0 m. 025 par mètre, c'est-à-dire que, toutes choses égales d'ailleurs, le développement de ces dernières est au moins 10 fois plus grand que celui des lignes à crémaillère.

79. Chaudières. — Le point caractéristique des chaudières des locomotives à crémaillère, c'est surtout la faible longueur des tubes, et par suite la grande surface de chauffe directe par rapport à la surface totale.

Tandis que les tubes des machines ordinaires ont de 4 mètres à 5 mètres, les machines destinées aux lignes à crémaillère ont des tubes de 2 m. à 2 mètres 50, ce qui contribue à augmenter la dépense en combustible. Mais, sur de pareilles lignes, il faut évidemment tout sacrifier à la légèreté.

Avec des profils aussi accidentés, la variation du niveau du plan d'eau dans la chaudière peut être considérable. Les indications du niveau sont absolument faussées, et, en passant d'une déclivité à une autre, on serait exposé à avoir un coup de feu si des précautions spéciales n'étaient prises. Il ne suffit pas, comme pour les machines ordinaires destinées aux fortes rampes, de donner une pente vers l'arrière au ciel du foyer ; on a recours à un artifice particulier : l'axe de la chaudière n'est pas horizontal quand la machine est en palier, mais quand cette machine est placée sur une déclivité repré-

(1) *Revue technique de l'Exposition de 1889*, p. 146.

sentant la moyenne des déclivités de la ligne, de façon à diminuer de moitié les oscillations du plan d'eau.

Si, par exemple, la pente maxima est de 0 m. 150 par mètre, et si la chaudière a une longueur totale intérieure de 2 m. 50, en passant d'un palier à une rampe de 0 m. 150, les indications du niveau seraient faussées de 0 m. 375 ; si, au contraire, l'axe de la chaudière est horizontal sur une déclivité de 0 m. 075 par exemple, les indications seraient erronées de la moitié seulement, soit de 0 m. 188. Seulement l'erreur est la même, en sens inverse, en palier : l'eau s'accumule vers l'arrière de la machine dans les rampes. et vers l'avant dans les pentes.

Ce fait exige évidemment une surveillance attentive de la part du machiniste sur ces lignes à fortes pentes ; c'est un point délicat auquel il faut donner toute l'attention nécessaire.

Le diamètre des chaudières de ces machines peut être assez grand, car, les roues ayant un faible diamètre, on n'est pas limité par la nécessité de se tenir entre leurs faces internes.

On adopte à cet égard les dimensions ordinaires usitées pour toutes les machines, suivant les conditions où elles se trouvent.

Le timbre de la chaudière est toujours très élevé ; il atteint couramment aujourd'hui 14 kilogrammes, afin d'améliorer le rendement autant que faire se peut.

Il importe aussi, pour conserver aux machines toute leur puissance, d'avoir de la vapeur aussi sèche que possible. Aussi a-t-on imaginé une série de dispositions en vue d'obtenir ce résultat ; tuyaux persillés, réchauffeurs, etc., etc. Nous ne donnerons pas le détail de ces appareils, n'étant pas renseigné sur leur efficacité.

Voici la disposition suivie au Rigi, et en général pour toutes les machines type Riggenbach.

Le tuyau de prise de vapeur va extérieurement du dôme de prise au dôme des soupapes. C'est là que se trouve le régulateur, constitué par une valve plate mue par une tringle de manœuvre. Cette tringle traverse le tuyau de vapeur par des presse-étoupes.

Pendant le trajet dans ce tube, l'eau en suspension dans la

§ 3.—DÉTAILS DE CONSTRUCTION DU MÉCANISME DENTÉ 237

vapeur a une tendance à se déposer sur les parois du tube.

Passons maintenant à la description des organes moteurs des machines à crémaillère, et examinons avec quelque détail le mécanisme denté.

§ 3

DÉTAILS DE CONSTRUCTION DU MÉCANISME A CRÉMAILLÈRE. ROUES DENTÉES

50. Roues dentées système Riggenbach. — Profil des dents. — Usure. — Ces roues sont en acier ; les dents sont faites à la fraise, dans une couronne pleine, dont l'épaisseur est en général de 100 millimètres.

Le tracé adopté pour les dents est un tracé par développantes de cercle. Nous avons déjà dit l'avantage de ce tracé : c'est que la profondeur de l'engrènement peut varier légèrement, sans que l'on ait à craindre des irrégularités dans la marche de la roue dentée.

On sait en effet que, dans ce système de denture, l'une des roues peut engrener avec plusieurs autres de rayons différant peu du rayon primitif.

Le contact a lieu successivement en tous les points du profil, ce qui assure une plus grande régularité d'usure.

Enfin, le tracé des profils assignant aux dents l'épaisseur maxima à la base, ces dents sont bien constituées et résistantes.

Le profil conjugué pour la crémaillère donne des droites, comme nous l'avons vu.

Nous avons déjà fait remarquer que, sur la ligne d'Ostermundigen, on avait adopté une denture à fuseaux, donnant pour le profil conjugué des arcs de cercle, ce qui a permis pour les barreaux de la crémaillère l'emploi de fer rond.

Mais l'essai n'a pas été heureux (1); l'usure des dents a

(1) R. Abt, *Die drei Rigibahnen*.

été notablement plus forte qu'avec le tracé par développantes.

On sait du reste que, dans l'engrenage à lanterne, le point de contact sur une dent varie peu de position pendant toute la durée du contact ; l'usure en ce point est donc très considérable, puisqu'elle ne se répartit pas sur le profil de la dent.

Nous insistons à dessein sur ce point, parce que quelques ingénieurs pourraient être tentés, pour simplifier la construction des crémaillères, de songer à l'emploi des fers ronds pour les barreaux. Il est bon de bien faire connaître les défauts de cette disposition et d'indiquer aussi que l'essai pratique fait dans ce sens n'a pas été heureux.

Les dents étaient terminées autrefois à leur extrémité par une ligne droite. Mais, au bout d'un certain temps, il se formait aux angles une sorte de bourrelet tranchant qui laissait son empreinte sur les dents de la crémaillère. Pour éviter cet inconvénient, on termine aujourd'hui l'extrémité des dents par un arc de cercle.

Les dimensions des dents se calculent en les considérant comme des solides d'égale résistance, encastés à une extrémité et chargés à l'autre (1).

Soient P la pression totale de la dent ;

a la grosseur de la dent à la racine ;

b la largeur en couronne ou l'épaisseur de la roue dentée ;

l la hauteur des dents.

Si l'on considère la dent comme encastée à la base, la section dangereuse se trouve en cet endroit. Le moment résis-

tant de cette section $\frac{I}{v}$ est égal à $\frac{1}{6} a b^2$, $M = R \frac{I}{v}$; mais

$M = P \times l$, donc $P \times l = R \times \frac{1}{6} a b^2$; d'où $R = \frac{6Pl}{ab^2}$.

Par exemple, soient $P = 6.000$ kg.

$l = 57$ mm.

$b = 102$.

$a = 52$.

(1) Id., Heusinger von Waldegg. *Handbuch für spezielle Eisenbahn Technik*, page 429.

§ 3. — DÉTAILS DE CONSTRUCTION DU MÉCANISME DENTÉ 239

On trouve $R = 7$ kg. 4. Pour avoir toute sécurité, ces dents sont fraisées dans un acier ayant une résistance d'au moins 80 kilogr. par mm. q., de façon que l'effort de rupture soit supérieur à 10 fois l'effort supporté en service normal.

La section droite de la dent, calculée comme solide d'égale résistance, aura un profil parabolique déterminé par l'équation $y^2 = \frac{h x}{l}$, x variant de 0 à l .

Des expériences intéressantes ont été faites au sujet de l'usure des dents. M. Abt les résume ainsi :

Pour une locomotive développant un effort tangentiel de 6.000 kilogr., on doit prendre comme usure normale 0 mm. 00000957 par contact de la dent. Pour une roue motrice de 1 m. 05 de diamètre, de 33 dents et de 100 mm. de pas, on peut admettre une usure de 6 mm., et la dent aura parcouru à ce moment :

$$3 \text{ m. } 3 \times \frac{6}{0,000,000,957} = 20.689 \text{ kilomètres.}$$

Au Drachenfels, après un parcours de 6.400 kilomètres, on a constaté une usure de 1 millimètre.

L'usure la plus forte constatée au Vitznau-Rigi a été de 6 mm. 4 après un parcours de 12.574 kilomètres, soit 0 mm. 00051 par kilomètre parcouru.

Pour la ligne d'Arth-Rigi, où la pression des dents s'élève à 6.400 kilogrammes, l'usure a été plus forte, et sur la ligne d'Ostermundigen l'usure a été de 0,000.001.175 par contact. Cette usure, sensiblement plus forte que sur les autres lignes, tient sans doute à l'emploi de la denture à fuseaux.

Aussi on peut compter en général qu'une roue dentée des dimensions indiquées peut fournir un trajet de 20.000 kilomètres.

Toutefois, il faut s'assurer assez fréquemment de l'usure du profil des roues dentées, car c'est une question de sécurité primordiale sur une semblable ligne.

En comparant le profil de la roue en service au profil de la roue neuve, on verra de quelle quantité la dent a été affaiblie par l'usage.

Inutile de faire remarquer que le métal de la roue doit être en acier trempé dur et résistant.

Lorsque la machine gravit une pente, il n'y a qu'un seul côté des flancs de chaque dent qui travaille ; mais à la descente, lorsque la roue dentée agit comme frein, c'est l'autre flanc de la roue dentée qui agit sur le flanc correspondant d'une dent de la crémaillère pour retenir le train descendant.

Au bout d'un certain temps, un côté des dents a subi une certaine usure, et les flancs opposés ont nécessairement éprouvé une usure moindre. On enlève alors l'essieu et on le remet en place en le retournant de 180°, de façon à faire travailler les flancs qui n'ont pas encore servi dans la montée.

La figure 110 montre une dent des roues motrices Vitznau-Rigi ; le trait continu indique l'usure du flanc droit après un parcours de 10.000 kilomètres, et le trait — . — . — l'autre flanc de la roue après un parcours de 3.600 kilomètres.

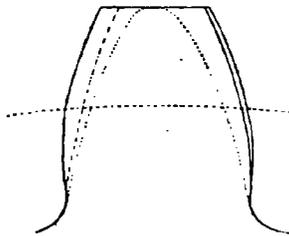


Fig. 110.

Le profil pointillé indique la limite admissible sans risques pour la sécurité du service.

La figure 110 montre que l'usure a lieu parallèlement au profil normal jusqu'à un degré assez avancé. Au-delà, le profil, en se démaigrissant, ne reste plus semblable à lui-même.

Il doit évidemment résulter de ce fait des irrégularités et des à-coups dans la marche de la machine, puisque le pas théorique est altéré, et qu'il reste un jeu notable entre les flancs des dents de la roue et de la crémaillère.

Il semble donc qu'il n'y aurait pas lieu de pousser très loin l'usure des roues dentées, non pas au point de vue seule-

§ 3. — DÉTAILS DE CONSTRUCTION DU MÉCANISME DENTÉ 241

ment de la résistance, mais aussi sous le rapport de la régularité et de la douceur du mouvement.

Nous avons déjà dit plus haut que l'usure des dents de la crémaillère est insensible. Pour produire par contact avec la roue dentée une usure de 1 millimètre, il faudrait le passage de 1.111.111 trains.

Les roues dentées de la transmission doivent aussi faire l'objet d'examen fréquents et soigneux.

On a constaté sur les machines du Rigi que la plus petite des roues dentées de la transmission pouvait faire à peu près le même service que la roue dentée motrice, tandis que la plus grande pouvait avoir une durée double (1).

Prix de revient. — Les machines à crémaillère coûtent assez notablement plus que les machines ordinaires, à cause du mécanisme denté.

Leur prix moyen, variable suivant le poids total, est d'environ 2 francs à 2 fr. 50 le kilogramme à l'usine. Les machines du chemin de Langres, pesant 16 tonnes à vide, ont coûté rendues sur place 2 fr. 20 le kg. ; celles du chemin de Snowdon 2 fr. 60 le kg. ; les machines de l'Oberland Bernois 2 fr. 30.

Les machines de la ligne de Blankenbourg à Tanne sont revenues à 1 fr. 50 le kg. ; mais leur tare vide est de 47 t. 5.

Suivant Heusinger von Waldegg, la roue dentée montée sur son axe coûte 2.500 francs et peut parcourir 30.000 kilomètres. Les quatre roues dentées de la transmission coûtent 5.100 francs et peuvent parcourir 50.000 kilomètres.

51. Roues dentées, système Abt. — Ce que nous avons dit du tracé des dents s'applique aussi bien aux roues du système Abt qu'à celles du système Riggenbach.

Comme la crémaillère Abt se compose de plusieurs lames parallèles, chacune de ces lames est parcourue par une roue dentée ; mais l'ensemble des roues dentées forme un tout solide. Des ressorts permettent seulement un certain jeu, ainsi

(1) Heusinger von Waldegg, page 432.

qu'il a été expliqué en détail au n° 74 à propos des machines du Harz.

L'épaisseur de chaque disque denté, égal à l'écartement d'axe en axe des lames de crémaillère, est ordinairement de 55 millimètres.

Pour se rendre compte de l'engrènement, M. Schneider, directeur des chemins de fer du Brunswick, a fait faire des expériences sur la ligne du Harz, en 1889.

A cet effet, on avait enduit de peinture les dents d'une portion de crémaillère, comprenant un ensemble de 10 dents sur chacune des 3 lames de la crémaillère, de façon à bien constater l'engrènement (1).

Voici les résultats des expériences (déclivité de 60 mm.) :

1° Train descendant, courbe de 280 mètres.

Les dix dents de chaque lame ont engréné ;

2° Train descendant en alignement, même résultat ;

3° Train montant, courbe de 280 mètres.

Les deux dernières dents de la lame gauche et la huitième dent de droite n'ont pas engréné ; les autres ont engréné ;

4° Train montant en alignement. Toutes les dents ont engréné ;

5° Train montant, courbe de 300 mètres, même résultat.

Les dents des roues de la ligne du Harz ont présenté, au bout de quatre ans, une usure de 4 mm. sur chaque flanc.

Les roues présentent à l'état neuf une épaisseur de 58 mm. à la circonférence primitive, et cette épaisseur peut, sans compromettre la sécurité, être réduite à 40 mm. ; elles peuvent donc servir pendant 10 ans.

On voit que les deux flancs des roues s'usent uniformément au chemin de fer du Harz. Il paraît étrange que les flancs travaillant à la montée ne s'usent pas plus que ceux servant seulement à retenir le train à la descente.

Mais il faut remarquer qu'au Harz, la répartition des pentes et rampes est sensiblement la même, quel que soit le sens du trajet. De plus, une partie seulement des wagons et voitures

(1) *Revue technique de l'Exposition de 1889*, Vigreux et Lopé 5^e partie., p. 140.

§3. — DÉTAILS DE CONSTRUCTION DU MÉCANISME DENTÉ 243

n'ont pas de freins à crémaillère ; par suite, à la descente, la machine retient une très grande partie du poids total du train à l'aide de son frein à air comprimé.

Nous avons, au contraire, constaté nettement une différence d'usure des deux flancs de chaque dent de la roue motrice sur les machines du chemin de Langres.

La profondeur d'engrènement des roues dentées du système Abt est assez faible, comparée au système Riggenbach. Aussi est-ce avec raison que l'on a toujours soustrait l'arbre portant les roues motrices aux effets des oscillations des ressorts.

Le pas adopté généralement pour une crémaillère à 3 lames est de 120 mm. Comme il y a toujours sur chacune d'elles au moins une dent en contact, il y a un engrènement tous les 40 mm.

82. Frottement des roues d'engrenage entre elles, et de la roue motrice avec la crémaillère. — Les roues d'engrenage de la transmission ne donnent pas lieu à des remarques particulières.

Mais, comme on pourrait attribuer aux frottements des valeurs exagérées, nous allons évaluer le travail perdu par le frottement des roues d'engrenage entre elles et par celui de la roue dentée motrice contre la crémaillère.

Nous appliquerons la formule de Redtenbacher pour deux roues dentées :

$$\frac{F}{Q} = \frac{1}{2} f t \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r} \right) \quad (1)$$

où F est l'effort absorbé par le frottement,

Q la pression sur les dents des roues en contact,

f le coefficient de frottement,

R et r les rayons de chaque roue,

t le pas.

Dans le cas d'une crémaillère, r est infini et l'on a :

$$\frac{F}{Q} = \frac{1}{2} \frac{f t}{R}. \quad (2)$$

Appliquons ces formules à la locomotive de Rorschach-Heiden. Chacune des roues dentées, calées sur l'arbre qui

porte la roue motrice engrenant avec la crémaillère, a un diamètre de 890 mm. ; les petites roues dentées transmettant le mouvement à celles-ci ont 372 mm. de diamètre, et la roue dentée motrice a un diamètre de 1 m. 050.

La pression maxima sur les dents de cette dernière est de 5.600 kg.

Donc, sur la dent de chaque roue dentée accolée à la roue motrice, s'exercera une pression de

$$\frac{5.600}{2} \times \frac{1.050}{890} = 3.300 \text{ kg.}$$

Et, entre les deux roues dentées intermédiaires, l'effort correspondant au frottement sera donné par la formule (1), en y faisant $t = 50 \text{ mm.}$, 8 et $f = \frac{1}{10}$.

$$F = 3.300 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{10} \times 50,8 \left(\frac{1}{445} + \frac{1}{186} \right) = 64 \text{ kg.}$$

La moitié de l'effort correspondant au frottement de la roue motrice avec la crémaillère sera donné par (2) :

$$F = 2.800 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{10} \times \frac{50,8}{525} = 13,5 \text{ kg.}$$

L'effort total correspondant au frottement est donc de $13,5 + 64 = 77,5 \text{ kg.}$ pour une pression utile sur la crémaillère de 2.800 kg. soit 2,77 0/0.

La perte due aux frottements du système denté est donc assez faible, au moins théoriquement.

En pratique, l'usure des pièces et les jeux doivent évidemment l'augmenter dans une certaine mesure.

§ 4.

CALCUL DE TRACTION. — EFFET UTILE. — FREINS. — FRAIS DE TRACTION. — MATÉRIEL ROULANT

TRACTION A VAPEUR

83. Calculs de traction. — Effet utile. — Détermination des dimensions principales d'une machine mixte pour chemins à crémaillère.

La résistance au roulement des machines à crémaillère varie de 16 à 18 kg. par tonne pour les machines destinées aux lignes entièrement à crémaillère, de 22 à 24 kg. pour les machines mixtes. Ces résultats résultent d'expériences faites sur les chemins du Wengern Alp, de l'Oberland Bernois, Beyrouth-Damas, et Snowdon (1).

Supposons une machine destinée à remorquer un train de 14 tonnes sur une rampe de 150 millimètres à la vitesse de 7 kilomètres à l'heure dans les sections à crémaillère, et supposons que cette même machine doive remorquer le même train de 14 tonnes à la vitesse de 15 kilomètres à l'heure dans les parties sans crémaillère en rampe de 50 millimètres.

Tout d'abord, le poids de la machine résulte de la condition de ne pas patiner dans les sections à adhérence.

En supposant que la machine vide pèse 14 tonnes, et en service en moyenne 15.500 kilos, calculons l'effort de traction dans les parties en rampe de 150 millimètres.

Résistance de la machine	15 kg.	par tonne	233
— du train	3	— —	<u>42</u>
			275 kg.
Effort dû à la gravité de 150 kg. par tonne,			
soit $(14 + 15,5) \times 150 = 29,5 \times 150 =$			<u>4.425</u>
			4.700 kg.
Frottement des engrenages de la roue			
dentée, soit $\frac{1}{3}$			<u>940</u>
Total			5.640 kg.

A la vitesse de 7 km. à l'heure ou 1 m. 94 par seconde, cela représente un travail en kilogrammètres de $5640 \times 1,94 = 10.942$ kgm. ou 145,6 chevaux-vapeur.

Supposons une machine mixte, type Riggerbach, pesant 345 kg. (type de Langres) par m. q. de surface de chauffe, et admettons 3 chevaux-vapeur et demi par m. q. de surface de chauffe. La machine étudiée devra avoir $\frac{145,6}{3,5} = 41$ m. q.

(1) Brückmann, *Neuere Zahnradbahnen*, page 34.

de surface de chauffe et pèsera, vide, $41 \times 345 = 14.145$ kg. soit en nombre rond 14 tonnes.

Dans les parties exploitées par adhérence et en rampe de 50 mm., l'effort de traction s'établira ainsi :

Résistance du train et de la machine	{	machine $15 \times 15,5 = 233$	
		train $3 \times 14 = \underline{42}$	
			275 kg.
Effort dû à la gravité		$29 \text{ t},5 \times 50 =$	<u>1.475</u>
		Total	1.750 kg.

Le poids de la machine, dans des conditions moyennes de service, étant de 15.500 kg., le coefficient d'adhérence pourrait s'abaisser au $\frac{1}{9}$ sans que la machine courût le risque de patiner; la sécurité est donc complète de ce côté.

On voit toutefois que l'on ne pourrait remorquer avec sécurité une charge plus considérable.

Nous avons déjà dit, du reste, que, sur une rampe de 50 millimètres, une machine ne pouvait, sans être exposée à des patinages, remorquer un train d'un poids plus considérable que le sien.

Suivant M. Riggerbach, ses machines, sur une rampe de 15 0/0, pourraient trainer, à la vitesse de 7 km. à l'heure, un train pesant une fois et demie leur propre poids, c'est-à-dire qu'une machine de 14 tonnes pourrait remorquer un train de 21 tonnes. Un pareil effet utile n'est guère réalisé pratiquement. Ce résultat ne peut du reste être obtenu que si la machine n'est pas exposée à patiner dans les sections à adhérence; on est donc amené à réduire l'inclinaison de celles-ci.

Dans les machines à deux mécanismes distincts, il y a deux efforts de traction à calculer : l'effort de traction du mécanisme à adhérence et celui du mécanisme denté.

Il est prudent de calculer les dimensions du mécanisme denté comme devant au besoin être capable de remorquer le train à lui seul, bien que le mécanisme à adhérence doive

toujours fonctionner. Mais il faut prévoir le cas où ce dernier viendrait à être inutilisé par suite de patinage.

Pour fixer les idées, indiquons la valeur de l'effort de traction pour quelques machines de lignes à crémaillère.

Les machines du Harz peuvent développer un effort de traction de 12.600 kg.

Pour la ligne de Viège-Zermatt, dans les sections à adhérence, les machines peuvent développer au crochet de traction un effort net de 3 ou 4.000 kilogrammes. Les nouvelles machines du Brünig peuvent développer un effort total de traction de 11.000 kg., dont 5.000 kg. développés par le mécanisme à adhérence.

Les machines puissantes de Tisolcz-Zolyombréso, à deux mécanismes, peuvent développer un effort de traction de 12.000 kg.

Pour les machines de Diacophito à Kalavrita, l'effort de traction d'adhérence, calculé par la formule $\frac{0,65 \rho d^2 l}{D}$, est de 2.540 kg.

L'effort du mécanisme à crémaillère, calculé par la même formule, est de 2.900 kg.

Les machines du Mont-Pilate peuvent développer un effort de traction total de 5.500 kg.

Au Vitznau-Rigi, la machine peut développer à la circonférence de la roue dentée un effort de 5.400 kg.

Effet utile. — Le tableau ci-après indique l'effet utile des divers types de machines à crémaillère. On voit que la machine du Rigi remorque un train dont le poids représente 60 0/0 du poids de la machine.

Sur la ligne du Hoellenthal, la charge trainée atteint 2,4 fois le poids de la machine.

Or pour les machines à adhérence le résultat du Hoellenthal n'est pas atteint même avec des rampes de 35 millimètres, tandis qu'au Hoellenthal les rampes vont jusqu'à 52 millimètres.

Le tableau suivant montre clairement l'infériorité des machines à adhérence sur les rampes de 30 millimètres et au-dessus.

Effet utile des locomotives à crémaillère

DÉSIGNATION des LIGNES	Poids de la machine en service	Poids du train remorqué	Déclivités maxima	Rapport du poids du train au poids de la machine	Vitesse de marche en kilomètres à l'heure
Vitznau-Rigi	^{T.} 17	^{T.} 10	^{m m} 250	0,6	5
Langres.	15,6	12,5	172	0,8	10
Brünig.	22-30	30-50	120	1,4-1,66	13
Viège-Zermatt.	29	50	120	1,7	8
Harz.	57	125	60	2,2	10
Hœllenthal	42,4	100	55	2,4	10
Locomotives à adhérence					
Machines de rampes P.-L.-M. avec tender	80	77	30	0,96	15
Machines-tenders de Riom-Volvic	23	50	36	2,2	12
C ^{ie} du Midi	100	200	33	2	12 à 15

81. Freins. — Organes de sécurité des machines. —

Sur ces lignes à fortes pentes, les freins ont une importance exceptionnelle ; ils doivent être simples, puissants, et absolument sûrs.

Les plus employés sont le frein de friction et le frein à air comprimé.

Nous avons déjà décrit, à propos de la machine du Rigi, ces deux systèmes de freins (n° 71).

La fig. 88 indique le frein de friction servant à ralentir le mouvement de la roue dentée à la descente en crémaillère, et à arrêter au besoin.

Cette figure indique également les dispositions générales du frein à air comprimé Riggenbach. C'est un emploi du mécanisme moteur fort ingénieux, permettant de descendre avec une sécurité absolue les pentes les plus raides. En fer-

mant le robinet d'évacuation de l'air comprimé par le piston, on peut arrêter le train presque instantanément.

Ainsi que nous l'avons dit, outre les freins, sur les lignes très accidentées, là où les ouragans pourraient renverser les véhicules, on se sert de la crémaillère pour empêcher cet effet.

Au Rigi, une sorte de griffe ou d'ancre peut courir sous les ailes supérieures des montants verticaux de la crémaillère. Si le véhicule tendait à être renversé, le grappin en buttant sous l'aile de la crémaillère, arrêterait le mouvement de bascule du véhicule (voir fig. 55).

Au Mont-Pilate une disposition analogue a été adoptée, nous en avons parlé à propos de la description de cette machine (voir au n° 71).

A cause des déclivités si fortes du chemin du Pilate, outre les freins de friction agissant sur les roues dentées et le frein à air, on a imaginé une troisième sorte de frein à commande automatique. Ce frein agit sur les roues dentées, automatiquement, quand la vitesse du véhicule dépasse 1 m. 30 par seconde.

Les détails de construction de ce frein automatique sont assez compliqués ; on en trouvera la description complète dans la *Revue technique de l'Exposition de 1889*, par M. Vigreux, 5^e partie, 1^{er} fascicule, n° 16, juillet 1890 (Bernard et C^{ie}, éditeurs, Paris).

Nous indiquerons, à propos de la Traction Electrique, les dispositifs relatifs au freinage électrique.

85. Frais de traction. — Le tableau ci-dessous indique le résumé des dépenses de traction sur un certain nombre de lignes à crémaillère pendant l'année 1904.

250 CHAP. III. — LOCOMOTIVES DES CHEMINS A CRÉMAILLÈRE

INDICATION des lignes	Personnel	Matières consommées	Entretien et renouvellement	Dépenses diverses	Dépenses totales	Dépenses par kilomètre parcouru
Viège-Zermatt	19.545	28.630	33.971	773	82.919	1,74
Oberland Bernois.	43.001	60.824	35.676	1.096	140.597	4,52
Brienz-Rothorn.	7.770	8.638	7.884	71	24.363	3,16
Glion-Naye	28.400	27.016	6.266	1.196	62.878	2,87
Pilate.	24.024	20.998	15.683	598	61.303	3,95
Rigi	39.771	42.373	20.925	1.529	104.598	3,23
Wengernalp.	59.898	52.016	31.392	485	143.791	2,65

En 1905, les dépenses de matériel et traction de la ligne de Viège-Zermatt se décomposaient ainsi :

	francs	francs
Personnel	23.355,85	23.355,85

Matières consommées :

Combustible	29.670,75	
Matières de graissage	2.561,35	
Nettoyage, sable, divers	376,10	32.608,20

Entretien et renouvellement du matériel :

Locomotives	28.814,19	
Voitures.	1.497,35	
Wagons.	994,70	34.306,24
Dépenses diverses	438,60	438,60
Total.		90.708,89

Le total des dépenses d'exploitation s'étant élevé à 258.572,18

les dépenses de traction représentent 35 0/0 des dépenses d'exploitation.

De 1900 à 1903, la moyenne des dépenses de traction par train-kilomètre a été de 1 fr. 58.

Les dépenses de traction sur les lignes à crémaillère sont forcément très élevées, à cause de la grande consommation de combustible, nécessitée par le travail considérable accompli sur la totalité de la ligne, et aussi à cause de la faiblesse des charges remorquées, de l'exploitation souvent discontinuée de la ligne, etc., etc.

Ainsi, en 1880, les dépenses d'exploitation du Rigi (1) se sont élevées à 196.871 francs, dont 58.956 fr. 89 pour le service de la traction, se décomposant ainsi :

Traction proprement dite :

Personnel durant l'exploitation	francs 22.273,60	
Combustible	14.551,51	
Graissage des machines et voitures	3.781,89	
Graissage de la crémaillère.	797	
	<hr/>	41.404 »
Entretien du matériel :		
Personnel en hiver	9.330,55	
Entretien des machines.	6.916,53	
Entretien des voitures	257,90	
Divers	1.047,91	
		<hr/>
		17.552,89
Total		<hr/> 58.956,89

Or, le nombre des trains a été de 2.546, ayant parcouru ensemble un total de 17.187 kilomètres.

Les dépenses de traction par train-kilomètre sont donc de $\frac{58.956,89}{17.187} = 3 \text{ fr. } 43.$

(1) Compte-rendu de la Société des Ingénieurs civils, janvier 1881.

Ces dépenses se sont élevées à 4 fr. 02 en 1882 et, en 1875, elles avaient été de 4 fr. 27.

La moyenne des dépenses de traction de 1881 à 1884 a été de 3 fr. 73 par train-kilomètre. Ce chiffre s'est abaissé, puisqu'il n'était que de 3 fr. 23 en 1904 comme l'indique le tableau de la page 250.

Au chemin du Mont-Pilate, ces frais se sont élevés en 1889 à 3 fr. 45 par train-kilomètre.

Les dépenses de traction au Mont-Pilate se décomposent ainsi :

	francs
Personnel	22.484,99
Matériel des machines . . .	25.296,28
Entretien et renouvellement des machines	5.300,35
Divers	757,75
Total	<u>53.839,37</u>

Pour le chemin mixte destiné au transport des minerais à Marienhütte, près Gölnitz (Autriche) (1), les dépenses de traction se sont élevées en 1886 à 15.635 francs pour 8.918 trains-kilomètre, soit 1 fr. 74 par train-kilomètre ; ces dépenses se décomposent ainsi :

Graissage de la crémaillère . .	880 francs
Charbon, matériel de graissage pour les machines et wagons.	3.505 »
Salaires des mécaniciens, chauffeurs, conducteurs, garde-freins, surveillants de lignes.	9.500 »
Réparations des machines et wagons.	1.750
Total	<u>15.635 francs</u>

Le chiffre de la ligne de Marienhütte est aussi celui de la ligne de Viège-Zermatt en 1904.

(1) *Zeitschrift der Oesterreichischen Ingenieure* etc. 1887, 4^e fascicule.

Nous avons choisi ces exemples parce qu'ils indiquent entre quelles limites peuvent varier les frais de traction par train-kilomètre sur les lignes à crémaillère : 1 fr. 74 au Viège-Zermatt, 3 fr. 70 au Rigi. Ce sont des limites entre lesquelles la marge est grande.

Il est clair que sur un chemin mixte, comprenant de grandes sections à adhérence, les frais de traction sont beaucoup plus faibles que ceux du Rigi. Ainsi, pour la ligne mixte de Blankenbourg à Tanne, la totalité des frais d'exploitation par train-kilomètre a été seulement de 2 fr. 29 en 1888.

L'importance du trafic, la longueur des sections à crémaillère, la longueur totale de la ligne, la hauteur rachetée, la durée de l'exploitation, sont autant d'éléments qui interviennent dans la question.

Mais on peut compter que le prix de traction par train-kilomètre dans des circonstances très favorables ne s'abaissera guère au-dessous de 2 francs ; que dans des circonstances défavorables il atteindra environ 3 fr. 50.

Nous le répétons, ces chiffres ne sont que des moyennes très variables d'une ligne à l'autre : nous les donnons seulement pour diminuer l'indétermination.

Au chemin de Langres, on compte une dépense de 40 kilogrammes de charbon par train-kilomètre (montée et descente). Au chemin du Brünig seulement 18 kg., pas tout à fait la moitié, et 13 kilogrammes au Viège-Zermatt.

Au chemin du Hoellenthal, la dépense est d'environ 46 kg. par kilomètre dans les sections à crémaillère.

Au chemin d'Arth-Rigi, la consommation en charbon est de 19 kg. 5 par train-kilomètre ; on dépense en outre 245 grammes d'huile pour la machine et 107 grammes pour le graissage des roues dentées, soit en tout 352 grammes d'huile par kilomètre parcouru par la machine.

Au Vitznau-Rigi on brûle 28,8 kg. de charbon et on consomme 335 grammes d'huile par kilomètre.

Au Saint-Gall-Gais, la consommation de combustible par train-kilomètre est de 13 kg., 59.

Les frais de traction sur les lignes ordinaires des grandes compagnies s'élèvent à environ 1 franc par train-kilomètre. Au

Sømmering, ils atteignent environ 1 fr. 35. Les frais de traction sur les lignes à crémaillère sont donc de 2 à 4 fois plus élevés.

Mais il ne faut pas oublier que les pentes des lignes à crémaillère peuvent être dix fois plus raides que sur les lignes à adhérence, et que par suite leur longueur peut être dix fois plus petite.

M. R. Abt fait remarquer à ce sujet que le poids de combustible brûlé varie beaucoup moins quand on le rapporte à l'effort de traction ; il cite à ce sujet les chiffres ci-dessous, relatifs aux chemins à crémaillère du Harz et de l'Erzberg comparés à ceux de l'Arlberg et du Gothard, indiqués par le tableau ci-dessous.

LIGNES	Effort de traction	Charbon brûlé par kilomètre-machine		
		en tout	par tonne de l'effort de traction	
Adhérence {	Arlberg.	6.293	32	5,4
	Gothard	3.809	22	5,9
Mixtes {	Erzberg	7.242	42	5,8
	Harz.	4.437	28	6,7

Sur ces lignes les frais de traction par train-kilomètre sont les suivants (1) :

Lignes à adhérence {	Arlberg	1 fr. 06
	Gothard	1 fr. 17
Lignes mixtes à crémaillère {	Erzberg.	0 fr. 90
	Harz	1 fr. 39

Parmi les circonstances qui peuvent élever les frais de traction, nous citerons, pour les exploitations discontinues,

(1) R. Abt. *Handbuch der Ingenieurwissenschaften.*

la nécessité où l'on peut se trouver de payer une partie du personnel pendant l'hiver. Au Rigi, par exemple, les dépenses se trouvent augmentées d'environ $\frac{1}{6}$ par ce seul fait.

Malheureusement il est fort difficile d'avoir des renseignements précis sur les dépenses de traction. Souvent les comptes ne font pas ressortir clairement ces dépenses, ou la ligne à crémaillère est soudée à un réseau à adhérence et les dépenses des deux lignes sont confondues. Aussi il est bien difficile de donner des chiffres précis à cet égard.

TRACTION ÉLECTRIQUE

88. Généralités. — La traction électrique a reçu de nombreuses applications ces dernières années sur différentes lignes à crémaillère.

Tantôt on a fait usage de voitures automotrices, tantôt de locomotives électriques dont les moteurs utilisent, soit le courant continu, soit le courant alternatif.

Bien que les voitures automotrices aient un poids mort par voyageur très réduit, on utilise cependant des locomotives sur les lignes à très fortes pentes uniquement à crémaillère.

Une solution mixte assez fréquente consiste à employer une voiture automotrice se remorquant elle-même dans les sections à adhérence, que l'on fait pousser par une locomotive dans la section à crémaillère.

L'exploitation se fait par locomotives à courant continu sur les lignes de Triest-Opicina, au chemin du Vésuve, à Aigle-Leysin, Bex-Gryon-Villars et Martigny-Chatelard en Suisse ; les voitures automotrices sont employées au Mont Salève, à Barmen, à Gênes-Granavalo, à Monte-Carlo et à Stuttgart-Degerloch.

Le courant alternatif est employé au contraire avec locomotives pour les lignes du Gornergrat, de la Jungfrau et de Brunnen-Morschach.

MACHINES A COURANT CONTINU

87. Locomotives. — *Locomotives du chemin du Vésuve (1).*

— Le courant, produit à l'usine à la tension de 500 volts est envoyé dans la section à crémaillère par deux fils de cuivre de 8 millimètres de diamètre, constituant la ligne aérienne, le retour se faisant par les rails de la voie.

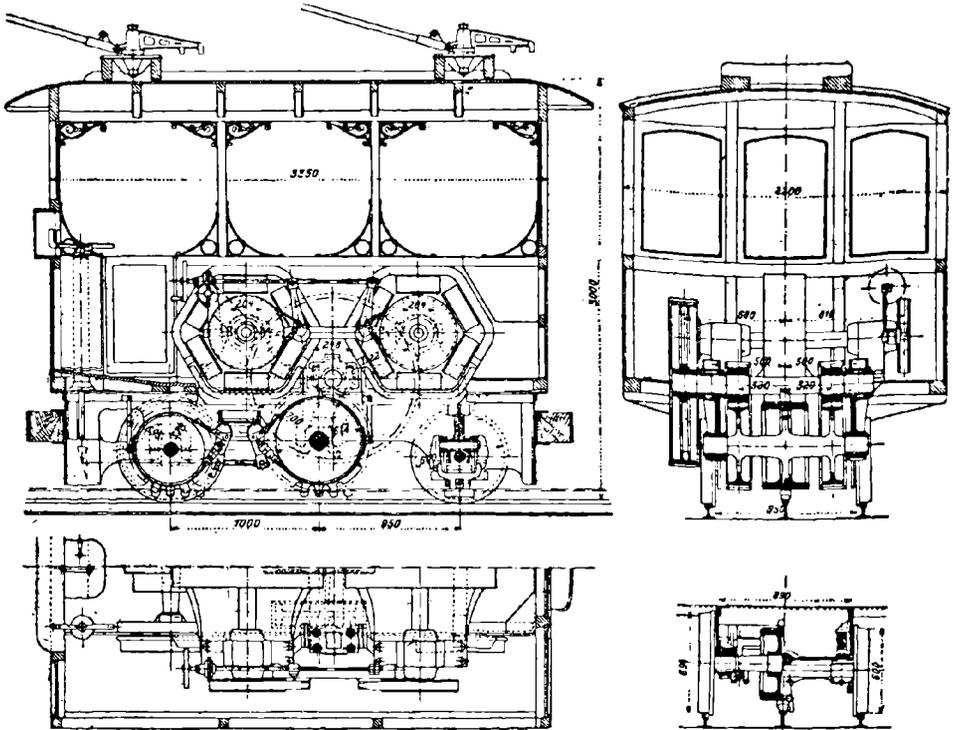


Fig. 411. — Locomotive du chemin de fer du Vésuve.

La locomotive, pesant 10 t. 5, est actionnée par deux moteurs de 80 chevaux chacun, excités en dérivation et tour-

(1) *Revue générale des chemins de fer*, octobre 1903, page 271.

nant à la vitesse de 650 à 700 tours par minute. Le diamètre primitif de la roue dentée est de 0 m. 700.

La transmission du mouvement se fait avec réduction de vitesse par l'intermédiaire d'une grande roue dentée, et de pignons, comme l'indique la figure 111 ; le rapport des transmissions est de $\frac{1}{3,5}$ et $\frac{1}{2,5}$, ce qui correspond à une vitesse de 7 kilomètres à l'heure.

La roue dentée motrice, située à peu près dans le plan du centre de gravité, est calée sur un axe spécial situé entre les deux essieux porteurs de la machine ; sur l'un de ces deux derniers est enfilée une roue dentée, qui n'est utilisée que pour le freinage : elle est munie à cet effet d'un frein à bande.

La roue dentée motrice est munie également de poulies de friction pour le freinage, comme l'indiquent les coupes transversales de la figure 111.

L'autre essieu porteur est muni de la pièce à mâchoires pouvant enserrer le champignon du rail-crémaillère comme à la Jungfrau, en vue de s'opposer à un soulèvement possible de la locomotive.

Outre les freins agissant sur les poulies des roues à crémaillère, il existe un frein à ruban dont l'action se fait sentir sur les axes des moteurs électriques. Ce dernier frein peut être actionné automatiquement ; dès que la vitesse maxima admise est dépassée, le courant de la ligne est coupé et les moteurs mis hors circuit travaillent sur des résistances, en s'opposant au mouvement de la machine ; en même temps, le mécanicien est averti et actionne le frein à bande agissant sur les roues à crémaillère, qui est le frein d'urgence proprement dit.

Locomotives de Bex-Gryon-Villars (1). — Ces machines, construites pour la voie de 1 mètre, diffèrent des précédentes en ce qu'elles sont munies de deux roues dentées motrices. Elles utilisent le courant continu, à la tension de 600 volts, amené par une ligne aérienne, formée d'un fil de cuivre durci de

(1) *Eclairage électrique*, tome 29, 1901, pages 58 à 62. — *Génie civil*, Breüer, 17 août 1901.

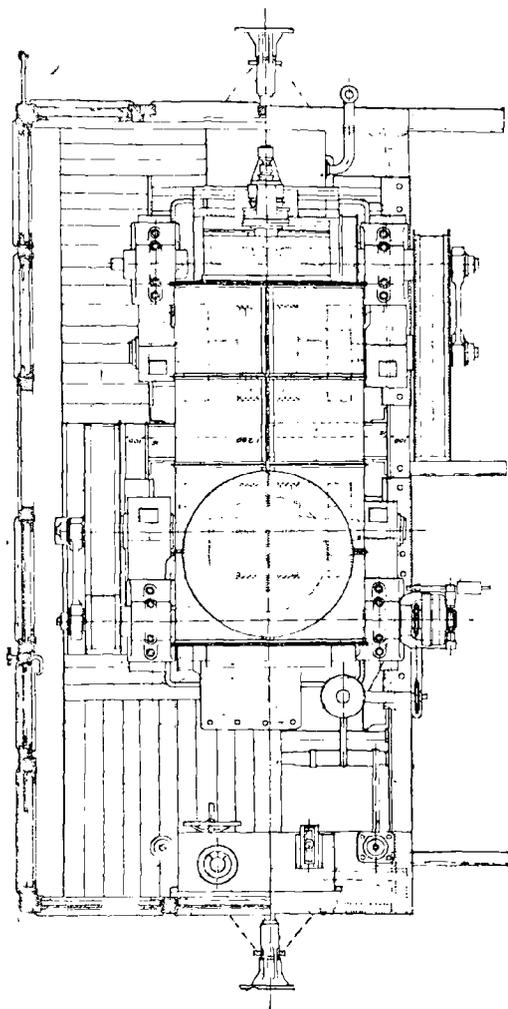


Fig. 113. — Locomotive de Bex-Gryon-Villars. — Plan.

10 millimètres de diamètre. La prise de courant se fait à l'aide de deux trolleys. Pour supprimer toute chance d'étincelles au passage du trolley, la suspension du fil de ligne est élastique; l'amenée du courant est faite par feeders et le retour du courant se fait par les rails, munis à cet effet d'un double éclissage.

Les figures 112 à 114 montrent les dispositions des locomotives, dont le schéma est le même que pour celles du Vésuve.

Ces machines sont actionnées par deux moteurs en série de 100 à 120 chevaux chacun ; elles peuvent remorquer une charge de 28 tonnes en rampe de 200 millimètres à la vitesse de 8 kilomètres à l'heure. Le diamètre de la roue à crémaillère étant de 573 millimètres et la dynamo faisant normalement 525 tours à la minute, le rapport total de la transmission de 1/8 correspond précisément à la vitesse de régime de 8 kilomètres à l'heure.

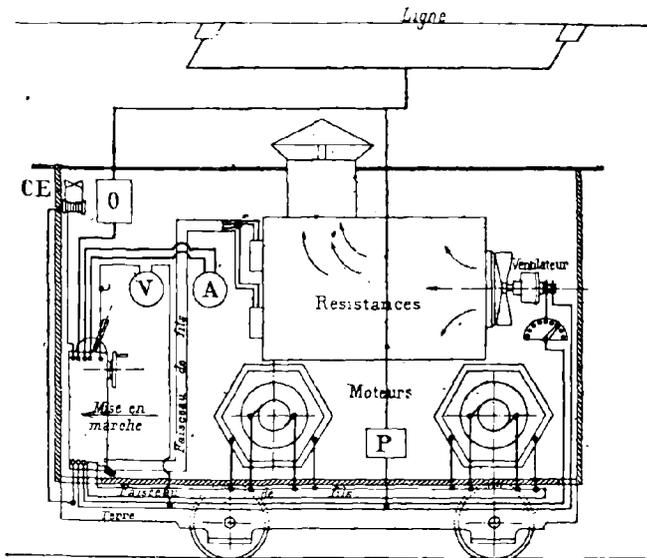


Fig. 114. — Locomotive de Bex-Gryon-Villars. — Connexions électriques.

Chaque dynamo conduit une roue dentée motrice ; à cet effet, l'axe de la dynamo attaque un arbre intermédiaire par

des roues à engrenages à chevrons, et cet arbre est muni de roues dentées, qui conduisent directement la roue dentée motrice double, engrenant avec les deux lames de la crémaillère Abt.

Afin de mieux répartir les charges sur les essieux porteurs, les roues dentées de transmission, d'attaque et de conduite de l'arbre intermédiaire, sont placées pour chacune des dynamos d'un côté différent de la locomotive, comme le montre le plan de la fig. 113.

Les résistances de réglage, formées de rubans de fer ondulés, sont contenues dans une sorte de caisse cylindrique ; le tout est posé sur les moteurs.

A la descente, lorsque, le courant de la ligne étant coupé, les dynamos travaillent comme génératrices, le courant produit est envoyé dans les résistances. Pour s'opposer à l'échauffement de celles-ci, un petit ventilateur envoie constamment de l'air frais dans la caisse à résistances. On aperçoit sur la fig. 112 l'hélice de ce ventilateur, actionné par un petit moteur électrique placé en dérivation sur les résistances, et le trajet de l'air insufflé est indiqué sur le schéma de la fig. 114.

Le freinage adopté est le même qu'au Vésuve. Aux essais, les moteurs absorbaient chacun un courant de 112 ampères sous 650 volts, donnant ensemble un travail effectif de 210 à 215 chevaux.

Ces machines pèsent 14 t. 5 et remorquent une charge de 17 tonnes en rampe de 200 millimètres, à la vitesse de 7,5 km. à l'heure.

Le frein automatique est réglé de façon à agir dès que la vitesse atteint 12 kilomètres à l'heure.

Les locomotives ont été fabriquées par la « Société Suisse pour la construction des locomotives à Winterthur » ; l'équipement électrique a été fourni par la Compagnie de l'Industrie électrique à Genève.

La fig. 114 indique en schéma la disposition des connexions électriques.

88. Voitures automotrices. — *Voiture automobile du Mont-Salève.* — Cette application de la traction électrique

aux lignes à crémaillère est la première qui ait été faite ; elle remonte à l'année 1892.

Le courant arrive dans la ligne aérienne à la tension moyenne de 500 volts ; il est produit dans une usine hydro-électrique situé sur l'Arve, à l'aide de deux turbines de 300 chevaux chacune, actionnant des dynamos système Thury qui produisent un courant continu de 280 ampères à la tension de 600 volts. La machine excitatrice est une machine spéciale, ce qui permet, en faisant varier le courant excitateur, de maintenir la tension constante sur la ligne de distribution formée par des câbles en cuivre d'une section de 430 mm. q.

Les câbles aboutissent directement au centre de la ligne, à la station de Monnetier ; de là, le courant est amené aux voitures par le conducteur de prise, formé d'un rail isolé identique aux rails de la voie, mais retourné. Chaque voiture prend le courant sur la base du patin à l'aide de deux frotteurs.

Les voitures sont portées par 3 essieux distants de 1 m. 64, dont les roues ont 0 m. 60 de diamètre ; les roues de l'essieu médian sont munies de bandages sans mentonnets, et aucune des roues porteuses n'est clavetée sur l'essieu.

La voiture est mue par deux roues dentées motrices, placées symétriquement par rapport à l'essieu porteur médian. Chaque roue dentée, de 0 m. 65 de diamètre, est actionnée par un moteur développant normalement 30 chevaux à 600 tours par minute. Exceptionnellement, ces moteurs peuvent développer 50 chevaux à la vitesse de 1.200 tours pendant quelques instants, sans échauffement exagéré. Chaque roue dentée motrice est portée par un arbre spécial qui reçoit le mouvement du moteur par l'intermédiaire d'un faux essieu ; la réduction de vitesse est de $\frac{1}{14}$.

Les paliers du faux essieu intermédiaire et ceux de l'essieu de la roue dentée motrice sont portés par le bâti du moteur, lequel repose lui-même par des coussinets, tant sur l'essieu porteur médian que sur l'essieu porteur extrême. Le système à crémaillère avec les transmissions comprend ainsi 6 arbres, soit, avec les essieux porteurs, 9 axes de rotation, dispositif assez compliqué.

Le poids des moteurs avec leur bâti est de 6 tonnes pour une puissance de 60 chevaux ; soit 100 kilogrammes par cheval, ce qui est assez élevé pour un moteur électrique ; on fait aujourd'hui des moteurs plus légers. La perte dans les moteurs et les transmissions atteint 26 0/0. La voiture à vide pèse 10 t. 4 et offre 40 places ; elle gravit les rampes de 250 millimètres à la vitesse de 6 kilomètres.

Ces voitures, outre les freins habituels, sont munies d'un frein électrique. A la descente, les moteurs peuvent fonctionner comme générateurs et envoyer leur courant dans des résistances qui absorbent l'énergie électrique produite.

Voitures automotrices du tramway de Barmen (1). — Ces voitures, construites pour la voie de 1 mètre, ont l'aspect extérieur des voitures de tramway, elles ont 8 mètres de longueur et 2 m. 45 de largeur ; leur poids à vide est de 9 tonnes ; elles présentent 28 places assises et 28 debout. Elles sont portées par deux essieux, et au milieu de chacun d'eux est calée une roue dentée motrice engrenant avec la crémaillère. A l'une des extrémités de l'essieu, entre la roue porteuse et le bâti est calée une roue d'engrenage mue par un arbre intermédiaire actionné par la dynamo. Chaque roue dentée motrice est ainsi actionnée par un moteur distinct de 60 chevaux, excité en dérivation.

Outre le frein habituel à poulie installé sur les roues à crémaillère et pouvant être actionné de l'une ou l'autre des plates-formes, on a installé un régulateur à force centrifuge agissant sur les freins dès que la vitesse dépasse 3 m. 20 par seconde.

Pour parer au cas où les roues à crémaillère se soulèveraient, les voitures sont munies d'un frein de sûreté, consistant en des coins en fonte qui peuvent être placés sur les rails devant les roues du véhicule ; celles-ci montent alors sur les coins, et la voiture est transformée en traîneau.

Enfin, en service normal, le mécanicien règle la vitesse à

(1) Blondel et Dubois. *Traction Electrique*, t. II, p. 44. — *Genie Civil*, 3 mars 1898, Chemin de Barmen, par Rudolph Zerner.

la descente à l'aide d'un frein électrique. Les dynamos motrices fonctionnent alors comme génératrices, ce qui permet de récupérer partiellement l'énergie.

Le courant continu est produit à la tension de 500 volts, et envoyé dans une ligne aérienne constituée par un fil de cuivre de 8 millimètres de diamètre, soutenu par des fils transversaux que soutiennent des poteaux latéraux. Le fil de ligne est placé dans l'axe de la voie à 5 mètres au-dessus des rails ; le courant est amené aux voitures par deux archets, les rails formant le conducteur de retour.

L'installation électrique est due à la maison Siemens et Halske.

Voitures automotrices de Gênes-Granavalo. — Ces voitures sont portées par des roues qui ne sont pas calées sur leur essieu ; en outre, les roues d'un côté de la voiture sont munies de bandages à gorge ; de l'autre côté, les roues ont des bandages plats sans mentonnet, ce qui permet, aux points de croisement de la ligne, d'éviter tout appareil d'aiguillage. La caisse des voitures est placée de façon à être horizontale sur une déclivité de 100 millimètres. L'empattement des essieux est de 1 m. 72.

Le courant continu, à la tension de 500 volts, circule dans une ligne aérienne constituée par deux fils de cuivre de 8 millimètres de diamètre ; le retour du courant se fait par les rails.

Sur chaque voiture sont installés deux moteurs de 30 chevaux, actionnant chacun une roue dentée à crémaillère, à l'aide d'un arbre intermédiaire. Le rapport de la transmission est de $\frac{1}{41}$. La voiture est munie des freins ordinaires à crémaillère, d'un frein à ruban agissant sur l'arbre des dynamos, et d'un frein électrique. Ce dernier consiste à faire fonctionner à la descente les moteurs comme générateurs en envoyant le courant produit dans des résistances, ce qui permet de régler la vitesse. Chaque voiture porte 30 voyageurs. Deux voitures sont normalement en service et se croisent au milieu du parcours ; la durée du trajet est de 14 minutes.

La vitesse moyenne est de 5 km.,5 à l'heure, la vitesse maxima admise à la descente est de 8 kilomètres. En cas d'urgence, l'arrêt peut être obtenu sur une longueur de 1 mètre. Le matériel roulant a été fourni par la maison Diatto frères, de Turin ; l'équipement électrique est dû à la Compagnie de l'Industrie Electrique de Genève.

Voitures automotrices de Martigny-Chatelard. — Chaque train se compose d'une voiture automobile électrique du poids de 32 à 34 tonnes, suivant le type, remorquant une voiture fermée de 10 tonnes ; la vitesse de marche en crémaillère est de 7 kilomètres à l'heure.

Entre Martigny et Vernayaz, le courant est conduit par fil aérien avec prise par archet. Au delà, le courant est amené par des sabots frottant sur un rail latéral ; le courant continu est à la tension de 750 volts et chaque voiture automotrice est mue par 4 moteurs Thury de 60 chevaux en série parallèle.

A la descente, les moteurs fonctionnent comme générateurs et travaillent sur des résistances.

Les autres freins en usage sont les suivants :

1° Un frein à main, à ruban, agissant à la fois sur les roues à crémaillère et sur les sabots des roues porteuses ;

2° Un frein Westinghouse à air comprimé, agissant sur les poulies des roues à crémaillère ainsi que sur les roues porteuses ; ce frein Westinghouse est actionné non seulement par le conducteur, mais aussi par un régulateur à force centrifuge, agissant automatiquement dès que la vitesse devient supérieure au maximum fixé ;

3° Dans les sections à adhérence, un frein électro-magnétique agit sur des patins, en les pressant fortement sur les rails. Le courant nécessaire à la mise en action de ce frein est fourni par une batterie d'accumulateurs, ce qui permet de compter sur ce frein, même au cas où la ligne électrique ne communiquerait plus, pour un motif quelconque, avec les moteurs de la voiture.

Les voitures automotrices ont une longueur de 17 m. 80 entre tampons ; elles offrent 52 places assises.

Les voitures de remorque sont fermées ; 24 voyageurs assis

y trouvent place ; elles comportent un compartiment pour les bagages et un pour la poste.

MACHINES A COURANTS ALTERNATIFS

89. Locomotives. — *Locomotives du Gornergrat (1).* — La puissance de ces machines a été calculée de façon qu'elles puissent remorquer deux voitures ; le poids d'un train s'établit ainsi :

Locomotive électrique	10 t. 530
Voiture fermée	5 200
Voiture ouverte	4
Poids de 110 voyageurs.	8 250
Total.	28 t. 000

Si l'on compte 14 kilogrammes par tonne comme résistance au roulement, la résistance du train sur la rampe de 200 millimètres est $R = 28 (14 + 200) = 6.000$ kilogrammes, ce qui représente, à la vitesse de 7 kilomètres à l'heure, ou 2 mètres par seconde, une puissance $p = \frac{6\ 000 \times 2}{75} = 160$ chevaux-vapeur ; si l'on compte pour la locomotive un rendement de 0,85, c'est un travail de 180 chevaux, et, si l'on s'impose la condition d'avoir simultanément deux trains dans la rampe de 200 millimètres, le travail à fournir est de 360 chevaux ; en tenant compte de la perte dans les générateurs, la ligne, les transformateurs et les moteurs, on arrive à trouver qu'une force de 500 chevaux est nécessaire à l'usine.

L'usine électrique a été construite auprès du Findelenbach ; l'eau de ce torrent est amenée, sous la pression d'une chute de 100 mètres, à 4 turbines, actionnant chacune une dynamo de 500 chevaux, dont l'une est toujours en réserve. L'arbre horizontal mù par les turbines et actionnant les dynamos fait 400 tours à la minute.

La fig. 115 montre le plan de l'usine hydro-électrique.

(1) Haag und Greulich. *Schweizerische Bauzeitung*, tome 31, pages 116 à 119. — *Génie Civil*, tome 32, page 193. — *Zeitschrift für das gesammte Local und Strassenbahnwesen*, tome 20, pages 151 à 166, 1901.

Les générateurs produisent un courant triphasé, à la tension de 5.400 volts. Le rotor tourne à 400 tours, ce qui correspond, avec 12 pôles, à 40 périodes par seconde. Le courant d'excitation est fourni par deux petites dynamos à courant continu, actionnées par deux petites turbines spéciales, développant 15 chevaux, à 900 tours par minute. Le courant ainsi produit à la tension de 5.400 volts est conduit par une ligne directe à 3 sous-stations, où sont installés des transformateurs de 180 kilowatts, ramenant le courant triphasé à haute tension à la tension de 540 volts ; des transformateurs sont installés à l'usine et aux kilomètres 2,5 et 8.

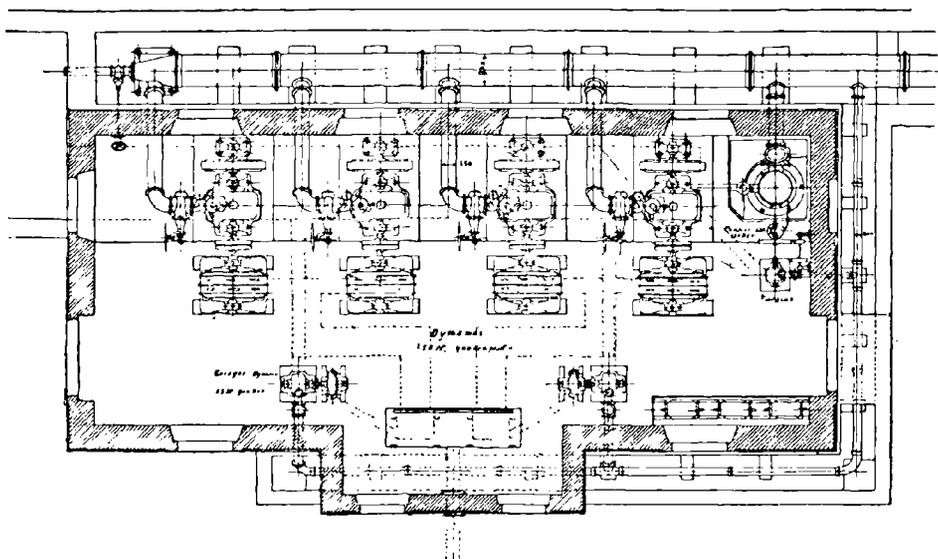


Fig. 113. — Chemin de fer du Gornergrat. — Plan de l'usine hydro-électrique.

La ligne de distribution du courant à 540 volts est formée de deux conducteurs, le troisième étant constitué par les rails de roulement. La conductibilité électrique des rails est assurée aux joints par un tronçon de câble en fil de cuivre.

Les locomotives, du poids de 10 t. 3, sont mues par deux moteurs asynchrones triphasés de 90 chevaux chacun, faisant

800 tours par minute : le courant arrive aux moteurs à la tension de 500 volts.

L'équipement électrique de ces machines est dû à la maison Brown, Boveri et C^{ie} de Bade ; la partie mécanique a été confiée à la fabrique de Locomotives de Winterthur, en collaboration avec la fabrique de Neuhausen.

Comme l'indique la fig. 116, les moteurs sont placés de telle façon que leur axe coïncide avec l'axe longitudinal du véhicule, et chacun d'eux entraîne une roue à crémaillère motrice, à l'aide d'un arbre intermédiaire ; le rapport définitif de la transmission est de $1/2$.

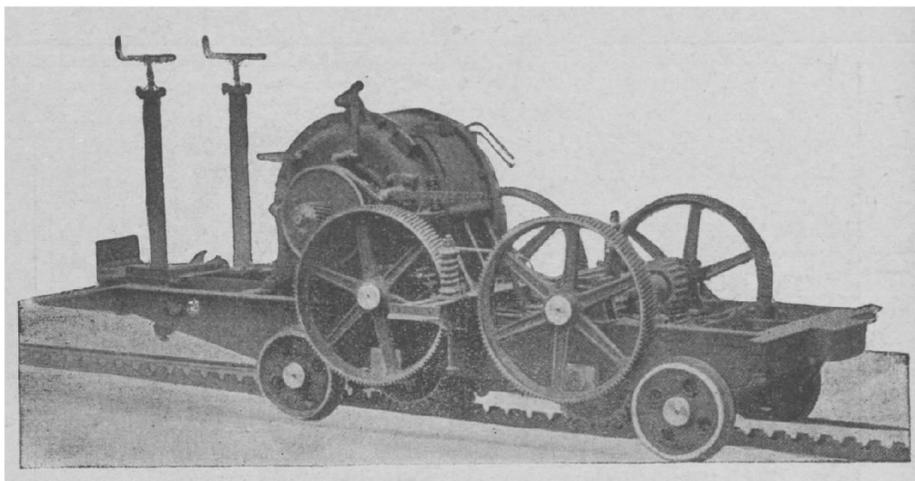


Fig. 116. — Locomotive électrique du Gornergrat. — Moteur.

Les moteurs sont à 6 pôles ; le nombre de périodes par seconde est de 40, la vitesse de synchronisme de 800 tours par minute, correspondant à la vitesse normale de 7 kilomètres à l'heure.

La pression maxima au contact de la roue dentée et de la crémaillère est de 6.000 kg.

Les moteurs asynchrones employés démarrent à pleine charge, sans exiger plus de courant qu'il n'en faut pour marcher à la vitesse maxima et à charge complète ; ils peuvent même démarrer sous une charge supérieure à la charge nor-

male; mais ils exigent alors un courant plus intense au moment du démarrage.

Les résistances de réglage sont placées sur les moteurs eux-mêmes; elles sont contenues dans une enveloppe cylindrique ajourée de façon à permettre une ventilation active.

Ces résistances, par leur intercalation dans le circuit du stator, permettent de faire varier la vitesse de marche.

Nous avons déjà indiqué la propriété très caractéristique des moteurs asynchrones, au point de vue du réglage de la vitesse à la descente. Les moteurs peuvent agir de deux manières différentes.

1° On peut laisser les connexions disposées comme pour la montée et insérer une résistance convenable dans les induits des moteurs de façon à obtenir la vitesse voulue.

2° On peut aussi disposer les connexions pour la descente et mettre les induits en court circuit. Les moteurs fonctionnent alors comme générateurs, dès que leur vitesse tend à dépasser celle qui correspond au régime du synchronisme.

L'énergie mécanique développée par le train à la descente est ainsi transformée en énergie électrique qui est envoyée dans la ligne; les moteurs agissant comme frein, la vitesse maxima qu'ils peuvent atteindre est celle du synchronisme augmentée d'une très faible valeur correspondant au glissement.

On a constaté qu'un train complètement chargé étant lancé sur la pente, en utilisant les moteurs comme frein, le train ne dépassa pas sensiblement la vitesse normale de montée de 7 kilomètres à l'heure, sans le secours d'aucun frein mécanique.

Si plusieurs trains descendaient simultanément, le courant envoyé à l'usine génératrice pourrait devenir trop intense; non seulement l'usine n'aurait plus à fournir de courant, mais ses appareils électriques risqueraient d'être avariés. Pour éviter cet effet, on a disposé à l'usine centrale une résistance électrique qui est mise automatiquement en circuit en cas de besoin, c'est-à-dire dès que la vitesse des turbines motrices devient excessive.

On peut, à la descente, marcher à une vitesse moindre que la vitesse du régime, par l'intercalation d'une résistance dans le circuit des moteurs.

Ces locomotives présentent cependant un grave inconvénient ; en cas d'avarie à l'usine centrale, non-seulement les voitures ne peuvent plus monter, mais celles qui sont au sommet du Gornergrat ou en train de descendre sont bloquées, ne pouvant ni monter ni descendre.

En effet, les freins de friction habituels sont des freins d'urgence ; dès qu'on les applique, l'échauffement est tel, qu'au bout d'un parcours de 100 mètres, sur la pente de 200 millimètres, il faut s'arrêter. Aussi a-t-il été indispensable d'avoir une locomotive à vapeur comme machine de secours.

Nous verrons plus loin comment on a remédié à cet inconvénient pour les locomotives de la Jungfrau.

Le courant est amené de chaque fil à la locomotive par deux perches à trolley, pour éviter les interruptions de courant aux points de suspension de la ligne et au passage des aiguilles.

Les appareils de mise en marche, de mesure et de sécurité, sont placés à portée du mécanicien et fixés au toit ou aux parois de la caisse protégeant la machine.

La locomotive est munie de deux freins à manivelle, agissant, l'un sur les poulies de frein de droite des roues à crémaillère, l'autre sur les poulies de frein de gauche. Chaque frein commande quatre sabots, deux sabots par poulie.

Il existe un frein d'urgence automatique qui peut aussi être actionné à la main, soit de la machine, soit de la voiture. Le frein électrique agit automatiquement, en cas d'interruption du courant de la ligne, ou dès que la vitesse dépasse un maximum fixé. L'action de ce frein est normalement entravée par un solénoïde ; dès que le courant de la ligne ne passe plus, le solénoïde n'a plus d'effet et le frein agit sous l'action d'un ressort puissant. Il en est de même dès que la vitesse dépasse le maximum fixé.

L'un des freins à crémaillère peut aussi être actionné d'une voiture du train.

Au point de vue mécanique, notons qu'une seule roue porteuse est clavetée sur chaque essieu, l'autre est laissée folle ; en outre, les boudins des roues sont graissés, pour faciliter le passage dans les courbes.

La crémaillère est graissée de la machine par un graisseur amenant l'huile sur les dents de l'une des roues dentées engrenant avec la crémaillère.

La locomotive supporte à l'arrière l'extrémité des brancards de la voiture fermée ; le châssis de cette voiture repose à son autre extrémité sur deux essieux à bogie. Cette disposition augmente la charge de l'arrière de la locomotive, de façon à s'opposer au soulèvement de la roue dentée motrice, en cas de freinage trop brusque. Cette disposition est particulièrement utile lorsque le type de crémaillère adopté ne comporte pas de guidage latéral pour la roue dentée, comme le cas se présente pour les crémaillères Abt ou Strub.

Locomotives de la Jungfrau (1). — Les premières machines de la Jungfrau étaient tout à fait semblables à celles du Gornergrat.

Les locomotives 4 et 5 sont un peu différentes ; elles ont été construites par les ateliers d'Oerlikon, les fig. 117 à 119 en montrent les principales dispositions ; elles sont actionnées par deux moteurs triphasés, développant sous une tension moyenne de 500 volts, avec 750 tours par minute et 38 périodes à la seconde, une puissance de 120 chevaux. Ces machines pèsent 14 à 15 tonnes ; le poids d'un moteur est de 2,1 tonnes. Le côté original de la disposition est que, sur l'axe du moteur d'avant, on a calé l'induit d'une dynamo à six pôles à courant continu, pesant 300 kg. A la descente, le courant continu, fourni par cette dynamo fonctionnant comme génératrice, est envoyé aux moteurs qui, ainsi excités, fonctionnent comme générateurs de courants triphasés. A ce moment, la communication avec la ligne aérienne est rompue, et le courant alternatif, produit par les moteurs fonctionnant comme générateurs, est envoyé dans des résistances ; celles-ci sont ventilées par un ventilateur Sulzer, mis en marche par un petit moteur triphasé, alimenté, soit par la ligne, soit par les moteurs fonctionnant comme générateurs. On évite ainsi l'échauffement des résistances absorbant l'énergie électrique

(1) Sidler, *Génie civil*, 18 et 25 juin 1904. — S. Herzog, *Jungfraubahn*, Zurich, 1904. — *Industrie électrique*, tome 10, pages 413 à 430.

Locomotives de la Jungfrau.

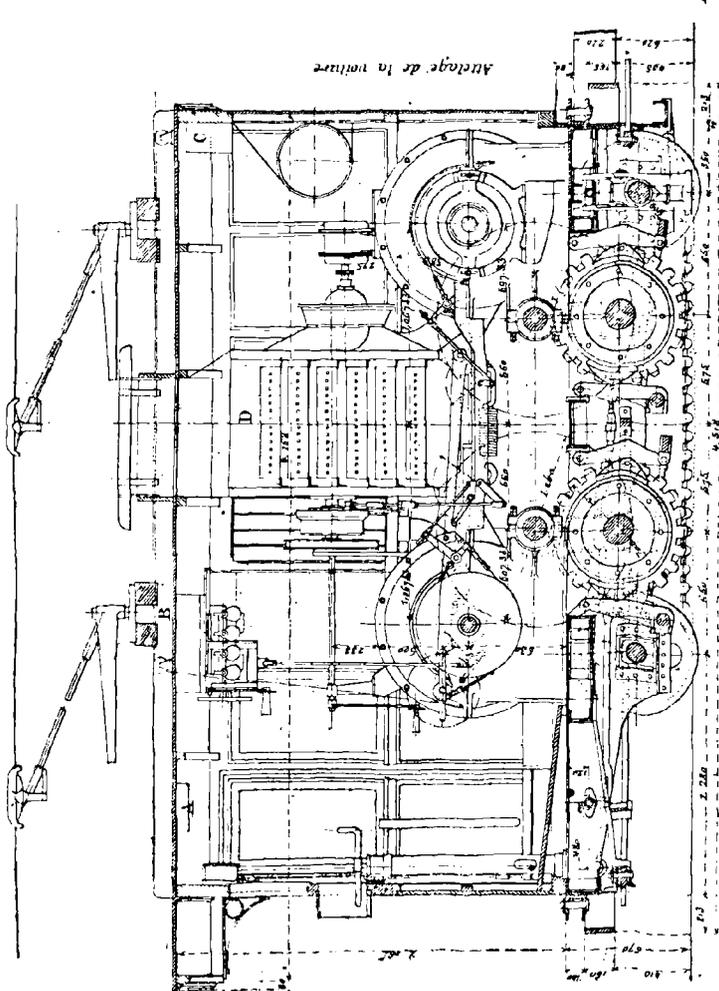


Fig. 117. — Coupe longitudinale.

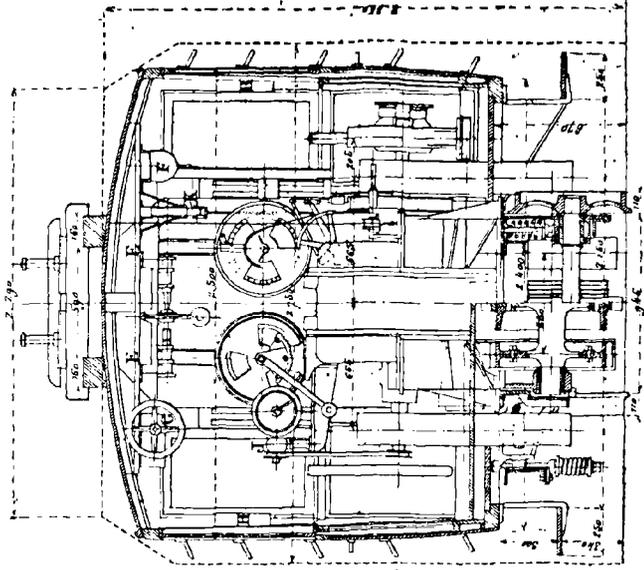


Fig. 118. — Coupe transversale.

Locomotives de la Jungfrau.

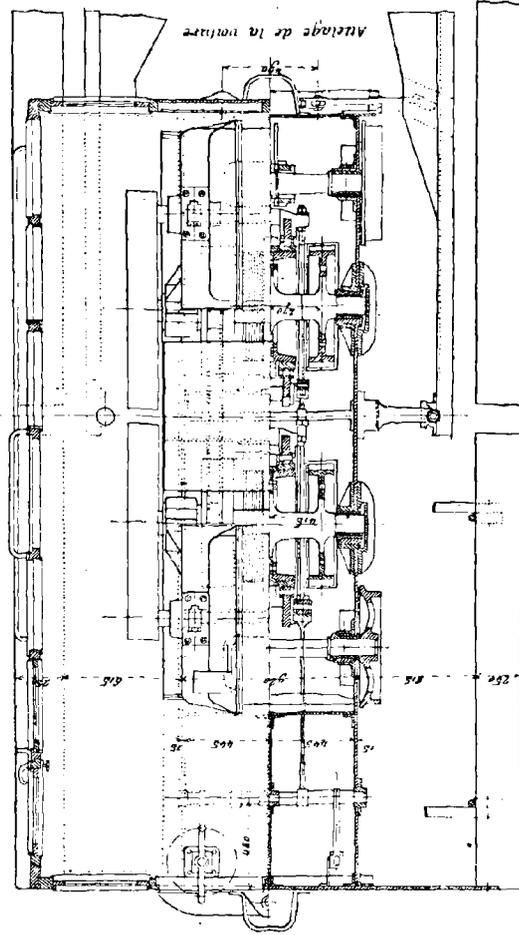
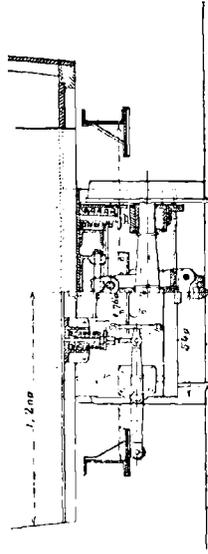


Fig. 419. — Plan et coupe horizontale.



Légende

- A — Résistance adhésive pour les ampères
- B — Profondeur
- C — Résistance supplémentaire pour les voltages
- D — Réducteur
- E — Interrupteur et commutateur pour le courant de la ligne
- F — Interrupteur et commutateur pour le ventilateur
- G — Résistance de démarrage et de réglage pour le courant électrique
- H — Groupe courts circuits
- J — Transformateur
- K — Electro aimant

Fig. 420. — Vue en bout et coupe du châssis.

à la descente. En agissant sur les inducteurs de l'excitatrice, on fait varier le courant excitateur passant dans les stators des moteurs ; par suite, l'intensité du courant induit produit dans les rotors variant, on a le moyen de régler la vitesse de la locomotive à la descente : en pratique, cette vitesse peut varier entre sa valeur normale et la moitié de celle-ci.

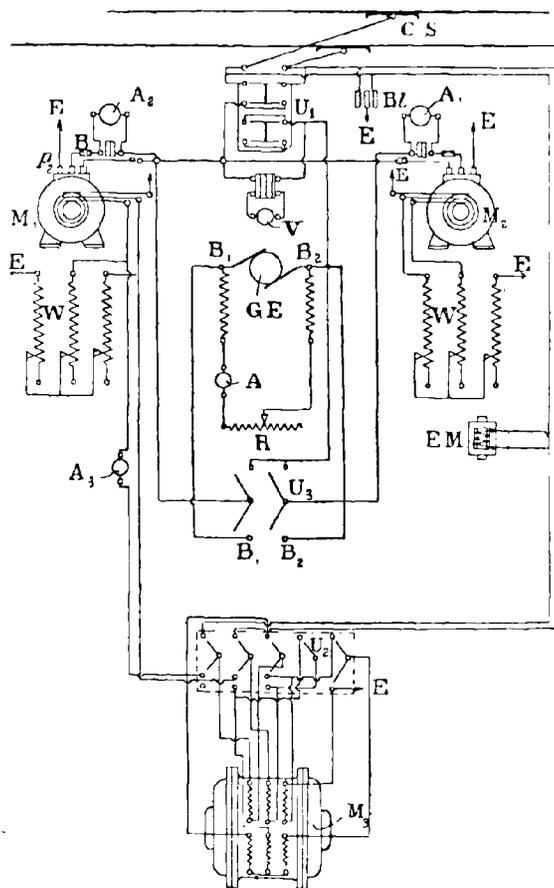


Fig. 121. — Locomotives de la Jungfrau. — Connexions électriques.

On descend ainsi le train indépendamment du fonctionnement de l'usine génératrice et l'on évite complètement l'in-

convénient, signalé au Gornergrat, de bloquer les trains descendants comme les montants, en cas d'arrêt de l'usine productrice d'énergie.

La fig. 121 montre le schéma des connexions électrique, et les fig. 117 à 120 diverses vues de la locomotive n° 4.

A la montée, le démarrage se fait en envoyant le courant de la ligne dans les stators des moteurs et en réglant au moyen de résistances intercalées dans le courant induit; la résistance de démarrage sert également, à la descente, de résistance de freinage.

Les freins mécaniques comprennent d'abord deux freins à sabot agissant sur les tambours accolés aux roues dentées motrices, puis un frein automatique à ruban, actionné par un régulateur à force centrifuge agissant sous l'action d'un ressort puissant sur l'arbre de chaque moteur. Ce frein agit lorsque la vitesse normale est dépassée de 25 0/0 et aussi lorsque le courant vient à manquer, la coupure du courant ayant pour effet de laisser un ressort puissant agir sur le frein à ruban; ce frein peut être actionné par le waltman ou de l'une des voitures. Comme on le voit, les dispositions des transmissions des moteurs et des appareils électriques et mécaniques de freinage sont analogues à ceux du Gornergrat.

La locomotive n° 6, construite par la maison Brown, Boveri et C^{ie}, diffère des deux précédentes en ce que les variations de vitesse peuvent être plus grandes; cette condition était indispensable pour qu'on pût l'utiliser à la traction des trains de service mis en marche en vue de l'enlèvement des déblais du tunnel, trains plus lourds que les trains de voyageurs et pesant 30 t. 5 au lieu de 20 t. 5.

Cette machine pèse 16 t. 8; elle est actionnée par deux moteurs triphasés à six pôles, développant chacun 150 chevaux sous 450 à 700 volts, à 600 tours par minute et 38 périodes à la seconde. Chaque moteur pèse 3.320 kg.

Ces moteurs présentent cette particularité de pouvoir être connectés de telle façon qu'à la montée ils fonctionnent comme moteurs à courants triphasés, et qu'à la descente ils fonctionnent comme dynamos-série à courant continu avec auto-excitation, en produisant du courant alternatif.

Comme pour les locomotives 4 et 5, le courant produit est envoyé dans des résistances énergiquement ventilées : ces résistances peuvent absorber sans échauffement excessif 170 kilowatts.

Pour réaliser le double programme indiqué, l'arbre des rotors porte d'un côté 3 bagues avec balais communiquant avec les résistances et, de l'autre côté, un collecteur pour le courant continu. Les balais de ce collecteur sont soulevés automatiquement par le courant de la ligne lorsqu'il arrive aux moteurs à l'aide d'un aimant à courants triphasés.

La marche de la locomotive est commandée par un contrôleur, comprenant l'inverseur de marche et le commutateur pour les résistances de démarrage et de freinage.

L'inverseur peut être placé dans quatre positions :

Une pour le freinage électrique, la communication avec la ligne étant rompue ; deux pour les marches avant et arrière ; une autre correspondant à l'arrêt.

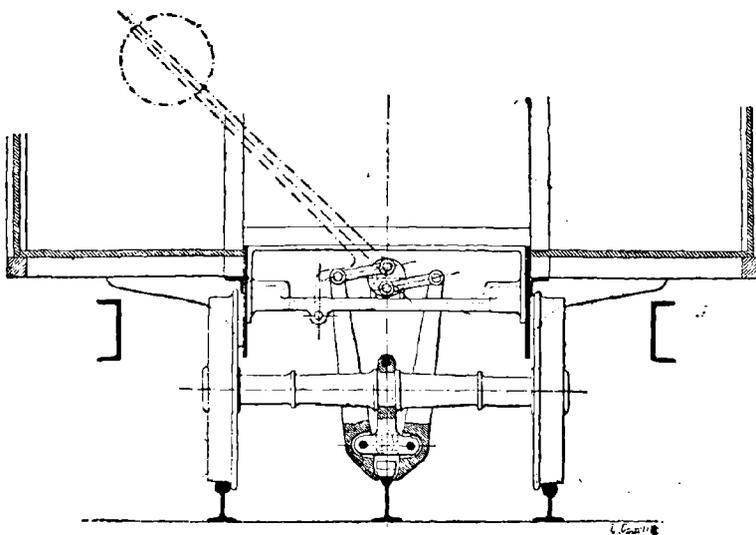


Fig. 122. — Locomotives de la Jungfrau. — Dispositif contre le soulèvement.

La position de marche en avant sert pour la montée, celle de marche en arrière ou de freinage pour la descente.

Dans la position marche avant ou arrière, le courant de la ligne est amené aux moteurs ; dans la position de freinage, le courant de la ligne est coupé, les moteurs fonctionnent comme génératrices.

On s'oppose au soulèvement éventuel de la machine par une sorte de tenaille, dont le point d'articulation est fixé au châssis, comme l'indique la fig. 122 et dont la mâchoire peut venir enserrer latéralement le champignon de la crémaillère Strub.

L'énergie électrique nécessaire est produite à l'usine hydro-électrique de Lauterbrunnen, où sont installés trois groupes de turbines. Le premier groupe comprend 2 turbines de 500 chevaux chacune ; le second comprend les turbines actionnant les excitatrices qui développent chacune 25 chevaux ; enfin, le troisième groupe comprend deux turbines de 800 chevaux chacune.

A chacun de ces groupes correspond un groupe électrogène : le premier comprend deux alternateurs à courant triphasé, de 500 chevaux, et le troisième un groupe électrogène de 800 chevaux ; le courant est produit à la tension de 7.000 volts. Le second groupe comprend les deux excitatrices, développant chacune 25 chevaux sous 65 volts. L'énergie totale disponible est de 2.600 chevaux.

En outre, une seconde usine hydro-électrique doit être construite à Burglaunen.

Le courant de 7.000 volts est amené directement dans chaque gare de la ligne : une sous-station est installée dans chacune de ces gares, et la tension y est abaissée de 7.000 à 500 volts par deux transformateurs de 200 kilowatts système Oerlikon.

Locomotives de Brunnen-Morschach (1). — Les voitures à voyageurs et les locomotives de cette ligne sont semblables à celles du Gornergrat et de la Jungfrau.

Les locomotives électriques pèsent 10 t. 5 et peuvent pousser sur la rampe de 170 millimètres un train de 15 t. 5 à la vitesse de 9 kilomètres à l'heure. La machine repose par

(1) *Elektrische Zahnradbahn Brunnen-Morschach*. — *Schweizerische Bauzeitung*, volume XLVI, nos 40 et 41, 1903.

trois points sur deux essieux porteurs au milieu desquels se trouve placée la roue dentée motrice, que deux moteurs attaquent par l'intermédiaire d'une transmission : la réduction de vitesse de la transmission est de $\frac{1}{10,83}$.

La roue dentée servant au freinage tourne librement sur l'essieu d'arrière. Les freins à main agissent chacun sur un côté du véhicule, mais tant sur la poulie cannelée de la roue dentée motrice que sur la poulie de la roue dentée laissée folle sur l'essieu d'arrière, disposition qui diminue la tendance au soulèvement au moment de l'application des freins.

Des mâchoires pouvant embrasser le champignon du rail-crémaillère sont disposées tant à l'avant qu'à l'arrière de la machine, de façon à s'opposer à toute tendance au soulèvement de la roue dentée motrice ; en outre, les joues des poulies de cette roue sont munies de chaque côté de disques formant rebord sur ces poulies, de telle sorte que, si, par suite d'un jeu latéral, la roue dentée tendait à s'échapper des dents de la crémaillère, l'un des deux disques viendrait frotter contre la crémaillère et s'opposerait à la continuation de ce mouvement latéral. En cas de rupture de l'un des freins à ruban, l'autre agit immédiatement. L'arrêt normal est obtenu en 5 secondes et dans un parcours de 7 mètres après le freinage.

En outre, un frein à ruban est installé sur chacun des axes des deux moteurs ; ce frein peut être actionné : 1° à la main par le mécanicien ou le conducteur de la voiture poussée par la machine, 2° par un régulateur agissant automatiquement dès que la vitesse dépasse une certaine limite, ou par l'armature d'un solénoïde dont l'action se fait sentir au moment où le jeu du frein automatique coupe le courant de la ligne. Ce frein est très sûr ; dans la pente de 170 m/m, à la vitesse de 11 kilomètres, il arrête un train à charge complète en 2 secondes et après un parcours de freinage de 3 mètres.

Sur l'arbre des moteurs est ménagé un accouplement élastique destiné à amortir les réactions au moment de l'application des freins ou en cas de production d'un court circuit.

Le courant produit à l'usine centrale est un courant alternatif de 8.000 volts et 50 périodes, ramené à la tension de

750 volts avant son utilisation, dans une sous-station, à l'aide de transformateurs de 75 kilowatts chacun ; trois transformateurs sont en service, un en réserve ; cela suffit pour fournir le travail nécessaire à un train de deux voitures à charge complète, gravissant la rampe maxima de 170 millimètres ; on considère qu'il suffit d'avoir un seul train montant engagé sur une rampe.

L'effort maximum de traction d'une locomotive est de 4.800 kilogrammes correspondant, à la vitesse de 9 kilomètres à l'heure, à un travail de 160 chevaux sur l'axe de la roue dentée de la crémaillère. Chacun des deux moteurs de la locomotive peut développer normalement 85 chevaux et, en coup de collier, 100 chevaux sans échauffement anormal.

La disposition des voitures à voyageurs est à peu près identique à celle du Gornergrat ; la première voiture est portée à l'avant par un bogie reposant sur deux essieux ; à l'arrière, le brancard de la voiture s'appuie par un tampon sur l'arrière de la locomotive. Les voitures sont ouvertes latéralement et offrent chacune 40 places en 4 compartiments (1).

90. Avantages et inconvénients de la traction électrique. — *Remarques sur la traction électrique en crémaillère.*

— La légèreté spécifique des moteurs électriques est un avantage de premier ordre pour la traction sur des rampes extrêmement raides.

D'autre part, la commodité, la souplesse et la sûreté du freinage électrique sont des avantages incontestables en faveur de la traction électrique.

Sur des lignes comportant de longs tunnels, la traction électrique est encore tout indiquée.

Enfin, la possibilité d'utiliser à peu de frais les forces naturelles est évidemment un facteur qui doit entrer en ligne de compte, d'autant plus que l'entreprise du chemin de fer peut souvent fournir l'énergie électrique nécessaire à l'éclairage des localités voisines.

(1) On peut encore citer parmi les locomotives électriques du même type dues à la maison Brown, Boveri, celles de la ligne Stanstad-Engelberg pesant 12 tonnes et développant 150 chevaux.

Faut-il conclure de ces considérations que l'on ne construira plus de lignes à crémaillère à traction à vapeur? Nous ne le pensons pas.

Sur les lignes à profil moins raide, qui ne sont pas des lignes exclusivement de touristes, qui desservent un trafic de quelque importance comme voyageurs et marchandises et ont une longueur assez grande, telles que celles du Harz, du Høllenthal, du Brünig, de Viège-Zermatt, la traction à vapeur sera souvent encore préférée, à cause de ses moindres frais de premier établissement.

Alors que la ligne électrique doit, en effet, être établie dès le début en vue du trafic maximum, le matériel de la ligne à vapeur peut être augmenté peu à peu, au fur et à mesure du développement du trafic.

En outre, la régularité de l'exploitation avec la traction à vapeur ne dépend pas du fonctionnement d'une seule usine centrale, et la plupart des lignes à traction électrique se sont vues dans la nécessité d'avoir en réserve une locomotive à vapeur pour les cas d'arrêt de l'usine électrique. Cette nécessité se fait surtout sentir sur les lignes équipées comme celles du Gornergrat, où l'arrêt de l'usine génératrice empêche à la fois la montée et la descente des trains. Enfin les frais d'entretien et de renouvellement des machines d'une usine hydro-électrique sont loin d'être négligeables. Quant à savoir s'il faut préférer le courant alternatif au courant continu, c'est là une question très controversée, qui sort du cadre de notre étude et dans le détail de laquelle nous ne pouvons entrer.

31. Frais de traction. — D'après la statistique des chemins de fer suisses en 1904, les frais de traction sur diverses lignes électriques à crémaillère sont les suivants et, pour fixer les idées, nous donnons en regard les mêmes frais sur certaines lignes à traction à vapeur, autant que possible similaires.

INDICATION des lignes	Total des frais de traction	Par kilom. de parcours utile	Pour cent des frais d'exploita- tion	OBSERVATIONS
1 ^o TRACTION ÉLECTRIQUE				
Aigle-Leysin	36.450	0,80	49,09	} Sections à crémail- lère courtes.
Bex-Gryon-Villars	39.479	0,41	56,61	
Gornergrat	24.456	2,07	32,77	
Jungfrau	22.738	2,44	45,14	
2 ^o TRACTION A VAPEUR				
Pilate.	61.303	3,95	49,23	
Rigi	104.598	3,23	49,43	
Viège-Zermatt.	90.708	1,74	35	
Chemins d'Appenzell.	96.241	1,20	48,54	

On voit que la traction électrique des trains du Gornergrat et de la Jungfrau se fait à meilleur compte que la traction à vapeur des trains du Rigi et du Pilate ; nous rapprochons ces lignes à dessein parce qu'elles sont similaires.

Le chiffre de Viège-Zermatt, ligne mixte de grande longueur, n'est donné qu'à titre d'indication ; cette ligne n'est évidemment pas comparable aux précédentes.

Les frais de traction du chemin du Gornergrat pour l'année 1905 se décomposent ainsi (1) :

Personnel :

Frais de direction	1.800 fr.	»	
Chef de dépôt.	3.240	»	
Personnel des machines fixes.	4.849	20	
Wattmans et visiteurs	8.670	50	
Nettoyage des voitures.	550		19.109 fr. 70

(1) Voir le détail à l'Annexe n^o 8.

282 CHAP. III.—LOCOMOTIVES DES CHEMINS A CRÉMAILLERE

Report			19.109 fr. 70
<i>Matières consommées :</i>			
Combustible	607 fr. 35		
Graissage	881 95		
Matières pour l'entretien du matériel	290 50		1.779 fr. 80
<i>Entretien du matériel roulant et des machines fixes :</i>			
Locomotives	2.466 fr. 25		
Voitures	69 80		
Wagons	40 10		
Turbines	2.204 85		
Dynamos	472 50		
Transformateurs	324 50		
Divers	17 60		5.595 fr. 60
<i>Frais divers :</i>			
Frais de bureau, d'imprimés	15 fr. 50		
Eclairage, chauffage, nettoyage des bâtiments, des machines	666 20		
Renouvellement des objets à l'inventaire	868 25		1.549 fr. 95
Total			<u>28.035 fr. 05</u>

On remarquera que, sur la totalité des frais de traction, $\frac{1}{10}$ environ provient de l'entretien et de la réparation des turbines, proportion fort importante qu'il convient de relever et de noter.

Cette particularité a été relevée également à l'usine hydro-électrique alimentant la ligne du Fayet-St-Gervais à Chamonix. Les sables charriés par la rivière l'Arve font l'office d'émeri et usent promptement les couronnes des turbines, d'où remplacement fréquent de ces organes.

Un point à noter aussi, en terminant, c'est que, contrairement à ce que l'on aurait pu croire, la tendance générale pour la trac-

tion électrique en crémaillère n'a pas été d'adopter le système de la voiture automobile choisie au Mont Salève pour la première ligne à traction électrique à crémaillère ; à peu près partout, au contraire, on a recours à la locomotive électrique. Souvent, comme à Aigle-Leysin et à Bex-Gryon-Villars, les deux systèmes sont combinés, c'est-à-dire que, dans les sections à adhérence, la voiture automobile se remorque seule, mais que, arrivée à la crémaillère, elle est poussée par une locomotive électrique.

92. Poids comparatif des locomotives électriques et à vapeur. — Le tableau ci-dessous donne le poids comparatif par cheval des locomotives à crémaillère à vapeur et électriques.

Locomotives à vapeur		Locomotives électriques	
Désignation des lignes	Poids par cheval	Désignation des lignes	Poids par cheval
Langres	97 kg.	Mont Salève (1) (voiture automobile)	100 kg.
Arth-Rigi	103	Barmen	75
Viège-Zermatt	118	Vésuve	65
Saint-Gall-Gais	125	Gornergrat	58
Hoellenthal	136	Jungfrau	56
Diacophio-Kalavrita	156		

Il résulte de ces chiffres, que les locomotives électriques, à puissance égale, ne pèsent pas la moitié des locomotives à vapeur ; c'est un avantage incontestable à l'actif de la traction électrique, et d'autant plus important que le profil de la ligne est plus raide, comme nous l'avons indiqué au § 2 de l'introduction.

(1) Le poids élevé du moteur du Mont Salève peut surprendre si l'on ne tient pas compte de ce qu'il s'agit de la première application de la traction électrique en crémaillère.

93. Restriction de l'emploi de la crémaillère du fait de la traction électrique. — Il résulte de ce que nous venons de voir que la traction électrique permettra, par sa plus grande légèreté spécifique et par la meilleure utilisation de l'adhérence, conséquence de l'uniformité du couple moteur, d'aborder des rampes plus raides sans crémaillère, et, en crémaillère, d'obtenir un effet utile supérieur au point de vue de la charge remorquée.

L'expérience a pleinement consacré ces prévisions. Alors que les locomotives à vapeur n'abordent guère par simple adhérence des rampes supérieures à 50 millimètres, on voit des exemples courants de lignes à adhérence à traction électrique, comportant des rampes de 90, 100 et même 120 millimètres. Citons en particulier, parmi ces dernières, la ligne du Fayet à Chamonix, comportant des pentes de 90 millimètres ; le tramway de Longemer à Retournemer, avec déclivités de 95 millimètres ; celui du cimetière monumental, à Rouen, comportant une pente de plus de 100 millimètres sur près de 500 mètres ; et, enfin, les tramways de Laon et de Boulogne, avec déclivités de 129 et 122 millimètres.

Il est vrai que l'absence de la crémaillère a pour inconvénient de diminuer la sécurité à la descente ; aux tramways de Boulogne en particulier la pente de 122 millimètres est descendue avec un frein à patin et l'on a même dû prévoir un dispositif permettant l'arrêt des voitures sur la pente, dans le cas où le courant viendrait subitement à faire défaut au cours de la montée. Nous n'avons pas connaissance d'incidents résultant de cette disposition ; toutefois, il est clair que les tramways de Boulogne et de Laon sont des cas limites et que la sûreté de la crémaillère à la descente est un avantage considérable qui doit entrer en ligne de compte très sérieusement en forte pente. A notre avis, dans les déclivités supérieures à 100 m/m, il est toujours prudent, surtout s'il s'agit de déclivités un peu longues, d'employer la crémaillère pour la descente, ou tout au moins de l'avoir à sa disposition.

C'est du reste la solution qui a été adoptée à Laon, où l'on ne fait pas usage de la crémaillère à la montée ; mais où elle est toujours utilisée à la descente.

C'est d'ailleurs la pratique qui a démontré l'inutilité de l'emploi de la crémaillère à la montée au tramway de Laon et les voitures avaient été construites à l'origine de telle sorte que les moteurs actionnaient une roue à crémaillère par l'intermédiaire d'une chaîne sans fin ; cette chaîne sans fin a été supprimée et la traction se fait actuellement par adhérence. Après avoir été tenté d'attribuer ces résultats à une augmentation du coefficient d'adhérence résultant de l'aimantation du rail, force a été de reconnaître que, si l'on pouvait s'approcher autant de la limite d'adhérence, cela tenait simplement à la constance du couple moteur des dynamos-motrices.

91. Voitures et wagons. — *Divers types employés. — Nécessité de la réduction du poids mort. — Exemples. — Matériel américain. — Matériel ordinaire. — Voiture automobile du Mont-Pilate.* — Une des conditions les plus importantes que l'on doive chercher à réaliser pour les voitures destinées à ces lignes en forte pente, c'est la réduction du poids mort.

Voitures du Rigi et de Rorschach-Heiden. — Le Rigi, où tout a été si bien étudié, nous offre encore un exemple utile à ce sujet. Le poids par place occupée y est en effet très faible ; le tableau de la page suivante indique quelques données à cet égard pour diverses lignes.

Comme on le voit, la voiture ouverte de Vitznau-Rigi est de beaucoup la plus légère ; il est juste d'ajouter que la largeur de voie adoptée (1 m. 435) permet une grande légèreté, eu égard au nombre des places offertes.

La fig. 123 montre les vues de la voiture du Rigi ; construite en vue de l'exploitation d'été, elle comporte 9 bancs de dix places, placés perpendiculairement à l'axe de la voie. Ces bancs sont en lattes avec dossier. La voiture est complètement ouverte ; elle est protégée par un toit et par deux verrières, formant panneau à l'avant et à l'arrière de la voiture.

Des jalousies ou des rideaux de cuir peuvent protéger les voyageurs sur les côtés.

La distance d'axe en axe des essieux est de 4 m. 20.

La caisse a 8 m. 72 de longueur, la largeur est de 3 mètres.

Outre les dix grandes voitures de ce type il y en a deux plus

Matériel roulant

POIDS DES VOITURES PAR PLACE OFFERTE

DÉSIGNATION des lignes	Largeur de la voie	Tare à vide	Nombre de places	Poids mort par place	NATURE de la voiture	OBSERVATIONS
Vitznau-Rigi	1 ^m 435	3.990	54	kg. 74	ouverte	voiture à deux essieux, entrées latérales.
Aeth-Rigi	1 435	4.500	42	407	avec compartiment à bagages	Id.
Rorschach-Heiden	1 435	6.000	34	376	fermée	Id.
Id.	1 435	4.000	46	88	ouverte	Id.
Pilate	0 800	5.700	32	178	ouverte, automobile	voiture portée sur bogies.
Viège-Zermatt	1 000	7.000	48	448	fermée	voiture à bogies avec couloir cen- tral, 2 ^e classe.
Id.	1 000	6.000	56	407	ouverte	voiture à bogies avec couloir cen- tral, 3 ^e classe.
Langres	1 000	4.300	30	443	fermée	voiture à deux essieux.
Id.	1 000	4.300	19	226	fermée avec compartim. à bagages	voiture à deux essieux, 4 places 1 ^{re} classe, 15 places 3 ^e classe.
Id.	1 000	3.900	38	402	ouverte	voiture à deux essieux.
Brünig	1 000	7.800	40	195	fermée	
Wengernalp	1 000	4.900	48	402	fermée	
Ungfrau	1 000	4.300	40	407,5	fermée	voiture à couloir central, portée par 3 essieux, dont l'un mobile.
Gornergrat	1 000	6.200	60	405,3	fermée	
		3.400	50	62	ouverte	

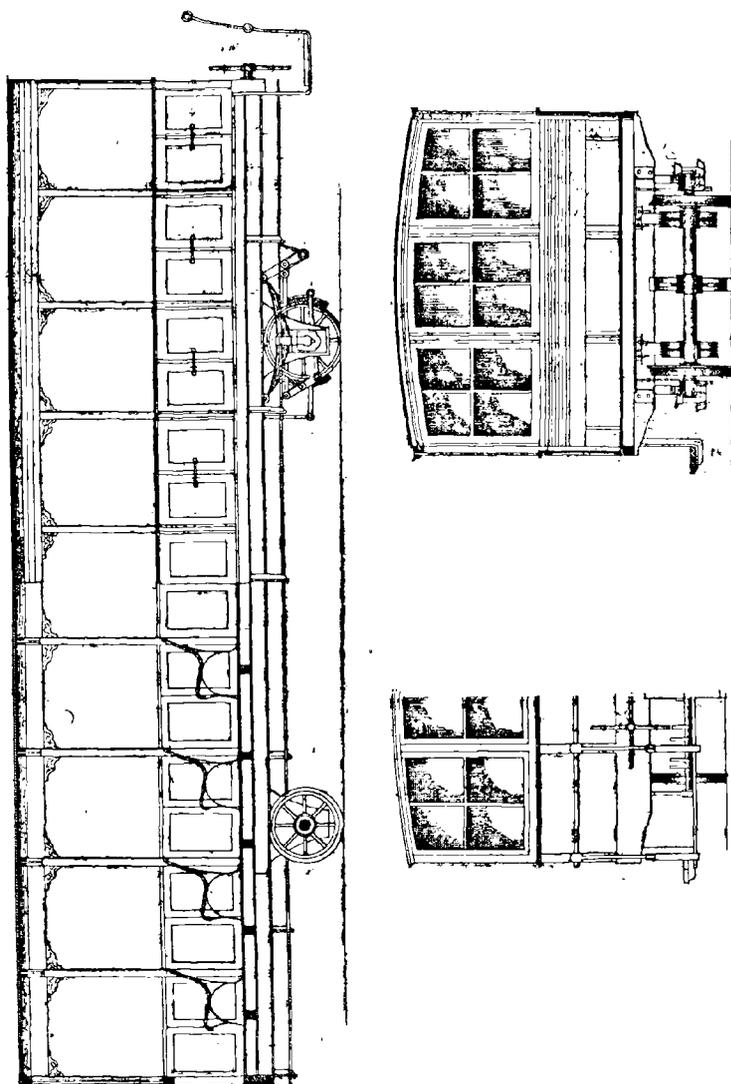


Fig. 123. — Voiture du Rigé.

petites à trente places, pesant 88, kg. par place offerte, soit 2.640 kg. à vide.

Les voitures de l'Arth-Rigi sont analogues. Seulement les machines ne comportant pas, comme à Vitznau, d'espace réservé pour les bagages, on a dû ménager dans ces voitures un compartiment à bagages, ce qui les alourdit.

Les voitures ouvertes de Rorschach-Heiden sont tout à fait semblables à celles du Rigi ; mais, en vue de l'exploitation d'hiver, on a aussi sur cette ligne quelques voitures fermées.

Voitures de Langres. — Au chemin de Langres à Langres-Marne, les voitures sont plus lourdes, elles ont 5 m. 85 de longueur totale et sont portées par deux essieux distants de 2 m. 20 d'axe en axe.

La plus grande largeur de la caisse est de 2 m. 40 et la plus grande saillie en dehors des marchepieds est de 2 m. 75.

Le matériel comprend trois voitures d'hiver fermées, pesant 4.300 kg., et deux voitures ouvertes avec tenture et rideaux de cuir, pesant 3.900 kg.

Voici le prix de revient de ces voitures :

Voitures fermées	{	Type n° 1 à 30 places, 3 compartiments de 2 ^e cl..	6.250 fr.
		Type n° 2, 1 compartiment de 1 ^{re} classe et 1 compartiment à bagages	6.850
		Type n° 3, 1 compartiment et demi de 1 ^{re} classe et un demi compartiment de 2 ^e classe.	7.000
Voitures ouvertes	{	Type n° 4, 38 places de 2 ^e classe.	7.000
		Type n° 5, 4 places de 1 ^{re} classe, 20 de 2 ^e classe et 1 compartiment à bagages.	7.000

Pour le matériel rigide, il importe de ne pas dépasser, même avec la voie de 1 mètre, une distance de 3 mètres d'axe en axe des essieux de la voiture, si l'on veut se réserver la possibilité de passer sans inconvénient dans des courbes de 100 mètres de rayon. Encore faudra-t-il dans ce cas ménager un jeu suffisant entre les parois des boîtes à graisse et les plaques de garde du véhicule.

Pour pouvoir faire passer plus facilement les voitures dans les courbes de 60 m., on a, à Langres, claveté seulement l'une des deux roues sur l'essieu. L'autre roue tourne librement comme la roue d'une voiture ordinaire.

Voiture de la Jungfrau. — Les voitures accouplées à la locomotive, semblables à celles du Gornergrat, présentent cette particularité que leur châssis se termine à l'avant par un brancard qui vient reposer vers le milieu de la longueur de la locomotive, comme l'indiquent le plan et la coupe de la fig. 124. A l'arrière, le châssis de la voiture repose sur deux essieux à bogie ; la locomotive ainsi chargée, sa tendance au soulèvement se trouve diminuée d'autant, et l'engrènement, de la roue motrice est bien assuré. La voiture comporte quatre compartiments de 10 places chacun, avec portières latérales. A l'arrière, se trouve une plate-forme de manœuvre d'où le conducteur peut actionner le frein de la locomotive, car il est à remarquer que, par crainte d'une tendance au soulèvement, aucun dispositif de freinage n'a été prévu sur les voitures.

Pour éviter le refroidissement à l'intérieur des voitures, elles sont munies de doubles fenêtres.

Les voitures de remorque comprennent également 4 compartiments de 10 places ; elles présentent cette particularité qu'en cas de danger, le conducteur peut, de sa place, les détacher de la voiture accouplée à la locomotive.

Matériel américain porté sur bogies. — Nous citerons, comme types de voitures sur bogies, les voitures de la ligne de Viège à Zermatt.

Ces voitures comportent un couloir central ; l'entrée se fait en bout par des plates-formes avec escaliers.

Il y a des voitures de 2^e et 3^e classe ; voici leurs principales dimensions :

Caisse	{	Longueur totale	10 m.	50
		Largeur extérieure	2	60
		Largeur maxima à la toiture	2	68
		Hauteur maxima au dessus du rail	3	155
Châssis en fer	{	Flèche de la toiture	0	24
		Longueur entre tampons	12	90
		Longueur du châssis	12	00
Bogies	{	Largeur intérieure entre longerons	1	60
		Ecartement d'axe en axe des bogies	8	00
		Entre-axes des essieux	1	40

Élévation et Coupe longitudinale,

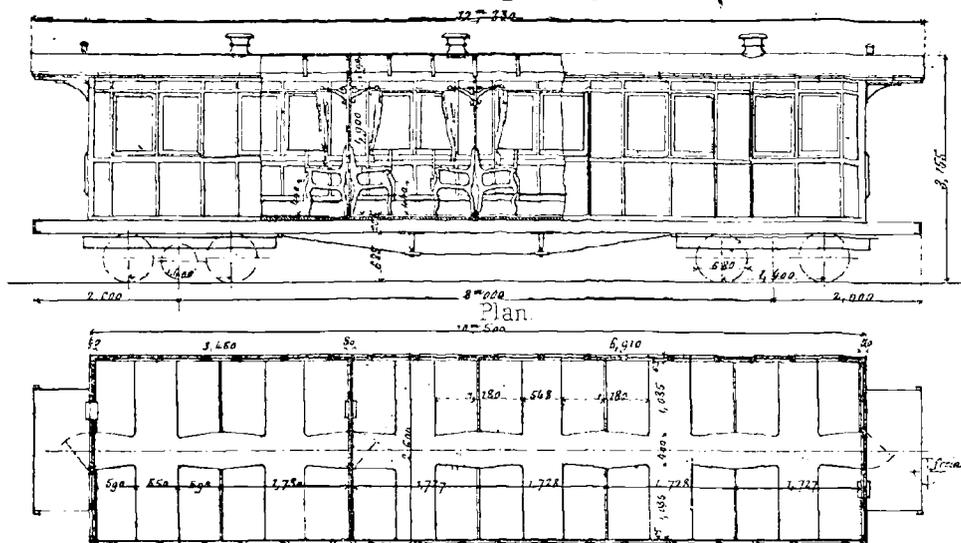


Fig. 125. — Ligne de Viège à Zermatt. — Voiture à voyageurs.

Le tableau ci-dessous résume les principales données de ces voitures :

Types	Nombre de voitures	Classe	Nombre de places	Poids à vide	OBSERVATIONS
1	2	II	48	7.000k	avec compartiments pour les bagages et la poste. voiture ouverte.
2	2	II III	24 32 } 56	7.800	
3	3	II	46	8.000	
4	4	III	56	7.500	
5	2	III	56	6.000	

Cette forme de voiture est évidemment très avantageuse ; mais il convient de remarquer que la largeur de 2 m. 60 n'est pas autorisée en France pour les véhicules destinés à la voie

de 1 mètre, cette largeur maxima étant fixée à 2 m. 50 par le cahier des charges type approuvé par décret du 6 août 1881.

Citons aussi les voitures fermées à couloir central de la ligne du Brünig. Ces voitures, portées par trois essieux, pèsent de 7 tonnes à 7 t. 8 à vide, suivant les types, et peuvent contenir de 24 à 40 voyageurs. Ces voitures sont extrêmement confortables et bien aménagées.

Les sièges sont formés par des châssis en bois sur lesquels on a fixé un cannage de rotins.

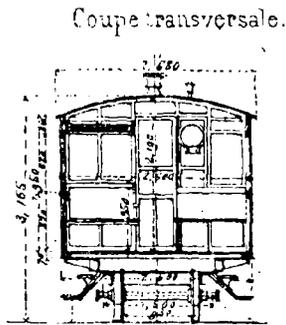


Fig. 126. — Ligne de Viège à Zermatt. — Voiture à voyageurs.

La fig. 125 montre la coupe longitudinale et le plan d'une voiture de 2^e classe de la ligne de Viège à Zermatt, comptant 48 places; la figure 126 indique la coupe d'une voiture de 2^e classe. Si l'on voulait adopter ces types en France, il y aurait à réduire de 0 m. 10 la largeur des caisses.

Il convient de remarquer que le matériel adopté à Langres, matériel rigide, est aussi léger par rapport au poids utile que le matériel américain de la ligne de Viège à Zermatt (Voir le tableau page 286).

Les figures 127 à 130, que nous empruntons à *l'Engineering* du 27 février 1891, indiquent les principales dispositions d'une voiture du chemin du Høellenthal, qui est à voie normale.

Ces voitures contiennent de 32 à 45 places suivant qu'il s'agit de compartiments de 2^e ou de 3^e classe.

Le matériel est rigide et l'écartement des essieux est de 4 m. 25.

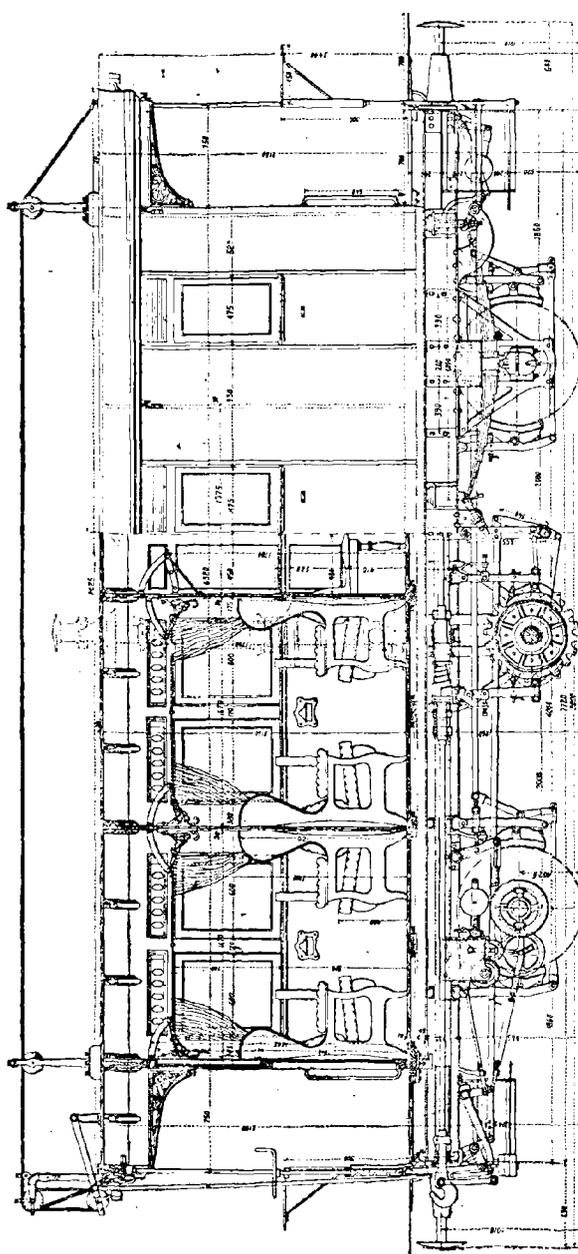


Fig. 127. — Chemin de fer du Hoellenthal. — Voiture à voyageurs. — Coupe et élévation longitudinales.

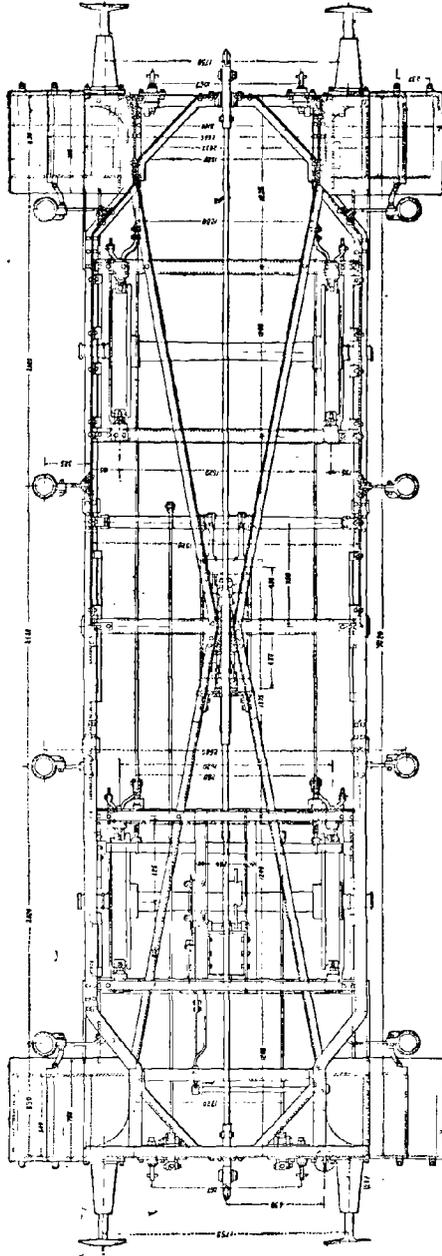


Fig. 428. — Chemin de fer du Hœlenthal. — Voiture à voyageurs. — Plan.

Chemin de fer du Hœllenthal. Voiture à voyageurs.

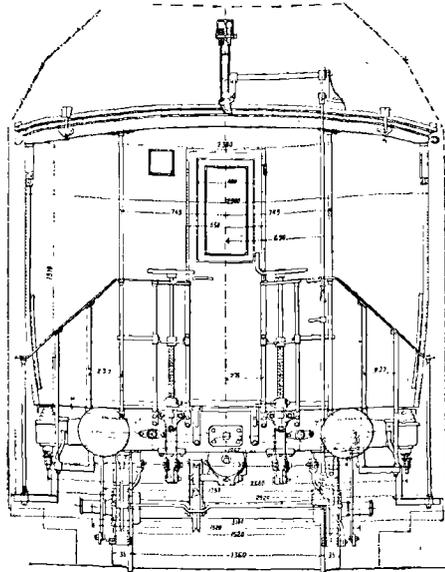


Fig. 129. — Vue par bout.

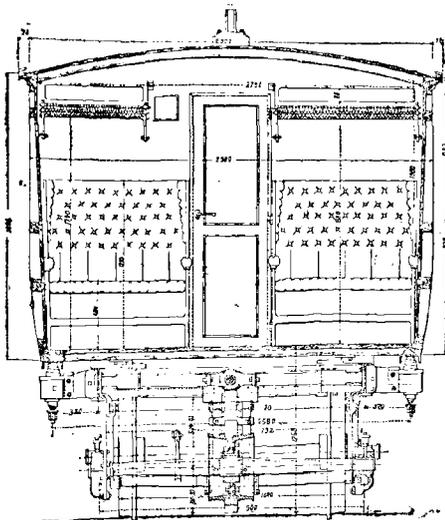


Fig. 130. — Coupe transversale.

Quand il faut réduire le poids mort aux dernières limites, le trafic étant restreint, il y a lieu d'employer la voiture automobile. C'est ce que l'on a fait au Pilate. Nous avons déjà parlé de ces voitures au n° 71 en décrivant la machine.

Comme on l'a vu, un châssis porté par deux poutres distantes de 0 m. 720, reposant sur deux essieux distants de 6 m. 10, supporte à la fois la machine et la voiture. Cette dernière, située à l'avant du châssis, comporte quatre compartiments de huit places et une plate-forme de manœuvre. Les planchers des compartiments et les sièges sont disposés en gradins, de façon que le voyageur ait un siège horizontal pour la pente moyenne. La voiture est ouverte latéralement comme le montre la fig. 131. Des rideaux permettent de se garantir latéralement de la pluie et du vent.

Le véhicule en charge, avec trente-deux voyageurs, trois employés et la machine approvisionnée, pèse 10.500 kg.

Nous avons expliqué au n° 71 comment la stabilité de la voiture est assurée.

Wagons. — Les wagons destinés au transport des marchandises n'offrent pas sur les lignes à crémaillère de dispositions bien spéciales. Les besoins sont les mêmes que sur une ligne ordinaire, à l'exception des freins sur lesquels nous insistons un peu plus loin.

La figure 132 indique le type de wagon découvert adopté sur la ligne de Viège-Zermatt à voie de 1 mètre (matériel américain). Les wagons à marchandises du chemin du Hoellenthal sont indiqués par les figures 133 et 134. On remarquera que ces wagons sont munis de deux roues dentées, portant chacune des poulies et un frein à friction. La raison en est que, les wagons ordinaires des autres Compagnies circulant sur la ligne du Hoellenthal, ces wagons spéciaux doivent retener à la descente de lourdes charges et surtout pouvoir, étant placés en queue d'un train, s'opposer à une dérive possible en cas de rupture des attelages.

Chacun des essieux est en outre muni de freins à sabot.

95. Freins et organes de sécurité du matériel roulant. — Les freins ont une importance capitale sur les lignes

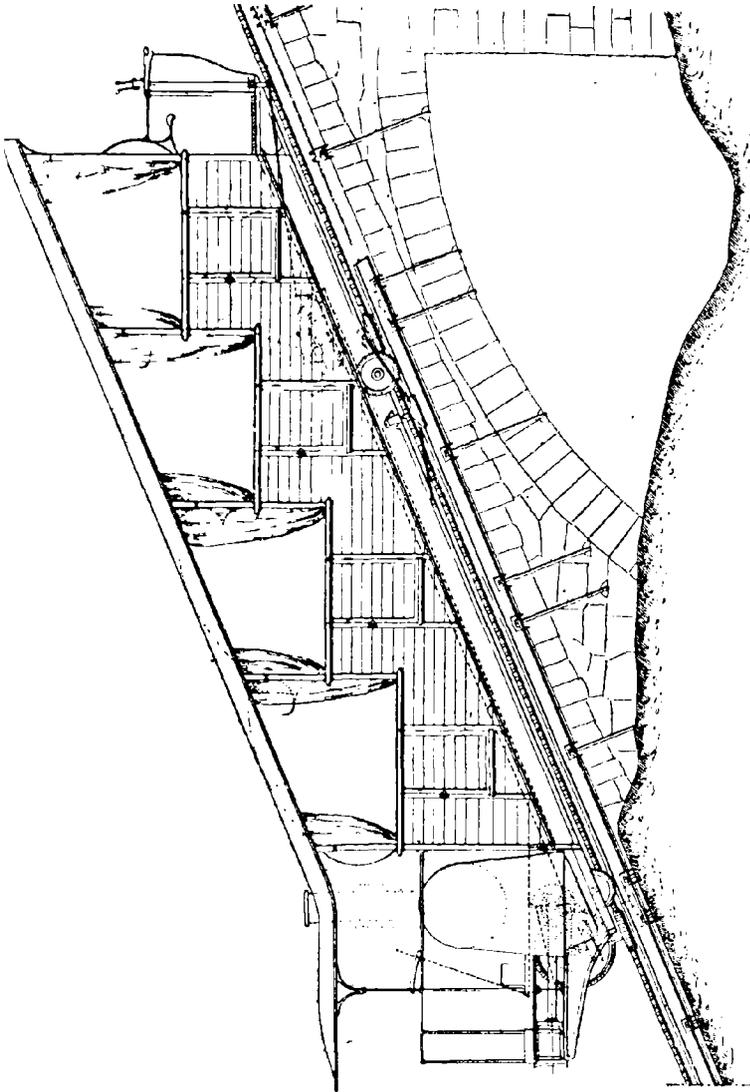


Fig. 434. — Voiture automobile du Mont-Pilate.

Elevation et coupe longitudinale des wagons plateforme.

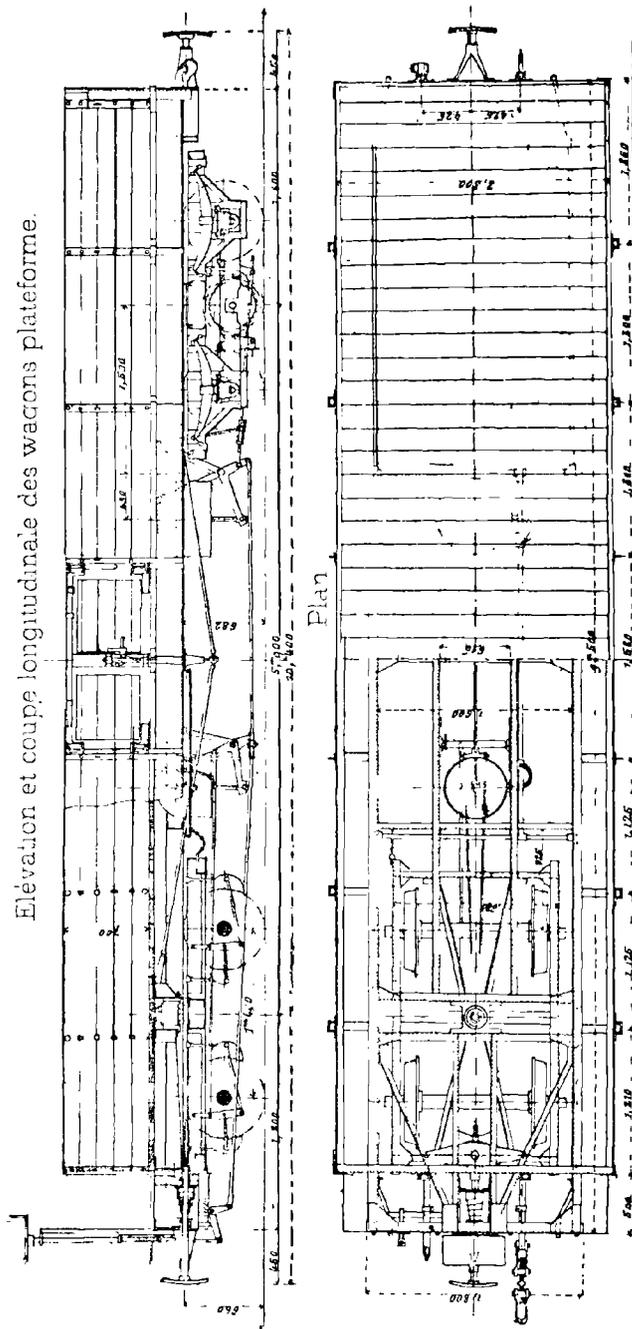


Fig. 132. — Ligne de Viège à Zermatt.

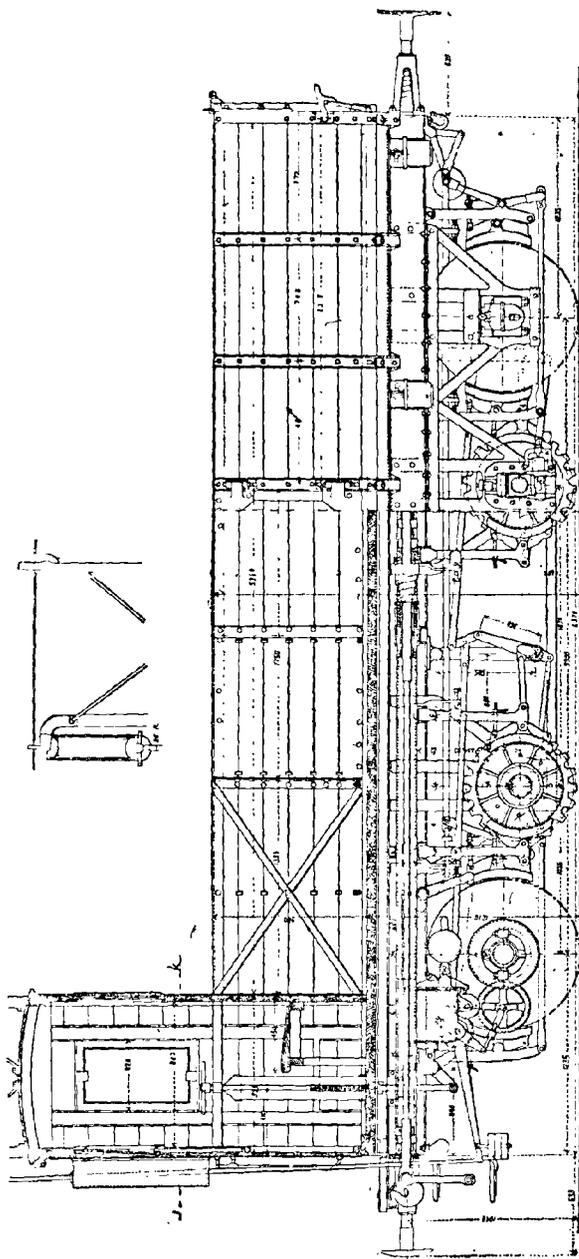


Fig. 433. — Chemin de fer du Hœllenthal. — Wagon à marchandises.

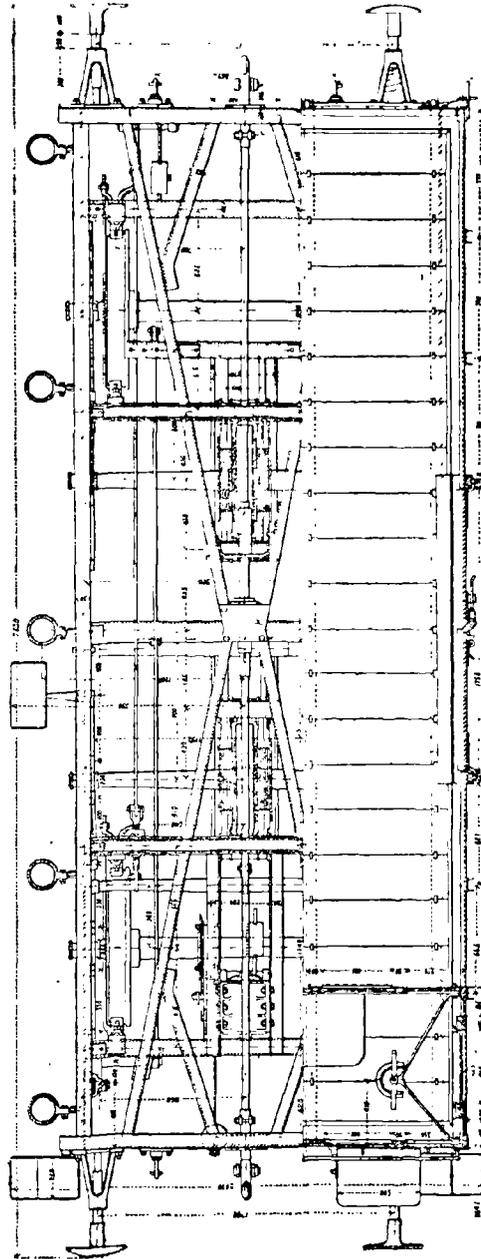


Fig. 434. — Chemin de fer du Hoëllenthal. — Wagon à marchandises. — Plan.

à crémaillère ; mais les principes fondamentaux de l'exploitation de la ligne font varier dans chaque cas leur disposition et la façon de les manœuvrer.

Sur les lignes à très fortes pentes, comme au Mont-Pilat, au Rigi, etc., chaque véhicule doit pouvoir s'arrêter de lui-même, par lui-même, sur la pente la plus raide, sans le secours de la machine. Cette condition assure à l'exploitation une sécurité absolue. Par contre, elle impose soit un garde-frein par chaque voiture, soit un frein continu automatique agissant de lui-même en cas de rupture d'attelage.

Si les pentes de la ligne sont moins fortes et les véhicules d'un train plus nombreux, on peut admettre dans un train des voitures ne comportant pas de freins (Chemins du Harz, du Hoellenthal).

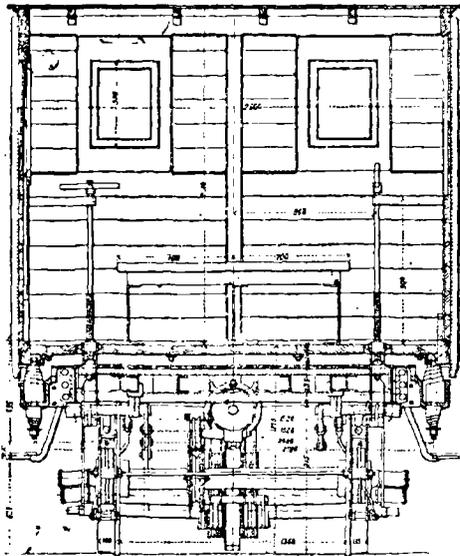


Fig. 135.

Chemin de fer du Hoellenthal. — Wagon à marchandises, vue par bout.

Sur les lignes à crémaillère à fortes pentes, tous les véhicules sont munis d'un frein de friction agissant sur une roue dentée qui engrène avec la crémaillère.

Les fig. 127, 133, 134, 135, indiquant les dispositions des voitures et wagons du Hoellenthal, montrent les poulies

de friction fixées de part et d'autre de la roue dentée et les leviers de manœuvre.

Au Rigi, à Langres et en général quand le train ne comporte qu'une ou deux voitures, la manœuvre du frein se fait à la main. Quand le train comporte plusieurs voitures ou wagons (Brünig, Viège-Zermatt, Hoellenthal, etc., etc.) on emploie un frein automatique continu.

A Viège-Zermatt, on emploie le frein continu à vide, système Hardy Smith ; ce frein est automatique, c'est-à-dire qu'il se serre de lui-même en cas de rupture d'attelage.

Au Brünig, on emploie le frein à vapeur Klose.

Ce frein tend toujours à être serré par de forts ressorts qui pressent sur les sabots de friction ; l'action de la vapeur sur de petits cylindres tend à opérer le desserrage. Quand on lâche la vapeur de la conduite, les ressorts agissent sur les sabots et le serrage se produit. Cette conduite de vapeur sert aussi en hiver au chauffage des voitures. Au Hoellenthal, on a employé un frein analogue au frein Héberlin, essayé vers 1878 au chemin de fer d'Orléans et abandonné maintenant sur ce réseau : c'est le frein Schmidt. Le principe de ce frein est le suivant :

Une corde de manœuvre dont l'extrémité aboutit à portée du mécanicien va d'un bout à l'autre du train. Tant que la corde est tendue, les freins sont desserrés. Dès que la corde est lâche, les freins se serrent sous l'action d'un tambour de friction actionné par l'un des essieux du véhicule. Les figures 127, 133 et 134 indiquent l'ensemble de ce frein.

Le véhicule est muni de freins à sabot ordinaires et d'un frein à friction agissant sur une roue dentée.

Chacun de ces deux systèmes de frein a une commande à main distincte, dont on voit la manivelle et le volant sur la plate-forme de manœuvre, fig. 129. Mais le frein à crémaillère est toujours manœuvré à la main.

La roue dentée est calée sur un essieu spécial ; à cause du grand écartement des essieux porteurs (4 m. 25), on a dû renoncer à faire porter l'axe de la roue dentée par un châssis s'appuyant sur les essieux ; il a fallu faire supporter cet axe directement par le châssis. Mais, pour que l'engrènement de la roue soit toujours le même, il a fallu soustraire le châssis

à l'action des ressorts de suspension. La fig. 136 indique la disposition employée.

Actuellement le frein Westinghouse a remplacé le frein Schmidt au Hoellenthal.

La caisse de la voiture porte sur le châssis par l'intermédiaire de ressorts à spirales qui servent seuls, en marche normale, à adoucir l'effet des inégalités de la voie (voir fig. 130). Il y a bien, cependant, des ressorts de suspension ; mais ils sont pour ainsi dire annulés, en temps ordinaire, par une sorte de cale fixée entre le dessous du châssis et le dessus de la boîte à graisse. Ces ressorts n'entrent en jeu qu'au cas où, la voiture portant seulement sur trois roues, la quatrième tendrait à quitter le rail. Dans ce cas, le ressort de cette dernière roue tend à la presser contre le rail de façon à empêcher tout déraillement pouvant résulter d'un soulèvement.

Les rampes, au chemin du Hoellenthal, ne dépassant pas 55 millimètres, la moitié des véhicules d'un train est seule munie de freins.

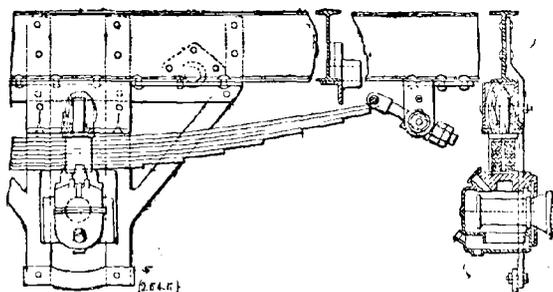


Fig. 136.

Le principal trafic du chemin du Hoellenthal étant le transport des bois de la Forêt Noire, on dut compter sur la présence constante, dans les trains, de wagons accouplés supportant de longues pièces de bois. Il n'eût pas été prudent de songer à faire refouler un semblable train ; aussi, au Hoellenthal, la machine est-elle toujours en tête.

(1) Actuellement les trains sont remorqués en tête par une machine à adhérence et poussés en queue par une machine à crémaillère entre Hirschprung et Hintezarten.

Pour éviter les dangers de trains en dérive, par suite d'une rupture d'attelage, on a soin de placer toujours en queue du train un véhicule à frein, de telle sorte qu'en cas de rupture d'attelage, la corde du frein Smith se cassant aussi, les freins se serrent immédiatement.

Le poids du train, non compris la machine, atteint 100 tonnes ; on a constaté par des expériences que, sur les rampes de 55 millimètres, deux roues dentées étaient suffisantes pour arrêter un train en cas de rupture d'attelage.

A Viège-Zermatt, la machine est également toujours en tête du train. On y a adopté un frein continu automatique à vide système Hardy-Smith. Ce frein agit aussi bien sur les sabots du frein ordinaire que sur le frein à crémaillère.

Tous les véhicules sont munis des deux systèmes de freins, et ces freins peuvent être actionnés à la main, par des vis placées sur les plates-formes.

En cas de rupture d'attelage les freins se serrent d'eux-mêmes.

Le poids du train peut atteindre 50 tonnes.

Les figures 132 indiquent la disposition des freins sur les véhicules de la ligne de Viège-Zermatt.

On voit que le frein à sabot est appliqué aux deux essieux formant bogie à une extrémité de la voiture. Le frein à crémaillère est monté sur le bogie de l'autre extrémité. L'essieu de la roue dentée est porté par deux châssis spéciaux s'appuyant directement sur les boîtes à graisse, sans l'interposition des ressorts, pour assurer la constance de l'engrènement.

Pour la ligne du Harz, allant de Blankenbourg à Tanne, on a pris un autre parti : la locomotive refoule le train à la montée des sections à crémaillère et le retient à la descente. Les véhicules ne sont pas munis de freins à crémaillère, le matériel ordinaire des chemins de fer circule sur la ligne, bien que les déclivités atteignent 60 millimètres. Il en résulte une grande facilité pour l'exploitation.

Ainsi que nous l'avons dit, quand le train ne comporte qu'une ou deux voitures, la manœuvre du frein se fait à la main.

A Langres, par exemple, le garde-frein placé sur chaque voiture manœuvre le frein de telle sorte qu'à la descente la voiture pousse le moins possible sur la machine sans se faire traîner par les chaînes d'attelage. Pour éviter des démarrages difficiles à la descente de la pente de 30 m/m, il faut faire les attelages, à l'inverse du Rigi où les voitures et la machine ne sont jamais attelées.

Le système du Rigi offre évidemment plus de sécurité, car, en cas de déraillement ou d'avarie de la machine, les véhicules peuvent s'arrêter d'eux-mêmes, tandis que, si les chaînes d'attelage sont mises, la machine risque d'entraîner les voitures qui la suivent.

Au Mont Pilate, où la pente est exceptionnellement forte (480 mm.), on a cru devoir munir la voiture automobile d'un frein automatique d'un genre particulier. Ce frein, actionné par un régulateur à force centrifuge, entre en fonction dès que la vitesse du véhicule dépasse 1 m. 30 par seconde ; à ce moment un ressort agit sur le frein de la crémaillère. Cette commande automatique est du reste tout à fait indépendante de la commande à la main.

La description de ce frein sortirait du cadre de cet ouvrage ; on la trouvera, très détaillée, dans la « *Revue technique de l'Exposition universelle de 1889* », juillet 1890, n° 16, page 162.

Au Mont Pilate, la rapidité des manœuvres étant indispensable à la sécurité, les freins sont actionnés non par des volants ou des crémaillères, mais par des leviers permettant une action plus rapide.

Nous ne reviendrons pas ici sur la description des freins électriques que nous avons donnée à propos de diverses lignes à traction électrique, en particulier à propos des lignes du Gornergrat, de la Jungfrau et du tramway de Barmen.

Outre les freins, nous rappelons que, sur les lignes de montagne exposées aux ouragans, il est utile de songer à parer à l'effet du vent qui tend à renverser les véhicules.

Cet effet est à craindre surtout au Rigi et au Mont Pilate. On y a paré, au Rigi, en munissant la voiture de sortes de

griffes en fer qui courent sous l'aile supérieure des fers \sqsubset de la crémaillère. Si la voiture se soulève, la griffe est arrêtée par la plate-bande horizontale du fer \sqsubset et elle maintient la voiture en place.

Au Mont Pilate, où le danger est encore plus grand qu'au Rigi, tant à cause de la situation que par suite de la faible largeur de la voie, on a adopté une disposition un peu différente.

On a placé vers l'avant de la voiture des sortes de longs sabots qui embrassent le dessous de la tête du rail et qui, en temps ordinaire, frottent peu ou point. Mais, si la voiture tend à se soulever, le sabot s'applique contre le dessous de la tête du rail et s'oppose à toute tendance au renversement.

Nous avons décrit à propos du chemin de la Jungfrau un dispositif du même genre, applicable avec la crémaillère Strub.

§ 5

96. Dépenses de premier établissement. — Le tableau suivant résume la totalité des dépenses de premier établissement de diverses lignes à crémaillère.

DÉSIGNATION des lignes	Longueur en kilom.	Dépenses totales	Dépenses par kilomètre	Largeur de voie	OBSERVATIONS
Vitznau-Rigi . . .	6,984	2.283.204	416.685	1,435	y compris 2 kil. de ligne de plaine et la double voie entre le Kulm et Staffelbohe.
Arth-Rigi.	8,900	6.139.401	689.820	1,435	
Mont Pilate.	4,3	2.402.844	559.469	0,80	
Marienhütte (Gölnitz)	4,568	662.500	145.030	1,00	ligne industrielle ouverte seulement aux marchandises.
Langres	1,472	497.932	338.000	1,00	
Harz.	27,5	4.968.637	180.700	1,435	
Hœllenthal	34,750	7.800.000	225.000	1,435	
Viège-Zermatt. . .	35,500	5.300.000	152.639	1,00	

§ 5. — DÉPENSES DE PREMIER ÉTABLISSEMENT 307

DÉSIGNATION des lignes	Long- ueur en kilom.	Dépenses totales	Depense par kilomètre	Lar- geur de voie	OBSERVATIONS
Friederichsseggen à la Lahn	2,550	223.750	87.700	4,00	ligne industrielle des- tinée seulement au transport des mine- rais.
Brünig.	58	8.400.000	144.827	4,00	
Saint-Gall-Gais	14	1.926.774	137.627	4,000	l'infrastructure de la partie montagneuse a coûté environ 80.000 fr. par kil. 12 k., 5 de voie sont posés sur accotement
Oberland.	23,440	3.197.847	136.426	1,00	
Wengernalp.	17,912	4.001.790	223.414	4,00	
Gornergrat	9,2	3.104.191	337.412	4,00	traction électrique
Brunnen-Morschach	2,050	891.720	434.980	4,00	traction électrique

Nous complétons ce tableau par le détail des dépenses pour quelques lignes.

Voici, par exemple le détail des dépenses faites pour la construction du chemin à crémaillère de Langres-Marne à Langres.

Frais généraux	17.541 fr. 48
Terrains	82.887 36
Terrassements	24.208 69
Ouvrages d'art	78.736 78
Bâtiments	43.377 29
Voies et accessoires	92.126 57
Locomotives	97.100 »
Voitures	33.750 »
Mobiliers et divers	15.520 16
Total	487.268 33

Le détail des dépenses de premier établissement du chemin de fer de Blankenbourg à Tanne, au 31 décembre 1889, est le suivant :

308 CHAP. III.—LOCOMOTIVES DES CHEMINS A CRÉMAILLÈRE

(Sommes exprimées en marcs).

Terrains	166.278	M 06
Terrassements	699.582	55
Haies et clôtures (non compris celles des stations)	7.027	82
Ouvrages d'art	212.134	97
Tunnels	211.484	33
Matériel de la voie	1.060.879	15
Bâtiments	346.654	39
Matériel roulant	802.550	52
Frais généraux, d'administration, et divers	196.031	»
Intérêts pendant la construction	272.287	04
Total.	<u>3.974.909</u>	<u>M 85</u>

Le marc valant 1 fr. 25, ce total correspond en francs à la somme de 4.968.637 fr. 30, soit 180.700 francs par kilomètre.

Au St-Gall-Gais les dépenses de premier établissement, au 1^{er} janvier 1891, se décomposaient ainsi :

Frais généraux	70.702 fr.
Terrains	245.852
Infrastructure	443.818
Superstructure	516.669
Bâtiments	180.255
Matériel roulant	430.623
Divers	38.855
Total.	<u>1.926.774 fr.</u>

soit environ 137.627 francs par kilomètre.

Des travaux supplémentaires ont porté la dépense totale à 143.000 francs par kilomètre.

Les frais de premier établissement du chemin de fer électrique de Brunnen-Morschach, dont la longueur est de 2.050 mètres, se décomposaient ainsi en 1905, peu après l'achèvement de la ligne.

§ 5. — DÉPENSES DE PREMIER ÉTABLISSEMENT 309

Frais d'organisation et de direction :

	Francs	Francs
	—	—
Traitements, salaires, frais de voyage	44.452 15	
Frais de bureau.	1.541 30	
Mobiliers, instruments.	1.073 05	
Entretien, chauffage et éclairage des bureaux	1.746 59	
Frais généraux de procédure	175 55	
Divers.	2.423 10	51.411 74
Intérêts du capital pendant la construction	31.954 18	31.954 18
Frais d'expropriation	35.477 27	35.477 27

Construction :

Infrastructure	420.666 84	
Ouvrages d'art	100.279 15	
Superstructure	48.053 36	
Ligne électrique.	28.701 94	
Signaux, clôtures, divers.	9.232 30	606.933 59
Transformateurs et appareils électriques.	9.086 40	9.086 40

Matériel roulant :

Locomotives électriques	106.308 13	
Voitures à voyageurs	36.948 95	
Fourgons et wagons	8.068 45	151.325 55
Mobilier et outillage	5.530 90	5.530 90
Total.		<u>891.719 63</u>

Ce qui correspond à une dépense de 434.980 francs par kilomètre.

Pour le Gornergrat et la Jungfrau, les dépenses d'établissement se décomposent ainsi :

310 CHAP. III.—LOCOMOTIVES DES CHEMINS A CRÉMAILLÈRE

	Gornergrat	Jungfrau
Organisation et direction des travaux.	43. 981	234. 767
Intérêt du capital de premier éta- blissement.	194. 464	461. 880
Acquisition de terrains	252 372	100. 007
Terrassements et ouvrages d'art.	1. 437. 483	1. 725. 576
Voie et crémaillère.	524. 200	299. 253
Ligne électrique	110. 118	200. 045
Bâtiments, installations électri- ques et hydrauliques	530. 736	1. 202. 341
Télégraphe, signaux, clôtures.	10. 837	9. 078
Total	3. 104. 191	4. 232. 947

Soit 337.412 francs par kilomètre pour le Gornergrat et 962.030 pour la Jungfrau. Pour cette dernière ligne le compte est arrêté fin 1903 alors que la ligne n'était construite que jusqu'à la station d'Eigerwand.

La totalité des dépenses est du reste très variable d'une ligne à l'autre, pour une foule de raisons. On ne peut guère tirer de toutes ces données qu'une indication pour le maximum et le minimum des dépenses.

On voit qu'en écartant les chemins du Rigi et du Mont Pilate, de Brunnen-Morschach et de la Jungfrau, qui sont des exceptions, le maximum kilométrique ne dépasse guère 300.000 francs et ne s'abaisse pas d'ordinaire au-dessous de 150.000 francs.

Le relief et la nature du terrain, le genre de trafic, son intensité, la continuité de l'exploitation, la valeur des terrains, la longueur totale de la ligne, tous ces éléments changent complètement la nature de la question d'une ligne à l'autre et ne permettent guère d'assimilation.

Aussi n'avons-nous cité ces chiffres que pour fixer les idées sur les résultats actuellement obtenus.

CHAPITRE IV

EXPLOITATION

97. Entretien de la voie. Règlements. Organisation du service. — L'entretien d'une ligne à crémaillère diffère de l'entretien d'une voie ferrée ordinaire en ce que la tendance au glissement longitudinal de la voie y est très marquée et que la crémaillère exige quelques soins spéciaux.

Nous avons expliqué comment, au Rigi, on avait combattu la tendance au glissement de la voie en contrebutant une traverse, de distance en distance, par des traverses debout, fichées dans une maçonnerie.

Cette précaution est indispensable pour empêcher la voie de descendre dans le sens des pentes.

A Langres, par exemple, quelque temps après l'ouverture à l'exploitation, la voie était descendue très sensiblement, en glissant dans le sens de la pente. Ce mouvement s'était produit malgré les cours de fers \sqcup reliant les extrémités des traverses les unes aux autres. Pour arrêter le mouvement on a, comme au Rigi, placé tous les 80 mètres des massifs maçonnés contrebutant fortement une traverse de la voie.

Au Brünig, on a solidement encastré des rails dans de grands massifs de béton ; la traverse vient buter contre ces rails verticaux, placés environ tous les 100 mètres ou tous les 70 mètres, suivant les cas.

On a donc à se préoccuper de résister à la tendance au glissement et à assurer la fixité de la voie et de la crémaillère, surtout étant donné que les joints de la crémaillère ne doivent

s'ouvrir que d'une quantité très faible, sous peine de voir altérer la régularité de la division des dents de la crémaillère.

Avec la crémaillère Abt, il faut vérifier le serrage des boulons fixant la crémaillère dans les coussinets, afin d'éviter que ces boulons ne travaillent au cisaillement, ce qui est une condition fâcheuse.

Avec la crémaillère Riggenbach non surbaussée (type du Rigi), il est à craindre que des pierrailles ne viennent à tomber entre les montants de la crémaillère et, se calant entre deux dents, ne provoquent au passage de la roue dentée la rupture d'une dent ou un déraillement.

On pare à ce danger, au Rigi, en faisant précéder la machine par un homme marchant à pied.

Pour faciliter le mouvement de la roue dentée, il est indispensable de graisser les dents de la crémaillère. Cette opération ne se fait pas journallement ; sur plusieurs lignes on se contente de graisser la crémaillère une fois par semaine.

La dépense afférente à ce travail est peu importante ; au Rigi elle s'est élevée à 797 francs pour l'année 1880.

Les pièces d'entrée doivent être souvent visitées ; les dents, surtout à l'extrémité abordée par les pignons dentés de la machine, s'usent assez rapidement. Les ressorts ne fonctionnent pas toujours parfaitement. Ce sont des points de la voie qui demandent une surveillance spéciale.

Quand ces appareils sont placés dans une déclivité, les machines les abordent presque toujours avec une trop grande vitesse ; il en résulte des chocs, des avaries, l'engrènement se produit moins facilement.

Le prix d'une pièce d'entrée (type Riggenbach) est d'environ 500 francs.

Conduite des machines à crémaillère. — La conduite des machines à crémaillère, surtout de celles à deux mécanismes, est évidemment plus délicate que celle d'une locomotive ordinaire.

Le feu est généralement poussé au maximum d'intensité dans les montées, et l'on fait rendre à la machine le plus possible. À la descente, la manœuvre du frein à air comprimé

exige une attention constante. Enfin l'abord des pièces d'entrée demande toujours une certaine prudence.

Sur les lignes à forte pente, où les charges remorquées sont très faibles, la machine refoule le train à la montée et le retient à la descente.

Par précaution, le train n'est pas attelé à la locomotive, de façon que les accidents pouvant survenir à la machine n'aient pas de répercussion forcée sur les voitures. Faute d'avoir observé cette règle, l'axe moteur d'une locomotive d'Arth-Rigi s'étant rompu, le convoi, qui était un train de service, descendit avec une vitesse croissante, aucun frein n'étant servi ; il dérailla et parcourut 650 mètres hors des rails ; les véhicules furent plus ou moins brisés, le mécanicien fut tué et quelques autres personnes furent blessées.

La position du mécanicien à l'arrière du train est mauvaise au point de vue de la surveillance de la voie, mais les vitesses de marche sont très faibles, 4 kilomètres à l'heure au Mont Pilate, 6 kilomètres au Rigi, 8 kilomètres à Langres.

La vitesse est la même à la descente qu'à la montée, pour éviter toute accélération, qui deviendrait vite dangereuse sur de semblables déclivités.

Sur les lignes à pentes moins raides, où le trafic est plus intense, où les trains arrivent à atteindre des poids de 75 et 150 tonnes, on ne peut pas toujours faire refouler le train par la machine ; mais alors on a recours aux freins continus automatiques.

A la descente, le machiniste retient son train par le frein à air comprimé que nous avons décrit au n° 71.

Il dispose, pour régler son frein, de deux éléments : 1° De la quantité d'air aspiré à chaque coup de piston ;

2° De l'ouverture de l'orifice d'échappement de cet air comprimé par le piston.

Le premier élément se règle par le cran de détente, en faisant varier la longueur de course du tiroir ; le second par une valve.

Quand ces deux éléments ne sont pas convenablement combinés, on ressent à la descente des secousses, le mouvement de translation est saccadé et désagréable,

En principe, le mouvement des trains est régularisé à la descente par les freins à air de la locomotive. Les autres freins n'interviennent que pour l'arrêt ou pour parer à l'insuffisance du frein à air. Cette règle est appliquée aussi bien sur les lignes où les trains n'ont qu'un ou deux wagons, que sur les lignes admettant des trains de 150 tonnes.

Voici un extrait des règlements de la ligne de Langres (machine refoulant le train à la montée), relatif à l'abord de la pièce d'entrée. « Article 16. — Lorsque le train marchant sur
« une portion de voie sans crémaillère doit entrer sur une par-
« tie de voie à crémaillère, la vitesse de marche doit être con-
« sidérablement ralentie, la pièce d'entrée de la crémaillère ne
« doit être abordée et franchie qu'au pas et la vitesse ne peut
« être accélérée avant que le mécanicien ait acquis la certitude
« que l'engrènement s'est produit, certitude que lui donnera
« généralement le bruit caractéristique que produit la pièce
« d'entrée quand elle se relève.

« La modération de la vitesse à la descente se fait par le
« frein à air comprimé de la machine et par les freins à main des
« wagons. Les deux freins à main de la machine doivent être
« desserrés en marche normale et n'être serrés que pour les
« arrêts, en cas d'accident ou de trop forte vitesse ; ils doivent
« être considérés comme des freins d'arrêt et de secours ».

Le graissage exige aussi une certaine attention de la part du machiniste. Outre les organes ordinaires il faut graisser très souvent, pendant la marche en crémaillère, les paliers de l'arbre de la roue dentée, qui sont exposés à chauffer très facilement.

Sur les machines à deux mécanismes, la question se complique encore du graissage de chacun de ces deux mécanismes.

Aussi, sur les machines à crémaillère, la consommation d'huile est-elle très forte et le déchet atteint-il de fortes proportions.

En suivant la voie d'une ligne à crémaillère on aperçoit toujours de larges lignes noires entre les rails, les suivant parallèlement et produites par l'huile et la graisse perdues, tombant des appareils de graissage.

Sur les machines à un seul mécanisme la roue dentée motrice est toujours en mouvement ; sur les machines à deux mécanismes, il faut mettre le mécanisme denté en mouvement à l'abord des sections à crémaillère et régler la marche des deux systèmes moteurs de façon à obtenir une allure convenable, ce qui augmente le travail du machiniste.

Nous donnons ci-dessous quelques règles tirées des règlements du chemin de fer du Harz, qui fixent les idées sur ces divers points.

Sur cette ligne, la locomotive refoule le train sur les sections à crémaillère. *A la montée*, avant d'arriver au signal indiquant l'extrémité de la crémaillère, le machiniste doit admettre la vapeur dans les cylindres commandant les roues dentées de façon à les faire tourner doucement pour faciliter l'engrènement. Aussitôt l'engrènement produit, il doit augmenter l'admission pour faire agir le mécanisme denté avec toute sa puissance, en diminuant s'il est nécessaire l'action du système à adhérence.

Pendant la marche sur les sections à crémaillère, l'allure se maintient constante en faisant varier la détente dans les cylindres à adhérence, le mécanisme denté donnant constamment son maximum de travail.

Arrivé vers le signal indiquant la fin d'une section à crémaillère, le mécanicien doit fermer le régulateur du système à crémaillère, de telle façon que les roues dentées restent immobiles en sortant de la crémaillère.

Si cette précaution n'était pas prise, les dents du pignon denté viendraient choquer la tête des dents de la pièce d'entrée dont la hauteur diminue en s'éloignant de l'articulation, et, les ressorts ne pouvant agir comme pour l'entrée de la machine, des chocs en résulteraient.

A la descente, le machiniste doit fermer le régulateur du mécanisme à adhérence et laisser aller la machine, puis fermer le tuyau d'échappement et renverser ensuite la distribution en ouvrant le robinet du frein à air comprimé. Arrivé au signal indiquant le commencement d'une section à crémaillère, il doit faire marcher très légèrement les roues dentées, comme à la montée, pour faciliter l'engrènement. Aussitôt cet

engrènement obtenu, il doit fermer le régulateur du système à crémaillère, renverser la distribution du mécanisme et régler la valve du frein à air.

Comme à la montée, c'est le mécanisme du système à adhérence qui doit régler la marche, en faisant agir plus ou moins le frein à air qui le commande.

Arrivé vers la fin d'une section à crémaillère, le machiniste doit maintenir la machine avec le frein à air du système à adhérence et remettre à la marche en avant la distribution du système à crémaillère, de façon à ne plus faire agir le frein à air sur ce système avant d'aborder la pièce mobile d'entrée.

Sans cette précaution les roues dentées, tournant en sens inverse du mouvement, choqueraient contre les dents de hauteur réduite de la pièce d'entrée et pourraient les détériorer.

Au Hœllenthal, le machiniste ne met le mécanisme en action que lorsque les roues dentées sont complètement engrénées avec la crémaillère ; mais, à la sortie d'une section à crémaillère, il arrête le mécanisme de la crémaillère avant l'abord de la pièce mobile, tout comme au Harz.

Sur ces deux lignes, la vitesse des trains dans les sections à crémaillère oscille entre 9 et 10 kilomètres à l'heure. On trouvera à l'Annexe n° 5 les instructions pour le personnel du chemin de fer de Viège-Zermatt qui indiquent au mécanicien les précautions à prendre pour la conduite du mécanisme à crémaillère.

Organisation du service.

Il est impossible de donner des règles précises à cet égard : elles varient suivant les cas et sont du reste dictées par les mêmes considérations que celles qui régissent l'exploitation des lignes ordinaires. Nous devons ajouter que les accidents sur les lignes à crémaillère sont extrêmement rares ; depuis l'année 1871, on n'a eu à enregistrer que trois accidents tant sur l'Ancien Continent que sur le nouveau ; nous avons parlé des accidents survenus aux chemins de Snowdon et d'Arth-Rigi ; il faut y ajouter la rupture d'une bielle motrice d'une machine du chemin du Pikes Peak (Etats-Unis), coïncidant

avec le non-fonctionnement du frein. Les véhicules du train purent fort heureusement être détachés de la machine et arrêtés. Le personnel de la machine ayant pu sauter à terre personne ne fut blessé.

Les lignes à crémaillère sont presque toutes construites à une seule voie. Quand le trafic est peu important, une machine fait le service en navette. Si plusieurs machines doivent être en circulation, on ménage des voies de croisement dans les stations. Ces stations se placent, autant que possible, dans des portions de lignes en palier.

Une difficulté assez grande se présente, surtout pour les chemins mixtes à crémaillère exhaussée, à la traversée des passages à niveau. Quand les chemins sont très peu fréquentés, comme au Brünig, on fait des passages en planches inclinés, analogues aux P. N. des brouettes dans nos gares, mais les roues des voitures suivant la route de terre ont à franchir le vide de la crémaillère. Quand le chemin est tant soit peu fréquenté, il faut absolument interrompre la crémaillère, ou faire un passage en dessus ou en dessous.

Nous signalons, à titre d'indication, la solution originale adoptée sur la ligne de Stanstad-Engelberg où la route franchit la voie ferrée sur un petit pont mobile que l'on soulève au passage de chaque train.

Le personnel d'exploitation varie suivant les besoins, suivant le mode de contrôle et les usages locaux.

Les chemins de fer du Harz, du Hoellenthal, de Viège-Zermatt, se rapprochent singulièrement, comme organisation, des voies ferrées ordinaires ; aussi n'entrerons-nous point dans le détail de leur exploitation.

Rappelons seulement qu'au Harz des machines de 54 tonnes peuvent remorquer des trains de 120 à 135 tonnes sur des rampes de 60 mm. à la vitesse de 10 kilomètres.

Au Hoellenthal, des machines de 42 tonnes remorquent des trains de 100 tonnes à la vitesse de 10 kilomètres sur des rampes de 55 mm. Pratiquement, sur cette ligne les trains sont mus par deux machines, la machine à adhérence en tête, qui remorque le train sur toute la longueur de la ligne, et la machine à crémaillère en queue à la montée, qui ne

circule qu'entre Hirschprung et Hinterzarten où se trouvent les sections à crémaillère ; on remorque ainsi des trains de 110 tonnes à la montée et de 170 tonnes à la descente. (1)

Au Brünig, des machines de 22 tonnes remorquent un poids utile de 30 à 40 tonnes sur des rampes de 120 mm. à la vitesse de 10 kilomètres à l'heure.

Pratiquement, au Brünig, on dédoublait les trains quand la charge à remorquer excédait 30 tonnes, mais les nouvelles machines, pesant 30 tonnes en charge, permettent de remorquer un train de 50 tonnes à la vitesse de 10 kilomètres à l'heure en rampe de 120 mm.

Sur toutes les lignes à crémaillère on sent la nécessité de ne pas faire donner à la machine son maximum d'effet utile, de ne pas forcer son allure. Aussi, pour se rendre compte des charges trainées, est-il nécessaire de voir ce qui se passe réellement sur les diverses lignes.

La question des charges trainées est capitale sur des lignes comme le Harz, le Hoellenthal, destinées à desservir des trafics de marchandises importants. Déjà pour des lignes comme Viège-Zermatt, le Brünig, la question se pose différemment ; il faut avant tout donner satisfaction aux touristes, et par suite avoir des départs fréquents.

Ce dernier point a plus d'importance encore sur des lignes de plaisance, comme le Rigi, le Mont-Pilate, etc., où les départs doivent avoir lieu quelquefois au moins chaque heure, à certains moments de la journée.

Pendant la saison, il y a au Rigi 9 trains dans chaque sens, et 7 au Mont-Pilate. Au chemin de Langres, il y a 21 trains dans chaque sens, mais, la ligne ayant pour but de relier la ville à la station de la ligne de Belfort, ce sont les heures de passage des trains de la ligne de l'Est qui règlent les départs de la ligne à crémaillère, et les trains ont lieu jour et nuit, ce qui oblige à avoir double équipe pour la machine.

Voici du reste l'état du personnel de la ligne de Langres :

(1) Les machines à crémaillère descendent généralement seules haut le pied ; elles ne sont utilisées à la descente que pour les trains de marchandises. Les machines à adhérence suffisent, avec l'emploi du frein continu, pour descendre sans difficulté les trains de voyageurs sur les pentes de 55 m/m.

1 chef de gare au traitement de	1.800 fr.
1 facteur	1.200
3 mécaniciens à 2.000.	6.000
3 chauffeurs à 1.200	3.600
2 chefs de train à 1.500	3.000
1 chef d'équipe	1.500
1 manœuvre	1.000
Total.	<u>18.100 fr.</u>

Le chef de gare se tient à la gare ménagée au départ de la ville.

A la gare construite sur la station de la ligne de Belfort, il n'y a aucun agent à poste fixe. C'est le chef de train qui délivre les billets à cette gare pendant la durée du stationnement du train, circulant en navette.

Les voyageurs venant de Langres peuvent prendre leurs billets pour la ligne de l'Est et faire enregistrer leurs bagages à la descente des voitures de la crémaillère, dans un petit bureau construit *ad hoc* tout contre la gare terminus du petit chemin de fer.

Cette disposition est évidemment fort commode.

On trouvera aux annexes (annexe n° 2) le règlement et les tarifs concernant le service et l'exploitation du chemin de fer à crémaillère de Langres.

Au Mont-Pilate, les voitures automobiles partent par séries de deux ou de trois, de façon à faire comme une sorte de train, pour laisser passer les voitures descendantes au garage intermédiaire de la station d'Aemsingen.

On a senti au Mont Pilate la nécessité de pouvoir faire partir à la fois plusieurs voitures, au moment où un grand nombre de touristes se présentent pour faire l'ascension.

En 1904 il a été transporté 47.664 personnes représentant un nombre de places occupées de 34 à 35 0/0.

Les trains ne peuvent partir à intervalles très rapprochés à cause du seul garage intermédiaire entre les stations extrêmes. Il est clair que sur toutes ces lignes à simple voie la fréquence des trains est limitée par la question des croisements.

Cette question de la nécessité d'expédier les trains à intervalles suffisamment rapprochés a, comme nous l'avons dit, conduit à construire une voie de croisement intermédiaire au Gornergrat, entre les stations de Zermatt et de Riffel-Alp, pour faire face au trafic.

En 1905, il a été transporté 38.121 voyageurs sur la ligne du Gornergrat, dont 916 dans la seule journée du 18 août, qui a produit une recette de 7.215 francs, résultat indiquant nettement à quels à-coups on est exposé sur ces lignes de touristes. En août, on atteint souvent chaque jour le chiffre de 650 voyageurs.

Les recettes de l'année 1905 s'étant élevées à 302.736, et les dépenses à 103.153 francs le coefficient d'exploitation ressort à 34 0/0.

Le personnel de la ligne était le suivant en 1905 :

- 1 chef d'exploitation.
- 1 chef de dépôt.
- 1 chef de district.
- 6 aiguilleurs.
- 5 gardes-ligne.
- 1 garde à l'usine hydraulique.
- 4 chefs de station.
- 1 aide.
- 1 portier.
- 4 wattman.
- 6 receveurs.
- 1 laveur.
- 1 chef machiniste.
- 2 aides.

Total 35 agents.

Le chemin de Vitznau-Rigi a transporté en 1904 un total de 135.115 voyageurs se répartissant également à la montée et à la descente.

À Langres, on transporte en moyenne 400 personnes par jour ; le matériel comprend 3 machines et 5 voitures.

Au Brünig, on transporte environ 150.000 personnes par

an ; le matériel comprend 8 machines à crémaillère, 6 machines ordinaires pour la section de plaine, 55 voitures et 47 wagons.

Quant aux lignes industrielles destinées au transport des pierres, minerais, etc., comme celles d'Ostermundigen, Friederichsseggen, Marienhütte, Oerstelbruch, etc., leur exploitation varie essentiellement suivant les besoins.

Par exemple pour la ligne de Marienhütte près Gölnitz, d'une longueur de 5.568 mètres, transportant 92 000 tonnes de minerai de fer par an, le matériel se compose de 2 locomotives, 39 wagons pour le minerai et 6 wagons pour le transport des bois.

En y comprenant ce dernier transport on arrive à un total de 273.000 tonnes-kilomètres.

Sur la ligne de Friederichsseggen (longueur 2.500 m.), on a transporté, dans l'année 1879-80, 35.514 tonnes de minerai représentant 135.000 tonnes kilométriques.

Le service était assuré par une seule locomotive ; depuis, on a employé 2 machines et l'on a transporté 78.000 tonnes.

Les vitesses de marche en crémaillère varient naturellement suivant le profil de la ligne. Pour les lignes à profil relativement doux, assurant un service de marchandises, la vitesse moyenne de marche varie de 10 à 15 kilomètres à l'heure. Pour les lignes très raides, s'élevant au-dessus de l'altitude de 1.000 mètres, on a dû songer à déterminer la vitesse d'ascension, de telle sorte que les voyageurs ne soient pas incommodés par une chute trop brusque de la pression atmosphérique.

En pratique, on ne dépasse guère une vitesse verticale d'élévation supérieure à 20 mètres par minute, soit 1.200 mètres à l'heure.

Voici quelques données relatives à ces vitesses d'ascension.

LIGNES	Altitude de la station supérieure	Déclivité maxima	Vitesse de marche		
			horizontale par heure	verticale	
				par heure	par minute
	m.	m/m	km.	m.	m.
Vitznau-Rigi	1.749	250	7	1.230	20,5
Pilate	2.069	480	3,2	4.222	20,4
Gornergrat	3 019	200	6,3	984	16,4
Jungfrau	2 530	250	7,2	4.165	19,4
Revard	1.511	250	7,9	4.050	17,5
Viège-Zermatt	1.609	125	14,2	385	6,4

Au moment de l'étude du projet de la Jungfrau, on s'est occupé tout particulièrement de la question du transport des voyageurs à des altitudes supérieures à 3.000 mètres. Chacun sait aujourd'hui que M. Janssen a pu éviter le mal de montagne en se faisant hisser en traîneau au sommet du Mont-Blanc. Ce fait de l'influence du travail physique sur le mal de montagne a été étudié et démontré scientifiquement par M. le Professeur Regnard et nous croyons intéressant de reproduire à l'annexe n° 10 l'extrait de la séance de la *Société de Biologie de Paris* du 5 mai 1894, relatant la communication du savant professeur.

98. Frais d'exploitation. — Les frais d'exploitation de lignes à crémaillère sont en général élevés. Il fallait du reste s'y attendre, car ces lignes sont des lignes de montagne, franchissant des différences de niveau considérables, reliant des pays qu'il eût été généralement impossible de réunir par des voies ferrées ordinaires. Nous avons déjà insisté sur ce fait à propos des frais de traction.

Nous avons vu en effet que ces frais varient de 2 francs à 3 fr. 50 par train-kilomètre, suivant les lignes, tandis que sur les voies ordinaires ils ne dépassent guère 1 franc.

Mais d'autres circonstances contribuent à rendre l'exploitation coûteuse.

Il faut mettre en première ligne les variations considérables du trafic d'un moment à un autre et la discontinuité de l'exploitation.

Souvent aussi intervient l'isolement de la ligne dont l'exploitation est grevée de frais généraux très élevés en égard à son importance.

Les lignes de Suisse, par exemple, ne sont pour la plupart ouvertes à l'exploitation que pendant l'été. Cependant les frais généraux courent toute l'année : une partie du personnel est payée l'hiver, l'intérêt des capitaux, la direction, etc., grèvent le budget toute l'année.

Les petites lignes isolées doivent avoir un directeur spécial dont le traitement est annuel.

Les réparations du matériel sont coûteuses, à cause de l'éloignement des grands ateliers.

Autant d'éléments qui grèvent les frais d'exploitation des lignes à crémaillère.

Aussi croyons-nous que c'est prendre le problème d'une façon trop théorique que de chercher uniquement à savoir ce que coûte la traction en crémaillère, comparée à la traction par adhérence. Posée ainsi la question est trop absolue, il y a trop de facteurs différents intervenant dans le problème.

C'est seulement du reste pour les lignes ayant un trafic notable et continu comme celles du Harz, du Hoellenthal, que la question présente un intérêt réel.

En 1888, on a transporté sur le chemin de fer du Harz 57.000 voyageurs et 150.000 tonnes de marchandises.

Les frais d'exploitation se sont élevés à 220.875 francs soit 2 fr. 29 par train-kilomètre, ou 7.200 francs par kilomètre de ligne, ce qui paraît faible pour une ligne aussi accidentée.

La ligne mixte de Viège-Zermatt, exploitée depuis 1890, donne à cet égard des indications intéressantes.

Les dépenses totales, évaluées au moment de l'établissement du projet à 5.850.000 francs, s'élevaient au 31 décembre 1905

à 5.867.396 fr. 24, ce qui indique avec quelle précision les auteurs du projet avaient établi leurs devis.

Les tableaux de l'annexe n° 7 donnent le compte de construction et le compte d'exploitation au 31 décembre 1905 de cette ligne, ainsi que le détail du compte de construction.

Les tableaux 2, 3 et 4 donnent le détail des recettes et du trafic pour les années 1904 et 1905. Le tableau 6 donne la décomposition par mois du trafic et des recettes pour 1905.

Enfin le tableau 7 indique les recettes et dépenses depuis l'ouverture de la ligne jusqu'en 1905 ; au bas de ce tableau se trouve indiqué le montant annuel des travaux de réfection ; on en comprendra l'importance en se souvenant que la ligne borde constamment la Viège, au cours impétueux, qui chaque année dégrade les remblais de la voie.

Les tableaux énumérés ci-dessus sont extraits du rapport au conseil d'administration, comptes au 31 décembre 1905.

On trouvera également, à l'annexe n° 7, le compte d'exploitation pour l'année 1905 de la ligne du Gornergrat, faisant ressortir à 0,34 le coefficient d'exploitation.

L'annexe n° 8 donne d'autre part pour l'année 1905 le compte d'exploitation de la ligne Brunnen-Morschach, faisant ressortir à 0 fr. 44 le coefficient d'exploitation.

Enfin l'annexe n° 9 indique, pour les principales lignes à crémaillère de Suisse, les dépenses et recettes totales de l'exploitation pour l'année 1904, ainsi que les coefficients d'exploitation et l'intérêt du capital engagé, intérêt qui est de 7,4 0/0 pour le Vitznau-Rigi, 5,4 pour le Pilate, 5,25 pour le Viège-Zermatt et 4 pour le Gornergrat.

Le tableau ci-dessous, relatif à l'année 1903 donne divers renseignements relatifs aux résultats de l'exploitation des lignes du Pilate, du Rigi, de Glion-Naye, du Brünig et de Viège-Zermatt.

	Pilate	Vitznau-Rigi	Glion-Naye	Brünig	Viège-Zermatt
Capital de 1 ^{er} éta- blissement . . .	2.402.844	2 283.204	2.700.000	8.400 000	5.350.000
Capital par km.	559.469	416.685	350.000	144 827	152.639
Recettes par km.	39.675	58.148	21.043	13.569	12.855
Dépenses par km.	23.259	39.551	10.222	8.499	4.592
Produit net 0/0 .	2,93	4,46	3,09	3,51	5,41

Notons que, malgré la faible durée de l'exploitation, on transporte par saison 40.000 personnes par an au Pilate, 34.000 au Gornergrat et 120.000 au Vitznau-Rigi.

L'étude comparative des frais d'exploitation d'une ligne à crémaillère et à adhérence a été faite d'une façon fort intéressante par M. Mallet dans un mémoire inséré aux comptes-rendus de la Société des Ingénieurs civils de juin 1906 ; on consultera ce mémoire avec profit, et nous engageons vivement le lecteur à s'y reporter.

M. Mallet a comparé deux lignes placées dans des conditions aussi semblables que possible, l'une mixte à crémaillère de 35 kilomètres de longueur, celle de Viège-Zermatt, l'autre à adhérence de 21 kilomètres, celle d'Yverdon-Sainte-Croix et il est arrivé aux résultats comparatifs suivants :

	Viège-Zermatt	Yverdon Ste-Croix
Recettes totales	577.784	168.844
Dépenses totales	210.251	115 980
Produit net	367.533	52 864
Prix d'établissement.	5.350 000	3.030.000
Produit pour cent.	6,9	4,7

La différence des résultats financiers tient simplement à ce que les voyageurs payent 0 fr. 45 et 0 fr. 29 par kilomètre sur la première ligne et seulement 0 fr. 10 sur la seconde. D'autre part l'exploitation n'a lieu que l'été entre Viège et Zermatt, tandis qu'elle est continue toute l'année *sauf le dimanche* sur la ligne d'Yverdon-Ste-Croix, où la température s'abaisse l'hiver jusqu'à — 20°, ce qui constitue évidemment une cause de dépenses supplémentaires pour cette dernière ligne.

En rapprochant les dépenses d'exploitation des chemins à crémaillère du Harz et de l'Eisenerz des dépenses des chemins à adhérence de l'Arlberg et du Gothard, M. R. Abt est arrivé aux chiffres suivants pour les années 1893 et 1894.

	Arlberg	Eisenerz	Harz	Gothard
FRAIS D'EXPLOITATION	francs	francs	francs	francs
Par kilomètre	23.470	16.917	11.776	34.000
Par train-kilomètre.	3,50	2,92	3,40	3,25
Par tonne-kilomètre.	0,0169	0,0425	0,0386	0,0162

On voit que, pour l'ensemble des deux lignes à crémaillère précitées, la moyenne du prix du train-kilomètre est de 3 fr., soit 1/3 de plus que le prix moyen des lignes ordinaires à adhérence. Mais, si l'on compare ce prix à celui de lignes à adhérence très accidentées, comme celles du Gothard et de l'Arlberg, les résultats changent et les prix deviennent très comparables. Le nombre de trains-kilomètres est à peu près le même pour les lignes du Harz et de l'Eisenerz, 115.743 pour la première et 115.513 pour la seconde, ce qui rend les résultats d'autant plus comparables.

Si le profil devient plus raide, les dépenses augmentent rapidement, et sur les lignes de Viège-Zermatt, Vitznau-Rigi et Gornergrat les dépenses s'établissent ainsi pour l'année 1904, d'après la statistique officielle des chemins de fer suisses :

DÉCOMPOSITION des dépenses	Viège-Zermatt	Vitznau-Rigi	Gornergrat
	francs	francs	francs
Administration	20.485	18.465	14.073
Entretien de la voie	54.875	45.017	22.080
Exploitation	48.574	43.499	14.016
Matériel et traction	82.919	104.598	24.456
Dépenses totales	206.853	211.579	74.625
Dépenses par kilomètre	6.654	30.604	8.201
Pour cent des recettes	37,54	63,82	26,25
Par kilomètre de train	4,91	10,86	8,11

On remarquera, à propos du Gornergrat, la valeur très faible du coefficient d'exploitation, en partie due à l'emploi de la traction électrique. Les dépenses de traction, qui représentent au Rigi la moitié des dépenses totales, ne comptent plus que pour le tiers des dépenses au Gornergrat.

En 1894, les dépenses d'exploitation du chemin de fer du Harz étaient sensiblement plus élevées et montaient à 359.162 francs, correspondant à une dépense kilométrique de 12.276 francs, ou 3 fr. 10 par kilomètre de train.

Pour l'année 1893, au chemin d'Eisenerz-Vordenberg la dépense kilométrique s'élevait à 16.937 francs et la dépense du train-kilomètre ressortait à 2 fr. 92.

Le nombre de trains-kilomètres est à peu près le même sur les deux lignes 115.713 au Harz et 115.513 pour la seconde, ainsi que celui des tonnes kilométriques, 3.648.688 au Harz et 3.627.000 à l'Eisenerz-Vordenberg.

Si l'on prend la moyenne du prix de revient du train-kilomètre de ces deux lignes, on trouve 3 francs, soit environ 1/3 de plus que sur la moyenne des lignes à adhérence ordinaires ; mais, si l'on compare à des lignes à adhérence accidentées, les résultats changent car le prix du train-kilomètre a été au Gothard de 3 fr. 25 et de 3 fr. 50 à l'Arlberg.

En 1904, le coût total du train-kilomètre a été le suivant sur les lignes ci-dessous indiquées :

Viège-Zermatt.	4 fr. 91
Rigi.	10 86
Pilate	8 81
Wengern-Alp.	6 33
Brienz-Rothorn	7 31
Gornergrat.	8 11
Jungfrau	8 43

On voit que le prix du train-kilomètre augmente très rapidement avec la raideur du profil, résultat évident *à priori*.

Il est intéressant de constater que le prix du train-kilomètre n'est pas beaucoup plus faible sur les lignes de la Jungfrau et du Gornergrat malgré l'emploi de la traction électrique, qu'au Mont-Pilate où l'on emploie des voitures automobiles à vapeur.

Au Brünig, les dépenses d'exploitation s'élèvent à 480.000 fr. pour les 58 kilomètres du réseau, soit 8.275 fr. par kilomètre.

Ce chiffre est à comparer à ceux du Viège-Zermatt, 6.654 francs, et du Harz 9.421 francs.

Pour la ligne de Langres, les frais d'exploitation annuels s'élèvent à environ 53.000 francs, dont 18.000 francs pour le personnel ; cela représente une dépense kilométrique de 35.000 francs.

Mais il ne faut pas oublier que le service a lieu jour et nuit et que ces 53.000 francs correspondent à environ 23.000 trains-kilomètres ou à 2 fr. 30 par train-kilomètre, non compris la réserve pour renouvellement du matériel.

Cette ligne est du reste exploitée par la ville de Langres et n'a pas par suite à payer de frais de direction et d'administration. Par contre, il est possible que l'imputation des dépenses au budget de la ville ne soit pas toujours faite sans quelques erreurs.

Au chemin de fer industriel de Marienhütte près Gölnitz, pour un trafic de 273.232 tonnes-kilomètres en 1886, les frais d'exploitation s'établissent ainsi (une seule locomotive en service) :

Service de la voie	2.750 fr.
Graissage de la crémaillère	880
Charbon et matières consommées pour la machine et les wagons	3.505
Direction de l'exploitation	4.000
Salaire des mécaniciens, chauffeurs, conducteurs, gardes-freins, gardes- ligne.	9.500
Réparation de la machine et des wagons.	1.750
Total.	<u>22.385 fr.</u>

soit 0 fr. 082 par tonne-kilomètre et 5.740 francs par kilomètre de ligne.

En y comprenant l'intérêt du capital engagé, la totalité des frais par tonne-kilomètre est de 0 fr. 175.

Ces chiffres se rapprochent beaucoup de ceux obtenus pour une autre ligne industrielle analogue, celle de Friederichsseggen à la Lahn, où le tonnage brut a été de 37.500 tonnes en 1880 ; les frais d'exploitation se sont élevés à environ 14.500 francs pour un total de 95.625 tonnes-kilométriques, soit 0 fr. 152 par tonne-kilomètre.

En comprenant l'intérêt et l'amortissement du capital, l'entretien, le chargement et le déchargement, les dépenses s'élèvent à environ 35.000 francs, soit à 0 fr. 366 par tonne-kilomètre.

On a calculé pour le chemin de Friederichsseggen à la Lahn que le transport d'une tonne revenait à $\frac{34.800}{37.500} = 0$ fr. 927.

Le transport par voiture coûtait pour 22.000 tonnes 46.875 francs soit 2 fr. 125 la tonne ; l'économie réalisée par l'installation du chemin à crémaillère a donc été de $(2,125 - 0,927) \times 37.500 = 44.900$ francs.

La ligne ayant coûté 206.250 francs, en quatre ans et demi on aura presque amorti ce capital par l'économie réalisée.

99. Tarifs. Recettes. Considérations financières. —

Il résulte de l'élévation des frais d'exploitation des lignes à crémaillère, surtout de celles qui ne fonctionnent qu'une partie de l'année, que les tarifs doivent y être très élevés,

Il est clair que ces tarifs dépendent beaucoup plus de la hauteur gravie par le voyageur ou la marchandise, que de la longueur absolue de la ligne. Les 4 km. 5 de la ligne du Pilate, permettant de monter de 1.200 mètres en une heure, nécessitent plus de rémunération qu'une distance beaucoup plus grande sur une autre ligne à profil moins accidenté, comme celle de Viège-Zermatt, ou du Brünig par exemple. Très souvent on apprécie le tarif uniquement d'après la longueur ; c'est une véritable hérésie quand il s'agit de lignes aussi accidentées : il faut tenir compte avant tout de la hauteur gravie.

Cette idée, toute simple qu'elle paraisse, n'est pas toujours aisément comprise par le public. Ce dernier a toujours une tendance fâcheuse à assimiler ces lignes accidentées aux lignes ordinaires. Cependant il est clair que les tarifs doivent être bien différents sur les voies à crémaillère.

Nous donnons ci-dessous l'indication des tarifs de diverses lignes à crémaillère.

Tarifs appliqués sur diverses lignes à crémaillère

NOMS des lignes	Hauteur gravie	Longueur	Prix du parcours aller et retour	Prix par kilomètre	Prix de la montée	Prix par hectomètre d'élévation	OBSERVATIONS
Vitznau-Rigi	1.329 ^m	7 ^{km}	10 ^f 50	0 ^f 750	7 ^f	0 ^f 54	Classe unique
Arth-Rigi (1)	1.140	8 6	14 60	0 82	10 80	0 94	Id.
Mont-Pilate	1.636	4 5	16 »	1 777	10	0 62	Id.
Brünig . . .	565	45 9	»	0 150	»	»	(2 ^e classe)
Viège-Zermatt	955	35 0	20 »	0 285	»	»	Id.
Langres . . .	132	1 5	» 85	0 565	»	»	Id.
Puy-de-Dôme	1.000	15 0	5 »	0 167	4	0 40	Prix d'après le cahier des charges.
Aix-les-Bains au Revard	1.247	9 0	»	0 500	»	»	
Jungfrau . .	803	4 5	10 »	1 10	5	0 69	
Gornergrat . .	2.400	10	18 »	0 90	12	0 50	
Le Fayet-Chamonix . . .	»	»	»	0 22	»	0 87	

(1) D'Arth-Goldau au Rigi-Kulm.

On voit combien les tarifs sont variables : de 0 fr. 15 par kilomètre pour le Brünig à 1 fr. 777 pour le Mont Pilate, l'écart est considérable, mais cependant très justifié par les conditions différentes des lignes.

Remarquons d'ailleurs que le tarif par hectomètre d'élévation est à peu près le même sur toutes les lignes.

Le tarif du Brünig est le double seulement des tarifs des lignes ordinaires ; cela s'explique par ce fait que la longueur totale de la crémaillère n'est que de 9 kilomètres sur une longueur totale de 44 kilomètres.

Pour la ligne de Vitznau-Rigi le tarif est décuple de celui des lignes ordinaires ; pour Viège-Zermatt il est environ quadruple.

Pour la ligne d'Aix-les-Bains au Revard, c'est à peu près sept fois le tarif normal des grandes lignes.

Nous avons reproduit aux annexes (annexe n° 1) la plus grande partie du cahier des charges de la ligne d'Aix-les-Bains-au Revard, en supprimant seulement ce qui est reproduit à peu près identiquement dans tous les cahiers de charge des chemins de fer d'intérêt local.

Recettes. Considérations financières. — Quelqu'élevés que soient les tarifs précédents, ils ne suffisent pas toujours à rémunérer le capital engagé pour ces lignes de plaisance.

La vérité nous oblige à dire que, si dans un certain nombre de cas, là où le problème a été bien étudié et bien résolu, les résultats financiers des lignes à crémaillère sont encourageants, on trouve souvent des exemples d'exploitations peu rémunératrices.

Si l'on considère toutes les lignes spéciales de la Suisse, crémaillères et funiculaires, ces lignes ont donné en 1887 par kilomètre un produit net de 4.172 francs.

Si l'on tient compte du capital de premier établissement, le taux moyen de l'intérêt ressort à 2,147 0/0, dont 1,179 0/0 seulement pour les actions.

Les résultats varient nécessairement dans les plus grandes proportions.

Si l'on considère le rendement pour cent du capital, Arth-Rigi produit 1,597 0/0, le Monte Generoso 3,25, le Gorner-

grat 4, le Pilate 5,4 et le Rigi 7,409 (résultats de 1904).

Si l'on examine au point de vue financier le chemin de fer de Vitznau-Rigi, on trouve là un exemple d'une opération très fructueuse.

En 1880, le produit brut était de 172.978 francs, le capital de premier établissement s'élevait à 2.293.797 francs, et les actionnaires recevaient un dividende de 8 0 0.

En 1882, les recettes s'élevaient à 415.365 francs ;

les dépenses » à 242.387 francs, soit 59 0 0 de la recette brute.

En 1904, les recettes s'élevaient à 551.484 francs ;

les dépenses » à 351.932 francs, soit 63 0/0 des recettes.

Le produit pour les actionnaires a été de 10 0 0 du capital.

Le chemin d'Arth-Rigi a donné de moins bons résultats ; le produit brut était en 1874 de 145.386 francs pour un capital de 6.139.400, ce qui représente seulement 2,36 0 0 du capital engagé. Les dépenses étant de 81.791 et les recettes de 167.496, les frais d'exploitation représentent 40 0 0 de la recette.

En 1904, les recettes étaient de 304.414, les dépenses de 198.625, soit 65 0/0 de la recette, et l'intérêt servi au capital n'était que de 1,597.

En 1889 les résultats de l'exploitation du chemin de fer du Mont-Pilate étaient satisfaisants ; le produit brut était de 142.265 francs pour un capital engagé de 2.173.843 francs, ce qui a permis de distribuer 7 0/0 aux actionnaires et 6 0/0 en 1904.

Les dépenses en 1904 ont été de 136.602 francs pour une recette de 296.923 francs, soit 46 0/0, de la recette, ce qui paraît faible.

Le capital-action du Mont Pilate s'élève à 2.000.000 répartis entre 4.000 actions de 500 francs chacune.

Le capital-obligation comporte 850 obligations de 1000 fr.

Au chemin du Brünig, en 1888, les dépenses se sont élevées à 215.957 francs pour 401.644 francs de recettes, soit à 53 0/0.

Le chemin de Langres, malgré les services qu'il rend, constitue une opération peu fructueuse au point de vue financier.

En 1906 les recettes ont été de . . .	80.343 francs
— les dépenses de	56.727 —
Recettes nettes	<u>23.616 francs</u>

Le capital engagé étant de 497.930 francs et la ville de Langres ayant contracté un emprunt à environ 4,5 0/0, la charge annuelle moyenne dans ces dernières années était de 8.900 francs.

Mais là il s'agissait d'un véritable service public et non d'une ligne de plaisance destinée aux touristes.

Voici les recettes et dépenses de la ligne de Langres de 1888 à 1890 :

	Dépenses	Recettes
1888	51.805	57.617
1889	51.920	60.979
1890	54.494	59.363

La ligne de Viège à Zermatt rapporte environ 15.000 francs par kilomètre de recettes brutes, les dépenses d'exploitation s'élèvent à environ 5.000 francs par kilomètre, le produit net kilométrique est donc de 10.000 francs.

Le coût kilométrique a été de 153.000 francs.

Jusqu'ici l'entreprise a donc été rémunératrice. En 1904, il a été servi aux actionnaires un dividende de 7 0/0 et l'intérêt du capital total ressort à 5,25 0/0.

Le Gornergrat a donné aux actionnaires en 1904 un dividende de 4 0/0.

Les chemins de la Wengern Alp et de l'Oberland Bernois rapportent de 4 à 5 0 0 ; Glion-Naye environ 4 0/0.

Nous croyons intéressant d'indiquer le détail des recettes de la ligne de Vitznau-Rigi, pour l'année 1882 par exemple.

Ces recettes se décomposent ainsi :

Voyageurs . . .	369.619 fr. soit	89,3 0/0
Bagages . . .	3.012 —	1,9 0/0
Marchandises . .	10.358 —	2,5 0/0
Recettes diverses.	27.376 —	6,3 0/0
Total .	<u>410.365 fr.</u>	

Il est à remarquer que les bagages et les marchandises ne sont en somme que des revenus accessoires et presque insignifiants. Or, pour l'année 1875, les recettes se décomposaient ainsi :

Voyageurs . . .	366.547 fr.
Bagages . . .	10.086
Marchandises . .	63.000
Divers . . .	14.682
Total . . .	<u>454.315 fr.</u>

On voit que, si le trafic des voyageurs a augmenté légèrement depuis 1875, par contre le trafic des marchandises a considérablement diminué. Quant aux recettes provenant du transport des bagages, elles sont bien faibles. Mais il ne faut pas oublier qu'au Rigi les colis considérés comme bagages sont simplement les valises légères à la main ; toutes les malles ou valises un peu encombrantes sont montées par un train de marchandises et classées comme marchandises.

Ces 366.547 francs de recettes du trafic voyageur correspondent à un mouvement de 96.725 personnes.

En 1903 le nombre des voyageurs s'est élevé au total à 133.115 pour une recette de 512.445 soit 3 fr. 79 par voyageur. Le tarif plein étant de 7 francs pour la montée et de 3 fr. 50 pour la descente, on voit que, par suite des réductions de prix, billets d'excursion ou de faveur etc..., le tarif moyen perçu est notablement inférieur au tarif général.

Dans l'étude de ces lignes de plaisance, il est toujours extrêmement difficile de se faire une idée précise du trafic futur et de déterminer dans quelle mesure l'établissement du chemin de fer développera le trafic actuel.

Nous croyons intéressant de citer encore comme exemple à ce sujet les lignes du Rigi. Ainsi en 1875 les lignes de Vitznau et Arth-Rigi ont transporté ensemble 123.211 personnes ; si l'on suppose un nombre égal de voyageurs à la montée et à la descente, on trouve en nombre rond environ 61.500 personnes ayant fait l'ascension du Rigi en chemin de fer. Or avant la construction de la ligne on évaluait à 40.000 per-

sonnes le nombre de touristes qui faisaient l'ascension à pied à ce moment.

Si actuellement on ajoute aux 61.500 personnes ayant fait l'ascension en chemin de fer, celles qui vont à pied on trouve au minimum un total de 70.000 personnes.

Les chiffres de 1885 et 1886, sont à peu près les mêmes que ceux de 1875.

En 1904, le nombre des voyageurs s'est élevé à 135.115 pour la seule ligne de Vitznau-Rigi (montées et descentes).

On voit donc que l'ancien chiffre de 40.000 touristes s'est augmenté de 75 0/0 par le fait de l'établissement du chemin de fer.

C'est là un des résultats les plus favorables que l'on puisse citer, et il donne sans doute une idée du développement maximum du trafic à espérer dans des conditions analogues.

Ces considérations nous semblent dignes d'intérêt, surtout au moment où l'on paraît entrer en France dans des idées nouvelles au sujet des chemins de fer de montagne et disposé à adopter la solution de la crémaillère pour des lignes analogues à celles de la Suisse.

Tout en souhaitant très vivement que ce mode de locomotion se répande dans notre pays, nous serions heureux de prévenir par des indications utiles l'initiative d'entreprises désastreuses au point de vue financier. De telles écoles provoqueraient vite une réaction, très nuisible au développement des systèmes à crémaillère.

Il faut envisager le problème sous ses véritables aspects, songer au capital engagé, ne pas oublier qu'il doit être rémunéré et amorti par quelques mois d'exploitation annuelle, tenir compte de la cherté de l'exploitation, bien proportionner les tarifs à l'intensité du trafic.

Envisagée sous son véritable aspect, la question posée n'est pas douteuse; nous sommes convaincu que les chemins à crémaillère se répandront en France dans les régions montagneuses, et qu'ils y trouveront des applications utiles et fructueuses.

Il y a du reste un grand nombre de cas où le côté financier perd de son importance, quand il s'agit de l'utilité publique.

Le chemin de Langres en est un exemple frappant. Quels services ne rend-il pas à la population en hiver, par la pluie et la neige, en permettant de faire en 10 minutes à toute heure du jour et de la nuit un trajet que les voitures mettaient 25 et 30 minutes à effectuer par les mauvais temps.

Citons comme exemple fructueux, au point de vue financier, les chemins à crémaillère industriels, destinés au service des usines, mines, carrières. Les lignes d'Ostermündigen, Marienhütte, Friederichsseggen à la Lahn, sont instructives. Nous avons vu que, tout compte fait, cette dernière procurait par an une économie de 44.900 francs sur les transports par voiture.

Sans insister davantage sur ces considérations, nous allons essayer de faire quelques comparaisons entre les lignes à crémaillère et les lignes ordinaires.

100. Comparaisons entre les lignes à crémaillère et les lignes à adhérence. — Pour comparer deux systèmes de traction, il faut avant tout qu'ils s'appliquent tous deux dans des cas analogues. Pour comparer une ligne à crémaillère à une ligne à adhérence, il faut que ces deux lignes soient véritablement comparables, c'est-à-dire que l'on ait pu hésiter au moment de la construction entre l'un ou l'autre de ces deux tracés. Mais nous pensons qu'il serait déraisonnable de comparer les lignes du Rigi, du Mont-Pilate ou de la Jungfrau à une ligne à adhérence. Ces chemins de fer devaient être à crémaillère ou ne pas être.

Pour les lignes comme le Hoellenthal, le Harz, Viège-Zermatt, le Brünig même, etc., le doute était légitime, et on a songé à faire la comparaison entre les deux systèmes.

Il n'est pas douteux qu'en général le tracé à crémaillère est plus court, qu'il permet, grâce à la raideur de ses pentes, de suivre de plus près le relief du sol et d'éviter par suite les grands ouvrages d'art et les terrassements importants.

Pour le chemin du Hoellenthal, dans un avant-projet dressé en 1860, on avait évalué les dépenses à 45.000.000 fr. ; le chemin à crémaillère exécuté en 1887 a coûté seulement 8.000.000 de francs.

Le chemin de fer du Harz a coûté, matériel non compris, 147.500 francs par kilomètre, ce qui, pour une ligne à voie normale exécutée dans un pays montagneux, est évidemment très bon marché.

Le tableau du n° 96, indiquant les prix de revient de diverses lignes à crémaillère, montre bien dans quelle mesure le coût kilométrique de ces lignes est inférieur à celui des lignes à adhérence, malgré le prix élevé de la crémaillère qui représente en somme, y compris les consolidations, une dépense de 30.000 à 40.000 francs par kilomètre.

Par contre, les frais d'exploitation sont notablement plus élevés sur les lignes à crémaillère, cela est incontestable.

Le chemin à crémaillère à voie normale d'Ilmenau à Schleusingen, ouvert à l'exploitation en 1904 dans le Thuringerwald, offre un exemple intéressant de l'économie qu'il est possible de réaliser sur un tracé à adhérence.

Le prix du kilomètre de voie s'est élevé à environ 60.000 francs; et cependant le coût kilométrique total n'a été que de 130.000 francs, alors que pour les lignes à adhérence de la région le prix de premier établissement a varié de 159.000 à 204.500 francs le kilomètre.

En outre, l'emploi de la crémaillère a permis de réaliser une diminution de 2,4 km. comparativement au tracé à adhérence, sur la longueur totale à construire.

En comparant la ligne de Viège-Zermatt à la ligne à adhérence comparable d'Yverdon-Sainte-Croix, M. Mallet (1) est arrivé à conclure que, si la ligne de Viège-Zermatt eût été construite à adhérence, l'économie annuelle dans les frais d'exploitation eût été de 20 à 25.000 francs, ce qui représente l'intérêt à 4 ou 5 0/0 de la somme de 500.000 francs à laquelle les experts avaient estimé la différence entre les frais d'établissement d'un tracé à crémaillère et d'un tracé à adhérence.

A la fin de cette étude, M. Mallet fait remarquer justement qu'il faut tenir compte également dans la comparaison de la différence de vitesse de marche en crémaillère et en adhérence. Au Viège-Zermatt, la distance à parcourir est de

(1) *Mémoires des Ingénieurs civils*, juin 1906.

35 kilomètres, la durée du trajet est de 2 heures 14, soit une vitesse moyenne de 16 kilomètres.

La longueur du tracé à adhérence eût été de 36,25 km. : en supposant la même vitesse de marche qu'à Yverdon-Ste-Croix, soit 22,4 km., le temps nécessaire du parcours aurait été de 1 heure 38, soit une réduction de 36 minutes ou 27 0 0 sur la durée actuelle du trajet.

Il est juste d'ajouter que le cas du Viège-Zermatt est un peu exceptionnel et qu'il est assez rare de trouver deux tracés exécutables pratiquement, l'un à crémaillère l'autre à adhérence et dont les longueurs ne diffèrent que de 2 0/0.

D'après un extrait du Comité des chemins de fer autrichiens, cité dans la *Revue technique de l'Exposition de 1889* (page 152), une locomotive mixte à adhérence et à crémaillère coûterait en charbon et graissage 0 fr. 12 de plus par kilomètre qu'une machine à simple adhérence.

A propos des études du chemin de fer à crémaillère de l'Eisenerz-Vordenberg, ligne à voie normale, étudiée aussi par adhérence, on a estimé que les 35.000 trains-kilomètres nécessaires à l'exploitation annuelle exigeraient, sur une ligne à crémaillère, 360 francs par kilomètre de dépenses supplémentaires (voir aussi annexe n° 6).

En outre on a estimé que la surveillance et le graissage de la crémaillère exigeraient annuellement, par kilomètre, une dépense supplémentaire de 495 francs, soit en tout 855 francs d'augmentation, représentant au taux de 4 0/0 un capital de 21.375 francs.

Ainsi, pour une ligne parcourue chaque jour et dans chaque sens par quatre trains faisant chacun 12 kilomètres, soit par an 35.000 trains-kilomètres, les frais supplémentaires dus à la crémaillère s'élèveraient à 855 francs correspondant, au taux de 4 0/0, à un capital de 21.375 francs par kilomètre.

La crémaillère et l'augmentation de prix de la machine due au mécanisme denté représentent 44.460 francs par kilomètre.

L'augmentation (pour une voie normale) due à l'emploi de la crémaillère serait donc de 65.765 francs par kilomètre.

Il est clair que l'économie réalisée sur l'infrastructure compense bien au-delà cette augmentation.

Hâtons-nous d'ajouter que les rampes maxima du chemin de l'Eisenerz-Vordenberg sont de 71 millimètres, que sa longueur totale est de 20 kilomètres dont 14,5 en crémaillère.

Nous ne reviendrons pas sur la question de l'effet utile, sur les charges trainées par les locomotives à crémaillère, comparées aux locomotives ordinaires. Nous avons montré par un tableau, au n° 83, qu'une machine à crémaillère remorquait eu égard à son poids, sur une rampe de 60 millimètres, la même charge qu'une locomotive à adhérence sur une rampe de 35, les vitesses étant d'ailleurs dans le rapport de 2 à 3.

En général, on peut dire que, dans des conditions identiques au point de vue de l'infrastructure, chaque kilomètre de ligne à crémaillère coûte pour l'établissement de la crémaillère, y compris l'augmentation de prix du matériel roulant, environ 45.000 francs de plus qu'une ligne ordinaire.

En outre l'exploitation est d'autant plus chère sur une ligne à crémaillère, comparativement à une ligne à adhérence, que le trafic est plus intense.

Il est clair que, lorsque les frais par kilomètre, sur la ligne à crémaillère, coûteront un prix tel que la différence entre ce prix et celui de l'exploitation d'une ligne ordinaire représente un capital égal à 45.000 francs, il y aura égalité par kilomètre.

Si par exemple on évalue que l'exploitation d'une ligne à crémaillère coûtera 7.000 francs par kilomètre, tandis que sur une ligne ordinaire elle ne coûtera que 4.500, l'exploitation par crémaillère coûtera pour chaque kilomètre 3.000 francs de plus représentant un capital de 60.000 francs au taux de 5 0/0.

La ligne à crémaillère coûtant par kilomètre 45.000 francs de plus, il ne faudrait pas l'employer dans ce cas, à *égalité de longueur*. Mais, si l'on suppose une diminution de longueur, le problème change.

La ligne à adhérence coûtant par exemple 100.000 francs par kilomètre; la ligne à crémaillère coûtera $100.000 + 45.000 + 60.000 = 205.000$.

Si donc, entre deux points de la ligne, la solution par cré-

maillère permet d'obtenir un raccourci de plus de moitié sur le tracé à adhérence, il y aura économie à l'employer.

D'une façon générale si l'on appelle :

A le coût kilométrique d'établissement d'une ligne à crémaillère ;

A' le coût kilométrique d'établissement d'une ligne à adhérence ;

a le supplément de coût kilométrique causé par le système à crémaillère ;

b le supplément des dépenses d'exploitation, par kilomètre et par an causé par la crémaillère ;

L la longueur d'une ligne ou section de ligne à crémaillère ;

L' la longueur correspondante d'un tracé à adhérence,

la dépense d'établissement pour la ligne à adhérence sera L'A'.

Le capital représentatif des dépenses d'exploitation supplémentaires, causées par la crémaillère, sera $\frac{100b}{5}$ en supposant l'intérêt à 5 0/0, et par suite les dépenses totales d'établissement pour la ligne à crémaillère seront égales à :

$$L \left(A' + a + \frac{100b}{5} \right) = L (A' + a + 20b) ;$$

donc quand on aura : $L (A' + a + 20b) = L'A'$,

$$\text{ou} \quad L = L' \frac{A'}{A' + a + 20b} ,$$

il y aura égalité entre les deux systèmes.

On peut fixer des valeurs pour A' et a , mais pour b , il est impossible de donner des chiffres généraux. Les frais d'exploitation varient tellement d'un cas à l'autre qu'il est impossible de rien préciser à cet égard. Cela dépend du trafic et des conditions spéciales afférentes à chaque cas particulier.

Ces frais sont de 5.000 francs par kilomètre pour Viège-Zermatt, 7.000 francs pour le Harz, 15.000 pour la ligne d'Arth-Rigi, 28 000 francs pour Vitznau-Rigi.

Chaque kilomètre d'une ligne à adhérence aurait évidemment coûté moins cher comme exploitation ; mais la différence

de longueur, et aussi la différence de prix d'établissement de l'infrastructure, compensent et bien au-delà le renchérissement du coût kilométrique de l'exploitation.

Par contre, il semble naturel d'admettre qu'une ligne à crémaillère ne pourrait, à cause des faibles vitesses possibles, comporter une capacité de trafic comparable à celle d'une ligne à adhérence.

Les trains sur les pentes raides de la crémaillère comportent 8 ou 9 véhicules au maximum et le nombre des trains est limité par leur vitesse.

Les lignes de montagne sont à voie unique, et la distance entre deux stations comportant un croisement limite *a priori* l'espacement minimum des trains ; mais cette limite est très large.

Le chemin de fer du Harz a transporté en effet en 1890 environ 80.000 voyageurs et 170.000 tonnes de marchandises.

Eu égard à la longueur de la ligne (30 k. 5), c'est un trafic marchandises important, comparable au trafic *de tous nos chemins d'intérêt local*.

Les exemples du Harz, du Hoellenthal, montrent que l'on peut sans crainte aujourd'hui adopter la solution par crémaillère pour toutes les lignes, même à voie normale, à construire en pays de montagne et qui ne sont pas des voies de grand transit, des lignes à trafic chargé.

Les lignes à crémaillère ont une capacité de trafic suffisante pour répondre aux besoins des lignes normales secondaires.

Enfin il est à propos d'insister sur ce fait que les véhicules des voies ordinaires peuvent circuler sur les lignes du Harz et du Hoellenthal, sans aucun inconvénient. Plus de 90.000 wagons des Compagnies allemandes ont été placés dans les trains de la ligne du Harz, sans que l'on ait constaté de ce fait le moindre inconvénient.

Aussi pensons-nous que, si des lignes telles que celles de Laqueuille au Mont-Dore, de Lagnac à Mauriac, de Riom à Volvic, etc., etc., étaient à construire aujourd'hui, on n'hésiterait pas à recourir à la crémaillère. Si la traction électrique permet d'exploiter par simple adhérence des déclivités de 80

ou même de 100 m/m, elle exige par contre l'emploi de voitures toutes automobiles, ce qui augmente notablement les dépenses de matériel roulant (1).

La ligne de Riom à Volvic, construite à voie de 1 mètre, est un exemple frappant des économies que l'on pourrait réaliser à l'aide de la crémaillère.

Cette ligne part de la gare de Riom (P.-L.-M.) sur la ligne de Paris à Nîmes et aboutit à la gare de Volvic (P.-O.) sur la ligne de Clermont-Ferrand à Tulle, en rachetant une différence de niveau de 400 mètres environ.

Elle présente de longues pentes continues de 35 mm. et des rayons de 100 mètres. Sa longueur est de 18 kilomètres, et elle a coûté environ 1.600.000 francs de frais de premier établissement. Son exploitation est particulièrement difficile et coûteuse, ce qui est naturel dans les conditions où elle se trouve.

Bien que construite comme ligne à adhérence, on a dû par mesure de sécurité, réduire la vitesse à 12 kilomètres à l'heure. Les machines du poids de 23 tonnes remorquent seulement un poids brut de 50 tonnes.

Enfin, pour donner une idée de la configuration du pays nous ajouterons que de la station de Volvic (Bourg) à la station de Volvic (P.-O) la distance est de 10 kilomètres par la voie ferrée et de 3.700 mètres par route de terre. On comprend que dans de semblables conditions la crémaillère est tout indiquée.

La longueur de la ligne, construite à crémaillère, aurait pu être réduite aisément de 18 à 12 kilomètres, dont la moyenne aurait coûté au maximum 120.000 francs, en tout 1.440.000 francs. On aurait donc réalisé ainsi une économie de 160.000 francs sur les frais de premier établissement. Quant à la totalité des frais d'exploitation ils eussent été sensiblement moindres. En effet, les longueurs étant dans le rapport de 2 à 3, il est clair que sur de pareilles déclivités les frais d'exploitation d'une ligne à crémaillère n'auraient pas dépassé les frais

(1) Citons à ce sujet la ligne toute récente de Clermont-Ferrand au sommet du Puy-de-Dôme où le système Hanscotte a été appliqué avec locomotive à vapeur.

actuels d'une quantité supérieure au rapport des longueurs. Si par exemple l'exploitation actuelle coûte à peu près 3.500 francs par kilomètres, cela représente pour 18 kilomètres, une somme de 63.000 francs.

Nous ne pensons pas que les frais d'exploitation de cette voie construite à crémaillère eussent dépassé 4.500 francs par kilomètre, ce qui aurait donné pour 12 kilomètres, une dépense totale de 53.000 francs, soit 10.000 francs de moins que l'exploitation de la ligne actuelle, ce qui représente un capital de 200.000 francs.

L'économie réelle réalisée en construisant cette ligne à crémaillère aurait donc été de 360.000 francs, c'est-à-dire à peu près le $\frac{1}{5}$ de la dépense ; c'eût été une réduction de 20 0/0.

De telles économies ne sont pas négligeables, surtout au moment où l'on songe à doter de voies ferrées les pays de montagne, tout en réduisant les dépenses au minimum.

En écrivant ces pages, nous espérons appeler l'attention des ingénieurs français sur les chemins à crémaillère, qui souvent peuvent être le seul moyen de doter de voies ferrées les régions pauvres et montagneuses. Si ce livre peut faciliter la tâche de ceux qui, dans notre pays, tenteront la construction de ces lignes nouvelles, notre but sera atteint.

Certes il était naturel de construire tout d'abord les voies ferrées des pays de plaine, dans les contrées riches et fertiles, où le trafic est assez rémunérateur pour justifier la dépense de leur établissement. Mais il est légitime et sage de ne pas abandonner les pays déshérités. Car ce sont précisément ceux-là que la construction de voies ferrées peut changer, modifier profondément, en permettant de réaliser dans ces régions, quelquefois, la fertilité du sol, par son amendement, quelquefois l'exploitation des produits minéraux par la facilité des transports. En tout cas, la rapidité des communications et la mise en relation aisée avec les autres parties du territoire sont de nature à arrêter la dépopulation de nos montagnes.

ANNEXE N° 4.

**CAHIER DES CHARGES DU CHEMIN DE FER D'INTÉRÊT
LOCAL D'AIX-LES-BAINS AU REVARD**

TITRE I^{er}

TRACÉ ET CONSTRUCTION

Tracé.

Art. 1^{er}. — Le chemin de fer d'intérêt local qui fait l'objet du présent cahier des charges partira du parc de la ville d'Aix-les-Bains, passera par le village de Mouxy (commune de Mouxy), puis près de Pugnny-Chatenod (commune de Pugnny-Chatenod), pour aboutir, après avoir traversé les territoires de Trévignin et de Montcel, au point dit le Grand-Revard, dans le massif de la Cluse.

Sa longueur sera d'environ 9 kilomètres.

Délais d'exécution.

Art. 2. — Les travaux devront être commencés dans un délai de six mois, à partir de la loi déclarative d'utilité publique. Ils seront poursuivis de telle sorte que la ligne entière soit livrée à l'exploitation dans un délai de deux ans, à partir de la même date.

Approbaton des projets.

Art. 3. — Aucun travail ne pourra être entrepris pour l'éta-

blissement du chemin de fer et de ses dépendances sans que les projets en aient été approuvés conformément à l'article 3 de la loi du 11 juin 1880, pour les projets d'ensemble par le Conseil général, et pour les projets de détail des ouvrages par le préfet, sous réserve de l'approbation spéciale du ministre des travaux publics, dans le cas où des travaux affecteraient des cours d'eau ou des chemins dépendant de la grande voirie.

A cet effet, les projets d'ensemble, comprenant le tracé, les terrassements et l'emplacement des stations, seront remis au préfet dans les six mois au plus tard de la date de la loi déclarative d'utilité publique.

Le préfet, après avoir pris l'avis de l'ingénieur en chef du département, soumettra ces projets au Conseil général qui statuera définitivement, sauf le droit réservé au ministre des travaux publics par le paragraphe 2 de l'article 3 de la loi, d'appeler le Conseil général à statuer à nouveau sur lesdits projets.

L'une des expéditions des projets ainsi approuvés sera remise au concessionnaire avec la mention de la décision approbative du Conseil général, l'autre restera entre les mains du préfet.

Avant comme pendant l'exécution, le concessionnaire aura la faculté de proposer aux projets approuvés les modifications qu'il jugera utiles, mais ces modifications ne pourront être exécutées que moyennant l'approbation de l'autorité compétente.

Projets antérieurs.

Art 4. — (Supprimé).

Pièces à fournir.

Art. 5. — Les projets d'ensemble qui doivent être produits par le concessionnaire comprennent, pour la ligne entière ou pour chaque section de ligne :

- 1° Un extrait de la carte au 1/80.000^e ;
- 2° Un plan général à l'échelle de 1/10.000^e ;
- 3° Un profil en long à l'échelle de 1/5 000 pour les longueurs et 1/1.000^e pour les hauteurs dont les cotes seront rappor-

tées au niveau moyen de la mer, pris pour plan de comparaison. Au-dessous de ce profil, on indiquera, au moyen de trois lignes horizontales disposées à cet effet, savoir :

Les distances kilométriques du chemin de fer comptées à partir de son origine,

La longueur de chaque pente ou rampe,

La longueur des parties droites et le développement des parties courbes du tracé, en faisant connaître le rayon correspondant à chacune de ces dernières ;

4° Un certain nombre de profils à l'échelle de 0,005 pour mètre et le profil-type de la voie à l'échelle de 0,02 pour mètre ;

5° Un mémoire dans lequel seront justifiées toutes les dispositions essentielles du projet et un devis descriptif dans lequel seront reproduites, sous forme de tableaux, les indications relatives aux déclivités et aux courbes déjà données sur le profil en long.

La position des gares et stations projetées, celle des cours d'eau et des voies de communication traversées par le chemin de fer, des passages soit à niveau, soit en dessus, soit en dessous de la voie ferrée, devront être indiquées tant sur le plan que sur le profil en long, le tout sans préjudice des projets à fournir pour chacun de ces ouvrages.

Acquisition des terrains. — Ouvrages d'art. — Établissement de la deuxième voie.

Art. 6. — Les terrains seront acquis, les ouvrages d'art et les terrassements seront exécutés et les rails seront posés pour une voie seulement, sauf l'établissement d'un certain nombre de gares d'évitement.

Le concessionnaire sera tenu d'exécuter à ses frais une seconde voie, lorsque la recette brute kilométrique aura atteint le chiffre de 35,000 fr. pendant une année.

En dehors du cas prévu par le paragraphe précédent, il pourra, à toute époque de la concession, être requis par le préfet au nom du département et par le ministre au nom de l'État, d'exécuter et d'exploiter une seconde voie sur tout ou

partie de la ligne, moyennant le remboursement des frais d'établissement de ladite voie.

Si les travaux de la double voie requise ne sont pas commencés et poursuivis dans les délais et conditions prescrits par la décision qui les a ordonnés, l'administration pourra mettre le chemin de fer tout entier sous séquestre et exécuter elle-même les travaux.

Les terrains acquis pour l'établissement du chemin de fer ne pourront recevoir une autre destination.

Largeur de la voie. — Gabarit du matériel roulant.

Art. 7. — La largeur de la voie entre les bords intérieurs des rails sera de 4 mètre.

La largeur des locomotives et des caisses des véhicules ainsi que de leur chargement ne dépassera pas 2 m. 50 et la largeur du matériel roulant, y compris toutes les saillies, notamment celle des marchepieds latéraux, restera inférieure à 2 m. 80; la hauteur du matériel roulant au-dessus des rails sera au plus de 3 m. 60.

Dans les parties à deux voies, la largeur de l'entre-voie mesurée entre les bords extérieurs des rails sera de 2 m. 20.

La largeur des accotements, c'est-à-dire des parties comprises de chaque côté entre le bord extérieur du rail et l'arête supérieure du ballast, sera de 90 centimètres.

L'épaisseur de la couche de ballast sera d'au moins 35 centimètres, à moins d'une autorisation spéciale qui pourra être accordée par le préfet, sur la demande du concessionnaire. Au pied de chaque talus du ballast, il devra toujours être ménagé une banquette de largeur telle que l'arête de cette banquette se trouve à 90 centimètres au moins de la verticale de la partie la plus saillante du matériel roulant.

Dans les parties en déblai, dans le rocher compact, le ballast pourra être supprimé, et, dans ce cas, les traverses seront scellées au roc par des crampons en fer.

Le concessionnaire établira, le long du chemin de fer, les fossés ou rigoles qui seront jugées nécessaires pour l'assèchement de la voie et l'écoulement des eaux.

Les dimensions de ces fossés et rigoles seront déterminées par le préfet, suivant les circonstances locales, sur les propositions du concessionnaire.

Alignements et courbes. — Pentes et rampes.

Art. 8. — Les alignements seront raccordés entre eux par des courbes dont le rayon ne pourra être inférieur à 50 mètres.

Une partie droite de 20 mètres au moins de longueur devra être ménagée entre deux courbes consécutives, lorsqu'elles seront dirigées en sens contraire.

Le maximum des déclivités est fixé à 25 centimètres. Dans les parties où la traction se fera par adhérence, s'il en est établi, ce maximum sera réduit à 30 millimètres.

Une partie horizontale de 40 mètres au moins devra être ménagée entre deux déclivités consécutives de sens contraire.

Les déclivités correspondant aux courbes de faible rayon devront être réduites autant que faire se pourra.

Le concessionnaire aura la faculté, dans des cas exceptionnels, de proposer aux dispositions du présent article les modifications qui lui paraîtraient utiles ; mais ces modifications ne pourront être exécutées que moyennant l'approbation préalable du préfet.

Gares et stations.

Art. 9. — Le nombre et l'emplacement des stations ou haltes de voyageurs et des gares de marchandises seront arrêtés par le Conseil général sur les propositions du concessionnaire, après une enquête spéciale. Il demeure toutefois entendu, dès à présent, que des stations seront établies dans les localités ci-après :

- 1° Station du départ à Aix-les-Bains ;
- 2° Halte à Mouxy ;
- 3° Halte et croisement à Pugny-Chatenod ;
- 4° Halte et croisement au Pré-Japert ;
- 5° Station terminus au Grand-Revard.

Si cependant l'exploitation de nouvelles stations, gares ou

haltes est reconnue nécessaire, d'accord avec le département et le concessionnaire, il sera procédé à une enquête spéciale.

L'emplacement en sera définitivement arrêté par le Conseil général, le concessionnaire entendu.

Le nombre, l'étendue de l'emplacement des gares d'évitement seront déterminés par le préfet, le concessionnaire entendu. Si la sécurité publique l'exige, le préfet pourra, pendant le cours de l'exploitation, prescrire l'établissement de nouvelles gares d'évitement ainsi que l'augmentation des voies dans les stations et aux abords des stations.

Le concessionnaire sera tenu, préalablement à tout commencement d'exécution, de soumettre au préfet les projets de détail de chaque gare, station ou halte, lesquels se composeront :

1° D'un plan à l'échelle de 1/500 indiquant les voies, les quais, les bâtiments et leur distribution intérieure, ainsi que la disposition et leurs abords ;

2° D'une élévation des bâtiments à l'échelle de 1 centimètre par mètre ;

3° D'un mémoire descriptif dans lequel les dispositions essentielles du projet seront justifiées.

Traversées des routes et chemins.

Art. 10. — Le concessionnaire sera tenu de rétablir les communications interceptées par le chemin de fer, suivant les dispositions qui seront approuvées par l'administration compétente.

Passages au-dessus des routes et chemins.

Art. 11. — Lorsque le chemin de fer devra passer au-dessus d'une route nationale ou départementale ou d'un chemin vicinal, l'ouverture du viaduc sera fixée par le ministre des travaux publics ou par le préfet, suivant le cas, en tenant compte des circonstances locales ; mais cette ouverture ne pourra, dans aucun cas, être inférieure à 8 mètres pour la route nationale, à 7 mètres pour la route départementale, à 5 mètres pour un chemin vicinal de grande communication ou d'intérêt commun et à 4 mètres pour un simple chemin vicinal.

Pour les viaducs de forme cintrée, la hauteur sous clef à partir du sol de la route sera de 5 mètres au moins. Pour ceux qui seront formés de poutres horizontales en bois ou en fer, la hauteur sous poutre sera de 4 m. 30 au moins.

La largeur entre les parapets sera au moins de 4 m. 20. La hauteur de ces parapets ne pourra dans aucun cas être inférieure à 1 mètre.

Sur les lignes et sections pour lesquelles la Compagnie exécutera les ouvrages d'art pour deux voies, la largeur des viaducs entre les parapets sera au moins de 7 m. 50.

Passages au-dessous des routes et chemins.

Art. 12. — Lorsque le chemin de fer devra passer au-dessous d'une route nationale ou départementale ou d'un chemin vicinal, la largeur entre les parapets du pont qui supportera la route ou le chemin sera fixé par le ministre des travaux publics ou le préfet, suivant le cas, en tenant compte des circonstances locales ; mais cette largeur ne pourra, dans aucun cas, être inférieure à 8 mètres pour la route nationale, à 7 mètres pour la route départementale, à 5 mètres pour un chemin vicinal de grande communication et à 4 mètres pour un simple chemin vicinal.

L'ouverture du pont entre les culées sera au moins de 4 m. 20 pour les chemins à une voie, de 7 m. 50 sur les lignes ou sections pour lesquelles le concessionnaire exécutera les ouvrages d'art pour deux voies. Cette largeur règnera jusqu'à deux mètres au moins au-dessus du niveau du rail. La distance verticale qui sera ménagée au-dessus des rails pour le passage des trains dans une largeur égale à celle qui est occupée par les caisses des voitures, ne sera pas inférieure à 4 m. 20.

Passages à niveau.

Art. 13. — Dans le cas où les routes nationales ou départementales ou des chemins vicinaux, ruraux ou particuliers, seraient traversés à leur niveau par le chemin de fer, les rails et contre-rails devront être posés sans aucune saillie ni dépres-

sion sur la surface de ces routes et de telle sorte qu'il n'en résulte aucune gêne pour la circulation des voitures.

Le croisement à niveau du chemin de fer et des routes ne pourra s'effectuer sous un angle inférieur à 45°, à moins d'une autorisation formelle de l'autorité supérieure. L'ouverture libre des passages à niveau sera d'au moins 6 mètres pour les routes nationales et départementales et les chemins vicinaux de grande communication, et d'au moins 4 mètres pour les autres chemins.

Le préfet déterminera, sur la proposition du concessionnaire, les types de barrières qu'il devra poser aux passages à niveau, ainsi que des abris ou maisons de gardes à établir. Il peut dispenser d'établir des maisons de garde ou des abris et même de poser des barrières au croisement des chemins peu fréquentés.

La déclivité des routes et chemins aux abords des passages à niveau sera réduite à 20 millièmes au plus sur 10 mètres de longueur de part et d'autre de chaque passage, sauf les exceptions motivées par les circonstances locales, lesquelles seront autorisées par le préfet sur la demande du concessionnaire.

Rectification des routes.

Art. 14. — Lorsqu'il y a lieu de modifier l'emplacement ou le profil des routes existantes, l'inclinaison des pentes ou rampes sur les routes modifiées ne pourra excéder deux centimètres par mètre pour les routes nationales et 5 centimètres pour les routes départementales et les chemins vicinaux. Le préfet restera libre, toutefois, d'apprécier les circonstances qui pourraient modifier une dérogation à cette clause, en ce qui touche les routes départementales et les chemins vicinaux ; le ministre statuera en tout ce qui concerne les routes nationales.

Écoulement des eaux. — Débouché des ponts.

Art. 15. — Le concessionnaire sera tenu de rétablir et d'assurer, à ses frais, pendant la durée de sa concession, l'écoulement de toutes les eaux dont le cours aurait été arrêté, sus-

pendu ou modifié par ses travaux et de prendre les mesures nécessaires pour prévenir l'insalubrité pouvant résulter de chambres d'emprunt.

Les viaducs à construire à la rencontre des rivières, des canaux et des cours d'eau quelconques auront au moins 4 m. 20 de largeur entre les parapets sur les chemins à une voie et 7 m. 50 sur les chemins à deux voies, et ils présenteront, en outre, les garages nécessaires pour la sécurité des ouvriers de la voie. La hauteur des parapets ne pourra jamais être inférieure à 1 mètre.

La hauteur et le débouché du viaduc seront déterminés dans chaque cas particulier par l'administration, suivant les circonstances locales.

Dans tous les cas où l'administration le jugera utile, il pourra être accolé aux ponts établis par le concessionnaire pour le service du chemin de fer une voie charretière ou une passerelle pour piétons.

L'excédent de dépenses qui en résultera sera supporté suivant le cas par l'État, le département ou les communes intéressées, d'après l'évaluation contradictoire qui sera faite par les ingénieurs ou les agents désignés par l'autorité compétente et par les ingénieurs de la compagnie.

Souterrains.

Art. 16. — Les souterrains établis pour le passage du chemin de fer auront au moins 4 m. 20 de largeur entre les pieds-droits au niveau des rails pour les chemins à une voie et 7 m. 50 de largeur pour les lignes ou sections à deux voies. Cette largeur règnera jusqu'à 2 mètres au moins au-dessus du niveau des rails. Des garages seront établis à 50 mètres de distance de chaque côté et seront disposés en quinconce d'un côté à l'autre. La hauteur sous clé au-dessus de la surface des rails sera de 4 m. 80. La distance verticale qui sera ménagée entre l'intrados et le dessus des rails, pour le passage des trains, dans une largeur égale à celle qui est occupée par les caisses des voitures ne sera pas inférieure à 4 m. 20. L'ouverture des puits d'aérage et de construction des souterrains

sera entourée d'une margelle en maçonnerie de 2 mètres de hauteur. Cette ouverture ne pourra être établie sur aucune voie publique.

Maintien des communications.

Art. 17. — A la rencontre des cours d'eau flottables ou navigables, le concessionnaire sera tenu de prendre toutes les mesures et de payer tous les frais nécessaires pour que le service de la navigation ou du flottage n'éprouve ni interruption ni entrave pendant l'exécution des travaux.

A la rencontre des routes nationales ou départementales et des autres chemins publics, il sera construit des chemins et ponts provisoires, par les soins et aux frais du concessionnaire, partout où cela sera jugé nécessaire, pour que la circulation n'éprouve ni interruption ni gêne.

Avant que les communications existantes puissent être interceptées, une reconnaissance sera faite par les ingénieurs de la localité, afin de constater si les ouvrages provisoires présentent une solidité suffisante et s'ils peuvent assurer le service de la circulation.

Un délai sera fixé par l'administration pour l'exécution des travaux définitifs destinés à rétablir les communications interceptées.

Exécution des travaux.

Art. 18. — Le concessionnaire n'emploiera dans l'exécution des ouvrages que des matériaux de bonne qualité; il sera tenu de se conformer à toutes les règles de l'art, de manière à obtenir une construction parfaitement solide.

Tous les aqueducs, ponceaux, ponts et viaducs à construire à la rencontre des divers cours d'eau ou des chemins publics ou particuliers seront en maçonnerie ou en fer, sauf les cas d'exception qui pourront être admis par l'administration.

Voies.

Art. 19. — Les voies seront établies d'une manière solide et avec des matériaux de bonne qualité.

Les rails seront en acier et du poids de 17 kg. au moins par mètre courant sur les voies de circulation.

L'espacement maximum des traverses sera de 1 mètre d'axe en axe. Le type de ces traverses devra être accepté par le préfet.

Enfin, le concessionnaire sera tenu de soumettre au préfet les dispositions de détail du type de crémaillère qu'il compte adopter.

Clôtures.

Art. 20. — Conformément à l'article 20 de la loi du 11 juin 1880, le concessionnaire sera dispensé de poser des clôtures sur toute la ligne sauf à la traversée du chemin vicinal n° 23 et du chemin d'intérêt commun n° 48, ainsi qu'à la traversée du chemin de grande communication n° 11, de Chambéry à Albens, où des clôtures seront établies sur 10 mètres de longueur de chaque côté du passage à niveau.

Indemnités de terrains et de dommages.

Art. 21. — Tous les terrains nécessaires pour l'établissement du chemin de fer et de ses dépendances, pour la déviation des voies de communication et des cours d'eau déplacés et, en général, pour l'exécution des travaux, quels qu'ils soient, auxquels cet établissement pourra donner lieu, seront achetés et payés par le concessionnaire.

Les indemnités pour occupation temporaire ou pour détérioration de terrains, pour chômage, modification ou destruction d'usines et pour dommages quelconques résultant des travaux, seront supportées et payées par le concessionnaire.

Droits conférés au concessionnaire.

Art. 22. — L'entreprise étant d'utilité publique, le concessionnaire est investi, pour l'exécution des travaux dépendant de sa concession, de tous les droits que les lois et règlements confèrent à l'administration en matière de travaux publics, soit pour l'acquisition des terrains par voie d'expropriation

soit pour l'extraction, le transport et le dépôt des terres, matériaux, etc., et il demeure en même temps soumis à toutes les obligations qui dérivent pour l'administration de ces lois et règlements.

Servitudes militaires.

Art. 23. — Dans les limites de la zone frontière et dans les rayons de servitude des enceintes fortifiées, le concessionnaire sera tenu, pour l'étude et l'exécution de ses projets, de se soumettre à l'exécution de toutes les formalités et de toutes les conditions exigées par les lois, décrets et règlements concernant les travaux mixtes.

Mines.

Art. 24. — Si la ligne du chemin de fer traverse un sol déjà concédé pour l'exploitation d'une mine, les travaux de consolidation à faire dans l'intérieur de la mine qui pourraient être imposés par le ministre des travaux publics, ainsi que les dommages résultant de cette traversée pour les concessionnaires de la mine, seront à la charge du concessionnaire.

Carrières.

Art. 25. — Si le chemin de fer doit s'étendre sur des terrains renfermant des carrières, ou les traverser souterrainement, il ne pourra être livré à la circulation avant que les excavations qui pourraient en compromettre la solidité aient été remblayées ou consolidées. Les travaux que le ministre des travaux publics pourrait ordonner à cet effet seront exécutés par les soins et aux frais du concessionnaire.

Contrôle et surveillance des travaux.

Art. 26. — Les travaux seront soumis au contrôle et à la surveillance du préfet, sous l'autorité du ministre des travaux publics.

Ils seront conduits de manière à nuire le moins possible à la liberté et à la sûreté de la circulation. Les chantiers ouverts

sur le sol des voies publiques seront éclairés et gardés pendant la nuit.

Les travaux devront être adjugés par lots et sur série de prix, soit avec publicité et concurrence, soit sur soumissions cachetées entre entrepreneurs agréés à l'avance. Toutefois, si le Conseil d'administration juge convenable, pour une entreprise ou une fourniture déterminée, de procéder par voie de régie ou de traité direct, il devra obtenir de l'assemblée générale des actionnaires la sanction, soit de la régie, soit du traité.

Tout marché à forfait, avec ou sans série de prix, passé avec un entrepreneur, soit pour l'ensemble du chemin de fer, soit pour l'exécution des terrassements ou ouvrages d'art, soit pour la construction d'une ou plusieurs sections du chemin de fer, est, dans tous les cas, formellement interdit.

Le contrôle et la surveillance du préfet auront pour objet d'empêcher le concessionnaire de s'écarter des dispositions prescrites par le présent cahier des charges et de celles qui résulteront des projets approuvés.

Réception des travaux.

Art. 27. — A mesure que des travaux seront terminés sur des parties du chemin de fer susceptibles d'être livrées utilement à la circulation, il sera procédé à la reconnaissance et, s'il y a lieu, à la réception provisoire de ces travaux par un ou plusieurs commissaires que le préfet désignera.

Sur le vu du procès-verbal de cette reconnaissance, le préfet autorisera, s'il y a lieu, la mise en exploitation des parties dont il s'agit ; après cette autorisation, le concessionnaire pourra mettre lesdites parties en service et y percevoir les taxes ci-après déterminées. Toutefois, ces réceptions partielles ne deviendront définitives que par la réception générale et définitive du chemin de fer, laquelle sera faite dans la même forme que les réceptions partielles.

Bornage et plan cadastral.

Art. 28. — Immédiatement après l'achèvement des travaux, et au plus tard six mois après la mise en exploitation de la

ligne ou de chaque section, le concessionnaire fera faire à ses frais un bornage contradictoire avec chaque propriétaire riverain, en présence d'un représentant du département, ainsi qu'un plan cadastral du chemin de fer et de ses dépendances.

Il fera dresser, également à ses frais, et contradictoirement avec les agents désignés par le préfet, un état descriptif de tous les ouvrages d'art qui auront été exécutés, ledit état accompagné d'un atlas contenant les dessins cotés de tous les ouvrages.

Une expédition dûment certifiée des procès-verbaux de bornage, du plan cadastral, de l'état descriptif et de l'atlas sera dressée aux frais du concessionnaire et déposée dans les archives de la préfecture.

Les terrains acquis par le concessionnaire postérieurement au bornage général, en vue de satisfaire aux besoins de l'exploitation et qui, par cela même, deviendront partie intégrante du chemin de fer, donneront lieu, au fur et à mesure de leur acquisition, à des bornages supplémentaires et seront ajoutés sur le plan cadastral ; addition sera également faite sur l'atlas de tous les ouvrages d'art exécutés postérieurement à sa rédaction.

TITRE II

ENTRETIEN ET EXPLOITATION

Entretien.

Art. 29. — Le chemin de fer et toutes ses dépendances seront constamment entretenus en bon état, de manière que la circulation y soit toujours facile et sûre.

Les frais d'entretien et ceux auxquels donneront lieu les réparations ordinaires et extraordinaires seront entièrement à la charge du concessionnaire.

Si le chemin de fer, une fois achevé, n'est pas constamment entretenu en bon état, il y sera pourvu d'office, à la diligence du préfet et aux frais du concessionnaire, sans préjudice, s'il

y a lieu, de l'application des dispositions indiquées ci-après dans l'article 39.

Le montant des avances faites sera recouvré au moyen des rôles que le préfet rendra exécutoires.

Gardiens.

Art. 30. — Le concessionnaire sera tenu d'établir à ses frais, partout où la nécessité en aura été reconnue par le préfet, des gardiens en nombre suffisant pour assurer la sécurité du passage des trains sur la voie et celle de la circulation sur les points où le chemin de fer traverse à niveau des routes ou chemins publics.

Matériel roulant.

Art. 31. — Le matériel roulant qui sera mis en circulation sur le chemin de fer concédé devra passer librement dans le gabarit, dont les dimensions sont définies par le deuxième paragraphe de l'art. 7.

Les machines locomotives seront construites sur les meilleurs modèles; elles devront consumer leur fumée et satisfaire d'ailleurs à toutes les conditions prescrites ou à prescrire par l'administration pour la mise en service de ce genre de machines. En vue de la fixation de ces conditions, le concessionnaire sera tenu de soumettre au préfet les dispositions qu'il compte adopter.

Chaque wagon sera muni d'un frein à friction et à main, d'un frein automatique; les machines porteront également ces appareils et, en outre, un frein modérateur destiné à régler la vitesse à la descente, lequel pourra d'ailleurs être imposé pour tous les wagons, si l'on en reconnaît la nécessité. Les dispositions de ces freins devront être détaillées dans le projet d'exécution.

Les voitures des voyageurs devront être faites d'après les meilleurs modèles et satisfaire à toutes les conditions réglées ou à régler pour les voitures servant au transport des voyageurs sur les chemins de fer.

Elles seront suspendues sur ressorts et n'auront qu'un étage; elles seront complètement couvertes. Latéralement,

elles seront fermées au moyen de portières avec glaces et rideaux ou laissées ouvertes suivant les propositions du concessionnaire soumises à l'approbation du préfet. On y accédera par des marchepieds latéraux de 25 centimètres de largeur.

Les dossiers et les banquettes devront être inclinés et les dossiers auront une hauteur de 50 centimètres.

Il n'y aura des places que d'une seule classe, mais il pourra être établi des places de luxe s'il y a lieu. Pour la disposition des places, le concessionnaire se conformera aux prescriptions qui seront arrêtées par le préfet.

L'intérieur de chaque compartiment contiendra l'indication du nombre de places de ce compartiment.

On ne pourra exiger qu'un compartiment soit réservé, dans les trains de voyageurs, aux femmes voyageant seules.

Les voitures de voyageurs, les wagons destinés au transport des marchandises, des chaises de poste, les plateformes et, en général, toutes les parties du matériel roulant seront de bonne et solide construction.

Le concessionnaire sera tenu, pour la mise en service de ce matériel, de se soumettre à tous les règlements sur la matière. Il devra être notamment procédé à des essais sur les freins de chaque wagon par un ou plusieurs commissaires que le préfet désignera.

Le nombre des voitures à freins qui doivent entrer dans la composition des trains sera réglé par le préfet, en rapport avec les déclivités de la ligne.

Les machines locomotives, tenders, voitures, wagons de toute espèce, plates-formes composant le matériel roulant, seront constamment tenus en bon état.

Nombre minimum des trains.

Art. 32. — Le nombre minimum des trains qui desserviront tous les jours la ligne entière dans chaque sens est fixé à deux. Toutefois, vu le but spécial de la ligne projetée qui est le transport des personnes ne voyageant que pour leur agrément, ce nombre pourra varier suivant les saisons, sur la proposition du concessionnaire et après décision du préfet. Celui-ci

pourra, d'ailleurs, autoriser la suspension complète de l'exploitation pendant l'hiver sur tout ou partie de la ligne.

Règlements de police et d'exploitation.

Art. 33. — Le concessionnaire supportera les dépenses qu'entraînera l'exécution des ordonnances, décrets, décisions ministérielles et arrêtés préfectoraux rendus ou à rendre par application de la loi du 15 juillet 1845 et de celle du 11 juin 1880, au sujet de la police et de l'exploitation des chemins de fer.

Le concessionnaire sera tenu de soumettre à l'approbation du préfet les règlements de service intérieurs relatifs à l'exploitation du chemin de fer. Il demeure toutefois entendu, dès à présent, que dans les trains, la machine locomotive devra toujours se placer du côté de la vallée, en queue du train pour la montée et en tête à la descente, ce qui entraînera, dans le cas de rebroussement, l'obligation de prévoir des installations destinées à permettre à la machine de passer de la queue à la tête du train ou inversement.

Le préfet déterminera, sur la proposition du concessionnaire, le minimum de la vitesse des convois de voyageurs et de marchandises sur les différentes sections de la ligne, la durée du trajet et le tableau de la marche des trains. Quant à la vitesse maximum elle est, dès à présent, fixée à 40 kilomètres à l'heure.

TITRE III

DURÉE, RACHAT ET DÉCHÉANCE DE LA CONCESSION

Durée de la concession.

Art. 34. — La durée de la concession pour la ligne mentionnée à l'article 1^{er} du présent cahier des charges commencera à courir de la date de la loi qui approuvera la convention. Elle prendra fin quatre-vingt-dix-neuf ans après.

Expiration de la concession.

Art. 35. — A l'époque fixée pour l'expiration de la concession et par le seul fait de cette expiration, le département sera subrogé à tous les droits du concessionnaire sur le chemin de fer et ses dépendances et il entrera immédiatement en jouissance de ses produits.

Le concessionnaire sera tenu de lui remettre en bon état d'entretien le chemin de fer et tous les immeubles qui en dépendent, quelle qu'en soit l'origine, tels que les bâtiments des gares et stations, les remises, ateliers et dépôts, les maisons de garde, etc. Il en sera de même de tous les objets immobiliers dépendant également dudit chemin, tels que les barrières et clôtures, les voies, changements de voies, plaques tournantes, réservoirs d'eau, grues hydrauliques, machines fixes, etc.

Dans les cinq dernières années qui précéderont le terme de la concession, le département aura le droit de saisir les revenus du chemin de fer et de les employer à rétablir en bon état le chemin de fer et ses dépendances, si le concessionnaire ne se mettait pas en mesure de satisfaire pleinement et entièrement à cette obligation.

En ce qui concerne les objets mobiliers, tels que le matériel roulant, le mobilier des stations, l'outillage des ateliers et des gares, le département se réserve le droit de les reprendre en totalité ou pour telle partie qu'il jugera convenable, à dire d'expert, mais sans pouvoir y être contraint. La valeur des objets repris sera payée au concessionnaire dans les six mois qui suivront l'expiration de la concession et la remise du matériel au département.

Le département sera tenu, si le concessionnaire le requiert, de reprendre les matériaux, combustibles et approvisionnements de tout genre sur l'estimation qui en sera faite à dire d'expert, et réciproquement, si le département le requiert, le concessionnaire sera tenu de céder ses approvisionnements et de la même manière. Toutefois, le département ne pourra être obligé de reprendre que les approvisionnements nécessaires à l'exploitation du chemin de fer pendant six mois.

Rachat de la concession.

Art. 36. — Le département aura toujours le droit de racheter la concession.

Si le rachat a lieu avant l'expiration des quinze premières années de l'exploitation, il se fera conformément au paragraphe 3 de l'article 11 de la loi du 11 juin 1880. Ce terme de quinze ans sera compté à partir de la mise en exploitation effective de la ligne entière, ou au plus tard à partir de la fin du délai qui est fixé dans l'article 2 du présent cahier des charges, sans tenir compte des retards qui auraient eu lieu dans l'achèvement des travaux.

Si le rachat de la concession entière est demandé par le département après l'expiration des quinze premières années de l'exploitation, on règlera le prix du rachat en relevant les produits nets annuels obtenus par le concessionnaire pendant les sept années qui auront précédé celle où le rachat sera effectué et en y comprenant les annuités qui auront été payées à titre de subvention ; on en déduira les produits nets des deux plus faibles années, et l'on établira le produit net moyen des cinq autres années.

Ce produit net moyen formera le montant d'une annuité qui sera due et payée au concessionnaire pendant chacune des années restant à courir sur la durée de la concession.

Dans aucun cas, le montant de l'annuité ne sera inférieur au produit net de la dernière des sept années prises pour terme de comparaison. Le concessionnaire recevra, en outre, dans les six mois qui suivront le rachat, les remboursements auxquels il aurait droit à l'expiration de la concession suivant les deux derniers paragraphes de l'article 35, la reprise de la totalité des objets mobiliers étant ici obligatoire dans tous les cas pour le département.

Le concessionnaire ne pourra élever aucune réclamation. dans le cas où le chemin concédé ayant été déclaré d'intérêt général, l'État sera substitué au département dans tous les droits que ce dernier tient de la loi du 11 juin 1880 et du présent cahier des charges.

Si l'État rachète la concession passé le terme de quinze an-

nées qui est fixé dans le paragraphe 1^{er} du présent article, le rachat sera opéré suivant les dispositions qui précèdent. Dans le cas où, au contraire, l'Etat déciderait de racheter la concession avant l'expiration de ce terme, l'indemnité qui pourra être due au concessionnaire sera liquidée par une commission spéciale, conformément au paragraphe 2 de l'article 11 de la loi du 11 juin 1880.

Déchéance.

Art. 37. — Si le concessionnaire n'a pas remis au préfet les projets définitifs et s'il n'a pas commencé les travaux dans les délais fixés par les articles 2 et 3, il encourra la déchéance qui sera prononcée par le ministre des travaux publics après une mise en demeure, sauf recours au Conseil d'État par la voie contentieuse.

Dans ces deux cas, la somme de 40,000 fr. qui aura été déposée, ainsi qu'il sera dit à l'article 66, à titre de cautionnement, deviendra la propriété du département et lui restera acquise.

Achèvement des travaux en cas de déchéance.

Art 38. — Faute par le concessionnaire d'avoir poursuivi et terminé les travaux dans les délais et conditions fixés par l'article 2, faute aussi par lui d'avoir rempli les diverses obligations qui lui sont imposées par le présent cahier des charges et dans le cas prévu par l'article 10 de la loi du 11 juin 1880, il encourra, soit la perte partielle de son cautionnement dans les conditions prévues par l'acte de concession, soit la perte totale de ce cautionnement, soit enfin la déchéance. Dans tous les cas, il sera statué sur la demande du département, après mise en demeure par le ministre des travaux publics, sauf recours au Conseil d'État par la voie contentieuse. Dans les deux premiers cas, le cautionnement sera reconstitué dans le mois de la décision ministérielle.

Dans le cas de déchéance, il sera pourvu tant à la continuation et à l'achèvement des travaux qu'à l'exécution des autres engagements contractés par le concessionnaire, au moyen

d'une adjudication que l'on ouvrira sur une mise à prix des ouvrages exécutés, des matériaux approvisionnés et des parties du chemin de fer déjà livrées à l'exploitation.

Nul ne sera admis à concourir à cette adjudication s'il n'a été préalablement agréé par le préfet.

A cet effet, les personnes qui voudraient concourir seront tenues de déclarer, dans le délai qui sera fixé, leur intention par écrit déposée à la préfecture et accompagnée des pièces propres à justifier des ressources nécessaires pour remplir les engagements à contracter.

Ces pièces seront examinées par le préfet en conseil de préfecture. Chaque soumissionnaire sera informé de la décision prise en ce qui le concerne et, s'il y a lieu, du jour de l'adjudication.

Les personnes qui auront été admises à concourir devront faire, soit à la Caisse des dépôts et consignations, soit à la recette générale du département, le dépôt de garantie qui devra être égal au moins au trentième de la dépense à faire par le concessionnaire.

L'adjudication aura lieu suivant les formes indiquées aux articles 11, 12, 13, 15 et 16 de l'ordonnance royale du 10 mai 1829

Les soumissions ne pourront être inférieures à la mise à prix.

Le nouveau concessionnaire sera soumis aux clauses du présent cahier des charges et substitué au concessionnaire évincé pour recevoir les subventions de toute nature à échoir aux termes de l'acte de concession ; le concessionnaire évincé recevra de lui le prix que la nouvelle adjudication aura fixé.

La partie du cautionnement qui n'aura pas encore été restituée deviendra la propriété du département.

Si l'adjudication ouverte n'amène aucun résultat, une seconde adjudication sera tentée sur les mêmes bases, après un délai de trois mois. Cette fois, les soumissions pourront être inférieures à la mise à prix. Si cette seconde tentative reste également sans résultats, le concessionnaire sera définitivement déchu de tous droits, et alors les ouvrages exécutés, les

matériaux approvisionnés et les parties de chemin de fer déjà livrées à l'exploitation appartiendront au département.

Interruption de l'exploitation.

Art. 39. — Si l'exploitation du chemin de fer vient à être interrompue en totalité ou en partie, le préfet prendra immédiatement, aux frais et risques du concessionnaire, les mesures nécessaires pour assurer provisoirement le service.

Si, dans les trois mois de l'organisation du service provisoire, le concessionnaire n'a pas valablement justifié qu'il est en état de reprendre et de continuer l'exploitation, et s'il ne l'a pas effectivement reprise, la déchéance pourra être prononcée par le ministre des travaux publics. Cette déchéance prononcée, le chemin de fer et toutes ses dépendances seront mis en adjudication, et il sera procédé ainsi qu'il est dit à l'article précédent.

Cas de force majeure.

Art. 40. — Les dispositions des trois articles qui précèdent ne seraient pas applicables et la déchéance ne serait pas encourue, dans le cas où le concessionnaire n'aurait pu remplir ses obligations par suite de circonstances de force majeure dûment constatées.

TITRE IV

TAXES ET CONDITIONS RELATIVES AU TRANSPORT DES VOYAGEURS ET DES MARCHANDISES.

Tarifs des droits à percevoir.

Art. 41. — Pour indemniser le concessionnaire des travaux et dépenses qu'il s'engage à faire par le présent cahier des charges et sous la condition expresse qu'il en remplira exactement toutes les obligations, il est autorisé à percevoir pendant toute la durée de la concession les droits de transport ci-après déterminés :

TARIF DE TRANSPORT

PRIX MAXIMUM
par kilomètre.

I. — *Voyageurs.*

Vitesse unique et classe unique	0 50
Enfants. — Au-dessous de trois ans, les enfants ne payeront rien à la condition d'être portés sur les genoux des personnes qui les accompagnent. De trois à sept ans, ils payeront demi-place et auront droit à une place distincte ; toutefois, dans un même compartiment, deux enfants ne pourront occuper que la place d'un voyageur. Au-dessus de sept ans, ils payeront place entière.	
Chiens. — Les chiens payeront la moitié de la place d'un voyageur d'après le tarif ci-dessus.	

PRIX MAXIMUM
par kilogramme
sur tout le parcours

II. — *Bagages.*

De 0 à 10 kilogrammes	0 15
De 10 à 25 kilogrammes.	0 10
De 25 kilogrammes et au-dessus	0 15

PRIX MAXIMUM
par tonne
et par kilomètre.

III. — *Marchandises.*

Grande vitesse, quelle que soit la nature de la marchandise (denrées, grains, fourrages, charbons, bois, matériaux de construction de toute sorte, minerais, métaux, fers, fontes, objets quelconques)	3 50
Il ne sera pas fait de service spécial pour les marchandises. Elles seront transportées par les trains de voyageurs.	

IV. — *Cercueils.*

Chaque cercueil confié à l'administration du chemin de fer sera transporté dans un compartiment isolé au prix maximum de 6 francs par kilomètre

Les prix déterminés ci-dessus ne comprennent pas l'impôt dû à l'État.

Il est expressément entendu que les prix de transport ne seront dus au concessionnaire qu'autant qu'il effectuerait lui-même ces transports à ces frais et par ses propres moyens.

La perception aura lieu d'après le nombre de kilomètres parcourus. Tout kilomètre entamé sera payé comme s'il avait été parcouru en entier. Le tableau des distances entre les diverses localités sera arrêté par le préfet d'après le procès-verbal de chaînage dressé contradictoirement par le concessionnaire et les ingénieurs du contrôle. Ce chaînage sera fait suivant la voie la plus courte d'axe en axe des bâtiments des voyageurs des stations extrêmes. Les tarifs proposés d'après cette base seront soumis à l'homologation de M. le préfet.

Le poids de la tonne est de 1,000 kilogrammes.

Les fractions de poids ne seront comptées pour les marchandises que par centième de tonne ou par 10 kilogrammes. Ainsi, tout poids compris entre 0 et 10 kilogrammes payera comme 10 kilogrammes, entre 10 et 20 kilogrammes comme 20 kilogrammes, etc.

Quelle que soit la distance parcourue, le prix d'une expédition quelconque ne pourra être inférieure à 40 centimes.

Composition des trains.

Art. 42. — Le concessionnaire sera tenu d'admettre dans chaque train autant de voyageurs qu'en comportera le nombre maximum des voitures que les machines locomotives seront susceptibles de remorquer, nombre qui sera fixé par le préfet suivant les dimensions du matériel roulant et la puissance des moteurs.

Dans le cas où ce maximum serait atteint, la préférence serait donnée aux voyageurs qui auraient le plus long trajet à effectuer.

Bagages.

Art. 43. — Tout voyageur dont le bagage ne pèsera pas plus de 5 kilogrammes n'aura à payer pour le port de ce bagage aucun supplément du prix de sa place.

Cette franchise ne s'appliquera pas aux enfants transportés gratuitement ni à ceux transportés à moitié prix.

Assimilation des classes de marchandises.

Art. 44 (supprimé).

Transport de masses indivisibles.

Art. 45. — Les prix de transport déterminés au tarif ne sont point applicables à toute masse indivisible pesant plus de 300 kilogrammes.

Néanmoins, le concessionnaire ne pourra se refuser à transporter les masses indivisibles pesant de 300 à 500 kilogrammes, mais les prix de transport seront augmentés de moitié.

Le concessionnaire ne pourra être contraint à transporter les masses pesant plus de 500 kilogrammes.

Si nonobstant la disposition qui précède, le concessionnaire transporte des masses indivisibles pesant plus de 500 kilogrammes, il devra, pendant trois mois au mois, accorder les mêmes facultés à tous ceux qui en feraient la demande.

Dans ce cas, les prix de transport seront fixés par l'administration sur la proposition du concessionnaire.

Exceptions. — Envois par groupes.

Art. 46. — Les prix de transport déterminés au tarif ne sont point applicables :

1° Aux denrées et objets qui ne pèseraient pas 200 kilogrammes sous le volume de 1 mètre cube ;

2° Aux matières inflammables ou explosibles, aux objets dangereux pour lesquels les règlements de police prescriraient des précautions spéciales ;

3° A l'or et à l'argent, soit en lingots, soit monnayé ou tra-

vaillé, ou plaqué d'or ou d'argent, ainsi qu'aux bijoux, dentelles, pierres précieuses, objets d'art et autres valeurs ;

4° Et en général à tous paquets, colis, pesant isolément 40 kilogr. et au-dessous.

Toutefois, les prix de transport déterminés aux tarifs sont applicables à tous paquets ou colis quoique emballés à part, s'ils font partie d'envois pesant ensemble plus de 40 kilogrammes d'objets envoyés par une même personne à une même personne. Il en sera de même pour les excédents de bagages qui pèseraient ensemble ou isolément plus de 40 kilogr.

Le bénéfice de la disposition énoncée dans le paragraphe précédent en ce qui concerne les paquets ou colis ne peut être invoqué par les entrepreneurs de messageries et de roulage et autres intermédiaires de transport, à moins que les articles par eux envoyés ne soient réunis en un seul colis.

Dans les quatre cas ci-dessus spécifiés, les prix de transport seront arrêtés annuellement par le préfet, sur la proposition du concessionnaire.

En ce qui concerne les paquets ou colis mentionnés au paragraphe 4 ci-dessus, les prix de transport devront être calculés de telle manière qu'en aucun cas un de ces paquets ou colis ne puisse payer un prix plus élevé qu'un article de même nature pesant plus de 40 kilogrammes.

Abaissement des tarifs.

Art. 47. — Dans le cas où le concessionnaire jugerait convenable, soit pour le parcours total, soit pour les parcours partiels de la voie de fer, d'abaisser avec ou sans conditions, au dessous des limites déterminées par le tarif, les taxes qu'il est autorisé à percevoir, les taxes abaissées ne pourront être relevées qu'après un délai de trois mois au moins pour les voyageurs et d'un an pour les marchandises.

Toute modification de tarif proposée par le concessionnaire sera annoncée un mois d'avance par les affiches.

La perception des tarifs modifiés ne pourra avoir lieu qu'avec l'homologation du préfet ou du ministre des travaux publics suivant les distinctions établies par l'article 5 de la loi du 11

juin 1880 et conformément aux dispositions de l'ordonnance du 15 novembre 1846.

La perception des taxes devra se faire indistinctement et sans aucune faveur.

Tout traité particulier qui aurait pour effet d'accorder à un ou plusieurs expéditeurs une réduction sur les tarifs homologués demeure formellement interdit.

Toutefois, cette disposition n'est pas applicable aux traités qui pourraient intervenir entre le Gouvernement et le concessionnaire dans l'intérêt des services publics, ni aux réductions ou remises qui seraient accordées par le concessionnaire aux indigents et aux gardes assermentés.

En cas d'abaissement des tarifs, la réduction portera proportionnellement sur le péage et le transport.

Quand deux années consécutives auront donné un produit net moyen permettant d'attribuer au capital de premier établissement, défini ainsi qu'il est dit à l'article 1^{er} du règlement d'administration publique du 20 mars 1882, un revenu net annuel supérieur à 11 p. 100, l'Etat aura le droit d'exiger l'abaissement de certains tarifs à son choix.

Cet abaissement sera calculé de manière à produire une diminution du revenu net annuel d'environ 1 p. 100, et les nouveaux tarifs seront mis en vigueur le 1^{er} janvier de l'année qui suivra celle pendant laquelle le revenu net moyen supérieur à 11 p. 100, afférent aux deux précédentes, aura été constaté.

Tant qu'après cet abaissement le revenu net annuel restera compris entre 10 et 12 p. 100, aucun tarif ne pourra être abaissé d'office par l'administration ni relevé par elle sur l'initiative du concessionnaire.

Si le revenu net moyen de deux années consécutives devient inférieur à 10 p. 100, le concessionnaire aura le droit de revenir aux premiers tarifs à partir du 1^{er} janvier de l'année qui suivra celle pendant laquelle ce revenu net moyen inférieur à 10 p. 100, afférent aux deux précédentes, aura été constaté.

Si, au contraire, le revenu net moyen de deux années consécutives dépasse 12 p. 100, l'Etat aura le droit d'exiger un

nouvel abaissement de certains tarifs à son choix, calculé de manière à produire une diminution probable de revenu annuel d'environ 1 p. 100.

Tant qu'après cet abaissement le revenu net annuel restera compris entre 11 et 13 p. 100, aucun tarif ne pourra être ni abaissé d'office par l'administration ni relevé par elle sur l'initiative du concessionnaire.

On procédera de même indéfiniment, suivant les variations du revenu net annuel de la ligne.

Délais d'expédition.

Art. 48. — Le concessionnaire sera tenu d'effectuer constamment avec soin, exactitude et célérité, et sans tour de faveur, le transport des voyageurs, denrées, marchandises et objets quelconques qui lui seront confiés.

Les colis et objets quelconques seront inscrits, à la gare d'où ils partent et à la gare où ils arrivent, sur des registres spéciaux au fur et à mesure de leur réception; mention sera faite sur le registre de la gare de départ du prix total dû pour le transport.

Pour les marchandises ayant une même destination, les expéditions auront lieu suivant l'ordre de leur inscription à la gare de départ.

Toute expédition de marchandises sera constatée, si l'expéditeur le demande, par une lettre de voiture dont un exemplaire restera aux mains du concessionnaire et l'autre aux mains de l'expéditeur. Dans le cas où l'expéditeur ne demanderait pas de lettre de voiture, le concessionnaire sera tenu de lui délivrer un récépissé qui énoncera la nature et le poids du colis, le prix total du transport et le délai dans lequel ce transport sera effectué.

Délais de livraison.

Art. 49. — Les denrées, marchandises et objets quelconques sont expédiés et livrés de gare en gare dans les délais résultant des conditions ci-après exprimées :

1° Les denrées, quelle que soit leur nature, seront expédiées

par le premier train comprenant des fourgons à marchandises et correspondant avec leur destination, pourvu qu'elles aient été présentées à l'enregistrement trois heures avant le départ de ce train.

Elles seront mises à la disposition des destinataires, à la gare, dans le délai de deux heures après l'arrivée du même train.

2° Les autres marchandises et objets quelconques devront être expédiés dans un délai de vingt-quatre heures compté à partir de la remise à la gare de départ.

Ils seront mis à la disposition des destinataires dans le délai de six heures après leur arrivée en gare.

Ces deux délais seront seuls obligatoires pour le concessionnaire.

Le préfet déterminera par des règlements spéciaux les heures d'ouverture et de fermeture des gares et stations tant en hiver qu'en été, ainsi que les dispositions relatives aux denrées apportées par les trains de nuit et destinées à l'approvisionnement des marchés de villes.

Dans le cas de l'établissement d'un embranchement sur la ligne qui fait l'objet du présent cahier des charges, les délais de livraison et d'expédition au point de jonction seront fixés par le préfet sur la proposition du concessionnaire.

Frais accessoires.

Art. 50. — Les frais accessoires non mentionnés dans les tarifs, tels que ceux d'enregistrement, de chargement, de déchargement et de magasinage dans les gares et magasins du chemin de fer, seront fixés annuellement par le préfet sur la proposition du concessionnaire. Il en serait de même des frais de transbordement qui seraient faits dans les gares de raccordement de la ligne concédée avec une ligne présentant une largeur de voie différente.

Camionnage.

Art. 51. — (Supprimé).

Traités particuliers.

Art. 52. — A moins d'une autorisation spéciale du préfet, il est interdit au concessionnaire, conformément à l'article 14 de la loi du 15 juillet 1845, de faire directement ou indirectement avec des entreprises de transport de voyageurs ou de marchandises par terre ou par eau, sous quelque dénomination ou forme que ce puisse être, des arrangements qui ne seraient pas consentis en faveur de toutes les entreprises desservant les mêmes voies de communication.

Le préfet, agissant en vertu de l'article 50 de l'ordonnance du 15 novembre 1846, prescrira les mesures à prendre pour assurer la plus complète égalité entre les diverses entreprises de transport dans leur rapport avec le chemin de fer.

ANNEXE N° 2

VILLE DE LANGRES

CHEMIN DE FER A CRÉMAILLÈRE

Service de l'Exploitation

Le Conseil municipal de la Ville de Langres,
dans sa séance du 28 novembre 1887,
a arrêté, dans les termes ci-dessous, le Projet de Règlement
d'exploitation du chemin de fer à crémaillère ainsi que celui des
Tarifs des prix de transports à percevoir, impôts compris.

CHAPITRE I

RÈGLEMENT

ARTICLE PREMIER. — Le service de l'exploitation est assuré
par le personnel suivant :

Un chef de gare chargé de la direction de l'ensemble du ser-
vice d'exploitation ;

Un sous-chef de gare assurant le service de nuit ;

Un homme de peine à la gare haute pour le service de jour
seulement ;

Deux chefs de trains gardes-freins ;

Deux mécaniciens ;

Deux chauffeurs ;

Un chef d'équipe ;

Un ou plusieurs hommes d'équipe lorsque les besoins de l'entretien de la voie le nécessiteront ;

Un agent chargé de l'intérim ⁽¹⁾.

ART. 2. — L'exploitation fonctionne sous les ordres et la responsabilité du chef de gare.

ART. 3. — Le service d'entretien des voies, des bâtiments et du matériel fixe, est assuré par l'agent-voyer de la Ville qui est tenu, à cet effet, de faire deux tournées à pied par semaine sur tout le parcours et de s'assurer que les voies, terrassements, ouvrages d'art et de bâtiment sont en bon état de service.

ART. 4. — Les ordres de service en ce qui concerne l'entretien, pourront être transmis à l'agent-voyer par le chef de gare toutes les fois qu'il jugera les communications nécessaires et pressantes.

ART. 5. — Tout le personnel est placé sous les ordres du chef de gare, il distribue les billets, perçoit le prix des places des voyageurs et de leurs bagages à la descente, contrôle le nombre des voyageurs à la montée, reçoit les bagages en consigne, assure le départ des trains aux heures réglementaires, tient la comptabilité générale des recettes et des dépenses, ainsi que celle du magasin, et enfin doit veiller aux meilleures dispositions à prendre pour assurer le bon fonctionnement des trains et l'ensemble du service.

ART. 6. — Le chef d'équipe, ainsi que ses hommes, sont

(1) Par délibération du 29 novembre 1887, approuvée par M. le Préfet de la Haute-Marne le 24 février 1888, le Conseil municipal a modifié cet article 1^{er} ainsi qu'il suit :

ARTICLE PREMIER. — Le service de l'exploitation est assuré par le personnel suivant :

Un chef de gare.....	au traitement de	1,800 fr.
Un sous-chef.....	»	1,500
Un facteur aux billets et aux messageries à la gare basse.....	»	1,200
Trois mécaniciens, à 2,000 fr. chacun.....		6,000
Trois chauffeurs, à 1,200 fr. chacun.....		3,600
Deux chefs de trains gardes-freins, à 1,500 fr.....		3,000
Un chef d'équipe.....		1,500
Un agent intérimaire.....		1,500
Un homme de peine à la gare haute.....		1,000

placés, en ce qui concerne les travaux d'entretien, sous les ordres de l'agent-voyer.

En ce qui concerne la surveillance et la police de la voie, ils sont sous la dépendance du chef de gare qui pourra néanmoins les requérir s'il s'agissait de travaux urgents.

ART. 7. — Le sous-chef de gare, plus spécialement chargé du service de nuit, est investi, pendant la durée de son service, des mêmes droits et tenu aux mêmes obligations que le chef de gare.

Il pourra, en outre, être chargé du service de l'octroi si la Municipalité en décidait ainsi. — Le contrôle de son service appartient au chef de gare à qui il sera tenu de remettre chaque jour un état signé de ses recettes, dont l'inscription s'effectuera sur un registre spécial au fur et à mesure qu'elles s'opéreront.

Le chef de gare pourra se faire aider par lui dans la tenue des livres de comptabilité, tout en restant seul responsable des erreurs qui auraient pu être commises.

ART. 8. — Le chef de gare, après avoir pris l'avis du Maire, peut régler lui-même son service ainsi que celui de son sous-chef, de façon à satisfaire le mieux aux exigences du service.

Le service de nuit est assuré par le chef ou le sous-chef, sans l'aide d'aucun manœuvre ; ils pourront, toutefois, se faire aider par les agents du train, autres que le mécanicien, pour le service de la gare.

ART. 9. — Lorsque le chef de gare fera le service de nuit, il sera tenu d'assurer aussi celui de l'octroi s'il en était requis.

ART. 10. — Le service de jour, à la gare haute, est complété par un homme de peine ou manœuvre, sous les ordres directs du chef de gare. Il est chargé de la pesée et du chargement des bagages, du balayage, nettoyage et entretien du bâtiment des voyageurs, des trottoirs, du magasin, des remises, du lavage des voitures, ainsi que de la lampisterie, des courses de service, et enfin de l'exécution de tous ordres qui lui seront transmis par le chef de gare.

ART. 11. — Le service des trains est assuré par deux brigades, composées chacune d'un chef de train garde-frein, d'un mécanicien et d'un chauffeur.

ART. 12. — Les chefs de trains gardes-freins sont placés

sous les ordres du chef de gare ; la direction et la police de chaque train leur appartiennent ; ils sont, en outre, chargés de la perception des prix des places et de celui des bagages à la montée seulement. Cette perception s'opérera dans l'intérieur des voitures en échange d'un ticket provenant d'un registre à souche. Ils sont, en outre, tenus d'inscrire sur un état journalier spécial, le nombre des voyageurs de chaque classe, celui des bagages et le montant total de la perception de chaque train. Cet état, ainsi que le montant total de sa perception, doivent être donnés par chaque chef de train au chef de gare aussitôt après la remise de service à son collègue.

Les chefs de train doivent assurer le chargement des bagages dans les voitures et leur déchargement, ainsi que leur remise aux employés de la Compagnie de l'Est à la gare basse. A la gare haute, le chef de gare demeure libre de faire aider le chef de train par l'homme de peine lorsque les circonstances l'exigeront.

Le contrôle du nombre des voyageurs de chaque classe et des colis à l'arrivée à la gare haute appartient au chef de gare qui est autorisé à prendre toutes les dispositions qu'il jugera nécessaires ; à cet effet, le chef de train est tenu, à son arrivée, de lui présenter et faire viser son état journalier dont il a été parlé ci-dessus et indiquant le nombre des voyageurs, celui des colis et le montant total de sa perception.

Les livres à souches pour la délivrance des billets seront donnés au chef de gare contre reçu, et lui-même sera chargé d'en faire la remise aux chefs de trains. Aussitôt épuisées, les souches seront rendues au chef de gare pour servir de contrôle. Pendant tout le temps de la marche, il est interdit au chef de train de quitter la plate-forme du frein sur laquelle il doit se trouver avant le départ et qu'il ne doit quitter qu'après l'arrivée.

Les chefs de trains sont chargés tout spécialement de la manœuvre du frein, et, de plus, à la montée, de s'assurer d'une façon permanente que la voie est libre de tout obstacle ; au moindre danger, ils doivent donner le signal d'arrêt (2 coups de sifflet de poche) au mécanicien, serrer à fond les freins des deux voitures et ne reprendre leur route que lorsqu'ils auront bien constaté qu'aucun obstacle ne s'y oppose.

L'allumage et l'extinction des lanternes des voitures doivent être faits par eux. L'ordre de départ à la gare basse leur appartient et ils ont seuls qualité pour cela, mais ils ne devront le donner qu'après avoir pris place sur la plate-forme du frein. Cet ordre sera donné par un coup prolongé de sifflet de poche.

Ils sont également chargés, au premier train qu'ils effectuent en prenant le service, de vérifier les heures des horloges des deux gares avec celles du trottoir intérieur de la Compagnie de l'Est, et de rectifier leurs indications, s'il y a lieu, faute de quoi ils demeureraient responsables des retards qui pourraient en résulter.

Aussitôt arrivé à la gare haute, tout le personnel du train, y compris le chef de train, est de nouveau placé sous les ordres du chef de gare qui donne lui-même et d'une façon identique, le signal de départ en ayant soin, au préalable, de s'assurer que le chef de train a pris place sur la plate-forme du frein.

Les chefs de train doivent serrer le frein à la descente d'une façon permanente, de manière que les voitures portent aussi peu que possible sur la machine, sans cependant jamais se faire traîner par elle ; à la montée, ils doivent également se tenir toujours à proximité des freins des voitures et être prêts à les serrer immédiatement, soit dans le cas où ils entendraient le signal d'arrêt du mécanicien (2 coups de sifflet), soit dans celui où ils apercevraient eux-mêmes un obstacle sur la voie qu'ils doivent examiner attentivement sans jamais la perdre de vue, auquel cas ils doivent, en outre, donner sans tarder au mécanicien le signal d'arrêt par deux coups de sifflet de poche, ainsi qu'il a été dit au 5^e alinéa.

ART. 13. — Le service des mécaniciens consiste à conduire et à entretenir leurs machines en bon état de service, ils sont tenus d'y faire toutes les petites réparations qui n'exigent pas un travail spécial de machines-outils.

Les mécaniciens sont responsables de leurs machines et passibles de toutes les peines ou amendes édictées par les lois et règlements pour inattention, défaut de précautions, etc.

Ils doivent apporter la plus grande attention au bon fonctionnement de leurs machines et s'assurer en marche que la

voie est libre. Ils doivent, pendant les temps d'arrêt, examiner soigneusement leurs machines et s'assurer que tout est en bon ordre, graisser, nettoyer les mouvements, etc. ; à la gare haute, ils s'assureront fréquemment par la fosse à piquer le feu que tout le mécanisme fonctionne bien.

Ils sont tenus de satisfaire à toutes les injonctions du chef de gare, pendant leur séjour à la gare haute et à celles du chef de train, soit en route, soit à la gare basse.

Lorsque la remise de service s'opérera sur la même machine, le mécanicien descendant sera tenu de faire connaître l'état de la machine au mécanicien montant et de lui signaler les avaries existantes ; faute par lui de le faire, la machine sera considérée par le mécanicien montant comme étant en bon état de service. Le mécanicien montant est néanmoins tenu d'examiner avec soin la machine et de s'assurer que rien ne peut en empêcher la bonne marche.

Les accidents qui pourraient survenir d'une avarie antérieure que le mécanicien descendant n'aurait pas signalée, lui seront attribués et il en conserve toute la responsabilité.

Le mécanicien montant peut toujours se refuser à continuer le service avec la machine en fonctionnement, s'il a des raisons sérieuses de redouter un accident.

Le mécanicien de service est tenu de prévenir le chef de gare, sans retard, lorsqu'il survient à sa machine une avarie ne lui permettant pas de continuer longtemps le service ; dans ce cas, la seconde machine sera sans aucun retard mise en feu par l'autre mécanicien aussitôt prévenu.

Les machines devront être continuellement entretenues propres, leur aspect devra toujours être satisfaisant.

Les mécaniciens, aidés de leurs chauffeurs, seront tenus d'approvisionner leur machine en eau, houille, huile, etc., mises à leur disposition dans des emplacements désignés et contre reçus provenant de registres à souches.

Ils seront tenus de fournir au chef de gare un état hebdomadaire faisant connaître la consommation journalière de leur machine, pendant leurs heures de service, en houille, huile, déchet de coton, etc.

Le graissage des wagons à voyageurs doit également être

fait soit par eux, soit par leurs chauffeurs, ils en ont la responsabilité. Les signaux d'arrêt et de départ à la gare haute sont donnés par le chef de gare, en marche, et à la gare basse par le chef de train ; ils consistent : celui d'arrêt en deux coups de sifflet de poche, celui de départ en un coup prolongé du même sifflet.

Aussitôt que les mécaniciens ont entendu le signal de départ, ils doivent eux-mêmes, avant de se mettre en route, donner un coup de sifflet prolongé ; s'ils avaient à donner le signal d'arrêt étant en route, deux coups de sifflet successifs, à très court intervalle, seraient nécessaires.

Le même signal que celui de départ sera donné par eux en arrivant à 50 mètres de l'une des deux gares et de la traversée des passages à niveau du chemin des Jésuites et de l'avenue de la gare de Langres-Marne. Si, malgré cet avertissement, un obstacle quelconque se trouvait à proximité de ces passages à niveau, les mécaniciens devraient marquer un temps d'arrêt et n'effectuer la traversée qu'après l'arrêt complet de la circulation sur le chemin. En ce qui concerne plus spécialement la traversée du passage à niveau de l'avenue de la gare de Langres-Marne, la traversée s'effectuera conformément aux dispositions contenues dans le règlement qui interviendra à la suite de la conférence actuellement ouverte entre les services du contrôle.

Le signal d'arrêt peut aussi leur être donné en route par le ou les hommes d'équipe qui, dans ce cas, devront arborer un drapeau rouge.

Il est absolument interdit de marcher sur les parties à crémaillère à une vitesse supérieure à dix kilomètres à l'heure à la descente comme à la montée, et de rattraper un retard pendant le temps de la marche sur ces parties de voie ; le mécanicien est seul responsable de la vitesse de la marche. Si le chef de train lui donnait l'ordre d'accélérer sa marche au-delà de cette limite, cet ordre devrait être considéré comme illicite et il devrait ne pas y obtempérer, sauf à en rendre compte au chef de gare en arrivant à la gare haute.

ART. 14. — Les chauffeurs sont placés sous la dépendance

des mécaniciens avec qui ils sont en service et tenus de satisfaire aux ordres qu'ils reçoivent d'eux.

Ils sont chargés du service des freins à roue dentée de la machine, du nettoyage et du graissage des machines et des wagons ; à la descente, ils doivent toujours être placés entre les manivelles des deux freins à roue dentée, faire face à la voie en tournant le dos à la machine, examiner la voie avec la plus grande attention, et, au moindre obstacle aperçu sur elle, serrer à fond les freins à roue dentée, en prévenant en même temps le mécanicien.

ART. 15. — La police, la surveillance et l'entretien des voies sont confiés au chef d'équipe.

Des hommes lui seront adjoints lorsque le service l'exigera.

La surveillance et la police de la voie consistent à veiller d'une façon permanente à ce qu'aucun obstacle ne gêne la circulation des trains ; le chef d'équipe sera tenu de faire de fréquentes tournées et de signaler au chef de gare les obstacles qui s'opposent au bon fonctionnement des trains, à moins qu'il ne puisse y mettre bon ordre lui-même.

S'il se trouvait dans l'impossibilité matérielle de prévenir le chef de gare, il devrait se porter à la hâte à 200 mètres de l'obstacle dans la direction du premier train attendu, se placer à sa droite et l'arrêter en montrant au mécanicien un drapeau rouge dont il devra toujours être muni.

Des tournées de nuit pourront lui être prescrites lorsque le chef de gare le jugera nécessaire ; dans ce cas, son service de jour sera réduit d'autant.

Le chef d'équipe est chargé, en outre, de l'entretien, de l'allumage et de l'extinction des feux fixes de la voie aux passages à niveau et à la gare basse.

ART 16. — Aucune machine mise en circulation sur la ligne ne pèsera plus de 16,000 kg. en ordre de marche, aucun wagon plus de 8,000 kg., chargement compris. Aucune machine ne sera mise en circulation si elle n'est munie de trois freins : un frein à air comprimé, un frein à main agissant sur l'arbre de la roue dentée motrice, un frein à main agissant sur la roue dentée indépendante de l'essieu avant. Aucun wagon ne pourra entrer dans la composition des trains s'il n'est muni d'un frein

agissant à la fois sur une roue dentée engrenant la crémaillère et par des sabots sur toutes les roues porteuses.

Aucun train ne pourra comprendre plus d'une machine et deux wagons, et les deux wagons entrant dans la composition d'un même train ne devront pas peser ensemble, chargement compris, plus de 42,500 kil. La double traction est formellement interdite.

Lorsque le train marchant sur une partie de voie sans crémaillère doit entrer sur une partie de voie à crémaillère, la vitesse de marche doit être considérablement ralentie ; la pièce d'entrée de crémaillère ne doit être abordée et franchie qu'au pas et la vitesse ne peut être ensuite accélérée avant que le mécanicien ait acquis la certitude que l'engrènement s'est produit, certitude que lui donnera généralement le bruit caractéristique que produit la pièce d'entrée lorsqu'elle se relève.

La modération de la vitesse à la descente se fait par le frein à air comprimé de la machine et par les freins à main des wagons. Les deux freins à main de la machine doivent être desserrés en marche normale et n'être serrés que pour les arrêts ou en cas d'accidents, ou de trop forte vitesse ; ils doivent être considérés comme des freins d'arrêt et de secours. Les freins à main de chacun des wagons doivent être serrés à la descente sur les parties de voie à crémaillère et à forte pente, de manière à ce que les wagons portent aussi peu que possible sur la machine sans jamais pourtant se faire traîner par elle ; mais il faut avoir bien soin de ne jamais serrer ces freins qu'une fois les pièces d'entrée de crémaillère entièrement franchies et la machine franchement engagée sur la pente ; au pied de chacune des deux grandes pentes, les freins à main des wagons doivent être rapidement desserrés, de façon à l'être d'une manière complète avant d'aborder la pièce de sortie de crémaillère.

La voie devant le train doit toujours être l'objet d'un examen attentif et détaillé fait par un agent ayant une bonne vue, il faut que cet agent puisse répondre d'apercevoir à 30 mètres au moins de distance, jour et nuit, la moindre pierre placée dans la crémaillère ou le moindre obstacle de toute nature.

Cet examen est fait à la descente par le chauffeur qui tourne

le dos à la machine, et se tient entre les deux freins à main, toujours prêt à les serrer ; à la montée par le chef de train, qui se tient à proximité des freins des voitures, prêt à les serrer.

En cas d'alerte à la descente, le chauffeur, en même temps qu'il serre ses freins, doit prévenir le mécanicien et celui-ci doit, en même temps qu'il serre à fond le frein à air comprimé, donner deux coups de sifflet, signal d'arrêt. En cas d'alerte, à la montée, le chef de train serre à fond les freins des voitures et donne le signal d'arrêt d'abord par le cri : « halte ! » puis, dès qu'il a les mains libres, par deux coups de sifflet de poche.

Toutes les fois que le mécanicien entend le signal d'arrêt donné par le chef de train, il ferme le régulateur si l'on monte, le frein à air comprimé, si l'on descend ; en même temps il avertit le chauffeur, pour le cas où celui-ci n'aurait pas entendu.

Toutes les fois que le chauffeur entend le signal d'arrêt donné par le chef de train, il serre à fond les deux freins à main de la machine ; en même temps il avertit le mécanicien pour le cas où celui-ci n'aurait pas entendu.

Toutes les fois que le chef de train entend le signal d'arrêt donné par le sifflet de la machine, il serre à fond les freins à main des wagons.

Toutefois, si les signaux d'arrêt sont donnés au moment où le train se trouve sur une pièce d'entrée de crémaillère, le serrage des freins sur chaque véhicule n'est fait qu'après que cette pièce est franchie par le véhicule.

Dans le cas où un serre-frein spécial est attaché à la voiture intermédiaire, il se conforme aux mêmes règles que le chef de train, en ce qui concerne la manœuvre du frein de cette voiture.

Le chauffeur à la descente, le chef de train à la montée, doivent s'assurer par la vue des signaux à flamme verte, que les aiguilles situées sur la voie principale sont bien ouvertes pour cette voie.

Quatre fois par an et autant que possible à la suite de fortes variations de température, tous les joints de crémaillère seront vérifiés au gabarit ; ceux qui présenteraient un écart de plus de deux millimètres seront réglés à nouveau.

ART. 17. — La gare basse ne comportant aucun personnel sédentaire, elle ne sera considérée comme ouverte au public que pendant la durée des stationnements des trains. La gare haute sera ouverte au public, savoir :

Période de jour : { De 4 h. 45 du matin à 7 h. 45 du soir.
(Heures de la C^a de l'Est).
Période de nuit : { De 9 h. 45 à 11 h. 45 du soir.
De minuit 30 à 1 h. 20 du matin.
De 2 h. 20 à 3 h. 20 du matin.

Les messageries et colis postaux ne seront reçus ou délivrés que pendant la période d'ouverture de jour. Pendant les périodes d'ouverture de nuit, le service est restreint aux voyageurs et aux bagages qui les accompagnent.

ART. 18. — Toutes les modifications ou additions au présent règlement, si elles étaient jugées nécessaires, seront ultérieurement soumises à l'approbation de M. le Préfet.



CHAPITRE II

T A R I F S

à percevoir pour le transport des voyageurs, de leurs bagages et des messageries.

Les prix à percevoir pour le transport des voyageurs, de leurs bagages et des messageries entre la gare basse et la gare haute et *vice versa*, ainsi que ceux pour frais accessoires de gare et factage, sont fixés ainsi qu'il suit :

DÉSIGNATION DES TRANSPORTS	PRIX du cahier des charges	IMPOT de 25, 2 0/0	PRIX à perce- voir	
TARIF N° 1. — Tarif des prix de transport				
<i>1^o Voyageurs</i>				
1 ^{re} CLASSE.....	Montée.....	» 50	0, 116	» 60
	Descente.....	» 30	0, 6696	» 35
2 ^e CLASSE.....	Montée.....	» 30	0, 0195	» 35
	Descente.....	» 15	0, 0348	» 20
<p><i>Nota. — Au-dessous de trois ans, les enfants ne paient rien à la condition d'être portés sur les genoux des personnes qui les accompagnent. De trois à sept ans, ils paient demi-place et ont droit à une place entière; toutefois, dans un même compartiment deux enfants ne pourront occuper que la place d'un voyageur. Au-dessus de sept ans, ils paieront place entière.</i></p>				
<i>2^o Bagages accompagnés par les voyageurs</i>				
Pour chaque colis pesant isolément moins de 130 kil.....	Montée..	» 15	0, 0348	» 15
	Descente.	» 10	0, 0232	» 10
Pour les colis pesant isolément plus de 150 kg., le prix par tonne sera de.....		1 50	0, 348	1 85
<p><i>Nota. — L'impôt n'est plus que de 10 0/0.</i></p>				

LIGNE A CRÉMAILLÈRE DE LANGRES. RÈGLEMENT. 387

DÉSIGNATION DES TRANSPORTS	PRIX du cahier des charges	IMPOT de 22,20/0	PRIX à parce voir
<i>3° Messageries</i>			
A la montée comme à la descente, par chaque colis pesant de 0 à 5 kg.....	»	»	» 10
— 5 à 10	»	»	» 10
— 10 à 20	»	»	» 15
— 20 à 40	»	»	» 20
— 40 à 50	» 25	0,058	» 30
— 50 à 100	» 25	0,058	» 30
— 100 à 150	» 25	0,058	» 30
Pour les colis pesant isolément plus de 150 kg., le prix sera calculé par tonne à raison de,.....	1 50	0,0348	1 85
TARIF N° 2. — Frais accessoires de gare et de consigne			
§ 1 ^{er} . A la montée comme à la descente il sera perçu, par colis de messageries, non accompagné par les voyageurs, en sus du prix de transport, pour frais accessoires de chargement, de déchargement, de transbordement et de manipulation dans les deux gares :			
de 0 à 5 kilog.....	»	»	»
5 à 10	»	»	» 05
10 à 20	»	»	» 05
20 à 40	»	»	» 10
40 à 50	»	»	» 10
50 à 100	»	»	» 25
100 à 150	»	»	» 40
Pour les colis pesant isolément plus de 150 kg., le prix sera calculé par tonne à raison de,.....	»	»	3 »
§ 2. Pour consigne ou magasinage à la gare haute, il sera perçu, pour chaque période commencée de vingt-quatre heures et par colis :			
1 ^o S'il pèse moins de 150 kg.	»	»	» 10
2 ^o S'il pèse plus de 150 kg.	»	»	» 15
TARIF N° 3. — Factage			
Pour le transport à domicile, dans le rayon de l'octroi de la Ville de Langres, des colis de messageries, arrivés à la gare haute, qui doivent être livrés à domicile, il sera perçu par colis, en sus			

DÉSIGNATION DES TRANSPORTS	PRIX du cahier des charges	IMPOT de 2,20/0	PRIX à perce- voir
du prix de transport et des frais accessoires de manipulation dans les gares :			
de 0 à 5 kg.....	»	»	»
5 à 10	»	»	» 05
10 à 20	»	»	» 05
20 à 40	»	»	» 05
40 à 50	»	»	» 05
50 à 100	»	»	» 15
100 à 150	»	»	» 25
Pour les colis pesant isolément plus de 150 kg., le prix sera calculé par tonne à raison de.....	»	»	1 75

OBSERVATIONS GÉNÉRALES

Pour les tarifs à la tonne, les fractions de poids ne seront comptées que par centième de tonne ou par 10 kilog. Ainsi, tout poids compris entre 150 et 160 kg., paiera comme 160 kg. ; entre 160 et 170 kg., comme 170 kg.

La délivrance des billets, à la gare haute, cesse cinq minutes avant l'heure de départ du train.

Les tarifs ci-dessus seront affichés, en ce qui concerne les voyageurs et les bagages dans l'intérieur de chaque compartiment des voyageurs ; en ce qui concerne les messageries, à chacune des deux gares.

Fait et délibéré, à Langres en séance publique, à l'Hôtel-de-Ville, le 11 novembre 1887,

Et ont les membres présents signé.

Pour copie conforme :

Le maire de Langres,

Signé : DARBOT.

Approuvé conformément à notre arrêté de ce jour.

Chaumont, le 18 novembre 1887.

LE PRÉFET.

Pour le Préfet :

Le Secrétaire général,

Signé : Loris MARÇAIS.

ANNEXE N° 3

EXTRAIT

DES

SEPTIÈME & HUITIÈME COMPTES-RENDUS ANNUELS DE LA COMPAGNIE

DU CHEMIN DE FER

HALBERSTADT-BLANKENBOURG

Tableau N° 1. — Dépenses d'exploitation des années
1888-1889-1890.

Tableau N° 2. — Décomposition des dépenses d'exploita-
tion pour l'année 1890.

Tableau N° 3. — Dimensions principales des locomotives.

Le réseau de la compagnie Halberstadt-Blankenbourg,
comprend les lignes suivantes :

Halberstadt-Blankenbourg.

Hüttenbahn.

Langenstein-Dérenbourg.

Blankenbourg Tanne (exploitée par le système Abt).

Extrait des comptes-rendu de la direction du chemin de fer Halberstadt-Blankenbourg

I. — DÉPENSES D'EXPLOITATION (EN MARCS) POUR LES ANNÉES 1888, 1889 ET 1890

	1888	1889	1890
Traitements et appointements fixes.....	106.182 M.10	123.907 M.41	130.256 M.88
Autres dépenses de personnel.....	75.330 02	65.515 27	70.664 41
Frais généraux.....	35.094 02	36.082 73	38.713 31
Frais d'entretien du corps du chemin de fer.....	28.861 27	35.475 39	32.523 22
Service des transports.....	96.931 01	101.176 97	140.423 22
Utilisation des réseaux étrangers.....	17.426 86	17.502 31	17.934 98
Utilisation du matériel étranger.....	18.116 50	19.000 42	20.190 57
Totaux.....	377.941 78	598.690 50	450.706 29

Le marc vaut 1 fr. 25

II. DÉCOMPOSITION DES DÉPENSES D'EXPLOITATION POUR L'ANNÉE 1890. (DÉPENSES EN MARCS)

DÉSIGNATION DES DÉPENSES	Administra- tion générale	Administra- tion de la ligne	TRANSPORT				TOTAUX
			Service en dehors des gares	Service des expéditions	Personnel des trains	Service de la traction	
Dépenses de personnel							
Traitements fixes.....	32.923 89	15.264 24	20.482 14	26.001 45	11.804 16	20.781	130.256 88
Autres dépenses de personnel.....	11.771 59	8.782 50	13.132 25	10.565 25	8.522 39	17.890 13	70.664 11
Dépenses de matières							
Frais généraux.....	21.418 04	1.690 42	6.879 93	6.472 21	2.72 57	1.980 14	38.713 31
Frais d'entretien du corps du chemin de fer.....	"	32.523 22	"	"	"	"	32.523 22
Frais de traction.....	"	"	"	"	"	140.423 22	140.423 22
Frais de renouvellement du matériel fixe et roulant.....	"	13.975 17	"	"	"	4.567 67	18.542 84
Dépenses de parachèvements, de réparations et d'agrandissement.....	"	651 02	"	"	"	859 09	1.510 11
Frais d'utilisation des réseaux étrangers.	1.534 98	8.111	5.092	3.197	"	"	17.934 98
Frais d'utilisation du matériel étranger..	"	"	"	"	"	20.190 57	20.190 57
Totaux.....	67.648 50	80.997 57	45.586 32	46.235 91	23.599 12	206.691 82	470.759 24

Le marc vaut 1 fr. 25

III. PRINCIPALES DIMENSIONS DES LOCOMOTIVES EN SERVICE PENDANT L'ANNÉE 1880

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	NOMS des constructeurs
Nom des locomotives.....	Ziegenkopf	Langenstein	Blankenburg	Regenstein	Dereburg	Prinz-Albrecht	Elbingrönde	Rotheulle	Tanne	Rubeland	Brocken	Bornecke	
Date de la mise en service.....	4 mars	4 avril	4 nov.	14 oct.	9 oct.	avril	sept.	octob.	dec.	mai	mai	mars	
Cylindres à adhérence { diamètre en mill., course du piston..	1873 432 610	1873 432 610	1878 200 540	1878 432 609	1881 432 609	1885 450 600	1885 450 600	1885 450 600	1885 450 600	1886 450 600	1887 450 600	1889 450 600	
Cylindres à crémaillère { diamètre en mill., course du piston..	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Chaudière..... { diamètre en mètres longueur —	1,188 3,396	1,400 3,350	1,400 3,350	1,280 4,330	1,280 4,330	1,408 3,965	1,408 3,965	1,408 3,965	1,408 3,965	1,106 3,240	1,408 3,240	1,408 3,965	
Surface de chauffe..... { nombre de tubes... boite à feu.....	472 9,3	472 9,3	472 9,3	466 7,26	466 7,26	251 8,5	251 8,5	251 8,5	251 8,5	133 5,15	251 8,5	251 8,5	
Pression de la vapeur en kil. { timbre..... maxima dans les cylindres	104,3	104,3	59,34	103,96	103,96	127,7	127,7	127,7	127,7	55,50	127,7	127,7	
Nombre de roues couplées..... { mécanisme à crémaillère	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Nombre de roues portuses.....	1,418	0,978	0,978	1,371	1,371	1,250	1,256	1,250	1,250	1,080	1,250	1,371	
Diamètre (des roues dentées motrices... en mètres { des roues portuses.....	—	—	—	36	36	43	43	43	43	29,65	43	37	
Empatement extrême en mètres.....	2,362	2,450	2,450	3,295	3,295	3,05	3,05	3,05	3,05	3,0	3,05	3,320	
Poids (sans eau ni charbon..... en tonnes { avec le tender sans eau ni charbon	34	17,5	17,5	31,8	31,8	47,5	47,5	47,5	47,5	23,35	47,5	31	
Effort de traction maximum en tonnes (pour les machines à crémaillère sur les pentes de 58 mill.).....	44,2	41	41	43,3	43,3	—	—	—	—	—	—	42,3	
Vitesse maxima en kilomètres par heure des machines à adhérence.....	5,90	4,16	4,16	8,55	8,55	11,35	11,35	11,35	11,35	4,94	11,35	8,55	
Vitesse maximum en kilomètres par heure des machines à crémaillère.....	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Prix de revient, compris tender et les soutes en marcs { par tonne du poids.....	66,375	42,000	42,000	43,808	43,808	57,000	57,000	57,000	57,000	18,600	57,000	35,425	
	1501,8	2400	2400	1377,60	1377,60	1200	1200	1200	1200	796,57	1115,79	837	

ANNEXE N° 4

CHEMIN DE FER VIÈGE-ZERMATT

ÉTUDE COMPARATIVE DES DÉPENSES D'EXPLOITATION SUPPLÉMENTAIRES DUES A L'EMPLOI DE LA CRÉMAILLÈRE

Rapport de MM. Rodieux et Haueter.

TRACTION

Nous avons à étudier quels seraient les changements qui résulteraient, si l'exploitation devait se faire avec le tracé à crémaillère.

Pour rester dans les mêmes conditions d'exploitation qu'avec le tracé à adhérence, nous supposerons un train de 60 tonnes, non compris la locomotive, et un temps de parcours de 2 heures 30 minutes, y compris les arrêts.

La locomotive avec roues dentées devra donc remorquer sur la crémaillère et sur les autres parties de la ligne, un train de même poids et dans le même temps. En conséquence, cette machine sera mixte, c'est-à-dire qu'elle remorquera indifféremment le train au moyen de l'adhérence ou de ses roues dentées.

Le temps de parcours étant une condition essentielle et la locomotive à roues dentées, ne pouvant guère dépasser 10 kilomètres de vitesse à l'heure, sur les sections en crémaillère, il faudra que dans les parties à adhérence, elle puisse atteindre 40 kilomètres à l'heure.

Cette condition exclut le système de locomotives mixtes employé sur le Rorschach-Heiden, le Brünig, Langres, etc., la vitesse maxima de ces machines, quand elles marchent avec l'adhérence seule, ne pouvant pas dépasser 15 kilomètres à l'heure.

En conséquence, on se trouve dans l'obligation d'adopter un autre système dans lequel le mécanisme des roues dentées soit indépendant de celui de l'adhérence.

La locomotive Abt est dans ces conditions.

DESCRIPTION DU SYSTÈME

Locomotive système Abt. — La locomotive est à quatre cylindres à vapeur, à quatre ou six roues accouplées et un essieu porteur, deux ou une roue dentée. Les roues pour la marche par adhérence sont commandées à la manière ordinaire par les cylindres extérieurs. Les pistons des cylindres intérieurs actionnent le mécanisme des roues dentées, soit par des balanciers comme aux locomotives du Hoellenthal et du Harz, soit directement comme à la locomotive de M. Oertel, à Oertelsbruch. Le mécanisme des roues dentées est monté sur des longerons supportés par les essieux des roues d'adhérence, de cette façon, les roues dentées sont toujours au même niveau au-dessus des rails.

Nous n'entrerons pas dans les détails de construction pour permettre le passage facile dans les courbes, mais dans nos visites aux chemins de fer du Brünig, du Hoellenthal, du Harz et d'Oertelsbruch, nous avons constaté, pour l'entrée et la marche en crémaillère une grande supériorité de la locomotive Abt sur celle du Brünig.

Jusqu'à présent, la locomotive système Abt à quatre cylindres, n'a pas été construite pour la voie d'un mètre. Celles qui existent sont pour la voie normale. La question se posait, si pour la voie de 1 m., la disposition de largeur disponible, ne présentait pas un obstacle à la construction de la machine.

Nous avons consulté M. Abt, M. Weber, ingénieur, directeur de la fabrique de locomotives à Winterthur, M. de Gileu, ingénieur, administrateur de la Société alsacienne à Mulhouse,

tous ces ingénieurs nous ont répondu la chose pratiquement possible.

Nous supposons en conséquence que, pour l'étude à faire, cette locomotive est adoptée.

DÉPENSES DE TRACTION

Dépenses supplémentaires. — Pour des locomotives à adhérence ou à roues dentées, les facteurs de dépense qui peuvent varier sont :

Le combustible consommé ;

Le graissage ;

L'entretien.

Combustible. — Etant donné, comme nous l'avons dit plus haut, le même temps de parcours y compris les arrêts et le même poids remorqué, la quantité de combustible dépensé avec la locomotive à roues dentées sera plus grande qu'avec la locomotive Mallet.

En effet, si nous examinons les profils, nous voyons que dans le tracé à adhérence, la variation de l'effort de la machine sera moindre que dans celui à crémaillère.

Dans le premier cas, la variation est de 85 à 254 chevaux, tandis que dans le second, elle est de 85 à 333.

Nous estimons d'autre part que la consommation du combustible par cheval développé sera plus forte pendant la marche en crémaillère, autrement dit, le rendement de la machine diminuera pendant les moments où elle travaillera près de la limite de sa puissance. Ces considérations nous font estimer l'augmentation de la quantité de combustible consommé à une moyenne de 3 k. 5 par kilomètre de parcours.

Au Hoellenthal, en octobre 1888, les machines systèmes Abt ont consommé 154.000 kg. de houille pour 10.479 kilomètres de parcours, soit 14 k. 9 par kilomètre. La proportion des parcours en crémaillère et à adhérence est, par hasard, à peu de chose près la même qu'elle le serait à Viège-Zermatt. Nous avons trouvé que la force totale développée sur le Hoellenthal, pour un train de 90 tonnes, non compris la machine, sur la

rampe de 54 0/00, était de 285 chevaux. Si nous admettons 335 chevaux pour la force à développer, pour remorquer un train de 60 tonnes sur la rampe de 120 0/00, nous trouvons, en restant dans les mêmes proportions que sur le Hoellenthal, une consommation de 17 kg. 5 par kilomètre soit 15 kg. 75 en briquettes.

La comparaison n'est pas correcte, c'est une appréciation très approximative, puisque les conditions de part et d'autre ne sont pas les mêmes ; cependant, nous sommes sûrs que le résultat trouvé ne sera pas dépassé.

Pour l'exploitation avec locomotive Mallet, nous avons supposé une dépense de 12 kg. par kilomètre de parcours, c'est donc 3 kg. 5 d'augmentation de dépense de combustible par kilomètre de parcours de machine à roues dentées.

Graissage. — Les renseignements que nous avons peuvent faire admettre le chiffre de 100 grammes d'huile par kilomètre de parcours.

Pour les machines Mallet, nous avons compté 50 grammes, c'est donc une augmentation de 50 grammes par kilomètre de parcours.

Entretien. — Les machines de Hoellenthal, Harz, Ortel, ne sont pas assez anciennes pour déterminer le coût de l'entretien, nous ne pouvons que faire une estimation.

Pour la locomotive Mallet, nous avons évalué l'entretien à 0 fr. 12 par kilomètre de parcours. Pour la locomotive système Abt où le travail en crémaillère soumet, par intervalles, la chaudière à une très grande production de vapeur, ce qui l'usera certainement plus vite qu'une chaudière ayant un travail moins variable et intense, nous admettons 0 fr. 15, soit 0 fr. 03 d'augmentation.

Résumé. — En admettant le parcours à 35.000 kilomètres de trains, 3 kg. 5 d'augmentation de dépense de combustible, 50 grammes de graissage, 0 fr. 03 pour l'entretien, nous obtenons un total qui représentera la somme annuelle dépensée en plus.

Combustible 3 kg. 5 × 35.000 × 35 fr.	. . . =	4.287 50
Déchargement de 14 wagons =	56 »
Graissage 50 gr. × 35.000 × 0 fr. 63.	. . . =	1.137 50
Entretien 0,03 × 35.000 =	1.050 »
Total		<u>6.531 »</u>

En dehors des considérations du terrain ou autres, si les économies sur la construction sont supérieures au chiffre ci-dessus capitalisé, le choix du tracé avec section en crémaillère est justifié.

Si cette éventualité se réalisait, nous n'estimons pas qu'il soit nécessaire de prévoir un plus grand nombre de locomotives que celui porté au devis, mais il faudra ajouter environ, fr. 17.000, correspondant à l'application des roues dentées à toutes les voitures et wagons prévus. Comme nous l'avons déjà dit plus haut, pour rester dans les mêmes conditions d'exploitation, nous avons supposé un train remorqué de 60 tonnes, mais nous pensons que cette charge doit nécessairement être diminuée si le tracé avec sections en crémaillère était adopté. Une pareille charge nécessite une machine qui pèsera 30 tonnes en service, répartis sur trois essieux, ce qui est trop pour une voie avec rails de 25 kg. le mètre. Avec 60 tonnes remorquées, on arrive à un tel effort sur le crochet de la machine, qu'il se pourrait qu'on rencontre des difficultés et des objections de la part du contrôle fédéral. Au Brünig, on a admis 45 tonnes, nous pensons que cette charge devrait être considérée comme un maximum sur une rampe de 120 ‰.

Matériel. — Quant au matériel, nous estimons qu'une étude spéciale devra être faite, car si on pouvait obtenir du contrôle l'autorisation de construire des voitures à coupés ou des voitures avec caisses très légères dans le genre de tramways, il en résulterait non seulement une économie sur le prix d'achat, mais encore une réduction considérable des dépenses de traction. Peut-être aussi qu'en étudiant le tracé définitif avec crémaillères, on pourra diminuer la rampe de 120^m, la ramener peut-être à 100^m, ce qui serait une amélioration considérable.

Nous estimons qu'une somme de 15.000 fr. devra être comptée pour les pièces de rechange et le wagon spécial qui sera destiné au transport des locomotives depuis Viège jusqu'à l'atelier où elles devraient subir de grandes réparations.

Outillage. — Au devis, il faudrait ajouter 6.000 fr. au moins pour les engins, machines-outils et installations diverses, pour assurer le petit entretien et les réparations courantes, car l'éloignement de Viège de tout atelier exige une organisation spéciale indispensable.

Conclusions. — En terminant, nous croyons qu'au point de vue de l'exploitation, l'adoption du tracé avec crémaillères et rampes de 120 0/00, ne permettra pas, sans d'importants changements du matériel de la voie, de remorquer des trains de 60 tonnes.

Quant au système de locomotives avec roues dentées, s'il présente une complication de mécanisme plus grande que le système à adhérence seule, il a l'avantage d'éviter toute chance de patinage. D'autre part, sans compter le frein continu et celui de secours, la locomotive à roues dentées, quand elle marche en descendant les pentes, aspire l'air pour le refouler ensuite dans un espace fermé. Un robinet manœuvré par le mécanicien règle la sortie de l'air. Cette disposition offre une sécurité absolue. — Les avantages de la locomotive à adhérence sont, de rester dans des limites connues et bien définies, une grande simplicité, moins de chances de dérangements et la faculté de pouvoir remorquer un train de 60 tonnes. — Cependant, les visites que nous venons de faire en Allemagne aux divers chemins de fer avec locomotives système Abt, ont diminué considérablement les préventions et les objections que ce système provoque quand on n'a que les dessins devant le yeux.

Yverdon, le 1^{er} décembre 1888.

Signé : A. RODIEUX, HAUETER.

ANNEXE N° 5

CHEMINS DE FER DU JURA-SIMPLON

INSTRUCTIONS A L'USAGE DU PERSONNEL DE LA LIGNE
DE VIÈGE A ZERMATT

Du 1^{er} juin 1896, modifiées le 1^{er} juin 1897.

TABLE DES MATIÈRES

- I. Généralités.** — 1. Description de la ligne, 2. Exploitation, 3. Règlements et instructions.
- II. Service des machines.** — 1. Locomotives, 2. Vitesse des trains, 3. Tonnage, 4. Description et emploi des freins. — *A.* Locomotives. *a)* Frein à vis, *b)* Frein continu automatique à vide, *c)* Frein à air comprimé, *d)* Frein à rubans à vis, *e)* Frein à rubans à vapeur. — *B.* Voitures et wagons. *a)* Frein à vis, *b)* Frein continu automatique à vide. — 5. Conduite de la locomotive. — *A.* A la montée. — *B.* A la descente. — 6. Divers.
- III. Service des trains.** — 1. Voitures et wagons. — *A.* Voitures et fourgons. — *B.* Wagons à marchandises. — 2. Composition et formation des trains, 3. Attelage des véhicules. *a)* Tampons et tendeurs, *b)* Accouplement des véhicules, *c)* Découplement des véhicules. — 4. Calcul de la charge,

5. Essai du frein à vide automatique, 6. Trains en marche, 7. Passage des trains dans les gares. *a)* Manœuvres, *b)* Service des haltes, *c)* Annonce de l'arrivée des trains. — 8. Intervalle entre les trains, 9. Trains de service, 10. Trains facultatifs et spéciaux, 11. Trains en détresse.

IV. Service des gares. — 1. Installation des gares, 2. Service des voyageurs. *a)* Billets ordinaires, *b)* Billets spéciaux pour les habitants du district, *c)* Billets pour employés d'hôtel, *d)* Billets pour industriels, *e)* Abonnements, *f)* Sociétés et écoles, *g)* Voiture-salon, *h)* Chiens accompagnant les voyageurs, *i)* Suppléments. — 3. Service des bagages, 4. Service des animaux vivants, 5. Service des marchandises, 6. Répartition du matériel.

V. Service de la voie. — 1. Généralités, 2. Gardiennage, 3. Circulation des wagonnets et draisines.

VI. Téléphone et sonneries. — I. But des installations. II. Agencement technique de la ligne. Désignation des appareils. III. Manière de faire fonctionner les sonneries. IV. Transmission des appareils et des signaux. *a)* Appel des gares entre elles, *b)* Signaux transmis par le grand inducteur et la grosse sonnerie. — V. Emploi des appareils. *a)* Correspondance téléphonique entre les gares, *b)* Correspondance téléphonique entre les gares et les postes de garde, *c)* Annonce des trains par les grosses sonneries, *d)* Signal d'alarme. — VI. Prescriptions générales.

I. GÉNÉRALITÉS

1. Description de la ligne.

Le chemin de fer de Viège à Zermatt, à voie étroite d'un mètre d'écartement et à crémaillère, part de la gare de

Viège (Jura-Simplon) et pénètre dans la vallée de la Viège jusqu'à Zermatt ; à Stalden débouche la vallée de Saas

La ligne est tantôt à adhérence simple, tantôt à crémaillère, système Abt (double lamelle à denture alternante), avec rampe maxima de 125 0/00.

Il y a 6 sections à crémaillère :

1. Avant la station de Stalden sur 961 mètres.

2. Après » » 960 »

Ces deux sections se suivent et ne sont interrompues que par le palier de la gare de Stalden.

3. Entre Kalpetran et St-Nicolas sur 2.338 mètres.

4. Entre St-Nicolas et Herbriggen sur 626 »

5. Entre Herbriggen et Randa sur 1.677 »

6. Entre Tæsch et Zermatt sur 877 »

L'entrée et la sortie des parties en crémaillère sont indiquées par des disques portant les lettres indicatrices E (entrée) et S (sortie).

De nuit, l'entrée et la sortie des parties en crémaillère sont marquées par des lanternes.

La longueur de la ligne entière est de 35.166 mètres et la différence d'altitude entre la plateforme de la gare de Viège (653,5 mètres) et celle de la station de Zermatt (1.608,3) est de 955 mètres.

Entre les deux gares extrêmes de Viège et de Zermatt se trouvent les stations de Stalden, St-Nicolas et Randa, et les haltes de Kalpetran, Herbriggen et Tæsch.

A la gare de Viège, gare commune, la différence d'écartement de la voie nécessite un transbordement.

2. Exploitation.

Le chemin de fer de Viège à Zermatt (V.-Z.) appartient à une compagnie spéciale qui en a remis par contrat l'exploitation à la compagnie du Jura-Simplon.

La période d'exploitation est limitée à la saison d'été (mai à octobre). La ligne est fermée pendant l'hiver.

Le personnel de tous les services d'exploitation relève entièrement de la compagnie du Jura-Simplon.

A la tête de ce personnel se trouve l'inspecteur du Viège-Zermatt, avec résidence à Viège. Cet inspecteur relève du service de l'exploitation et est chargé simultanément des fonctions de chef de section de la voie et de chef de dépôt de cette ligne.

3. Règlements et instructions.

En règle générale, les règlements et instructions en vigueur sur le Jura-Simplon sont applicables sur la ligne du Viège-Zermatt. Toutefois, l'application de ces règlements à une ligne à voie étroite et à crémaillère, avec matériel spécial, nécessite quelques adjonctions et modifications qui font l'objet des présentes instructions.

Celles-ci annulent, pour ce qui concerne l'exploitation du Viège-Zermatt, les dispositions contradictoires contenues dans les règlements J.-S.

II. SERVICE DES MACHINES

1. Locomotives.

LOCOMOTIVES			POIDS		SYSTÈME
Série	Nombre	Numéros	à vide	en service	
			tonnes	tonnes	Adhérence et crémaillère système ABT
HG ²	5	4-5	22,5	29,0	

Les locomotives V.-Z. sont à trois essieux, dont deux accouplés en avant et un bissel en arrière permettant le passage dans les courbes de petit rayon. Les essieux accouplés sont réunis par un châssis portant deux pignons dentés accou-

plés, actionnés par le mécanisme à crémaillère. Ces machines se composent donc de deux mécanismes complètement indépendants l'un de l'autre, dont l'un, extérieur, actionne le système à adhérence et l'autre, intérieur, le système à crémaillère.

Les chaudières sont timbrées à 12 atmosphères.

2. Vitesse des trains.

Les vitesses maxima, qui ne doivent pas être dépassées par les locomotives, sont les suivantes :

En adhérence : 30 kilomètres à l'heure.

Cette vitesse sera réduite à 20 kilomètres à l'heure :

a) dans les pentes supérieures à 15 0/00 ;

b) dans les parties en courbes de petit rayon.

En crémaillère : 10 kilomètres à l'heure.

Cette vitesse sera réduite à 6 kilomètres à l'heure pour l'entrée en crémaillère.

La vitesse de marche est indiquée sur la machine au moyen d'un appareil à cadran, dit tachygraphe système Haushälter, qui l'enregistre en même temps sur une bande de papier.

3. Tonnage.

Le tonnage des trains est exprimé en tonnes, le poids de la locomotive non compris.

La charge normale est de 42 tonnes pour tous les trains voyageurs et marchandises.

La double traction est interdite. Il est également interdit de refouler un train en tête duquel se trouve déjà une locomotive en service.

4. Description et emploi des freins.

A. Locomotives.

Les locomotives portent les freins suivants :

a) **Frein à vis.** Ce frein fait agir les sabots sur les banda-

ges des roues à adhérence. Il est manœuvré par le chauffeur qui se conforme à cet effet aux ordres du mécanicien. Ce frein est d'un emploi courant pour arrêter la machine. En pente, il doit être toujours légèrement serré et fonctionner avec plus ou moins d'énergie suivant la vitesse du train. Il sert à modérer cette vitesse concurremment avec le frein à vide automatique.

b) **Frein continu automatique à vide.** Ce frein est installé à tout le matériel roulant, locomotives, voitures et wagons. Une conduite installée sous chaque véhicule met en relation les cylindres des freins des véhicules avec les appareils se trouvant sur la locomotive à portée du mécanicien.

Ces appareils se composent d'une prise de vapeur, d'un éjecteur avec lequel on produit le vide dans la conduite et dans tous les cylindres du train, d'un manomètre indiquant le vide produit en centimètres de hauteur d'une colonne de mercure (1 atm. = 76 centimètres de mercure), d'un robinet de manœuvre et des conduites et raccords nécessaires.

Sur la locomotive se trouve également un cylindre de frein à vide actionnant les sabots des roues à adhérence. Sur les sections à adhérence, ce frein doit entrer en action *à chaque serrage* en même temps que ceux des véhicules.

Pendant les arrêts ordinaires aux stations, il est nécessaire, afin d'éviter l'usure des bandages des roues motrices, de desserrer ce frein au moyen de la soupape de décharge. Il doit être procédé de même en descendant les pentes à crémaillère.

L'isolement complet du frein des roues motrices sur les sections à adhérence est sévèrement interdit.

c) **Frein à air comprimé.** Ce frein s'emploie régulièrement pour modérer la vitesse du train à la descente des pentes à crémaillère. Ce frein est mis en activité en renversant à fond de course le changement de marche en ayant soin de l'y enclencher, après avoir ouvert le robinet de la soupape obturatrice de la prise d'air sous la tuyère d'échappement. Avant de mettre ce frein en action, l'on fermera soigneusement les régulateurs.

Pour éviter l'échauffement anormal des tiroirs et des cylindres par la compression, on ouvrira plus ou moins les robi-

nets d'injection d'eau des deux mécanismes. L'air comprimé expulsé doit être imprégné d'humidité et avoir l'aspect d'un léger brouillard.

Une trop grande quantité d'eau est nuisible aux pistons et aux tiroirs ; le manque d'eau produit des grippements à ces organes.

La puissance de ce frein est réglée par les deux valves de sortie de l'air comprimé. A la descente, c'est le mécanisme intérieur qui produit la plus grosse somme de travail utile ; c'est donc plus particulièrement au moyen de la valve de réglage de ce mécanisme (côté du mécanicien) que l'on réglera la vitesse du train.

La pression de l'air comprimé dans les cylindres à crémaillère est limitée à une pression de deux atmosphères supérieure à celle de la chaudière par une soupape de sûreté placée sur le tiroir de droite de ce mécanisme.

d) Frein à rubans à vis. De chaque côté des pignons dentés se trouve fixée une poulie cannelée autour de laquelle s'enroule un ruban portant un certain nombre de sabots cannelés également et agissant sur ces poulies. Les rubans d'un côté sont indépendants de ceux de l'autre côté ; ils sont donc actionnés par deux manivelles différentes. Toutefois, ils devront être actionnés en même temps et autant que possible avec la même puissance.

Ce frein servira à arrêter rapidement le train sur les pentes en crémaillère, en même temps que le frein continu à vide. Sur ces pentes il devra donc être prêt à agir immédiatement.

e) Frein à rubans à vapeur. Les mêmes rubans que ci-dessus peuvent être également actionnés par deux petits cylindres dans lesquels on peut introduire de la vapeur au moyen de deux robinets placés sous la lunette de la machine, l'un actionnant les rubans de droite, l'autre ceux de gauche.

C'est le frein qui a le plus de puissance ; on ne doit s'en servir qu'en dernier lieu.

Chaque fois qu'une machine entre en service, le mécanicien s'assurera, avant le départ, du bon fonctionnement de ces cylindres ; il est responsable de leur entretien et de leur fonctionnement.

B. *Voitures et wagons.*

a) **Frein à vis.** Tous les véhicules sont munis d'un frein à vis ordinaire qui actionne en même temps : 1° les sabots appliqués aux bandages des roues du bogie qui ne porte pas de pignon denté ; 2° les sabots à cannelures appliqués contre les poulies cannelées fixées des deux côtés du pignon denté porté par l'autre bogie. Ce frein permet donc d'arrêter chaque véhicule isolément, tant en crémaillère qu'en adhérence.

b) **Frein continu automatique à vide.** Tous les véhicules sont munis du frein continu automatique à vide. Une conduite installée sous chaque véhicule et reliée à la locomotive communique avec deux cylindres dont les pistons actionnent les sabots appliqués aux bandages des roues d'un bogie et les mâchoires appliquées aux poulies à friction de la roue dentée.

A chaque extrémité du véhicule, il y a deux boyaux en caoutchouc fixés chacun sur un tuyau relié à la conduite principale.

L'accouplement des boyaux se fait en accrochant les cornes des raccords et le découplément en soulevant verticalement les tuyaux en caoutchouc ; dans ces deux opérations, ils ne doivent subir aucune torsion.

Au moyen de l'éjecteur, le mécanicien produit le vide dans la conduite et dans tous les cylindres du train jusqu'à ce que le manomètre lui indique un vide de 50 centimètres. Le vide est produit aussi bien au-dessus qu'au-dessous du piston.

Lorsque, par le robinet de manœuvre, le mécanicien laisse entrer de l'air dans la conduite, le vide au-dessus du piston persiste, tandis qu'au-dessous l'air atmosphérique pénètre et par sa pression fait monter le piston, qui serre plus ou moins les freins des véhicules suivant le degré d'admission d'air. Pour desserrer, il suffit de rétablir le vide primitif au moyen de l'éjecteur.

En cours de route, le vide sera maintenu en laissant continuellement le petit éjecteur en partie ouvert, pour compenser les rentrées d'air provenant des défauts d'étanchéité de la conduite et des cylindres.

Pour découpler les véhicules, il faut d'abord serrer le frein continu, ensuite découpler les boyaux, desserrer et décrocher les tendeurs. On détruit après le vide qui se trouve dans la partie supérieure de chaque cylindre en ouvrant les tirettes ; sans cette précaution le frein resterait serré.

Si l'on est en pente ou en rampe, l'on aura soin préalablement de serrer à fond le frein à vis.

5. Conduite de la locomotive.

A. *A la montée.*

La mise en marche en adhérence se fait comme avec une autre machine et ne présente aucune difficulté ; l'admission sera de 20 à 25 0/0 de la course entière suivant la rampe à gravir et le tonnage du train.

A l'approche d'une section à crémaillère, le train doit ralentir de façon à ne pas dépasser la vitesse de 6 kilomètres à l'heure pendant qu'il s'engage sur la crémaillère. Cette vitesse doit être maintenue jusqu'à ce que le dernier véhicule ait dépassé la pièce d'entrée de la crémaillère.

A une cinquantaine de mètres avant la pièce d'entrée, le changement de marche étant à fond de course dans le sens de la direction du train, et les purgeurs ouverts, le mécanicien communique un mouvement lent et uniforme au mécanisme des roues dentées, en ouvrant légèrement le régulateur de ce mécanisme.

Un bruit sourd avertit le mécanicien que l'engrènement a eu lieu. Sitôt le train complètement engagé sur la crémaillère, le mécanicien ouvre un peu plus le régulateur du mécanisme intérieur.

Le changement de marche est ensuite relevé de façon à réduire l'admission à 35 ou 45 0/0 de la course. Les deux régulateurs sont ouverts en plein en commençant par le régulateur du mécanisme intérieur, car c'est ce mécanisme qui produit le plus d'effet utile.

Si les roues commencent à patiner, on fermera partiellement le régulateur du mécanisme extérieur, l'emploi du

sablier sur les parties en crémaillère étant interdit, sauf cas de force majeure.

Si la vitesse s'accroît, le mécanicien ferme plus ou moins le régulateur de la roue dentée.

Pour éviter les entrainements d'eau, il est important de procéder sans secousse dans ces diverses opérations et de conserver à la machine une allure régulière.

A l'arrivée au-dessus de la rampe, le mécanicien fermera lentement le régulateur du mécanisme intérieur, tout en ramenant le changement de marche à fond de course dans le sens de la marche du train, et la vitesse du train sera réglée par l'adhérence.

Le changement de marche ne sera relevé que lorsque la machine aura abandonné la crémaillère.

Si pour une cause quelconque le train doit faire arrêt sur une partie en crémaillère, l'on aura soin de bloquer le train en serrant à fond le frein continu des voitures et wagons, ainsi que les deux freins à rubans à vis de la locomotive. Si le stationnement doit se prolonger au-delà d'une demi-heure, l'on serrera également les freins à vis des véhicules.

Pour démarrer, on desserrera d'abord complètement le frein continu, éventuellement les freins à vis des véhicules, puis on ouvrira en plein d'abord le régulateur de la crémaillère, ensuite celui de l'adhérence, tout en desserrant lentement les freins à rubans à vis. L'on évitera autant que possible les démarrages en pleine charge et en rampe maxima.

B. *A la descente.*

La descente sur les parties en adhérence se fera à l'aide du frein automatique à vide avec lequel on réglera la vitesse du train. En cas de danger, on pourra mettre en outre en action la contrepression.

A l'approche d'une section à crémaillère, on ralentira la marche du train et cette vitesse sera maintenue en serrant plus ou moins le frein à vis de la locomotive. A l'arrivée du train sur la pièce d'entrée, le frein à vide doit être *complètement desserré*, afin de rendre la liberté aux pignons dentés et

éviter un choc trop violent de ceux-ci contre la pièce d'entrée.

A une cinquantaine de mètres avant l'entrée de la crémaillère, on imprime une légère rotation au mécanisme intérieur, la marche étant à fond de course dans le sens de la marche du train.

Une fois l'engrènement produit, le train ayant une vitesse suffisante pour gagner le haut de la pente, on ferme soigneusement les deux régulateurs en ayant soin de les serrer fortement pour éviter une réouverture intempestive.

Ensuite, on met en action le frein à air comprimé comme il a été dit plus haut, à savoir :

1° Ouvrir le robinet de l'obturateur.

2° Ouvrir complètement les valves de réglage d'échappement de l'air comprimé.

3° Renverser lentement le changement de marche et l'*enclencher* au fond de course opposé à la direction de marche du train.

4° Fermer progressivement les valves de réglage de sortie de l'air comprimé et régler la vitesse du train avec celle-ci.

5° Ouvrir partiellement les robinets d'injection d'eau.

6° Serrer légèrement le frein continu des voitures et wagons en faisant tomber le vide de 10 à 15 centimètres de mercure afin de rendre la marche des véhicules plus régulière et plus indépendante de celle de la machine. Ce serrage devra se faire au moyen de la ventouse installée à côté de l'appareil de frein et non avec le robinet de manœuvre qui provoque de trop grands à coups dans la vitesse du train.

A l'arrivée au bas de la rampe à crémaillère, le mécanicien exécutera les mêmes opérations en sens contraire, à savoir :

1° Desserrer lentement le frein continu du train en fermant la ventouse.

2° Fermer les robinets d'injection d'eau.

3° Ouvrir progressivement les valves de réglage de sortie de l'air comprimé.

4° Ramener lentement le changement de marche à fond de course dans le sens de la marche du train.

5° Ouvrir les purgeurs pour vider l'excédant d'eau des cylindres.

6° Et lorsque la locomotive a abandonné la crémaillère, fermer la soupape obturatrice et fermer les valves de réglage. Eventuellement, rouvrir le régulateur de l'adhérence si le profil de la ligne l'exige.

Si pour une cause quelconque le train doit faire arrêt en pleine crémaillère, l'on procédera comme à la montée en ayant soin en outre de fermer complètement les valves de réglage ainsi que les robinets d'injection d'eau pendant le stationnement.

Le démarrage ne présente aucune difficulté. On laissera le train reprendre peu à peu sa vitesse en desserrant progressivement les freins et en remettant en action le frein à air comprimé.

6. Divers.

Le mécanicien devra surveiller attentivement toutes les pièces de la locomotive, soit en marche, soit par une inspection minutieuse à la fin de chaque course.

Il doit se rappeler qu'il commande deux locomotives réunies en une seule.

La vitesse réduite qui lui est imposée permet d'employer avec discernement les divers appareils et d'assurer un service présentant toutes les garanties de sécurité voulues.

Les mécaniciens sont chargés de l'alimentation du réservoir d'eau à Viège au moyen du pulsomètre.

La vitesse des trains *entrant en gare de Viège* est limitée à 10 kilomètres pour la traversée de *l'aiguille n° 10* de cette gare.

Le frein continu sera complètement desserré avant la mise en marche du train au départ de Stalden, ceci afin d'éviter le choc d'un pignon denté encore bloqué contre les pièces d'entrée de la crémaillère.

La traversée du pont à bascule de la gare de Viège est interdite aux locomotives.

III. SERVICE DES TRAINS

1. Voitures et wagons.

A. Voitures et fourgons.

VOITURES			PLACES ASSISES			TARE
Série	Nombre	Numéros	II ^e	III ^e	Total par voiture	Kilogrammes
As	1	1	34	—	34	9.430
B	2	11-12	48	—	48	9.360
B C	2	21-22	24	32	56	9.200
B C	2	23-24	16	40	56	9.200
C	2	33-34	—	56	56	9.130
C ^e	1	41	—	56	56	8.640
Fb	3	51-53	16	—	16	8.850
Total : 13			138	184	322	

B. Wagons à marchandises.

WAGONS			Nombre d'essieux	TARE	Capacité de chargement
Série	Nombre	Numéros		Kilogrammes	Tonnes
K	2	61-62	4	8.660	10
L	4	71-74	4	7.730	10
Total : 6					

Tout le matériel voyageurs et marchandises est à 4 essieux, formant 2 bogies réunis par une caisse rigide. Un des bogies porte une roue dentée. Le chargement des wagons à marchandises sera réparti uniformément sur toute la surface du wagon, en ayant soin cependant que *le truc qui a la roue d'engrenage* soit moins chargé que l'autre.

Les fourgons ont un compartiment réservé à la poste.

2. Composition et formation des trains.

La locomotive marche toujours dans le même sens avec cheminée du côté de la rampe. Elle n'est donc pas tournée et se place en tête du train, aussi bien à la montée qu'à la descente.

A la montée, le fourgon est placé en règle générale en queue du train et les wagons à marchandises sont intercalés entre la machine et les voitures.

La voiture salon, lorsqu'elle fera partie du train, sera toujours attelée en queue du train aussi bien à la montée qu'à la descente.

Il n'est pas nécessaire d'intercaler un wagon choc entre la locomotive et les voitures à voyageurs occupées.

Avant le départ, il sera procédé à la visite minutieuse des attelages et à l'essai du frein à vide.

Les freins à vis ne seront desservis que si le frein à vide refuse de fonctionner ; ils doivent par conséquent être desserrés.

3. Attelage des véhicules.

a) Tampons et tendeurs.

Tout le matériel roulant est à système de tampon central. Un balancier actionne le ressort en spirale de ce tampon.

A l'une des extrémités de ce balancier est fixé un crochet de traction, à l'autre une chape avec tendeur.

Dans l'attelage de deux wagons, les deux tendeurs forment un parallélogramme avec les deux balanciers.

b) Accouplement des véhicules.

Les deux tendeurs seront crochés simultanément et seront serrés également de manière à obtenir le contact des plaques de frottement des deux tampons.

Les chapes et crochets de traction dépasseront ainsi de la même quantité la traverse de tête des deux véhicules accouplés.

Le réglage et le serrage des tendeurs se fera autant que possible en alignement.

S'il s'agit de former un train, les boyaux en caoutchouc du frein à vide seront ensuite accouplés après les tendeurs.

Il est formellement interdit de manœuvrer avec un seul tendeur croché.

c) Découplement des véhicules.

Le mécanicien ferme le robinet de manœuvre du frein à vide de façon à serrer tous les véhicules.

Tous les raccords des boyaux en caoutchouc seront découplés et placés sur leurs supports, à l'exception d'un seul par véhicule qui pendra librement pour faciliter la rentrée de l'air dans les cylindres. En manœuvrant les tirettes placées en regard des cylindres à air, l'air pénètre dans ceux-ci et les freins se desserrent.

Ensuite, les tendeurs seront découplés deux à deux.

Aucun véhicule ne devra être manœuvré avant que le frein à vide n'ait été complètement desserré.

En gare de Viège, l'accouplement et le découplement des trains sont faits par le visiteur aidé d'un homme d'équipe désigné par le chef de gare.

Dans les autres gares, ces opérations sont faites par le conducteur du train, aidé d'un employé de la gare sous la responsabilité du premier.

4. Calcul de la charge.

Pour le calcul du tonnage, on se servira des indications suivantes :

VÉHICULES	SÉRIE	POIDS		
		à vide	en charge	complète- ment occupée
		Tonnes	Tonnes	Tonnes
Voiture salon.	As	10	12	12
Voitures à voyageurs	B, BC, C	10	13	14
Voitures à voyageurs ouvertes	C ^o	9	12	13
Fourgons	Fb	9	12	12
Wagons à marchandises.	K	9	—	—
» » 	L	8	—	—

Pour les wagons à marchandises, le poids total s'établit en ajoutant à la tare le poids de la marchandise indiqué sur la feuille de route, toute fraction supérieure à 500 kilos comptant pour une tonne.

5. Essai du frein à vide automatique.

Dans les gares de formation des trains et dans les gares intermédiaires où il est ajouté un ou plusieurs véhicules au train, il doit être procédé, avant le départ du train, à l'essai du frein à vide automatique.

Il en est de même lorsque des véhicules ont été retirés du train, à moins qu'ils ne soient décrochés en queue.

Au premier signal, le mécanicien produit le vide dans la conduite et dans les cylindres de frein, jusqu'à ce que l'aiguille du manomètre indique le vide normal à obtenir, soit 40 centimètres au moins. Si le vide obtenu ne se maintient pas, c'est-à-dire si l'aiguille s'abaisse, il existe une fuite dans la conduite. Pour y remédier, l'on examinera les accouplements des tuyaux, surtout aux raccords, vu que c'est là que ces fuites se trouvent le plus souvent.

L'étanchéité obtenue, le mécanicien serrera le frein. Tous

les pistons des cylindres à vide doivent monter et les sabots à adhérence et à crémaillère seront bloqués, ce dont le personnel préposé à la visite du train s'assurera.

Sur un second signal, le mécanicien desserre le frein automatique, les pistons des cylindres retombent et les sabots doivent se desserrer. Une visite minutieuse le constatera.

Le chef de gare indiquera par une annotation faite dans la feuille de marche et signée par lui, le résultat de cet essai.

Si, pour une cause quelconque, le frein à vide refuse de fonctionner sans qu'il puisse y être remédié avant le départ du train, le frein à vide sera condamné, c'est-à-dire que les raccords seront découplés et les cylindres de frein vidés au moyen des tirettes. Dans ce cas, les freins à vis de tous les véhicules devront être desservis. Les véhicules qui ne pourront être desservis seront différés.

6. Trains en marche.

Les plateformes des voitures étant munies de portes, le stationnement des voyageurs sur ces plateformes est autorisé pendant la marche. Les agents des trains auront à veiller à ce que ces portes soient fermées avant le départ du train et qu'elles ne soient pas ouvertes en cours de route par les voyageurs.

Les machines dégageant à la montée en crémaillère une grande quantité de vapeur et de fumée, les agents des trains auront soin de fermer les portes des voitures pour la traversée du tunnel en crémaillère du kilomètre 8, la rentrée de ces vapeurs dans les voitures, dans ce tunnel, étant très désagréable pour les voyageurs. Ceux stationnant sur les plateformes seront invités à rentrer dans l'intérieur de la voiture pour la traversée de ce tunnel.

Les agents des trains voueront également une attention particulière aux wagons bâchés contenant des matières facilement inflammables, surtout dans les parties en crémaillère, afin de prévenir à temps les commencements d'incendie qui peuvent se produire par des charbons lancés par la locomotive.

7. Passage des trains dans les gares.

a. **Manœuvres.** Les manœuvres des trains sont dirigées dans les gares de Viège et de Zermatt par le personnel des gares et, dans les gares intermédiaires, par le chef de train.

Tout agent doit prêter son concours à la manœuvre s'il y est requis par l'agent qui la dirige.

Tout véhicule abandonné dans une gare doit avoir le frein à vis serré à fond. Il est interdit de laisser un véhicule isolé serré par le frein automatique. En outre, les freins à vis seront cadénassés pour la nuit. Ces prescriptions ne sont pas applicables à la gare de Viège.

En considération des grands dangers que présentent, sur les pentes, les manœuvres de voitures ou wagons faites à bras d'homme, il est, en règle générale, interdit de faire mouvoir ces véhicules sur les pentes ou dans leur voisinage immédiat autrement qu'à l'aide d'une locomotive. Dans les stations aux abords immédiats d'une pente, ces mouvements ne sont tolérés qu'après avoir placé, au-dessus de la rampe, des sabots solidement fixés et capables d'arrêter un wagon en dérive.

Il est interdit de manœuvrer au lancer (tamponner) un véhicule dans la direction de la pente.

b. **Le service des haltes.** Les wagons abandonnés dans les haltes munies d'un cul de sac, sont garés par le chef de train qui est responsable de la manœuvre de l'aiguille qui doit être remise en place et cadénassée en sa présence.

Le chef de train donne le signal du départ sans ordre spécial du chef de halte.

c. **Annnonce de l'arrivée des trains.** Cette annonce se fera conformément au règlement général pour la circulation des trains sur les chemins de fer à voie normale. On n'annoncera que l'arrivée du dernier des trains supplémentaires, chaque fois que des trains devront être dédoublés.

8. Intervalle entre les trains.

Sur le Viège-Zermatt, les trains se suivent à distance de temps. L'intervalle entre deux trains est fixé à dix minutes.

9. Trains de service.

Des trains de matériaux pour le service de la voie peuvent être organisés pendant la période d'exploitation.

Ces trains, qui peuvent suivre les trains de l'exploitation à dix minutes de distance, devront être garés dans les gares de croisement ou de dépassement quinze minutes au moins avant l'arrivée du train à croiser ou à laisser dépasser. Si, pour une cause quelconque, ils ne peuvent être garés dans ce délai, ils seront couverts réglementairement et les signaux de protection ne pourront être enlevés que lorsque le train de service qui stationnait sera loin depuis dix minutes.

Les trains de matériaux ne peuvent être composés de plus de deux véhicules. On évitera de refouler les wagons à la descente des pentes avec crémaillère.

10. Trains facultatifs et spéciaux.

La mise en marche, l'annonce et le signalement des trains facultatifs et spéciaux ont lieu conformément aux prescriptions en vigueur sur les chemins de fer à voie normale.

11. Trains en détresse.

Tout train en détresse doit être couvert immédiatement. Avis en sera donné de suite aux gares voisines, soit directement soit au moyen du téléphone, si un de ces appareils est plus rapproché qu'une des gares.

Le chef de train, après avoir entendu le mécanicien, prendra les mesures que comporte la situation et en avisera immédiatement l'inspecteur de la ligne.

Il est interdit sur les rampes à crémaillère de découpler la machine et d'isoler des véhicules contenant des voyageurs.

Lorsque, pour une cause quelconque, un wagon devrait être abandonné en pleine voie, il faut ;

1° Le couvrir réglementairement ;

2° Placer un garde chargé de sa surveillance ;

3° Serrer à fond le frein à vis ;

4° Le crocher, en crémaillère, au moyen d'une tringle qui se fixe d'un côté à la chape du crochet de traction, de l'autre au-dessous des lames de crémaillère. Cette tringle, qui est portée par les machines, sera remise au chef de train par le mécanicien ;

5° Introduire l'air dans les cylindres à frein au moyen des tirettes.

IV. SERVICE DES GARES

1. Installation des gares.

Toutes les stations et les haltes du Viège-Zermatt sont ouvertes au service des voyageurs, des bagages et des marchandises. Les stations seules sont ouvertes au transport des animaux vivants. Les stations sont munies de voies d'évitement et de voies de garage. Les haltes de Herbriggen et de Täsch seules sont munies d'un cul-de-sac.

La gare de Viège comprend en outre un dépôt de machines, une remise à voitures, une grue roulante pour le transbordement des marchandises et un pont à bascule. Le service de cette gare est fait par le personnel de la gare J.-S., à l'exception du service de la traction qui possède un personnel spécial à cet effet.

La gare de Zermatt possède une remise à locomotives et à voitures dans laquelle se trouve une réserve de matériel pour le renforcement éventuel des trains.

Les gares de Viège, Kalpetran, St-Nicolas, Randa et Zermatt sont en outre munies de prises d'eau pour l'alimentation des machines. Stalden a un tuyau permettant, en cas de détresse, de relier la borne-fontaine avec la locomotive.

Les stations sont munies de disques de protection avec répéteur électrique.

Le télégraphe est installé dans les stations, et les appels sont les suivants : Viège, v. g. ; Stalden, s. t. ; St-Nicolas, n. i. ; Randa, r. a. ; Zermatt, z. e.

Des téléphones combinés avec des sonneries électriques sont posés dans toutes les gares et toutes les haltes, ainsi que dans un certain nombre de guérites, pour le service de la voie. Les communications téléphoniques ne peuvent se faire que d'une station à l'autre. L'emploi des téléphones et des sonneries électriques est du reste déterminé par des instructions spéciales jointes aux présentes.

2. Service des voyageurs.

a) **Billets ordinaires.** La compagnie du Viège-Zermatt possède deux classes de voitures, II et III classes, qui circulent dans tous les trains réguliers.

Des billets ordinaires en service intérieur, ainsi qu'en service direct avec d'autres compagnies suisses et étrangères, sont délivrés pour les deux classes de voitures. Les billets directs de 1^{re} classe ne donnent droit qu'à une place de 2^e classe sur le V.-Z.

Les billets circulaires combinés suisses et étrangers ainsi que ceux des agences de voyages Cook et Gaze sont également admis sur le Viège-Zermatt, s'ils contiennent les coupons nécessaires pour ce parcours.

Les dispositions de la convention pour le service combiné des chemins de fer J.-S. avec la Compagnie générale de navigation sur le lac Léman, sont étendues à la ligne Viège-Zermatt.

Il n'est pas délivré de billets du dimanche sur cette ligne.

Les permis de circulation annuels, temporaires ou pour une course délivrés par le Jura-Simplon sont valables sur le Viège-Zermatt à moins de mention contraire sur ces permis. Il en est de même des cartes de circulation uniques et annuelles des chemins de fer suisses.

La compagnie du Viège-Zermatt délivre aussi des permis spéciaux pour cette ligne, sur formulaires signés par la direction du Jura-Simplon.

b) **Billets spéciaux pour habitants du district.** En exécution du dernier alinéa de l'art. 15 de la concession de la ligne Viège-Zermatt, il est délivré *en service intérieur* des billets

3^e classe à prix réduits aux *habitants du district de Viège*, dans toutes les gares de cette ligne. Pour l'obtention de ces billets aux guichets des gares, les habitants doivent se procurer à la gare qui dessert leur lieu de domicile une carte de légitimation renouvelée chaque année et signée par le chef de gare.

Cette faveur ne s'étend qu'aux habitants d'une manière *permanente* du district de Viège et non aux ressortissants de ce district établis dans une autre localité du canton ou à l'étranger. Les chefs de gare ne délivreront donc ces cartes qu'aux personnes qu'ils connaissent comme remplissant cette condition, à défaut de quoi ils exigeront un certificat du président de la commune établissant leur identité.

Tout porteur d'un billet spécial non muni d'une carte de légitimation est tenu de payer la différence entre un billet spécial et un billet ordinaire, plus une surtaxe de 50 centimes. En outre, s'il y a fraude, procès-verbal sera dressé contre le délinquant.

c) **Billets pour employés d'hôtels.** Dans le but de faciliter le développement de Zermatt, le comité de direction du Viège-Zermatt a décidé d'étendre la même réduction aux *maîtres d'hôtels* et à *leurs familles*, ainsi qu'à leurs *domestiques* et à *leurs employés*. Des cartes leur seront délivrées par les chefs de gare sur présentation d'un contrat d'engagement signé par un des maîtres d'hôtels de la vallée de la Viège.

Cette concession étant une faveur faite par le comité de direction pourra être retirée en tout temps par une simple décision de celui-ci. Tout abus signalé dans l'emploi des contrats d'engagement des hôtels entraînera immédiatement le retrait des faveurs accordées aux employés de l'hôtel qui s'en seront rendus coupables.

d) **Billets pour industriels.** La direction du Viège-Zermatt délivre dans ses bureaux, aux *industriels*, commerçants, etc., exploitant une entreprise, magasin, etc., à Zermatt pendant l'été une carte leur donnant droit à l'obtention de billets *demi-place* dans toutes les gares du Viège-Zermatt. Cette carte n'est valable que pour l'année pour laquelle elle a été délivrée. La présentation de cette carte est obligatoire.

Les billets spéciaux désignés sous les lettres *b, c, d* ci-dessus ne sont délivrés qu'en service intérieur. Tout porteur de billet spécial doit donc se pourvoir d'un nouveau billet en gare de Viège pour continuer sa route.

e) **Abonnements.** Il est délivré des cartes d'abonnement personnelles donnant le droit d'effectuer un parcours de 120 kilomètres en service intérieur du Viège-Zermatt. Ces cartes qui sont valables jusqu'à épuisement, donnent droit au transport de l'abonné et des personnes qui l'accompagnent.

Pour chaque trajet, l'abonné doit présenter sa carte d'abonnement au receveur de la gare de départ qui en détachera autant de numéros par personne qu'il y a de kilomètres au parcours demandé, conformément au barème imprimé sur chaque carte. En échange, le receveur délivrera à l'abonné et à chacune des personnes qui l'accompagnent, une contre-marque pour le parcours à effectuer, pour simple ou double course, qui ont la même valeur qu'un billet ordinaire et qui seront traitées d'une façon identique par les conducteurs des trains. Pour la double course, le receveur détachera un nombre double de numéros-kilomètres de ceux indiqués pour la simple course.

L'abonné trouvé dans un train sans sa carte et sans contre-marque, ou avec l'une ou l'autre seulement, paie, ainsi que les personnes qui l'accompagnent, le prix des places au tarif ordinaire.

Après épuisement, la couverture sera retirée par le conducteur en même temps que la contre-marque.

f) **Sociétés et écoles.** En service intérieur du Viège-Zermatt, des billets collectifs à prix réduits sont délivrés aux *sociétés et associations* composées d'au moins 16 personnes ou payant pour ce nombre, et aux *écoles* d'au moins 8 élèves, ou payant pour ce nombre.

Le système des billets est celui adopté par le Jura-Simplon.

La délivrance de ces billets est *suspendue* pendant la période du 20 juillet au 31 août inclusivement, à la Pentecôte et le jour du Jeûne fédéral.

La durée de validité de ces billets, tant simple que double course, est de 2 jours. Toutefois, au départ de Viège si le bil-

let collectif double course fait suite à un billet analogue du Jura-Simplon, sa validité aura la même durée que celui délivré par le Jura-Simplon.

g) **Voiture-salon.** La Compagnie du chemin de fer Viège-Zermatt met à la disposition du public une voiture-salon aux conditions suivantes :

1° Chaque personne voulant prendre place dans cette voiture devra être munie d'un billet de I^{re} ou II^e classe pour le service direct ou de II^e classe pour le service intérieur et payer, en outre, un supplément calculé selon le tarif du barème annexé aux présentes instructions.

2° Sont considérés comme valables dans cette voiture :

a) les billets ordinaires de simple course ou d'aller et retour, II^e classe, délivrés en service intérieur du Viège-Zermatt ;

b) les billets ordinaires de I^{re} et II^e classe, émis en service direct avec le Jura-Simplon et au-delà ;

c) les abonnements de II^e classe ;

d) les billets collectifs, II^e classe, pour sociétés ;

e) les coupons de II^e classe des billets circulaires combinés ;

f) les billets dits d'excursion en Valais, II^e classe ;

g) les coupons ordinaires de II^e classe, vendus par les agences excursionnistes Cook et Gaze ;

h) les billets militaires de I^{re} et II^e classe.

Par contre les billets collectifs pour écoles, les billets de III^e classe en général, les permis de circulation, ainsi que tous les autres billets spéciaux non munis d'une autorisation *ad hoc*, ne donnent pas droit à l'utilisation de la voiture dont il s'agit. Toutefois, l'accès de cette voiture, lorsqu'elle circule, est autorisé gratuitement aux agents du contrôle de l'Etat, dans l'exercice de leurs fonctions et sur présentation d'un permis de circulation de I^{re} ou II^e classe.

3° Les billets de supplément sont vendus par les stations et haltes.

4° Les enfants de 3 à 10 ans sont astreints au paiement de suppléments entiers.

5° Cette voiture ne sera mise en circulation que pour autant

qu'il est payé 10 places entières au minimum, soit 10 billets entiers et 10 suppléments.

6° Lorsque la voiture sera mise en circulation, toute personne munie d'un des billets désignés sous chiffre 2°, lettres *a* à *h* ci-dessus et d'un supplément, pourra y prendre place, sauf dans le cas où elle serait louée en entier.

7° Toute société ou association, soit groupe de personnes, qui en fera la demande préalable et pourvu que d'autres demandes de places au nombre de 10 au minimum ne se soient pas produites auparavant, peut louer la voiture en entier moyennant le paiement de 20 suppléments, conformément au présent tarif; toutefois, si le nombre de voyageurs qui l'occupent est supérieur à 20, ils doivent se procurer autant de billets et de suppléments qu'il y a de personnes.

8° La voiture de luxe stationne à Viège; dès Viège, elle sera mise en circulation moyennant avis préalable donné au chef de gare et reçu par ce dernier 20 minutes avant le départ du train.

Depuis d'autres stations pour Zermatt, l'avis sera envoyé au chef de gare intéressé de manière à ce qu'il lui parvienne 40 minute au moins avant le départ de Viège du train pour lequel la voiture est demandée.

Au départ de Zermatt ou de stations intermédiaires pour Viège, l'avis sera donné à la gare intéressée suffisamment à temps pour qu'elle puisse en faire la demande à Viège. Si la voiture doit être ajoutée au premier train du matin, elle doit être commandée :

a) avant 2 heures du soir du jour précédent pour les périodes du 1^{er} mai au 15 juillet et du 1^{er} au 30 septembre ;

b) avant 6 h. 30 du soir du jour précédent pour la période du 16 juillet au 31 août.

Pour les autres trains, l'avis doit être donné 6 heures avant le départ du train à utiliser; le cas où la voiture serait déjà en circulation est toutefois réservé.

h) **Chiens accompagnant les voyageurs.** Le transport des chiens fait l'objet d'un enregistrement de gare à gare. Les haltes n'étant pas comprises dans ce tarif, la taxe de transport de chiens au départ ou à destination des haltes sera perçue

directement sans surtaxe par le conducteur conformément au barème ci-dessous. Les conditions de transport sont du reste les mêmes que sur les chemins de fer à voie normale.

i) **Suppléments.** L'établissement des suppléments par les conducteurs se fera conformément aux instructions J.-S., suivant le barème ci-après.

La surtaxe de 50 centimes sera perçue conformément aux instructions J.-S.

Les suppléments pour utilisation de la voiture-salon ne donnent pas droit au prélèvement du 5 0 0 en faveur des agents des trains.

3. Service des bagages.

Chaque voyageur est autorisé à prendre avec lui jusqu'à 5 kilogr. de bagage à main. Tout colis dépassant ce poids devra être enregistré et taxé.

Il est recommandé au personnel des gares de faire enregistrer tous les bagages dépassant cette limite. Les agents de trains ne laisseront pas charger ces bagages dans les voitures, mais inviteront avec politesse les voyageurs à se conformer aux dispositions qui précèdent.

Comme pour le service des voyageurs, les gares Viège-Zermatt sont en relation directe avec un certain nombre de gares d'autres Compagnies. Autant que les tarifs le permettent, les enregistrements seront faits directement pour la station destinataire définitive. En cas de réexpédition, l'on choisira pour procéder à ce réenregistrement la gare, où le train, par lequel l'expédition a lieu, a le plus long arrêt.

Le transport des *cercueils* se fera conformément aux instructions J.-S. en vigueur, sur la base du tarif du Viège-Zermatt.

4. Service des animaux vivants.

Le transport des animaux vivants n'a lieu qu'entre les stations ; les haltes sont exclues de ce tarif. Ces transports ont lieu conformément aux instructions, conditions et taxes du

tarif J.-S., sur la base des kilomètres *de tarif* du Viège-Zermatt. Le transport du menu bétail aura lieu autant que possible dans les fourgons des trains réguliers.

En cas de consignation de chevaux, bestiaux ou marchandises grande vitesse en wagon complet à destination d'une gare J.-S. ou au-delà, la gare expéditrice est tenue d'en aviser par télégraphe la gare de Viège, afin de permettre à cette dernière de prendre ses dispositions en temps utile pour le matériel, le transbordement, les manœuvres, etc.

Cette dépêche est rédigée comme suit :

(exemple) Viège de Zermatt.

Train., de ce jour, 3 bœufs pour Sion.

5. Service des marchandises.

Sur le Viège-Zermatt le service des marchandises ne distingue pas de grande et de petite vitesse. Tous les transports ont lieu au fur et à mesure de leur arrivée par les trains prévus pour ces transports. En général, on profitera de tous les trains réguliers pour écouler les marchandises, en tant que le service des voyageurs et des bagages le permet. La place disponible dans les fourgons sera également utilisée pour ce service.

Le Viège-Zermatt n'est pas en relation, pour le service des marchandises, avec les autres compagnies. Toute expédition en provenance ou à destination d'une station au-delà de Viège fera l'objet d'une réexpédition en cette gare.

Dans le but de faciliter le service des haltes, l'expédition des marchandises dans les haltes se fait au moyen du formulaire de bagages, d'une façon identique à l'expédition des colis express, mais en appliquant les taxes des expéditions partielles de la 1^{re} ou de la 2^e série du tarif général, suivant le cas.

Ces expéditions se feront donc en service intérieur, invariablement en port payé.

Pour les expéditions au-delà de Viège, il sera ajouté aux écritures précitées une lettre de voiture établie par l'expéditeur et conforme au type admis pour le mode de transport choisi par l'expéditeur. La taxe sera perçue jusqu'à Viège.

Si à la demande de l'expéditeur ou si, conformément au § 67 du règlement de transport, l'expédition doit être faite en port payé sur tout le parcours, la gare de Viège se créditera de son découvert en en réclamant le montant à la halte expéditrice qui l'enverra en *espèces* à Viège après l'avoir perçu de l'expéditeur.

Le poids maximum admis pour chaque colis isolé au départ ou à destination des haltes est de 100 kilog.

Pour le transport de marchandises grande vitesse par wagon complet à destination d'une gare au-delà de Viège l'on se conformera à l'observation faite sous chiffre 4 ci-dessus.

6. Répartition du matériel.

Le trafic marchandises ayant lieu presque exclusivement dans le sens de Viège à Zermatt, tout wagon à marchandises vide est à retourner au plus tôt à la gare de Viège, sauf ordre contraire de cette gare, à l'exception de la gare de Zermatt qui est autorisée à conserver un wagon à marchandises pour ses besoins éventuels.

Toute demande de wagon est donc à adresser à la gare de Viège, qui fera le nécessaire pour satisfaire à cette demande.

V. SERVICE DE LA VOIE

1. Généralités.

Le service de la voie du Viège-Zermatt forme le 25^e district du Jura-Simplon et est sous les ordres de l'inspecteur du Viège-Zermatt qui remplit les fonctions de chef de section pour cette ligne. La ligne est divisée en 4 cantonnements, à savoir :

1. Du km. 0,000 (Viège) au km. 8,400 (fin de la crém.).
2. Du km. 8,400 au km. 16,000 (St-Nicolas).
3. Du km. 16,000 au km. 25,600 (Randa).
4. Du km. 25,600 au km. 35,100 (Zermatt).

A la tête de chacun de ces cantonnements se trouve un chef cantonnier en relation directe avec l'inspecteur du Viège-Zermatt, auquel il adresse régulièrement son rapport de la journée précédente, chaque matin par premier train.

Vu la grande extension des maçonneries que la construction de la ligne a nécessitées, il est formé en outre une équipe de maçons chargée spécialement de l'entretien des murs et ouvrages d'art et qui peut être appelée à travailler sur toute la longueur de la ligne suivant instructions du chef de section duquel elle relève.

Chaque chef cantonnier a sous ses ordres les gardes-voie de son parcours ainsi qu'un certain nombre de supplémentaires pour l'entretien de la voie et de ses dépendances.

3. Gardiennage.

La surveillance de la voie est confiée à un certain nombre de gardes ayant chacun un parcours déterminé et dont les rondes sont fixées par un tableau qui leur est remis pour chaque période d'horaire. Une de ces rondes journalières sera utilisée pour un examen minutieux de la voie ainsi que de ses abords, talus, parois de rochers, murs, torrents, etc.

Le temps disponible entre les rondes sera employé utilement à des travaux d'entretien de la voie, conformément aux ordres du chef cantonnier.

Pour toute communication urgente intéressant le chemin de fer, il est mis à la disposition des gardes-voie un certain nombre de téléphones avec sonneries intercalés entre les stations et les haltes et placés dans des guérites. La manière d'utiliser ces téléphones est prescrite par les instructions pour l'usage du téléphone et des sonneries.

Ces téléphones se trouvent aux points suivants :

Entre Viège et Stalden, km. 4,118, guérite de Neubrücke.

Entre Stalden et Kalpetran, km. 9,520, guérite du Faulkinn.

Entre Kalpetran et St-Nicolas, km. 13,420, guérite du Selli.

Entre Täsch et Zermatt, km 32,435, guérite de Kalterboden.

Les gardes-voie sont en outre chargés de maintenir la distance horaire réglementaire entre deux trains qui se suivent en présentant au second train drapeau rouge ou feu rouge s'il suit le premier à 5 minutes ou moins de distance et drapeau vert ou feu vert si la distance est au-dessus de 5 minutes. Vu la difficulté de démarrage, les gardes éviteront, si possible, d'arrêter un train montant en pleine charge (composé de trois véhicules), en rampe de 100 0/00 et au-dessus.

Lorsque, au passage des trains, le garde-voie se trouve à une station ou à une halte, il aidera à la réception des trains, ainsi qu'au chargement et au déchargement des marchandises.

En outre, les gardes auront à graisser chaque mois au moins le *côté intérieur* du *rail extérieur* des courbes de petit rayon et chaque semaine les dents des lames de crémaillère, compris sur leur parcours ; ce travail sera fait à la main. Les matières nécessaires seront fournies par le chef cantonnier respectif.

En temps d'orage, de fortes pluies ou de crues extraordinaires, les gardes redoubleront de vigilance en faisant des tournées supplémentaires sur les parties où les chutes de pierres sont à craindre ou sur les parties menacées par la rivière ou les torrents.

Ils requerront, s'ils le jugent nécessaire, des renforts auprès de leur chef cantonnier, qui devra donner satisfaction sans retard à pareille demande.

3. Circulation des wagonnets et draisines.

La circulation des wagonnets et draisines sur le Viège-Zermatt est soumise aux prescriptions en vigueur sur le Jura-Simplon.

En outre, il est à noter que :

1° La circulation des wagonnets sur les parties en crémaillère n'aura lieu qu'une façon exceptionnelle et sous la

responsabilité du chef cantonnier qui prendra les mesures de sécurité nécessaires.

2° Les wagonnets circulant sur les parties en crémaillère ne seront ni chargés, ni montés par des ouvriers ou d'autres personnes.

3° La circulation des draisines sur les parties en crémaillère est interdite, sauf autorisation écrite du chef de section qui prescrira en même temps les mesures de sécurité à prendre.

VI. TÉLÉPHONE ET SONNERIES

1. But des installations.

Art. 1^{er}. — Les gares et les maisons de garde de la ligne Viège-Zermatt sont munies de téléphones et de sonneries spéciales qui permettent la transmission de signaux et appels de la part des stations et des gardes, de même qu'une entente téléphonique entre deux stations seules ou entre les stations et les gardes-voie.

II. Agencement technique de la ligne. Désignation des appareils.

Art. 2. — La ligne téléphonique est divisée en quatre *sections* indépendantes les unes des autres :

Viège-Stalden, Stalden-St-Nicolas, St-Nicolas-Randa et Randa-Zermatt.

Sur le fil de chacune de ces sections sont intercalés les *postes intermédiaires* suivants :

1. Sur la section Viège-Stalden : à la guérite de Neubrûck, km. 4,118.

2. Sur la section Stalden-St-Nicolas : à la guérite du Faulkinn, km. 9,520 ; à la halte de Kalpetran, km. 10,900 ; à la guérite du Selli, km. 13,420.

3. Sur la section St-Nicolas Randa : à la halte de Herbrigen, km. 21,800.

4. Sur la section Randa-Zermatt : à la halte de Täsch, km. 29,600 ; à la guérite de Kalterboden, km. 32,435.

Art. 3. — Les gares sont munies, pour chaque direction, d'un système complet de téléphone avec deux appareils d'appel distincts, l'un pour appeler la gare voisine seule, l'autre pour la transmission des signaux et pour l'appel collectif de tous les postes d'une section.

Un poste de gare simple se compose :

- | | | |
|--------------------------------|---|--|
| 1° D'un petit inducteur | } | pour l'appel entre les gares. |
| 2° D'une petite sonnerie | | |
| 3° D'un grand inducteur | } | pour les signaux et pour l'appel collectif. |
| 4° D'une grosse sonnerie | | |
| 5° D'un microphone | } | pour la transmission et la réception de la parole. |
| 6° De deux téléphones | | |
| 7° De deux éléments Leclanché. | | |
| 7° D'un parafoudre. | | |

A l'exception de la grosse sonnerie, qui est placée à l'extérieur du bâtiment, tous ces appareils sont fixés sur une planchette à l'intérieur du bureau.

Art. 4. — Les postes intermédiaires (guérites et haltes) n'ont qu'un appareil ; cet appareil est identique à celui des gares, mais sans *petit* inducteur, ni *petite* sonnerie.

III. Manière de faire fonctionner les sonneries.

Art. 5. — Pour faire fonctionner les sonneries, il faut peser à fond sur le bouton de l'inducteur respectif et tourner *en même temps* vigoureusement la manivelle.

Dans la plupart des petits inducteurs ce bouton n'existe pas, il suffit de tourner la manivelle.

Art. 6. — Lorsqu'une gare manœuvre le petit inducteur, la petite sonnerie seule de la gare correspondante est actionnée.

Lorsque soit dans une gare, soit dans une maison de garde, on met en mouvement le grand inducteur, les grosses sonneries de tous les postes de la section retentissent.

Art. 7. — Les *appels ordinaires des gares entre elles* pour la correspondance téléphonique doivent donc toujours se faire au moyen du *petit* inducteur.

INSTRUCTIONS POUR LA LIGNE DE VIÈGE-ZERMATT 431

Les *signaux* proprement dits (annonce des trains, etc.), sont par contre toujours donnés au moyen du *grand* inducteur.

Art. 8. — Pendant la transmission des appels et signaux, il est indispensable que les téléphones récepteurs soient suspendus à leurs crochets.

IV. Transmission des appels et des signaux.

a) *Appel des gares entre elles.*

Art. 9. — Les gares s'appellent entre elles au moyen des deux signaux suivants :

■ ■ *Appel de la gare voisine, côté de Viège.*

Ce signal consiste en deux coups brefs de la sonnerie et se transmet au moyen de deux séries de deux tours de manivelle, séparées par un intervalle d'environ une seconde.

■ *Appel de la gare voisine, côté de Zermatt.*

Ce signal consiste en un coup bref de la petite sonnerie et se transmet au moyen de deux tours consécutifs de manivelle.

b) *Signaux transmis par le grand inducteur et la grosse sonnerie.*

Art. 10.

Signal n° 1^{er}. Départ d'un train se dirigeant sur Viège (trains pairs) :



Deux sonneries prolongées (durée de 8 à 10 secondes chacune).

Ce signal se transmet au moyen de deux séries de 10 à 12 tours de manivelle, séparées par un intervalle de 2 à 3 secondes.

Signal n° 1^b. Départ d'un train se dirigeant sur Zermatt (trains impairs) :



Une sonnerie prolongée (durée de 8 à 10 secondes).

Ce signal se transmet au moyen de 10 à 12 tours consécutifs de manivelle.

Signal n° 2. Téléphone à l'oreille (Appel collectif de tous les postes de la section).



Trois sonneries de 2 à 3 secondes de durée chacune.

Ce signal se transmet au moyen de trois séries de trois tours de manivelle séparés par des intervalles de 1 à 2 secondes.

Signal n° 3. Alarme.



Tintement très prolongé de la sonnerie (durée de 20 à 25 secondes).

Ce signal se transmet au moyen de 50 à 60 tours consécutifs de manivelle.

Au besoin il est répété.

V. Emploi des appareils.

a) Correspondance téléphonique entre les gares.

Art. 11. — Lorsqu'une gare veut se mettre en communication téléphonique avec la gare voisine, elle transmet sur la ligne, avec le petit inducteur, l'un des signaux d'appel prescrits à l'art. 9.

Cet appel est répété à intervalles convenables jusqu'à ce qu'il y soit répondu.

Art. 12. — L'employé de la gare appelée répond immédiatement par le même signal.

Art. 13. — La gare appelée ayant répondu, les deux correspondants enlèvent les téléphones de leurs crochets et les

tiennent appliqués aux oreilles aussi longtemps que la correspondance dure.

Art. 14. — Le poste appelé s'annonce le premier par les mots : *Voilà...* (nom du poste); le poste qui a fait l'appel se nomme également ; après quoi, la correspondance peut commencer.

Art. 15. — On parle à 10 ou 15 centimètres de la plaque du microphone, à voix ordinaire, en articulant très distinctement.

b) *Correspondance téléphonique entre les gares et les postes de garde.*

Art. 16. — Lorsqu'une gare a une communication à faire à un ou plusieurs gardes, l'employé transmet sur la section respective le signal n° 2 : « téléphone à l'oreille ».

A l'ouïe de ce signal, tous les gardes, de même que la gare voisine enlèvent les téléphones de leurs crochets et les portent à l'oreille. La gare qui a appelé donne connaissance du but de l'appel, par exemple : *la gare de Stalden désire s'entretenir avec le poste de Kalpetran.* Ce poste répond par : « Voilà Kalpetran ». Les autres postes peuvent alors remettre en place leurs téléphones. Les deux gares et le poste de garde en question seuls doivent rester en communication jusqu'à ce que la correspondance soit terminée et que l'ordre de remettre les téléphones au repos ait été donné. Cet ordre doit toujours être donné clairement et distinctement par l'employé qui a pris l'initiative de l'appel.

Art. 17. — Si un garde a une communication à faire aux gares, il transmettra également le signal n° 2 et en indiquera le but ; exemple : *le poste de Kalpetran désire s'entretenir avec la gare de Stalden.* Les autres gardes doivent alors remettre leurs téléphones en place ; par contre, les deux gares et le poste qui a fait l'appel doivent rester en communication jusqu'à ce que la conversation soit terminée.

Art. 18. — La fin d'une conversation téléphonique est indiquée par le mot : « fini », répété par les deux postes en correspondance.

Art. 19. — L'employé qui reçoit une communication téléphonique quelconque doit toujours la répéter textuellement à son correspondant. Cette répétition se fait à tour de rôle lorsque plusieurs postes ont reçu en même temps la même communication.

Art. 20. — Les communications entre les gares et les gardes-voie se font sous forme de conversation. Toutefois les gares, de même que les postes intermédiaires, doivent en prendre note dans un registre spécial avec indication exacte de l'heure à laquelle elles ont eu lieu.

c) Annonce des trains par les grosses sonneries.

Art. 21. — Tout train ou toute machine isolée partant d'une gare doit être annoncé à la gare suivante et au personnel de la voie au moyen des signaux n^{os} 1a ou 1b (voir art. 10).

Ces signaux doivent être faits par le chef de gare avant que le train ou la machine ait reçu le signal de départ.

Art. 22. — On ne doit pas annoncer au moyen des sonneries le départ d'un train de matériaux *lorsque ce train ne se rend pas à la gare suivante*, ces trains faisant l'objet de précautions spéciales prescrites par les règlements.

d) Signal d'alarme.

Art. 23. — Le signal n^o 3 (voir art. 10) a pour but de donner l'alarme à tous les agents situés sur une section. Il doit être lancé sans hésitation par tout agent des gares ou de la voie dans les cas suivants :

a) S'il s'aperçoit que, par erreur, on a expédié deux trains ou machines en sens contraire ;

b) S'il constate sur la ligne l'existence d'un obstacle ou d'un danger imminent ;

c) S'il remarque au passage d'un train une avarie grave à un véhicule, un commencement d'incendie ou un dérangement dans le chargement d'un wagon pouvant amener un accident, et si les signaux d'arrêt qu'il a pu faire au personnel du train sont restés sans résultat.

Art. 24. — A la réception du signal d'alarme, les agents des gares et de la voie doivent *immédiatement* prendre les mesures nécessaires pour arrêter toute circulation de trains ou de machines ; après quoi, ils se rendent en toute hâte à l'appareil, décrochent les téléphones et les portent à l'oreille pour attendre les communications qui peuvent leur être faites.

De son côté, l'agent qui a donné le signal d'alarme, après avoir couvert la voie devant son poste, s'empresse d'enlever les téléphones et de donner tous renseignements sur les faits qui ont motivé le signal.

VI. Prescriptions générales.

Art. 25. — Les appareils téléphoniques ne doivent être employés que pour des communications de service urgentes.

Il est toutefois interdit de se servir du téléphone pour les changements de croisements et de dépassements, ainsi que pour les avis de mise en marche ou de suppression de trains.

Art. 26. — Il est interdit de déplacer ou démonter les appareils ou de modifier d'une manière quelconque les divers organes des installations.

Art. 27. — Les dérangements de toute nature doivent être signalés à l'Inspecteur des télégraphes, à Lausanne, qui donnera d'ailleurs sur place aux agents intéressés les instructions spéciales nécessaires.

Art. 28. — Tous les agents qui peuvent être appelés par leurs fonctions à desservir les appareils téléphoniques doivent connaître à fond la présente instruction.

ANNEXE N° 6

COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER DE VIÈGE A ZERMATT

EXTRAIT DU DIX-HUITIÈME RAPPORT DU CONSEIL
D'ADMINISTRATION ET COMPTES AU 31 DÉCEMBRE 1905

LIGNE DE VIÈGE-ZERMATT

TABLEAU I

COMpte DE CONSTRUCTION ARRÊTÉ AU 31 DÉCEMBRE 1905

	Comptes 1904	Dépenses 1905	Ensemble	Total
I. CHEMIN DE FER ET INSTALLATIONS FIXES				
A. Frais d'Administration et d'organisation.				
Art. 1. Honoraires, traitements, frais de voyages	448.045 65	»	448.045 65	
2. Frais de bureau, imprimés, etc	21.938 87	»	21.938 87	
3. Mobilier, instruments, matériel technique	5.400 60	»	5.400 60	
4. Loyer, chauffage, éclairage, etc	40.085 55	»	40.085 55	
5. Frais judiciaires généraux	503 90	»	503 90	
6. Divers	59 »	»	59 »	486.033 57
B. Intérêts du Compte d'Etablissement.				
Art. 1. Actions	400.756 53	»	400.756 53	
2. Obligations	471.477 15	»	471.477 15	272.233 68
C. Expropriations.				
Art. 1. Honoraires, traitements, frais de voyage	19.614 20	»	19.614 20	
2. Acquisition de terrains	513.497 50	37.076 35	552.273 85	
3. Frais d'estimation de justice	15.638 »	»	15.638 »	
4. Etablissement des plans cadastraux	27.669 05	»	27.669 05	
5. Divers	20 25	»	20 25	615.415 35
		37.076 35		
D. Etablissement de la ligne.				
Art. 1. Terrassements et ouvrages d'art :				
a) Terrassements, murs, assainissements	1.267.494 17	»	1.267.494 17	
b) Tunnels	209.247 90	»	209.247 90	

c) Ponts, aqueducs	451.474 37	45	451.519 37	
d) Ballastage	112.628 90	»	112.628 90	
e) Empierrement de routes, etc.	86 90	»	86 90	
f) Corrections et défenses de rives	191.189 »	5.806 85	196.995 85	
g) Divers	6.135 85	»	6.135 85	2.244.105 94
	42.928 20			
Arr. 2. Voie de fer :				
a) Traverses, longrines	281.881 63	»	281.881 63	
b) Rails et leurs attaches, crémaillère.	530.650 80	139 65	530.820 45	
c) Aiguilles, ponts tournants, chariots, etc	28.154 75	3.403 20	31.557 95	
d) Pose de la voie	107.140 30	309 60	107.449 90	951.709 93
	46.780 65			
Arr. 3. Bâtimens, installations techniques des stations.				
a) Bâtimens pour voyageurs et marchandises	364.906 24	14.314 40	376.217 64	
b) Remises pour voitures-locomotives.	126.928 14	4.116 85	131.044 99	
c) Prises d'eau et fontaines.	45.767 92	»	45.767 92	
d) Appareils de levage et ponts à bascule, etc.	5.891 75	»	5.891 75	
e) Maisons de gardes-voies et gueries	3.101 70	»	3.101 70	562.024 »
Arr. 4. Télégraphes, signaux divers.				
a) Conduite de téléphone.	7.047 35	»	7.047 35	
b) Appareils de signaux	5.878 50	945 »	6.823 50	
c) Indicateurs d'orientation et de police.	4.175 50	»	4.175 50	
d) Clôtures et barrières	9.122 90	»	9.122 90	24.169 25
	5.089.537 82	66.153 90		5.155.691 72
II. Matériel roulant.				
Arr. 1. Locomotives et tenders	321.955 62	23.412 30	345.367 92	
2. Voitures à voyageurs	175.617 50	38.692 45	214.509 95	
3. Fourgons et wagons à marchandises	70.257 40	»	70.257 40	630.135 27
	5.657.308 34	128.458 65		
III. Mobilier et ustensiles.				
Arr. 1. Pour l'Administration générale.				
1. » le service d'entretien et de la voie	4.817 50	604 50	2.422 »	
2. » des gares et stations.	9.094 85	»	9.094 85	
3. » des transports.	26.247 40	»	26.247 40	
4. » des ateliers	1.781 15	»	1.781 15	
5. » des dépenses de Construction au 31 décembre 1905	40.865 90	1.477 95	42.023 85	81.569 25
	5.737.455 14	130.241 10		5.867.306 24

LIGNE DE VIÈGE-ZERMATT

TABLEAU 2

COMPTE D'EXPLOITATION AU 31 DÉCEMBRE 1903

RECETTES			
I. PRODUIT DES TRANSPORTS			
A. Voyageurs.		548.709 60	
B. Bagages, animaux et marchandises			
1. Bagages	27.382 56		
2. Animaux	2.253 41		
3. Marchandises	81.044 83	110.680 80	659.390 40
II. RECETTES DIVERSES			
A. Loyers et affermages.			
3. Locations diverses :			
a) Restaurants	4.350 >		
b) Terrains et talus.	489 >		
c) Droits d'affichage.	500 >		
d) Divers.	1.246 >	6.585 >	
B. Produits de services auxiliaires			
2. Atelier central.	392 >		
3. Dépêches privées	11 >	403 >	
C. Autres recettes.			
2. Divers		47 85	7.035 85
Total des recettes			666.426 25

COMPTE D'EXPLOITATION AU 31 DÉCEMBRE 1903

DÉPENSES			
I. ADMINISTRATION GÉNÉRALE			
A. Personnel.			
1. Autorités administratives :			
a) Conseil d'administration. Censeurs.	1.520 05		
b) Direction (honoraires, frais de représentation et de déplacement).	3.092 70		
2. Secrétariat, chancellerie, archives et enregistrement des pièces :			
a) Traitements	6.000 »		
8. Inspection des télégraphes et télégraphistes de l'Administration centrale :			
a) Traitements	419 »		
b) Déplacements	84 50		
9. Indemnité à forfait aux C.F.F. à titre de frais généraux	4.016 10	14.832 35	
B. Dépenses diverses.			
1. Fournitures de bureau, imprimés, frais de reliure, insertions, ports et télégrammes (abonnements, livres, cartes et affichage)	4.256 86		
2. Loyer, éclairage, chauffage, nettoyage du bureau de l'administration	956 65		
4. Divers	602 45		
5. Indemnité à forfait aux C.F.F. à titre de frais généraux	304 55	6.420 51	20.932 86
II. ENTRETIEN ET SURVEILLANCE DE LA VOIE			
A. Personnel.			
1. Bureau de l'ingénieur en chef	35 »		
2. Ingénieurs de la voie et leurs aides :			
a) Traitements	1.511 30		
b) Déplacements	343 50		
4. Gardes-voie, gardes-barrières et leurs remplaçants :			
a) Traitements	6.061 90		
5. Indemnité à forfait aux C.F.F. à titre de frais généraux	1.790 10	9.741 80	
A reporter		9.741 80	20.932 86

Report.		9.741 80	20.952 86
B. Travaux d'entretien et de renouvellement			
1. Terrassements et ouvrages d'art :			
a) Terrassements et travaux d'assainissement, murs de soutènement, perres, ensemenement de talus, tunnels, ponceaux, aqueducs, empierrement de routes, chemins et places, digues et défenses de rives	31.246 95		
b) Ballastage de la voie	2 410 05		
2. Voie de fer :			
a) Traverses, longrines,	243 35		
b) Rails, cremailières et accessoires.	913 30		
c) Changements et croisements.	153 40		
d) Dressage et pose de la voie	6.772 »		
3. Bâtiments et installations mécaniques des stations :			
a) Bâtiments de toute nature (y compris les trottoirs pour voyageurs, quais aux marchandises, petits ateliers, guérites, fosses à piquer, etc.).	14.081 70		
b) Alimentation d'eau potable et de service, appareils de levage et ponts à bascule, installations d'éclairage (y compris les conduites à gaz et les conducteurs électriques) et divers.	3.792 95		
4. Télégraphe, signaux et divers :			
a) Ligne télégraphique, appareils à signaux et indicateurs d'orientation et de police	838 50		
b) Clôtures sèches, haies	364 15	60.516 35	
C. Dépenses diverses.			
1. Fournitures de bureau, imprimés, frais de reliure, insertions, ports et télégrammes.	69 90		
3. Eclairage de la voie (y compris l'éclairage des signaux)	445 »		
4. Complètement et entretien de l'inventaire :			
a) Achat d'objets nouveaux	244 70		
b) Entretien et renouvellement.	621 90		
5. Indemnité pour perte de culture.	3 30		
6. Divers.	5 »	1.089 80	71.347 95
III. EXPEDITION ET MOUVEMENT			
A. Personnel.			
1. Chef d'exploitation, inspecteurs et personnel des bureaux :			
a) Traitements.	4.511 30		
b) Déplacements et divers	438 »		
A reporter.	1.949 30		92.300 81

Report	1.949 30		92.300 81
2. Personnel des gares :			
a) Traitements, salaires.	12.966 87		
b) Déplacements, uniformes, logements de service et divers	1.328 80		
3. Personnel des trains :			
a) Traitements.	2.324 60		
b) Indemnités de parcours, de déplacement, uniformes et divers	2.063 »		
4. Indemnité à forfait aux C.F.F. à titre de frais généraux	4.253 95	24.886 52	
B. Dépenses diverses.			
1. Fournitures de bureau, imprimés, frais de reliure, insertions, ports et télégrammes, billets.	1.407 67		
2. Eclairage, chauffage et nettoyage des locaux de service et éclairage des gares et stations	593 10		
3. Complètement et entretien de l'inventaire (y compris l'inventaire complet des stations, les appareils de télégraphe, les bâches, etc) :			
a) Achat d'objets nouveaux.	334 25		
b) Entretien et renouvellement.	687 46		
4. Matières de consommation pour les installations mécaniques dans les gares et pour les appareils de télégraphe, etc	85 57		
5. Camionnage et plombage	9 35	3.447 40	28.003 92
IV. TRACTION ET MATÉRIEL			
A. Personnel			
1. Bureau central du service de la traction :			
b) Déplacements, divers	152 »		
2. Personnel des machines et visiteurs du matériel :			
a) Traitements.	9.856 25		
b) Déplacements, uniformes et logements de service ou indemnités de logement	7.385 15		
3. Personnel chargé de l'alimentation et du nettoyage du matériel roulant :			
a) Traitements, salaires	3.716 95		
b) Déplacements.	410 20		
4. Indemnité à forfait aux C.F.F. à titre de frais généraux.	2.435 30	23.355 85	
B. Matières consommées par le matériel roulant.			
1. Combustibles	29.670 75		
2. Suif et graisse.	2.465 95		
3. Huile pour l'éclairage.	95 40		
4. Matières servant au nettoyage et à la désinfection, eau, sable et divers	376 10	32.608 20	
A reporter		53.964 05	120.304 73

Report.		55.964 05	120.304 73
C. Entretien et renouvellement du matériel roulant.			
1. Locomotives et amortissement sur pièces de rechange	28.814 19		
2. Voitures	4.497 35		
3. Wagons	994 70	34.306 24	
D. Dépenses diverses.			
1. Fournitures de bureau, imprimés, frais de reliure, insertions, ports et télégrammes	32 85		
2. Eclairage, chauffage et nettoyage des locaux de service, notamment aussi des remises et dortoirs.	97 15		
3. Complètement et entretien de l'inventaire (excepté toutefois l'outillage, etc., des ateliers) :			
a) Achat d'objets nouveaux.	212 25		
b) Entretien et renouvellement.	96 35	438 60	90.708 89
V. DÉPENSES DIVERSES			
A. Loyers et affermages.			
1. Gare et sections de lignes communes (intérêt foncier)	2.026 »		
3. Locations diverses	350 »	2.376 »	
C. Autres dépenses.			
1. Frais judiciaires.	15 »		
2. Assurances contre l'incendie.	400 »		
3. Assurances et indemnités pour accidents.	2.840 13		
4. Assurances et indemnités de transport (retards, pertes et avaries).	868 77		
6. Impôts et droits (y compris ceux prélevés sur le rendement net).	13.935 40		
7. a) Allocation aux caisses de secours	1.568 09		
c) Subsidés et gratifications	3.706 55		
8. Divers :			
a) Publicité, réclame.	19.689 32		
b) Divers	159 60		
9. Indemnité à forfait aux C.F.F. à titre de frais généraux.	2.000 »	45.182 56	47.568 56
Total des dépenses.			258.572 18
CLOTURE DU COMPTE :			
Total des recettes.	Fr. 666.426 25		
Total des dépenses	» 258.572 18		
Excédent des recettes	Fr. 407.854 07		

CHEMIN DE FER DE VIÈGE A ZERMATT

TABLEAU 3

Recettes totales d'après le tableau de classification.

1904 (36 kilomètres)		1905 (36 kilomètres)		Différence en faveur de	
fr.	c.	fr.	c.	1904	1905
A. — Recettes directes.					
	0/0		0/0		
529,090	27 85 03	548,709	60 82 34	»	fr. c. 49,619 33
26,407	57 4 25	27,382	56 4 11	»	974 99
618	59 0 10	2,253	41 0 34	»	4,634 82
58,253	08 9 36	81,044	83 12 16	»	22,791 75
7,861	65 1 26	7,053	85 1 05	823 80	»
B. — Recettes indirectes.					
622,231	16 100 »	656,426	25 100 »	»	44,195 09
TOTAL					

CHEMIN DE FER DE VIÈGE A ZERMATT

TABLEAU 4

Détail du Trafic et des Recettes d'après le tableau de classification.

	QUANTITÉS TRANSPORTÉES (Billets aller et retour doublés)				RECETTES			
	1905		1904		1905		1904	
	voyageurs	0/0	voyageurs	0 0	fr.	c.	fr.	c.
I. — VOYAGEURS								
a) A la taxe normale.								
Billets simple course	14.827	18 90	14.433	19 71	107.407 06	19 52	123.315 42	23 31
» aller et retour	26.202	33 40	24.896	34 »	240.908 04	43 90	224.960 55	42 52
b) A prix réduits.								
Billets pour habitants (simple course)	8.155	10 29	8.054	11 »	43.008 »	2 37	42.673 20	2 40
» (aller et retour)	8.118	10 35	6.454	8 81	40.491 »	1 91	7.684 15	1 45
» collectifs	4.565	1 99	1.523	2 08	5.744 35	1 05	6.454 80	1 22
» Thomas Cook et fils (coupons de parcours)	5.700	7 27	5.600	7 65	37.849 40	6 90	35.025 »	6 02
» Bureau de voyage ligne Hambourg-Amérique.	200	0 25	122	0 17	1.514 30	0 23	904 84	0 17
» d'employés	179	0 23	122	0 17	420 30	0 08	244 40	0 05
» de saison, P.-L.-M.	4.162	1 48	1.366	1 87	16.852 40	3 08	18.753 50	3 55
» circulaires, P.-L.-M.	128	0 16	106	0 15	4.513 60	0 27	4.133 60	0 23
» » anglais	1.140	1 45	1.304	1 78	9.477 80	1 73	10.939 »	2 07
» » ag. C.F.F. à Londres	178	0 23	136	0 17	818 55	0 15	650 90	0 12
» » » à Paris	28	0 04	4	0 01	209 15	0 04	32 »	»
» circulaires combinés	9.728	12 40	8.378	11 44	99.294 42	18 10	83.903 91	15 86
» abonnement pour 120 kilomètres	1.097	1 40	684	0 94	3.266 »	0 59	2.144 »	0 41

Transports de police	43	0 02	8	0 01	43 63	0 01	29 »	—	
Train de plaisir P.-L.-M.	6	0 04	—	—	25 20	—	—	—	
Billets de suppléments pour wagon-salon	26	0 03	31	0 04	130 »	0 02	455 »	0 02	
Total	78 452	100	73 221	100	548 709 60	100	529 090 27	100	
<i>Récapitulation par classe :</i>									
Classe II	22 421	28 58	20 451	27 93	260 922 12	47 55	244 777 20	46 26	
Classe III	56 031	71 42	52 770	72 07	287 787 48	52 45	284 313 07	53 74	
Total	78 452	100	73 221	100	548 709 60	100	529 090 27	100	
II. — BAGAGES									
Tonnes									
595									
26 407 57									
III. — ANIMAUX VIVANTS									
Têtes									
Classe I	2	0 16	—	—	—	—	—	—	
» II	233	49 02	8	2 82	2 253 41	—	618 59	—	
» III	364	29 72	171	60 21	—	—	—	—	
» IV	626	51 10	105	36 97	—	—	—	—	
Total	1 225	100	284	100	2 253 41	—	618 59	—	
IV. — MARCHANDISES									
Tonnes									
Serie I partielles	612	7 93	—	—	—	—	—	—	
» I par wagon de 5 000 kg	335	4 34	—	—	—	—	—	—	
» II partielles	4 775	23 01	4 651	—	81 044 83	—	58 253 08	—	
» II par wagon de 5 000 kg	4 445	57 23	—	—	—	—	—	—	
Tarifs exceptionnels	200	2 59	—	—	—	—	—	—	
Colis postaux au-dessus de 5 kg.	378	4 90	—	—	—	—	—	—	
Total	7 715	100	4 651	—	639 390 40	—	614 369 51	—	
V. — RECETTES INDIRECTES									
TOTAL GÉNÉRAL									
7 035 85									
622 231 16									

CHEMIN DE FER DE VIÈGE A ZERMATT

TABLEAU 5

Résultats en moyenne. 1905 et 1904.

Longueur de la ligne, 36 kilomètres.		1905 (170 jours)	1904 (170 jours)
VOYAGEURS			
Recette par kilomètre	Francs.	15.242	14.697
» par voyageur	»	6 99	7 23
» » et kilomèt.	Centimes.	24 76	25 01
Nombre de voyageurs-kilomètres	Kilomètres.	2.215.947	2.115.837
Chaque voyageur a parcouru en moyenne	»	28 24	28 90
Total des voyageurs réduit sur la ligne entière	Voyageurs.	61.554	58.773
Par kilomètre de voie	»	2.179	2.034
Par kilomètre d'essieu de voiture à voyageurs	Voyag.-kilom.	7 31	7 63
BAGAGES			
Recette par kilomètre	Francs.	761	733
» par tonne	»	46 02	45 06
» par voyageur	Centimes.	34 90	49 91
Par kilomètre de voie	Tonnes.	16 53	16 28
» voyageur	Kilogrammes.	7 58	8 »
ANIMAUX VIVANTS			
Recette par kilomètre	Francs.	62	17
» par tête	»	4 84	2 18
MARCHANDISES			
Recette par kilomètre	Francs.	2.251	1 618
» par tonne	»	10 50	12 52
» » et kilomètre	Centimes.	44 86	45 55
Nombre de tonnes-kilomètres	Kilomètres.	180.659	127.889
Chaque tonne a parcouru	»	23 42	27 50
Réduction sur la ligne entière	Tonnes.	5.018	3.553
Par kilomètre de voie	»	214	129
Par kilomètre d'essieu à marchandises	Tonnes-kilom.	0 61	0 59
RECETTES INDIRECTES			
Par kilomètre	Francs.	194	218
RECETTE TOTALE			
Par kilomètre	Francs.	18.510	17.284
Par jour	»	3.919	3.660
Par jour et kilomètre de ligne	»	109	101

CHEMIN DE FER

TABLEAU

Trafic et recettes

MOIS	VOYAGEURS					
	Nombre			Produit		
	II ^e cl.	III ^e cl.	Total	II ^e cl.	III ^e cl.	Total
				fr. c.	fr. c.	fr. c.
Mai.	2.235	3.352	5.587	16.291 31	7.049 96	23.341 27
Juin	2.935	7.452	10.387	31.701 90	35.664 45	67.366 35
Juillet.	7.053	15.927	22.980	82.765 04	93.326 41	176.091 45
Août.	7.744	18.841	26.585	96.973 35	111.510 25	208.483 60
Septembre.	2.089	7.752	9.841	28.062 52	35.815 59	63.878 11
Octobre.	365	2.707	3.072	5.128 »	4.420 82	9.548 82
Colis postaux.	—	—	—	—	—	—
Recettes indirectes	—	—	—	—	—	—
Totaux 1905.	22.421	56.031	78.452	260.922 12	287.787 48	548.709 60
Totaux 1904.	20.451	52.770	73.221	244.777 20	284.313 07	529.090 27
Différence en faveur de						
1905.	1.970	3.261	5.231	16.144 92	3.474 41	19.619 33
1904.	—	—	—	—	—	—

DE VIÈGE A ZERMATT

6

par mois. 1905.

BAGAGES		ANIMAUX vivants		MARCHANDISES Tonnes							Recettes indirectes		TOTAL des produits		
Tonnes	Produit	Têtes	Produit	Série I		Série II		Tarifs exceptionnels	Total tonnes	Produit y compris les frais accessoires	fr.	c.	fr.	c.	
				partielles	W. de 5 tonnes	partielles	W. de 5 tonnes								fr.
16	441 98	248	372 50	177	146	494	1.937	9	2.763	25.367	45	—	49.523	20	
61	2.739 80	97	361 42	118	44	216	886	20	1.284	14.306	95	—	84.774	52	
167	7.830 95	365	565 18	116	56	205	549	35	961	11.365	65	—	195.853	23	
239	11.659 08	375	535 89	66	20	202	300	40	598	8.125	»	—	228.803	57	
87	4.096 22	35	147 50	48	14	124	291	11	488	5.587	50	—	73.709	33	
25	614 53	105	270 92	87	55	534	452	115	1.243	8.292	28	—	18.726	55	
—	—	—	—	—	—	—	—	378	378	8.000	»	—	8.000	»	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7.035	85	7.035	85
595	27.382 56	1.225	2.253 41	612	335	1.775	4.415	578	7.715	81.044	83	7.035	85	666.426	25
586	26.407 57	284	618 59	—	—	—	—	—	4.651	58.253	08	7.861	65	622.231	16
9	974 99	941	1.634 82	—	—	—	—	—	3.064	22.791	75	—	—	44.195	09
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	825	80	—	—

CHEMIN DE FER DE VIÈGE A ZERMATT

TABLEAU 7

Recettes et Dépenses depuis l'ouverture à l'exploitation de la ligne.

ANNÉES	VOYAGEURS						Dépenses	0 0 des Dépenses sur les Recettes
	Produits		Dépenses	Marchan- dises	Recettes indirectes	Recettes totales		
	Nombre	fr. c.						
1890.	17,962	64,356 94	2,328 25	6,799 60	36 3	1 74,099 76	56,090 35	—
1891.	33,695	280,169 69	14,328 34	26,510 45	4,139 82	323,019 50	122,666 31	37 97
1892.	38,095	319,974 53	18,476 05	36,000 34	5,593 05	380,508 99	218,253 46	57 36
1893.	34,349	294,143 68	16,325 06	34,374 70	7,814 89	349,850 53	162,505 34	46 44
1894.	41,032	341,421 69	19,003 23	43,924 43	7,994 44	412,527 32	169,744 58	38 96
1895.	44,621	385,403 41	21,318 87	48,008 58	8,163 10	463,075 29	174,791 82	37 74
1896.	42,570	337,004 83	20,280 42	96,650 74	8,479 76	462,764 43	161,638 36	34 93
1897.	41,081	331,818 54	21,373 79	103,179 65	8,461 34	405,161 78	213,013 47	45 78
1898.	50,050	406,819 52	25,817 76	85,524 77	8,978 15	527,439 48	240,307 63	39 87
1899.	59,125	493,572 21	27,657 92	69,743 48	9,474 22	760,816 50	402,962 73	32 42
1900.	51,664	424,741 41	22,913 47	57,429 69	10,877 58	546,224 89	488,542 56	36 52
1901.	57,764	479,612 66	28,063 89	62,576 82	7,465 70	578,255 92	293,780 61	35 24
1902.	62,212	502,784 53	28,384 52	63,115 32	9,582 75	604,482 60	217,136 99	35 97
1903.	68,029	523,056 84	24,883 49	56,285 91	7,296 75	612,173 64	231,243 79	37 77
1904.	73,224	529,090 27	26,407 57	58,253 08	7,864 65	622,234 16	234,567 01	37 53
1905.	78,452	548,709 60	27,382 56	81,044 83	7,035 85	605,426 23	258,572 18	39 79

¹ Ouverture jusqu'à Stalden le 3 juillet et jusqu'à St-Nicolas le 26 août 1890.

² Ruptures occasionnées par la Viège et réfections.

³ Reflections à la suite de l'hiver 1896-97.

⁴ Ouverture de la ligne entière dès le 18 juillet 1891.

⁵ Transports pour le Gornergrat.

⁶ Exploitation régulière de cette ligne.

Réfections passées au Compte d'Exploitation.

TRAVAUX D'ENTRETIEN ET DE RENOUVELLEMENT (Rubrique B₁^a)

	fr.	c.	
1891	11.086	10	Rien d'anormal.
1892	32.315	30	Réfections des brèches de la Viège au mois d'août.
1893	12.081	75	Rien d'anormal.
1894	9.574	42	» »
1895	6.514	45	» »
1896	6.191	74	» »
1897	43.540	03	Réfections à la suite de l'hiver 1896-97.
1898	46.752	86	Réfections à la suite de l'hiver 1896-97 et à Schalp.
1899	26.566	48	Solde des réfections de l'hiver 1896-97, etc.
1900	20.749	10	Réfections en 1900.
1901	28.072	65	» en 1901.
1902	23.811	58	» en 1902.
1903	22.722	30	» en 1903.
1904	17.256	55	» en 1904.
1905	31.246	95	» en 1905.
	338.482	43	

ANNEXE N° 7

CHEMIN DE FER DU GORNERGRAT

COMPTE D'EXPLOITATION DE L'ANNÉE 1905

RECETTES			
Transport des voyageurs.		290.390 55	
Bagages, animaux, marchandises.	7.175 20		
Transport de la poste.	1.476 83	8.652 03	
Recettes diverses.		3.694 15	
Total des recettes.			302.736 73
DÉPENSES			
I. ADMINISTRATION GÉNÉRALE			
Personnel de la Direction.	7.246 95		
Contrôle des recettes et des dépenses.	5.318 30	12.565 25	
Frais de publicité, d'imprimés, bureaux locaux.		3.070 66	15.635 91
II. ENTRETIEN ET SURVEILLANCE			
Personnel.	6.600 30	6.600 30	
Entretien et renouvellement			
Infrastructure.	5.408 70		
Superstructure.	2.429 40		
Ligne électrique.	1.745 70		
Turbines, usine génératrice.	1.573 15		
Téléphones, signaux.	266 60		
Enlèvement des neiges et glaces.	3.934 45	15.058 »	
Eclairage, frais de bureau, imprimés, divers.		1.399 95	23.058 25
III. SERVICE DES GARES			
Direction de l'exploitation.	1.800 »		
Personnel des stations.	5.819 90		
Aiguilleurs.	1.710 70		
Conducteurs.	2.760 »	12.090 60	
Frais de bureau, billets, éclairage et chauffage, divers.		987 53	13.078 13
A reporter.			31.772 29

Report.			51.772 29
IV. MATÉRIEL ET TRACTION			
Personnel.			
Direction.	1.800 »		
Chef de dépôt.	3.240 »		
Personnel des machines fixes.	4.849 20		
Mécaniciens et visiteurs.	8.670 50		
Laveurs.	530 »	19.109 70	
Graissage et matières consommées.		1.779 80	
Entretien du matériel roulant et des machines fixes.			
Locomotives.	2.466 25		
Voitures et wagons.	109 90		
Turbines.	2.204 85		
Dynamos.	472 50		
Transformateurs.	324 50		
Divers.	17 60	5.595 60	
Bureau, imprimés, remises et dépôt, divers		1.549 95	28.035 05
Dépenses diverses.		23.345 65	23.345 65
Total des dépenses.			103.152 99

Excédent des recettes sur les dépenses	199.583 fr. 74
Rapport des recettes aux dépenses.	0 3/4
Montant du compte de 1 ^{er} établissement au 31 décembre 1905	3.357.964 fr. 50

Le personnel comprend :

- | | |
|--------------------------|---|
| 1 chef d'exploitation. | 1 portier. |
| 1 chef de dépôt. | 4 watman. |
| 1 conducteur de la voie. | 6 conducteurs. |
| 6 aiguilleurs. | 1 laveur. |
| 5 cantonniers. | 1 chef machiniste et 1 aide à l'usine centrale. |
| 4 chefs de station. | Au total 33 agents. |
| 1 aide. | |

Le personnel d'hiver restant à Zermatt comprend :

- 1 chef de dépôt.
- 1 conducteur de la voie.
- 4 wattman et machinistes.

ANNEXE N° 8

CHEMIN DE FER DE BRUNNEN-MORSCHACH

TABLEAU 1

COMPTE DE PREMIER ÉTABLISSEMENT ARRÊTÉ AU 31 DÉC. 1905

INFRASTRUCTURE ET INSTALLATIONS FIXES			
Frais d'organisation et de direction			
Appointements et salaires	44.452 15		
Frais de bureau	1.541 30		
Mobilier et instruments	1.073 05		
Loyer, chauffage et éclairage des bureaux.	1.746 59		
Frais généraux et divers	2.598 65	51.411 74	
Intérêt des capitaux	» »	31.945 48	
Expropriations, indemnités	33.420 48		
Frais judiciaires et d'estimation	2.056 79	35.477 27	
Etablissement de la ligne			
Infrastructure	420.666 84		
Superstructure	100.279 55		
Bâtiments	48.053 36		
Ligne électrique	28.701 94		
Signaux, clôtures, divers	9.232 30	606.933 99	
Matériel roulant			
Locomotives	106.308 40		
Voitures à voyageurs	36.948 95		
Wagons à marchandises et bagages	8.068 40	151.325 45	
Mobilier et outillage			
Entretien et surveillance de la voie	1.200 25		
Service des gares	2.008 88		
Service des trains	386 70		
Ateliers	1.935 07	5.530 90	882.624 53

CHEMIN DE FER DE BRUNNEN-MORSCHACH

TABLEAU 2

COMPTE D'EXPLOITATION AU 31 DÉCEMBRE 1905

RECETTES			
Transport des voyageurs.			33,246 40
Bagages et marchandises.			1.251 60
Recettes diverses			226 95
Total des recettes			<u>34.724 95</u>
DÉPENSES			
Personnel de l'Administration centrale . .	3.731 »		
Frais d'imprimés, de publicité, bureaux et divers	2.474 85		6.205 85
Entretien et surveillance			
Personnel	1.399 25		
Entretien et renouvellement de la voie . .	166 55		1.565 80
Service des gares			
1 garde aiguilleur	2.067 90		
2 conducteurs	1.073 »	3.140 90	
Frais de bureau, imprimés, billets	1.094 25		
Eclairage, chauffage, nettoyage des stations	702 65		
Dépenses diverses	627 30	2.424 20	5.565 10
Service des trains			
1 chef de dépôt	1.045 65		
2 watman	928 90		
3 garde freins	1.463 60	3.438 15	
Matières consommées		3.187 34	
Entretien et renouvellement du matériel roulant		445 15	6.770 64
Dépenses diverses		3.939 81	3.939 81
Total des dépenses.			<u>24.047 20</u>
Excédent des recettes sur les dépenses. .			10.677 75

ANNEXE N° 9

Résultats financiers de l'Exploitation de diverses lignes à crémaillère suisses.

ANNÉE 1904

LIGNES	Recettes	Dépenses	Excédant des recettes sur les dépenses		Intérêt du capital engagé
			En tout	des recettes	
	fr.	fr.	fr.	0/0	0/0
Viège-Zermatt	622.231	233.537	388.664	62 46	5 250
Aigle-Leysin	124.377	77.957	46.420	37 32	3 000
St Gall-Gais	303.936	209.958	93.978	30 92	2 247
Oberland bernois	675.830	358.263	317.567	46 99	5 309
Schinige-Platte	143.403	83.218	60.187	41 97	»
Bex-Gryon-Villars	136.367	79.068	57.299	42 02	3 615
Stansstad-Engelberg	395.174	186.058	209.116	52 92	4 429
Arth-Rigi	304.414	198.625	105.789	34 75	1 597
Brienz-Rothorn	48.014	56.365	8.351	15 31	»
Generoso	74.507	57.141	17.366	23 31	3 250
Glion-Naye	285.028	144.750	170.278	59 74	5 111
Gornergrat	285.845	95.915	189.930	66 45	4 000
Jungfrau	310.456	78.658	231.798	74 66	3 224
Pilate	296.923	136.602	160.321	53 99	5 404
Vitznau-Rigi	551.484	351.932	199.552	36 18	7 409
Rorschach-Heiden	196.319	105.066	91.253	46 48	3 018
Wengernalp	730.137	343.331	386.806	52 98	4 919

ANNEXE N° 10

LES CAUSES DU MAL DE MONTAGNE

(Extrait des *Comptes-rendus de la Société de Biologie de Paris*, séance du 5 mai 1894).

Le Comité des Travaux publics de la Confédération suisse s'occupe en ce moment même d'un projet grandiose qui consiste à percer d'une cheminée, de près de 3.000 mètres de haut, la montagne Eiger, ou la Jungfrau, d'établir dans ce tunnel vertical une sorte d'ascenseur en haut duquel se trouverait une courte voie ferrée qui aboutirait au sommet de la chaîne de l'Oberland, à 4.167 mètres d'altitude (projets Studer, Strub, etc.).

Dans ce travail, outre les difficultés techniques à vaincre, deux préoccupations s'imposent. D'abord dans quel état géologique va-t-on trouver des terrains qui seront de fait à une pareille profondeur au-dessous de l'écorce terrestre ? Ensuite n'y aura-t-il pas quelques dangers à faire monter subitement à une telle hauteur une foule de gens de santé et de force différentes ? La plupart de ces excursionnistes ne vont-ils pas être pris du fameux mal des montagnes ?

De ce fait, l'excursion qui doit devenir banale, se trouverait être dangereuse et redoutée : le trafic de la ligne, si coûteuse, se réduirait à rien.

Tout cela a préoccupé le comité technique, et de nombreuses observations ont été faites dont a rendu compte M. Egli-Sinclair. Dans le sein même de notre Société, le travail de ce

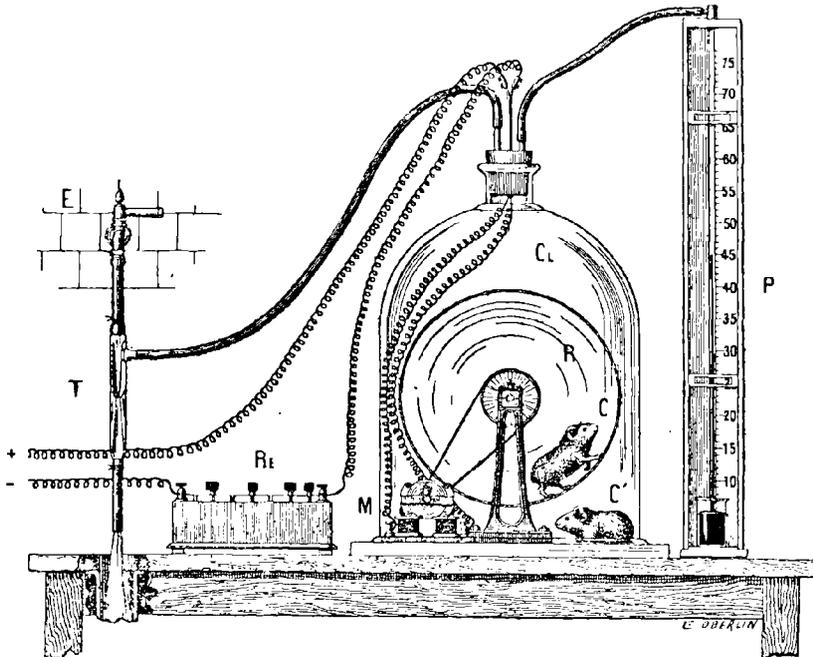
savant a donné lieu à une discussion à laquelle a pris part notre Président.

M. Chauveau a observé sur lui-même que le mal des montagnes n'était pas chose fatale ; qu'on l'éprouvait dans de courtes ascensions, qu'on en était dispensé dans de plus sérieuses, que, dans une même caravane, les uns l'avaient, pendant que les autres y échappaient. Je pourrais joindre mon expérience personnelle à celle de notre Président, j'ai maintes fois échappé dans mes excursions au mal des montagnes ; je l'ai d'autres fois éprouvé, quelquefois même en redescendant, tout près de la vallée, alors qu'au sommet je n'avais rien ressenti. J'ai souvent observé encore, ce que d'ailleurs tous les alpinistes savent, c'est que les guides et les porteurs, qui marchent lentement, sans agitation, ne sont jamais malades et que, dans la caravane, ce sont les débutants, les inexpérimentés qui tombent seuls pendant que les vrais excursionnistes, qui règlent mieux leur dépense, arrivent au but sans encombre.

Ceci d'ailleurs concorde avec ce fait bien connu que les aéronautes, tranquillement assis dans la nacelle de leur ballon, n'ont pas le mal des hauteurs ou tout au moins ne l'éprouvent qu'à des altitudes bien supérieures (6 à 7000 mètres pendant qu'on peut l'avoir en montagne avant 3.000 mètres). De là deux théories de l'affection. Pour les uns le mal des montagnes tient à ce que, à une certaine hauteur, l'oxygène, faute de tension, ne se dissout plus dans le sang en quantité suffisante, d'où résulte une véritable asphyxie. Pour les autres qui ont remarqué que le mal des montagnes peut survenir presque au niveau de la plaine, à la fin d'une ascension élevée, ce n'est qu'une fatigue particulière dans laquelle l'altitude n'intervient pas.

Ces deux opinions sont l'une et l'autre exagérées : si le mal des montagnes tenait à la simple altitude, on l'aurait toujours et tous ensemble, c'est ce qui a lieu pour les aéronautes. Si c'était un simple excès de fatigue, on devrait l'avoir en plaine, sans que la montagne soit intervenue ; cela n'est jamais arrivé. En réalité, la maladie tient aux deux causes : un homme qui s'élève dans l'atmosphère voit bien l'oxygène se dissou-

dre de moins en moins dans son sang, faute de tension, mais, s'il n'exécute aucun mouvement, l'asphyxie imminente pourra lui être épargnée, puisqu'il ne dépensera pas le peu d'oxygène qu'il aura en réserve. Mais que le même homme se mette à produire du travail en élevant son propre poids et en s'agitant outre mesure, alors il dépensera l'oxygène de son sang, l'hématose, insuffisante du fait de la hauteur, ne compensera plus les pertes et alors surviendra le mal des montagnes, forme particulière d'asphyxie ; c'est le cas de l'alpiniste expérimenté et c'est ce que prouve bien, je crois, l'expérience que voici :



Sous une grande cloche *Cl*, placée sur une platine rodée, j'ai mis deux cochons d'Inde. L'un *C'* est complètement libre, l'autre *C* est enfermé dans une roue de treillage *R* qui peut être mise en mouvement par un petit moteur électrique *M*, lequel reçoit sa force d'une source extérieure + —.

Une série de résistances R_e permet de faire varier la rapidité de rotation dans de grandes proportions. Il est évident que, quand tournera la roue, l'animal sera forcé de courir et de monter sans cesse pour éviter de tomber en avant. Je réglais la rotation de telle sorte qu'il élevât son propre poids d'environ 400 mètres par heure. Ceci fait, au moyen d'une trompe T, on diminue lentement la pression qu'un manomètre permet de suivre à tout instant. Dans ces conditions, tant que le manomètre n'indique pas une dépression correspondant à 3.000 mètres de hauteur, les deux animaux semblent également calmes ; mais, à partir de ce moment, le cobaye de la roue tombe fréquemment en avant, se laisse rouler, est essoufflé et manifestement gêné : l'autre est tout à fait calme.

A 4.600 mètres environ (à bien peu près la hauteur du Mont-Blanc), le cobaye de la roue se laisse tomber sur le dos, ne remue plus les pattes et se laisse trainer par le moteur que nous sommes obligés d'arrêter, il semblerait même mort, n'était sa respiration haletante. L'animal libre est parfaitement tranquille.

Ce n'est qu'à 8.000 mètres (Himalaya) que celui-ci s'agite, roule sur le dos, écume et va mourir. A ce moment, nous laissons rentrer l'air, et les deux animaux reviennent à eux.

Mais, tandis que le cobaye fatigué est encore malade le lendemain, l'autre se met à manger moins d'une demi-heure après l'expérience.

Nous croyons donc pouvoir conclure que si le mal des montagnes est une asphyxie, un de ses facteurs importants réside, pour les hauteurs moindres de 5.000 mètres, dans le travail musculaire qui consomme l'oxygène du sang, et nous pensons que si on est atteint de la maladie quand on monte à pied sur la Jungfrau, on ne l'aura nullement quand on y sera hissé par un ascenseur.

OUVRAGES A CONSULTER

- MALLET. — *Mémoires de la Société des Ingénieurs civils*, 1871, Chemin du Rigi.
- COUCHE. — *Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer*. Tome II. Livre III, chap. XV. Paris, Dunod, éditeur, 1873.
- *Annales des Ponts et Chaussées*, mars 1875.
- R. ABT. — *Die drei Rigibahnen*, Orel et Fussli, éditeurs. Zurich, 1877.
- HEUSINGER VON WALDEGG. — *Handbuch für Specielle Eisenbahn-Technik* (5^e volume). Zahnradbahnen, Leipzig, 1878. Wilhelm Engelmann, éditeur.
- VIGREUX et LOPPÉ. — *Revue technique de l'Exposition de 1878*. 5^e partie, 1^{er} fascicule. *Les chemins de fer à crémaillère*. Bernard, éditeur, Paris.
- SEVÈNE. — Cours de chemins de fer professé à l'École des Ponts et Chaussées, 1877.
- J. HIRSCH. — Cours de machines à vapeur professé à l'École des Ponts et Chaussées. 2^e Edition, 1898 (Gauthiers-Villars).
- Annales de la Construction*, juillet 1887 (Baudry, éditeur).
- Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieur und Architekten Verein*, 1887, 4^e fascicule, Vienne.
- Portefeuille économique des Machines*, janvier 1887 (Baudry, éditeur).
- Revue générale des chemins de fer*, août 1890.
- Engineering*, 30 janvier, 6 et 27 février, 13 mars, 27 avril 1891.
- Génie civil*, 3 octobre 1885, 12 novembre 1887, 15 juin 1889, 18 janvier 1890.

- J. MEYER. — Le chemin de fer de Viège-Zermatt. *Revue générale des chemins de fer*, août 1890.
- MARTIN et CLARARD. — Monographie du chemin de fer de St-Gall à Gais. Paris, Baudry, 1891.
- CHAS-KING. — Chemin de fer de la Jungfrau. *Engineering*, 4 juillet 1890.
- ABT. — Pikes Peak Rack Railway. *Engineering News* 1890. *Railroad Gazette*, 1891.
- ABT. — Die Generoso Bahn, *Schweizerische Bauzeitung*, 1891.
- LÉLARGE. — Les chemins de fer de Bosnie et d'Herzégovine. *Revue générale des chemins de fer*, juin 1892.
- STRUB. — Die Wengernalpbahn. *Schweizerische Bauzeitung*, 1893, tome XXII, page 30.
- MOUTIER. — Chemin de fer de Lauterbrunnen à Mürren. *Revue générale des chemins de fer*, juillet 1893.
- FÉOLDE. — Chemin de fer d'Aix-les-Bains au Revard. *Génie civil*, 1893, tome XXII, pages 316, 330, 356.
- BRIENZ AU ROTHORN (Chemin de fer de). — *Génie civil*, tome XXIII, 1893, page 380.
- Zeitschrift für Transportwesen und Strassenbahn*, tome X, page 54.
- DE LONGE. — Chemin de fer à crémaillère au Japon. Ligne de Yokohama à Karusawa. *Génie civil*, décembre 1894, tome 26, page 72.
- RICHE PRELLER. — Chemin de fer du Brünig. *Engineering*, 1894.
- JUNGFRAU (Chemin de fer de la). — *Génie civil*, 1894, tome 26, page 72.
- PADANG (SUMATRA) (Chemin de fer de). — *Engineering*, 19 avril et 10 mai 1895-3 septembre 1897.
- MONT SALEVE (Chemin de fer électrique du). — *Revue générale des chemins de fer*, mars 1895.
- SCHAFFBERG (Chemin de fer du). — *The Engineer*, tome 79, page 91.
- STRUB. — Die Berner Oberland Bahnen. *Schweizerische Bauzeitung*, 1895.

- GUYER-ZELLER. — Das Project der Jungfraubahn. Zurich. Friedrich Schultess, 1896.
- BLANCHE. — Le chemin de fer de Beyrouth-Damas. *Revue générale des chemins de fer*, juin 1896.
- SNOWDON (Chemin de fer de). — *Engineering*, 3, 10 et 17 avril 1896.
- LEWIS GLEASON. — Chemin de fer de Corcovado. *Locomotive Engineering*, février 1896.
- STRUB. — Superstructure du chemin de fer de la Jungfrau. *Schweizerische Bauzeitung*, 3 avril 1897.
- SUMATRA (Chemin de fer de). — *Engineering*, 3 septembre 1897.
- BRÜCKMANN. — Neuere Zahnradbahnen. Berlin, 1898 (Extrait de *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, volume XLII).
- BLONDEL et DUBOIS. — *La traction électrique sur voies ferrées*, tome II, page 31. Paris, Béranger, 1898.
- GORNERRAT (Chemin de fer du). — *Revue générale des chemins de fer*, juillet 1898, voir aussi *Schweizerische Bauzeitung*, volume 31, pages 116 à 119, et *Génie civil*, tome 32, page 193.
- HAAG UND GRELLICH. — Die Elektrische Zahnbahn auf den Gornerrat. *Schweizerische Bauzeitung*, 1898, avril et mai.
- NILGIRI (Chemin de fer du). — *Engineering*, 16 septembre 1898.
- BARMEN (Chemin de fer électrique de). — *Österreichische Eisenbahn Zeitung*, tome 21, pages 16 et 17.
- RUDOLF ZERNER. — Chemin de fer électrique de Barmen. *Génie civil*, 1898, tome 32, page 193.
- STANSSTAD-ENGELBERG (Chemin de fer électrique de). — *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*, tome 43, pages 415 à 422, voir aussi *l'Eclairage Electrique* des 20 et 27 mai 1899, pages 252 et 289. Carré et Naud, éditeurs, rue Racine, Paris.
- GODFERNAUX. — Chemin de fer de la Jungfrau. *Revue générale des chemins de fer*. Janvier 1899.
- BOURQUELOT. — Chemin de fer électrique de Laon. *Revue générale des chemins de fer*. Octobre 1899.

- HENRY MARTIN. — Chemin de fer de la Jungfrau. *Génie civil*, 1899, page 393.
- BALTZER. — Die Usui-pass-Bahn. *Zeitung des vereines deutscher Eisenbahn-verwaltungen*, 1899.
- MALLET. — *Mémoire des Ingénieurs civils*. Chronique, octobre 1899, page 505. Article nécrologique sur Riggenbach. Dreithstrombahnen in der Schweiz, tramway de Lugano et chemins de montagne de Zermatt au Gornergrat, Stansstad-Engelberg, Jungfrau, ligne principale de Burgdorf à Thune. *Zeitschrift für Elektrotechnik*, tome 18, page 254 à 257.
- R. et S. ABT. — Lokomotiv. Steilbahnen. *Handbuch der Ingenieure. Wissenschaften*, Band 8. Abteilung 5, 1907. Leipzig, Engelmann, éditeur.
- BREUER. — Chemin de fer de Bex-Gryon-Villars. *Génie civil*, 17 août 1901, page 249.
- NILGIRI (Chemin de fer du). — *Minutes of Proceedings of the Civil Engineers*, vol. CXLV, 1901, voir aussi.
- MALLET. — *Mémoires de la Société des Ingénieurs civils*, mars 1901, page 512. Chronique.
- GÈNES-GRANAVALO. — *Mémoires de la Société des Ingénieurs civils*, août 1901, page 521.
- WEIGHTMAN. — The Nilgiri Mountain Railway. M. Inst. C. E. Londres, 1901.
- STRUB. — Bergbahnen der Schweiz. *Zeitschrift für Lokal und Strassenbahnwesen*, 1902.
- SIDLER. — Jungfraubahn. *Zeitschrift für Elektrotechnik*, tome 20, pages 589 à 593.
- DAUBNER. — Die Barmen-Bergbahn. *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 1902.
- VÉSUVÉ (Chemin de fer du). — *Revue générale des chemins de fer*, octobre 1903, page 271.
- SUTHLEN. — Elektrische Bahn von Triest nach Opicina. *Oesterreichische Wochenschrift für den Öffentlichen Bau-dienst*, tome 9, page 304, 1903.
- DUPORTAL. — Tramway électrique du Mont-Blanc, mars 1903.
- MONT-BLANC (Tramway du). — *Revue générale des chemins de fer*. Septembre 1903, page 211.

- SIDLER. — Le chemin de fer de la Jungfrau et ses nouvelles locomotives électriques. *Génie civil*, 18 et 25 juin 1904.
- SIEGFRIED HERZOG. — Die Jungfraubahn. Zurich, A. Raustein, 1904.
- LIEUTENANT-COLONEL ESPITALIER. — Le Tramway électrique du Mont-Blanc. *Génie civil*, 3 septembre 1904, page 289.
- MALLET. — *Mémoires de la Société des Ingénieurs civils*. Août 1905. Chronique, page 287. Locomotives à crémaillère pour l'Afrique du Sud.
- BRUNNEN-MORSCHACH (die Elektrische Zahnradbahn) — *Schweizerische Bauzeitung*, 10 septembre 1905.
- VÉSUYE (Le chemin de fer du). — *Revue technique*, 10 septembre 1905.
- DOLÉZALEK. — Die Zahnbahnen, 1.208 figures dans le texte. *Encyclopédie de Blum*, von Barries et Barkhausen. Wiesbaden. Kreidel, éditeur, 1905.
- BRÜNIG (Chemin de fer du). — Nouvelles locomotives. *Schweizerische Bauzeitung*. 16 juin 1906.
- MALLET. — *Mémoires de la Société des Ingénieurs civils*, juin 1906, page 917. Traction sur crémaillère ou par adhérence. Etude comparative.
-

ERRATA

Page 16, ligne 18, *après* : α un coefficient constant *ajouter*, D le diamètre de la roue motrice.

Page 17, tableau, *au lieu de* : Rigi-Scheideck, *lire* : Rigi-Scheidegg.

Page 25, ligne 15, *au lieu de* : 1890, *lire* : 1899.

Page 28, tableau *au lieu de* : Freudenstadt, *lire* : Freudenstadt ; *au lieu de* : Usuipafs, *lire* : Usuipass.

Page 42, lignes 14, 15 et 20, *au lieu de* : Scheideck, *lire* : Scheidegg.

Page 46, ligne 3, *ajouter* : Mais les dépenses réelles se sont élevées à 2.173 843 francs.

Page 79, ligne 5 en remontant, *au lieu de* : 75.000, *lire* : 87.700.

Page 79, ligne 4 en remontant, *au lieu de* : Murienhütte, *lire* : Marienhütte.

Page 125, ligne 16 en remontant, *au lieu de* : le patin, *lire* : l'Ame.

TABLE ALPHABÉTIQUE

- Abt** (Lignes du système), 24. — tableau, 26-28. — crémaillère, 155. — locomotives, 209, 229.
- Accélération**, son danger, 128.
- Adhérence**, 8, 10, 12.
- Accidents** sur les lignes à crémaillère, 49, 313.
- Attaches** de la crémaillère, 124.
- Attelages**, 305.
- Baizer**, 108.
- Bandages** (Usure des), 179
- Bénéfices**, de l'exploitation, 325, 332.
- Bertschenger**, 47.
- Bissinger et Klose**, crémaillère système, 147.
- Blackett**, 22.
- Blanche**, 102.
- Blenkisopp**, 21.
- Blondel et Dubois**, 52-60.
- Breuer**, 63.
- Brückmann**, 66.
- Cahier des charges**, de la ligne d'Aix-les Bains au Revard, 345.
- Changement** de voie, 172.
- Charges** remorquées, 10, tableau des, 248, 317.
- Chaudières**, 235.
- Chemins à crémaillère** (Description des). Lignes de Vitznau-Rigi, 37, d'Arth-Rigi, 39. — Schwabenberg, 43, — Kahlenberg, 43 — Rorschach-Heiden, 43. — Mont-Pilate, 45. — Rothorn, 47. — Wengernalp, 47. — Snowdon, 49. — Schneeberg, 50. — Mont Salève, 52. — Jungfrau, 53. — Barmen, 60. — Bex-Gryon-Villars, 63. — Gênes-Granavalo, 65. — Gornergrat, 66. — Vésuve, 69. — Brunnen-Morschach, 70. — Mont-Blanc, 72. — Martigny-Chatelard, 77. — Ostermündigen, 78. — Wasseralfingen, 78. — Friedrichsagen, 79. — Marienhütte, 79. — Blankenburg à Tanne, 81. — Lehesten à Oersterbruch, 82. — Langres, 82. — Brünig, 86. — Hœllenthal, 88. — Viège-Zermatt, 91. — Padang, 95. — Etat d'Herzégovine, 98. — Oberland bernois, 100. — Beyrouth-Damas, 102. — Nilgiri, 106. — Saint-Gall-Gais, 107. — Usny-Pass, 108. — Hmenau-Schlœusingen, 109.
- Cisaillage** des montants verticaux de la crémaillère, 136. — des dents de la crémaillère Abt, 158.
- Clarard**, 107.
- Comparaison** entre les lignes à crémaillère et à adhérence, 326, 336, 393.
- Entre la traction électrique et la traction à vapeur, 280.
- Consolidation** de la voie et de la crémaillère, 122, 167.
- Consommation** de combustible, 234, 253. — d'huile, 253.
- Convergence** des échelons de la crémaillère, 31.
- Couche**, 11, 233.
- Coussinets** de la crémaillère, 139.
- Crémaillère**, type Riggenbach, 134, 139, 140, 142. — Bissinger et Klose, 147. — Klose, 151. — de la « Maschinen Fabrick », 153.
- Type Abt, 156. — Locher, 164. — dispositif de Trait-Planches, 168. — Strub, 169.
- (Prix de revient de la), 174.
- Duportal**, 72.
- Dents**, de la crémaillère Riggenbach, 134, 151, 153. — Abt, 157. — de la roue motrice, 237. — de la crémaillère Strub, 170. — (usure des) de la roue motrice, 239. — différence d'usure des deux flancs, 243.
- Dépenses**, de traction, 249, 395. — de premier établissement, 306. — de graissage de la crémaillère, 312, 329. — dues à l'emploi de la crémaillère, 337, 395. — d'exploitation, 322.
- Eau** entraînée dans les cylindres, 236. — (Variation du niveau de l') dans la chaudière, 185, 235.
- Echelons de la crémaillère** (conver-

- gence des), 31, — (calcul des) 130, 157. — (Profil des), 135, 150, 153, 159, 160, 170, — (usure des), 150.
- Eclissage de la crémaillère*, 142, 153, 170.
- Effet utile* des machines à crémaillère, 232, — (tableau de l'), 248.
- Effort de traction* (calcul de l'), 245, — supporté par la crémaillère, 127.
- Engrenement* des roues dentées, 144, 163, 164, 242.
- Entrée* (pièces d'), 143, 163, 312, 316.
- Entretien*, de la voie, 312.
- Essieux* des machines, 231.
- Espitalier*, 72.
- Féolde*, 52.
- Fixation*, de la crémaillère, 137.
- Flexion* des échelons de la crémaillère, 130.
- Frais* de premier établissement, de traction (voir dépenses), d'exploitation, 322, 325, 326 (dus à l'emploi de la crémaillère), rapport de MM. Rodieux et Haueter, 393, — de la ligne de Viège Zermatt, 441, — du Gornergrat, 457, de Brunnen-Morschach, 457, — Lignes diverses, 458.
- Freinage* électrique, 257, 261, 264, — par les courants alternatifs, 269, 273, 278.
- Freins*, à air, 185, — de friction, 184, 201, 205, — automatique du Mont-Pilate, 192, 305, — de Snowdon, 208, — Freins électriques, du Vésuve, 257, — du tramway de Barmen, 263, du Gornergrat, 270, — de la Jungfrau, 275, — du matériel roulant, 296.
- Frottement* des roues dentées, 243.
- Gabarit* des terrassements, 116, — des tunnels, 117.
- Glissement* des roues des locomotives, 177, 202, — de la voie, 311.
- Godfernaux*, 33.
- Graissage*, de la crémaillère, 129, 271, 312, 338, 428.
- Grappins*, 136, 185, 192.
- Guyer-Fruler*, 46.
- Guyer-Zeller*, 55.
- Hateter*, 95, 393.
- Herdner*, 16.
- Herzog* (Siegfried), 53, 271.
- Heusinger von Waldegg*, 238, 241.
- Hirsch*, 42.
- Historique* des chemins à crémaillère, 21.
- Infrastructure* (dépenses d'), 306, 456.
- Issartier*, 72.
- Jacquemin*, 22.
- Karl Koppe*, 53.
- Köchlin*, 54.
- Klose* (crémaillère), 151.
- Lames* de crémaillère, 157.
- Launa*, 18.
- Lelarge*, 98.
- Lindner*, 47.
- Locher*, 26, 45, 55.
- Locomotives*, généralités, 177, — glissement dans les machines simples, 177, — description des divers types de machines simples, 128 à 193, — machines mixtes à un seul mécanisme, 193 à 208, — locomotives système Abt, 209, — autres types à deux mécanismes, 218 à 230, — résistance au roulement, 247, — (Puissance des), comparativement au poids et à la surface de chauffe, 232, — (Effet utile des), 244, — tableau, 248, — prix de revient, 207, 241, — (Conduite des), 312.
- Locomotives électriques*, à courant continu 256, — à courant alternatif, 266, — (Poids comparatif des), 283, — (Freinage des), voir freinage.
- Longueur* des lignes à crémaillère (tableau), 8.
- Lope*, 242.
- Mal* de montagne, 322, 459.
- Mallet*, 65, 106, 325, 337.
- Marsh*, 22.
- Martin*, 107.
- Meyer*, 91.
- Moreau*, 95.
- Næff*, 37.
- Niveau* de l'eau dans la chaudière, 135.
- Organisation* du service, 316.
- Pas* de la crémaillère, 134, 154, 157, 165, — de la pièce d'entrée, 144.
- Passages à niveau*, 317.
- Patinage*, 16.
- Pentes* (Limite des), 17, 32, 164, 284.
- Pistons* (Vitesse des), 180, 184, 193.
- Pièces d'entrée* (voir entrée).
- Poids*, de la crémaillère, 105, — (tableau), 76, 126, 143, 151, 152, 154, 161, — des locomotives à vapeur, 181, 232, 283, — par m. q. de surface de chauffe, 232, — (Comparatif des) électriques et à vapeur, 181, 232, 283, — des ponts métalliques, 111, — des rails, 48, 49, 87, 98, 101, 105, 121, 122, 126, — des traverses métalliques, 48, 49, 51, 52, 65, 68, 87, 98, 103, 126, — des voitures (Poids par place offerte), tableau, 286, 291.
- Ponts*, 85, 110 (voir poids), — roulants, 173.
- Poussée* de la crémaillère, 122, 128, 311.
- Prix de revient* de la crémaillère, 174, — des locomotives, 207, 241, — des pièces d'entrée, 312, — des voitures, 288 (Voir aussi frais et dépenses).
- Raccordements* du profil en long, 109.
- Rails* (Usure des), 18, — (Poids des),

- 48, 49, 87, 98, 104, 105, 124, 122, 126,
— translation, 124.
Recettes, 329, 445, 452, 454, 457, 458.
Redt-obacher, 243.
Règlements adoptés pour l'exploitation
au chemin de fer du Harz, 315, —
au chemin de fer de Langres, 214,
375 (annexe), — au chemin de fer de
Viège — Zermatt, 316, 399.
Régnard, 322, 459.
Résistance au roulement des machines
à crémaillère, 245.
Retournement de la crémaillère, 150.
Riggenbach, 23, — lignes du système
(tableau), 26, 28, — crémaillère, 134,
— locomotives, 182.
Rodieux, 95, 393.
Roues dentées, type Riggenbach, 237,
— Abt, 212, 241, — dimensions des
dents, 238, — usure des dents, 239,
— tracé des dents, 237.
Sidler, 53, 271.
Souleyre, 72.
Strub, 26, 55, 100, 169.
Stader, 55.
Superstructure, des lignes à crémail-
lère (tableaux), 105, 126.
Supports de la crémaillère, 124.
Surelèvement de la crémaillère, 124,
130, 139, 141, 143.
Surface de chauffe, 181 (Puissance
relativement à la), 234.
Suspension des voitures du Hoellen-
thal, 303.
Tarifs, 329, — par hectomètre d'élé-
vation (tableau), 330.
Terrassements, 109 (Profils des), 116,
307.
Tracé des chemins de fer à crémail-
lère, 30, — (voir chemins à crémail-
lère).
Traction (Calcul de la), 244, — (Frais
de), 249, 280, — électrique, 255, —
courant continu, 256, — alternatif,
266, — avantages et inconvénients
de la traction électrique, 279, —
restriction de l'emploi de la crémail-
lère par la traction électrique, 16,
284, — constance du couple moteur
dans la traction électrique, les con-
séquences, 16.
Trafic, 394 (voir recettes et les an-
nexes).
Traverses (voir poids des traverses
métalliques).
Trautweiler, 54.
Travaux d'art, 109, 115, 117, 120.
Tschieret, 155.
Usure des rails, 18, — des banda-
ges des locomotives, 179, — des
dents des roues motrices, 239, — des
échelons de la crémaillère, 150.
Viaducs, 111, 119.
Vallot, 72.
Vigreux, 242.
Vitesse, des pistons des locomotives,
184, 193, — des trains, 321, — d'as-
cension, 320, — voitures et wagons,
285, — poids par place offerte
(tableau), 286, — prix de revient, 288,
— types du Rigi, 285, — de Langres,
288, — de Viège-Zermatt, 289, — de
la Jungfrau, 289, — du Hoellenthal,
292.
Zschokke, 37.

TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES

Avant-propos de la première édition	1
Préface de la deuxième édition	3

Introduction

§ 1. - Considérations générales, longueur des chemins à crémaillère existant	5
§ 2. — Diminution de l'effet utile de la locomotive sur les rampes	9
§ 3. — De l'adhérence et des cas où il y a lieu d'y suppléer.	13

CHAPITRE PREMIER

Historique. Tracé des chemins à crémaillère.

§ 1. — *Principe historique.*

1. Essais divers	21
2. Chemin du Mount-Washington	22
3. Brevet Riggenbach. Chemin du Rigi.	23
4. Système Abt	24
5. Crémaillère Strub	25
6. Crémaillère Locher.	25
7. Tableau des chemins entièrement à crémaillère.	26
8. — mixtes.	28

§ 2. — *Du tracé au point de vue des courbes et des pentes.*

9. Influence des courbes. Rayon minimum des parties en crémaillère	30
10. Limite des pentes à partir desquelles la crémaillère est applicable, traction à vapeur, traction électrique	32

11. Nécessité d'une disposition différente de la crémaillère sur les très fortes déclivités.	35
12. Chemins mixtes à crémaillère et à adhérence	36

§ 3. Description du tracé des lignes à crémaillère.

1° CHEMINS ENTIÈREMENT A CRÉMAILLÈRE

13. Chemin de fer de Vitznau-Rigi	37
14. — d'Arth-Rigi	39
15. — du Schwabenberg.	42
16. — du Kahlenberg	43
17. — de Rorschach-Heiden.	43
18. — du Mont-Pilate.	45
19. — du Rothorn	47
20. — du Wengernalp	47
21. — de Snowdon	49
22. — du Schneeberg.	51
23. — du Mont-Salève	52
24. — de la Jungfrau	53
25. Tramway électrique de Barmen	60
26. — de Bex-Gryon-Villars	63
27. Chemin de fer électrique de Gênes-Granavalo	65
28. — de Gornergrat.	66
29. — du Vésuve.	69
30. — de Brunnen-Morschach	70
31. — du Mont-Blanc.	72
32. — de Martigny-Chatelard	77

2° CHEMINS MIXTES

33. Chemin de fer d'Ostermundigen	78
34. — de Wasseraufingen.	78
35. — de Friedrichsseen à la Lahn	79
36. — de Blankenbourg à Tanne	81
37. — de Lehesten à Oerstelbruch	82
38. — de Langres.	82
39. — du Brünig	86
40. — du Hoellenthal.	88
41. — de Viège à Zermatt	91
42. — des mines de Padang.	95
43. — de l'Etat d'Herzégovine	98
44. — de l'Oberland bernois	100
45. — de Beyrouth-Damas	102

46.	Chemin de fer du Nilgiri	106
47.	— de Saint-Gall-Gais	107
48.	— d'Usuy-Pass	108
49.	— d'Ilmenau-Schleusingen	109

§ 4. *Terrassements et travaux d'art.*

50.	Ouvrages d'art, tunnels, terrassements	109
-----	--	-----

CHAPITRE II

Voie et crémaillère

§ 1. *Voies à crémaillère, généralités.*

51.	Dispositions de la voie. Poids des rails. Eclissage	121
52.	Consolidation de la voie. Poussée longitudinale de la crémaillère.	122
53.	Supports et mode d'attache de la crémaillère	124
54.	Tableau résumant les données de la superstructure des lignes à crémaillère	126
55.	Généralités. Efforts supportés par la crémaillère	127
56.	Calculs des efforts de flexion et de cisaillement supportés par la crémaillère. Exemples.	130

§ 2. — *Description des divers types de crémaillère*

57.	Crémaillère Riggenbach	134
58.	Fixation de la crémaillère Riggenbach. Eclissage	137
	Type de l'Oberland bernois et du Brünig	141
59.	Pièce d'entrée et de sortie.	143
60.	Crémaillère Bissinger et Klose	147
61.	Crémaillère Klose	151
62.	Crémaillère de la Maschinen Fabrik de Berne	153
63.	Crémaillère Abl. Constitution	155
	Calcul des dents	157
	Fixation des lames.	159
64.	Exemples divers. Avantages comparatifs	161
	Pièce d'entrée et de sortie.	163
65.	Crémaillère système Locher, type du Mont-Pilate	164
66.	Type de Trait-Planches	168
67.	Crémaillère Strub	169
68.	Appareils de changement. Ponts roulants	172
69.	Prix de revient de la crémaillère.	174

CHAPITRE III

Locomotives des chemins à crémaillère. Locomotives à vapeur. Traction électrique. Matériel roulant§ 1. — *Généralités. Description des principaux types de machines. Locomotives à vapeur.*

70. Généralités, machines simples, mixtes, à deux mécanismes . . .	177
71. Machines simples. Machine du Rigi	182
Machine du Mont-Pilate	188
72. Machines mixtes à un seul mécanisme, d'Ostermundigen Was- seralfingen, Friederichsseen à la Lahn	193
Machines de Langres, des mines de Padang, du Wengern-Alp, de Snowdon	199
73. Machines à deux mécanismes.	208
74. Système Abt. Machines de Blankenbourg à Tanne.	209
— — de Viège à Zermatt	214
— — de Lehesten à Oertelsbruch	215
— — de Diacophito à Kalavryta	217
75. Machines du Hoellenthal, Saint-Gall-Gais, Gais-Appenzel, du Brünig, de Tiszolcz-Zolyombréso	218

§ 2. *Détails de construction des locomotives pour chemins à crémaillère.*

76. Dispositions relatives des divers organes.	230
77. Puissance relative des machines comparées à leur surface de chauffe et à leur poids. Comparaison avec les machines ordinaires.	232
78. Consommation de combustible	234
79. Chaudières	235

§ 3. *Détails de construction du mécanisme à crémaillère. Roues dentées.*

80. Roues dentées système Riggenbach. Profil des dents. Usure . . .	237
81. Roues dentées système Abt	241
82. Frottement des roues dentées.	243

§ 4. *Calculs de traction. Effet utile. Freins. Frais de traction. Matériel roulant.*

TRACTION A VAPEUR

83. Calculs de traction	244
Effet utile	247
84. Freins. Organes de sécurité des machines	248
85. Frais de traction	249

TRACTION ÉLECTRIQUE

86. Généralités. Locomotives et automotrices	255
--	-----

MACHINES A COURANT CONTINU

87. Locomotives du Vésuve	256
— de Bex-Gryon-Villars	257
88. Voitures automotrices. Voiture du Mont-Salève.	261
Voiture de Barmen.	263
— de Gênes-Granavalo	264
— de Martigny-Chatelard	265

MACHINES A COURANT ALTERNATIF

89. Locomotives du Gornergrat	266
— de la Jungfrau	271
— de Brunnen-Morschach	277
90. Avantages et inconvénients de la traction électrique. — Remarques sur la traction électrique en crémaillère	279
91. Frais de traction	280
92. Poids comparatif des locomotives électriques et à vapeur.	283
93. Restriction de l'emploi de la crémaillère du fait de la traction électrique	284
94. Voitures et wagons.	285
Tableau du poids des voitures par place offerte.	286
Voitures du Rigi	287
— de Langres	288
— de la Jungfrau	289
— de Viège à Zermatt	289
— du Hoellenthal	292
— du Mont-Pilate	296
Wagons.	296
95. Freins et organes de sécurité du matériel roulant.	296

§ 5. *Dépenses de premier établissement.*

96. Tableau des dépenses de premier établissement de diverses lignes.	306
Décomposition des dépenses.	307

CHAPITRE IV

Exploitation

97. Entretien de la voie.	314
Conduite des machines à crémaillère.	312
Organisation du service.	316
98. Frais d'exploitation.	322
99. Tarifs. Recettes. Considérations financières.	329
Tarifs.	329
Recettes.	331
100. Comparaisons entre les lignes à crémaillère et les lignes à adhérence.	336

Documents annexes

<i>Annexe n° 1.</i> Cahier des charges du chemin de fer d'intérêt local d'Aix-les-Bains au Revard.	345
<i>Annexe n° 2.</i> Règlement d'exploitation du chemin de fer de Langres.	375
<i>Annexe n° 3.</i> Extraits des comptes rendus de la compagnie Halbers- tadt-Blankenbourg.	389
Tableau n° 1. Dépenses d'exploitation des années 1888-1889-1890.	390
Tableau n° 2. Décomposition des dépenses d'exploitation pour l'année 1890.	391
Tableau n° 3. Dimensions principales des locomotives. Prix de revient.	392
<i>Annexe n° 4.</i> Chemin de fer de Viège-Zermatt. Etude comparative des dépenses d'exploitation supplémentaires dues à l'emploi de la crémaillère. Rapport de MM. Rodieux et Haueter.	393
<i>Annexe n° 5.</i> Chemin de fer de Viège-Zermatt. Instructions à l'usage du personnel.	399
<i>Annexe n° 6.</i> Chemin de fer de Viège-Zermatt. Comptes de construc- tion et d'exploitation au 31 décembre 1903.	437

TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES

479

<i>Annexe n° 7.</i> Chemin de fer du Gornergrat. Compte d'exploitation au 31 décembre 1905	454
<i>Annexe n° 8.</i> Chemin de fer de Brunnen-Morschach. Compte de pre- mier établissement et d'exploitation au 31 décembre 1905. . . .	456
<i>Annexe n° 9.</i> Résultats financiers de l'exploitation de diverses lignes à crémaillère suisses. Année 1904	458
<i>Annexe n° 10.</i> Les causes du « Mal de Montagne ». Rapport du professeur Régnard à la Société de Biologie de Paris	459
Ouvrages à consulter.	463
Errata	468
Table alphabétique	469
Table analytique	473

ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS (suite)

OUVRAGES DE PROFESSEURS A L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES

- M. AGUILLON. *Législation des mines, française et étrangère*. 40 fr. On vend séparément :
— La *Législation en France, dans les colonies et protectorats*, 2^e édition (très augmentée),
1 très fort volume (1.041 pages) 25 fr.
— Les *Législations étrangères*. 15 fr.
M. PELLETAN. *Levier des plans et nivellement souterrains* (Voir ci-dessus : Durand-Claye).
M. CHESNEAU. *Lois générales de la Chimie*. 1 vol. avec 37 figures. 7 fr. 50
M. M. VICAIRE et MAISON. *Cours de Chemins de fer de l'École des Mines*; 382 p., 493 fig. 20 fr.

OUVRAGE D'UN PROFESSEUR A L'ÉCOLE NATIONALE FORESTIÈRE

- M. THIÉRY. *Restauration des montagnes*, avec une *Introduction* par M. LECHALAS père. Vol.
de 442 pages, avec 173 figures. 15 fr.

OUVRAGES DE DIVERS AUTEURS

- M. CHARPENTIER DE COSSIGNY, ingénieur civil des mines, lauréat de la Société des agriculteurs de France. *Hydraulique agricole*. 2^e édit., 1 vol., avec 160 figures. 15 fr.
M. DEGRAND, inspecteur général honoraire des ponts et chaussées. *Ponts en maçonnerie* (Voir ci-dessus : J. Résal).
M. DONIOL, inspecteur général des ponts et chaussées en retraite. *Réglementation des chemins de fer d'intérêt local, des tramways et des automobiles* 1 vol. avec figures. 10 fr.
— *Complément à l'ouvrage ci-dessus* 3 fr.
M. le Dr DUCHESNE, ancien président de la Société de médecine pratique. *Hygiène générale et Hygiène industrielle*, ouvrage rédigé conformément au programme du *Cours d'hygiène industrielle* de l'École centrale. 1 vol. de 740 pages, avec figures. 15 fr.
M. HENRY (ERIVST), inspecteur général des ponts et chaussées. *Théorie et pratique du mouvement des terres, d'après le procédé Bruckner*. 1 vol., 2 fr. 50. — *Ponts métalliques à travées indépendantes : formules, barèmes et tableaux*. 1 vol. de 639 pages, avec 267 figures, 20 fr. — *Traité pratique des chemins vicinaux*, volume de près de 800 pages. 20 fr.
M. MAURICE KOECHLIN, ingénieur. *Applications de la statique graphique*. 1 vol., avec 314 figures et 1 atlas de 34 planches, seconde édition, revue et très augmentée, 30 fr. — *Recueil de types de ponts pour routes*. 1 vol. de 306 pages et un atlas. 25 fr.
M. LALLEMAND, ingénieur en chef des mines. *Nivellement de précision* (Voir ci-dessus Durand-Claye).
M. LAVOINNE. *La Seine maritime et son estuaire*, 1 vol., avec 49 figures. 40 fr.
M. LECHALAS père, inspecteur général des ponts et chaussées. *Hydraulique fluviale*. 1 vol., avec 78 figures. 17 fr. 50. — *Des conditions générales d'établissement des ouvrages dans les vallées* (Voir ci-dessus : J. Résal et Degrand; c'est l'introduction à leur *Traité des Ponts en maçonnerie*).
M. LECHALAS fils, ingénieur en chef des ponts et chaussées. *Manuel de droit administratif*. Tome I, 20 fr.; tome II, 1^{re} partie, 10 fr.; tome II, 2^e partie 10 fr.
M. LÉVY-LAMBERT, ingénieur civil, inspecteur principal à la Compagnie du Nord. *Chemins de fer à crémaillère*. 2^e édition. 1 vol. de 479 pages avec 137 fig. 15 fr. — *Chemins de fer funiculaires, Transports aériens*, 1 vol., avec 150 figures 15 fr.
M. LEYGUE, ancien ingénieur auxiliaire des travaux de l'Etat, agent-voyer en chef de la province d'Oran. *Chemins de fer. Notions générales et économiques*. 1 vol. de 617 pages, avec figures 15 fr.
M. E. PONTZEN, ingénieur civil (l'un des auteurs de *Les chemins de fer en Amérique*) : *Procédés généraux de construction : Terrassements, tunnels, dragages et dérochements*. 1 vol. de 572 pages, avec 234 figures (médaille d'or à l'Exposition de 1900). 25 fr.
M. TARDÉ DE SAINT-HARDOUIN, inspecteur général des ponts et chaussées, ancien directeur de l'École de ce corps. *Notices biographiques sur les ingénieurs des ponts et chaussées*. un vol. 5 fr.
M. P. NIEWENGLAWSKI, ingénieur des mines. *Précis d'électricité*, 1 vol. de 200 pages avec 64 figures 6 fr.
M. N. DE TÊDESCO, ingénieur. *Recueil de types de ponts pour routes en ciment armé*. 1 vol. de 307 pages avec atlas 25 fr.

Chaque ouvrage se vend séparément (et aussi chaque volume des ouvrages qui en comprennent plusieurs). Il n'y a pas de numérotage général des volumes formant la collection.

Les ouvrages entrant dans les *Encyclopédies des Travaux publics et Industrielle* sont en vente chez Ch. Béranger et chez Gauthier-Villars.

ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE

Vol. grand in-8°, avec de nombreuses figures

- Exploitation technique des Chemins de fer**, par A. SCHOLLER et A. FLEURBAEY, 1 vol. de 408 pag. avec 109 fig. . . . 12 fr.
- Calcul infinitésimal à l'usage des Ingénieurs**, par E. ROGUE et L. LEYR, 2 vol. de 557 et 829 p. Chac. vol. . . . 15 fr.
- Cours de géométrie descriptive de l'Ecole centrale**, par C. BAISSE, prof. de ce cours, et H. PÉQUET, 478 p. gr. avec 300 fig. . . . 17 fr. 50
- Construction pratique des navires de guerre**, par A. CROWEY, 2 vol. 996 pag. et 664 figures et 1 bel atlas double in-4° de 14 pl., dont 2 ga à coul. . . . 33 fr.
- Verre et verrerie**, par LEON APPERT, et J. HENRI VAUX, 166 p. 430 fig. et atlas . . . 20 fr.
- Blanchiment et apprêts; teinture et impression, matières colorantes**, 1 vol. de 674 p., avec 368 fig. et échantillons de tissus papirines, par GUYOT, DOMMER et GASTHOUYER (de Mulhouse) . . . 30 fr.
- Éléments et organes des machines**, par A. GUILLY, 1 vol. de 410 pages, avec 710 figures . . . 12 fr.
- Les associations ouvrières et les associations patronales**, par HUBERT-VALLENOUX, avocat. 1 vol. de 361 pages . . . 10 fr.
- Traité pratique des ch. de fer (et local) et des Tramways**, par P. GÉRON. . . 41 fr.
- Traité des Industries céramiques**, par Emile BONJUR, 1 vol. de 755 pages avec 349 fig. ou groupes de fig. et une planche (Cet ouv. a été traduit en angl.). . . 20 fr.
- Le vin et l'eau-de-vie de vin**, par Henri de LAPEYRE, insp. gén. de l'Agriculture. 1 vol. de 543 p., 114 fig. et 23 cartes . . . 20 fr.
- Métallurgie générale**, par L. VIGNON, 1 vol. de 470 pages avec 171 figures . . . 12 fr.
- Procédés de chauffage**, par L. VIGNON, 1 vol. de 403 p. avec 138 fig. et 10 planches . . . 12 fr.
- Procédés métallurgiques et études des métaux**, 1 vol. de 403 p. avec 138 fig. et 10 planches . . . 12 fr.
- La Batterie agricole et industrielle**, par G. SCHWIND et SELLIER, 1 vol. de 120 figures (méd. d'arg. soc. nat. d'agr. et méd. d'or des agric. de France). . . 20 fr.
- Cours de chemins de fer de l'Ecole des Mines**, par VICIENS et MASON, 382 p. avec 493 fig. . . . 20 fr.
- Chimie organique appliquée**, par A. JOANNIS, professeur à la Faculté des Sc. de Paris. 1406 p. en 2 vol. . . . 35 fr.
- Traité des machines à vapeur, à gaz, à pétrole et à air chaud**, par ALBERT et ROCHE. 2 vol., 1176 p., 693 fig. . . 35 fr.
- Chemins de fer. Superstructure**, par E. DEHARME (Voir: *Encyc. des Travaux publics*).
- Chemins de fer: Résistance des trains.**
Traction par E. DEHARME et A. PULIN, ingénieur de la C^{ie} du Nord, 447 p., 95 f. et 1 planche. . . . 15 fr.
- Chaudières de locomotives**, par les mêmes, 130 fig. et 2 pl. . . . 15 fr.
- Locomotives: Mécanisme, Châssis Types de machines.** 1 fort vol. avec un bel atlas de 18 pl. double in-4°, par les mêmes. . . 25 fr.
- Electricité industrielle.** 2^e éd., v. de 286 p., 404 fig. (C. de M. Monner à l'Éc. Cent.) . . 25 fr.
- Machines frigorifiques**, par LORENZ, professeur à la faculté de l'Idle; traduction de PERRI et JACQUET, 495 p., 131 fig. . . 7 fr.
- Industries du sulfate d'aluminium, des aluns et des sulfates de fer**, par L. GIESCHWIND. 372 p. avec 195 fig. Traduit en anglais . . . 10 fr.
- Accidents du travail et assurances contre ces accidents**, par G. FÉOLLE (Méd. d'arg. Exp. 1900), 4 vol. de 616 p. . . 7 fr. 50
- Traité des fours à gaz à chaleur régénérée**, par TOULZ (trad. DOMMER), 392 pages 68 fig. . . . 41 fr.
- Résistance des matériaux et Éléments de la théorie mathématique de l'élasticité**, par A. FÖPPL, trad. de E. HANN, 489 p., 75 fig. . . . 15 fr.
- Industries photographiques**, par le Professeur FABRE, 612 p., 183 fig. . . 18 fr.
- La Tannerie**, par MEUNIER, VANET et VIGNON (650 p., 98 fig.) . . . 20 fr.
- Industria des cyanures**, par ROUIN et LENOIR . . . 15 fr.
- Traité des essais de matériaux**, par L. MANGES, traduction de P. BREUIL, 1 vol. de texte de 671 pages avec 558 fig. et 31 grandes planches. . . 50 fr.
- Énergie hydraulique et les Récepteurs hydrauliques**, par U. MASON. 1 vol. de 320 p. avec 267 fig. . . . 10 fr.
- Le Bois**, par J. BEAUVENNE, 2 fascicules de XI-1402 pages avec 485 figures (méd. d'or de la soc. nat. d'agric.) . . . 20 fr.
- Étude expérimentale du Ciment armé**, par R. FÉRET, 786 pag. avec 195 fig. . . 20 fr.
- Traité général des Automobiles à pétrole**, par L. PÉRISSÉ, 503 pages avec près de 300 figures. . . . 17 fr. 50

P. C. N.

- Chimie élémentaire**, 3^e édition, un vol. relié, par M. A. JOANNIS, professeur à la Faculté des Sciences de Paris (P. C. N.). . . . 10 fr.
- Physique élémentaire**, par MM. CHEVASSUS et THOVERT, préparateurs à la Faculté des sciences de Lyon, Fascicules brochés :
- Premier fascicule. — Mécanique et propriétés générales de la matière. Acoustique. . . 2 fr.
- Deuxième fascicule. — Chaleur. Optique . . . 3 fr.
- Troisième fascicule. — Magnétisme, Electricité, Radiations. — Météorologie. . . 3 fr.
- Ensemble : un vol. relié. . . . 8 fr.
- Manipulations de physique générale**, par MM. VAILLANT et THOVERT, chef de travaux et préparateur à la Faculté des sciences de Lyon . . . 3 fr.
- Manipulations d'Electricité industrielle**, par les mêmes. . . 3 fr.
- Sciences naturelles**, par MM. FAUCHERON et CONTE, préparateur et chef de travaux à la Faculté des sciences de Lyon :
- Botanique, trois fascicules à 2 fr. et 3 fr. ; un vol. relié. . . . 8 fr.
- Zoologie, un volume 5 fr.

LAVAL. — IMPRIMERIE PARISIENNE, L. BARNÉOUD ET C^{ie}.