Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 29 (1903)
Heft: 24

Artikel: Les nouvelles lignes du Chemin de fer Rhétique
Autor: Rey, F.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-23524

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

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

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

Download PDF: 17.07.2025

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

Connaissant l'un de ces points, P_b par exemple, on peut ensuite déterminer la ligne représentative de la génératrice de la quadrique donnée qui passe par ce point, en utilisant la correspondance projective qui définit cette quadrique et qui lie les points B de f_b aux points A de f_a. Le tracé relatif à cette détermination n'a pas été conservé sur la figure qui risquait de devenir un peu confuse. Ce tracé est d'ailleurs trop connu pour qu'il y ait lieu d'insister. Le point P où cette génératrice coupe f est alors le point représentatif du point de rencontre cherché (P). La ligne représentative P' de ce même point s'obtient ensuite immédiatement puisqu'elle est associée à P et passe par φ'. On déterminerait enfin de la même manière les éléments représentatifs Q et Q', du deuxième point cherché (Q).

34. Il nous paraît inutile de multiplier davantage ces exercices; les solutions qui précèdent montrent d'une manière suffisamment nette que le mode de représentation proposé ne conduit pas à des opérations plus compliquées que celles qui résultent de l'application des méthodes ordinaires de la géométrie descriptive. D'ailleurs, si l'on suppose, comme nous allons le faire, que la droite désignée par E s'éloigne indéfiniment, toutes ces opérations se simplifient; de plus, il devient possible de résoudre, à l'aide de procédés graphiques simples, tout un ordre de problèmes dont les solutions n'avaient pu, jusqu'ici, être obtenues que grâce à l'emploi de méthodes analytiques.

(*A suivre.*)

Les nouvelles lignes du Chemin de fer Rhétique.

par M. F. REY, ingénieur.

Ancien élève de l'Ecole d'Ingénieurs de Lausanne.
(1867-1870).

Le réseau du Chemin de fer Rhétique, à voie étroite d'un mètre d'écartement, se compose des lignes suivantes:

1° **Landquart-Davos**, d'une longueur de 50 kilomètres, avec rampe maximum de 45 ‰ et rayon minimum de 100 mètres. Pour atteindre son point culminant, soit la station de Wolfgang, à l'altitude de 1633 m., la ligne doit franchir une différence de niveau de 1106 m. pour redescendre ensuite à la station terminale de Davos, à l'altitude de 1543 m. au-dessus de la mer.

Cette ligne a été ouverte à l'exploitation en 1889 jusqu'à Klosters, et l'année suivante jusqu'à Davos-Platz;

2° **Landquart-Thusis**, d'une longueur de 41,180 kilomètres, avec rampe maximum de 25 ‰. Son point culminant est la station de Thusis, à la cote 700m,50. Le tronçon Coire-Thusis a été ouvert le 1er juillet 1896 et celui de Landquart à Coire le 29 août suivant;

3° **Thusis-St-Moritz**, d'une longueur de 61,7 kilomètres, ouverte le 1er juillet 1903 jusqu'à Celerina. Le tronçon restant de Celerina à St-Moritz ne sera achevé que pour l'été 1904.

4° **Reichenau-Ilanz**, d'une longueur de 19,4 kilomètres, ouverte le 1er juin 1903.

Ces deux dernières lignes, qui seront ci-après l'objet d'une description plus détaillée et dont les devis, établis d'après un avant-projet, se montaient ensemble à 26 millions de francs, ont été exécutées sous le régime de la loi cantonale grisonne du 20 juin 1897; aux termes de cette loi, le canton participe à l'établissement sur son territoire de nouvelles lignes de chemins de fer à voie étroite par une prise d'actions pour une valeur de 40 à 50 000 fr. par kilomètre, pouvant être portée à 70 000 fr. pour les tunnels de plus de 3 kilomètres de longueur. Cette subvention n'est accordée qu'après que les communes intéressées et les particuliers ont justifié d'une prise d'actions représentant 25 000 fr. par kilomètre.

La justification financière pour l'établissement de ces nouvelles lignes une fois produite, grâce surtout à la subvention importante de la Confédération, votée par les Chambres fédérales le 20 juin 1898, sous forme d'une prise d'actions de second rang pour une valeur de 8 millions de francs, on se mit immédiatement à l'œuvre, et déjà au mois d'octobre de la même année, on débutait par l'attaque de la galerie du tunnel de l'Albula. Cet ouvrage étant le plus important du nouveau réseau à établir et exigeant 4 ans pour son achèvement, tandis que l'infrastructure du reste de la ligne pouvait se terminer en 2 ans, il était nécessaire de commencer par là.

Les études définitives étaient en même temps poussées activement, de telle sorte que l'adjudication des différents lots de travaux pouvait déjà avoir lieu en été 1900.

I. — Ligne de Thusis à St-Moritz ou de l'Albula.

Longueur 61,7 kilomètres. (fig. 1 et 2).

Tracé et déclivités. — Le tracé se détache de la gare de Thusis, à la cote 700m,50, s'élève en rampe de 25 ‰ en s'infléchissant brusquement sur la gauche, puis franchit le Rhin Postérieur sur un grand viaduc, avec travée centrale métallique de 80 m. d'ouverture; il atteint d'abord la station de Sils (738m,50), pour s'engager après dans les gorges étroites et sauvages du Schyn, aux parois abruptes, coupées de ravins et de couloirs, en suivant la rive gauche de la vallée, à une hauteur moyenne de 80 m. au-dessus du lit de la rivière de l'Albula. Jusqu'à la station de Solis (854 m.) le tracé est des plus accidenté; les tunnels succèdent aux viaducs, et la voie semble parfois comme accrochée aux flancs d'escarpements et suspendue au-dessus de l'abîme. A 500 mètres au delà de la station de Solis, en un point où la gorge présente un rétrécissement, le tracé franchit la vallée sur un viaduc imposant en maçonnerie, avec une arche centrale de 42 m. d'ouverture. Après la traversée de quelques tunnels et viaducs sur la rive droite de la vallée, la ligne atteint la station de Tiefencastel (887 m.), au débouché de la vallée de l'Oberhalbstein.

Entre Thusis et Tiefencastel, les roches rencontrées sont composées essentiellement de schistes dits des Grisons

(Bündnerschiefer), aux couches violemment plissées et renversées, avec intercalations de veines de quartz.

Cette section de ligne, d'une longueur de 12 kilomètres, est celle où se sont trouvées accumulées le plus de difficultés pour l'exécution des travaux ; en effet, outre de nombreux murs de soutènement et de revêtement (fig. 5), on n'y compte pas moins de 27 ponts et viaducs, d'une longueur totale de 1300 m., et 13 tunnels dont le plus long, celui de Solis, a 986 m. Ces tunnels représentent une longueur totale de 4270 m., soit les 33 % de ce tronçon. Les travaux d'infrastructure seuls se sont montés à 275000 fr. par km.

A partir de la station de Tiefencastel, le tracé longe un beau et hardi viaduc de 65 m. de hauteur, en rampe de 20 ‰.

Immédiatement au sortir du viaduc, la ligne pénètre en plein dans une grande paroi verticale, dont le pied est baigné par le torrent, puis traverse un tunnel de 216 m. de longueur.

A 1 kilomètre de là, on atteint la station de Filisur (1083m,50), point terminus de la rampe de 25 ‰. L'emplacement de cette station a été choisi de façon à permettre un raccordement éventuel avec la ligne projetée de Davos à Filisur, dont la concession est entre les mains du Chemin de fer Rhétique. C'est ici que commence la rampe de 35 ‰,

Cliché appartenant à la *Schweizerische Bauzeitung*.

Fig. 1. — Lignes de Thusis à St-Moritz et de Reichenau à Ilanz.
Echelle : 1 : 300000.

Reproduction autorisée par le Service topographique fédéral.

d'abord les flancs assez escarpés de la montagne, ce qui a exigé quelques murs et viaducs aux fondations difficiles, puis gagne les coteaux cultivés sur lesquels sont établies les stations de Surava (942m,40) et d'Alvaneu (1002m,52). Cette partie de ligne, comportant d'assez forts terrassements, n'a cependant pas présenté de difficultés sérieuses.

Au kilomètre 21,450, le tracé franchit le torrent de Schmitten à 35 m. de hauteur, sur un élégant viaduc établi dans la rampe de 25 ‰.

Le tracé s'infléchit peu après brusquement à droite et franchit le vallon du Landwasser au kilomètre 21,9, sur qui va régner d'une façon continue jusqu'à l'embouchure Nord du tunnel de l'Albula, coupée seulement par les paliers des stations et par les traversées des tunnels principaux, où la rampe a été réduite à 30 ‰.

La distance directe de Filisur à Bergün étant trop courte pour atteindre avec le 35 ‰ cette dernière station, dont la cote (1375 m.) était donnée, il a fallu intercaler sur cette section, peu après la station de Filisur, un développement artificiel sous forme d'un double lacet de 1200 m. de longueur avec tunnel hélicoïdal de 698 m., excavé dans les rochers que surmonte la ruine de Greifenstein.

La ligne s'élève graduellement, adossée contre des flancs d'escarpements, dans un terrain fortement accidenté et hérissé de rochers, à une hauteur de 150 m. au-dessus du fond de la vallée. Ces conditions ont nécessité, outre de nombreux murs de soutènement et perrés, l'établissement de plusieurs tunnels et viaducs, dont entr'autres la belle voûte de 25 m. d'ouverture jetée sur la pittoresque cascade du Stulserbach.

Entre Filisur et Bergün, on a intercalé la petite station de croisement de Stuls (1280 m.) qui est disposée dans la rampe de 15 ‰.

Après la traversée du tunnel du Bergünerstein, de 410 m. de longueur, percé dans le calcaire, le tracé atteint la station de Bergün (1375m,60) au kilomètre 32.

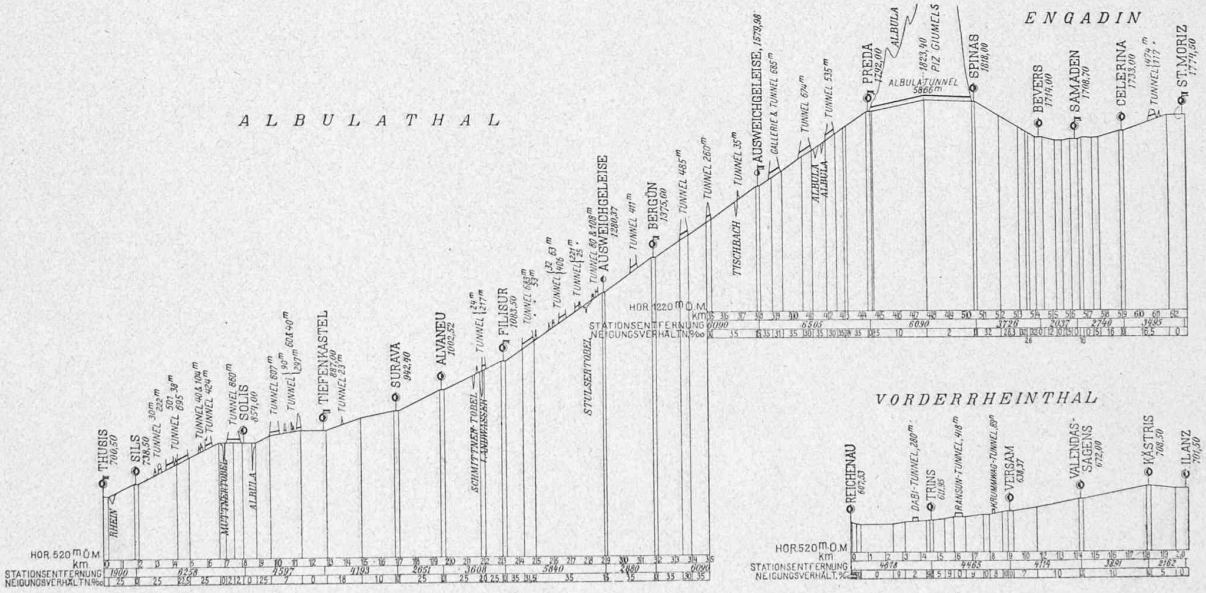
Cette section de Filisur à Bergün, d'une longueur de 8744 m., avec les nombreux travaux qu'elle comporte, a été la plus coûteuse après celle du Schyn. On y trouve 9 viaducs, représentant une longueur de 300 m., et 12 tunnels, dont le plus long a 698 m. La longueur totale de ces tunnels est de 2233 m.

roule sur les deux côtés de la vallée, a nécessité quatre traversées successives de celle-ci sur viaducs en maçonnerie.

Peu après le double lacet de Bergün, le tracé franchit le vallon du Tischbach sur un élégant viaduc en maçonnerie de 40 m. de hauteur, puis traverse une zone d'avalanches qui a exigé de nombreux et coûteux travaux de défense en contre-haut de la voie. Ces travaux, qui s'étendent jusqu'à une hauteur de 750 m. au-dessus du chemin de fer, sont exécutés à l'aide d'une subvention fédérale et représentent une dépense de 150 000 fr. Ils consistent en bermes et murs de retenue, en files de pieux et surtout en reboisements.

Immédiatement avant la halte de Muot, la voie s'engage dans une galerie maçonnée de 117 m. de longueur, établie sous un couloir d'avalanche ; cette galerie a le profil courant des souterrains revêtus, sauf qu'il a été ménagé des voûtes d'évidement dans son piédroit d'aval (fig. 4).

Les exigences de l'exploitation ont nécessité l'intercalation entre Bergün et Preda d'une station à Muot (1577 m.) avec palier de 200 m., qui sert exclusivement au croisement des trains et à l'alimentation des locomotives.


ALBULATHAL
ENGADIN
VORDERRHEINTHAL
THUSIS
SILS
SOLIS
TIEFENKASTEL
SURAVA
ALVANEU
FILISUR
STULSERTOBEL
AUSWEICHGELEISE
BERGÜN
TISCHBACH
AUSWEICHGELEISE
PREDA
ALBULA
SPINAS
BEVERS
SAMADEN
CELERINA
ST. MORIZ
RHEIN
RHEIN
RHEIN

LES NOUVELLES LIGNES DU CHEMIN DE FER RHÉTIQUE

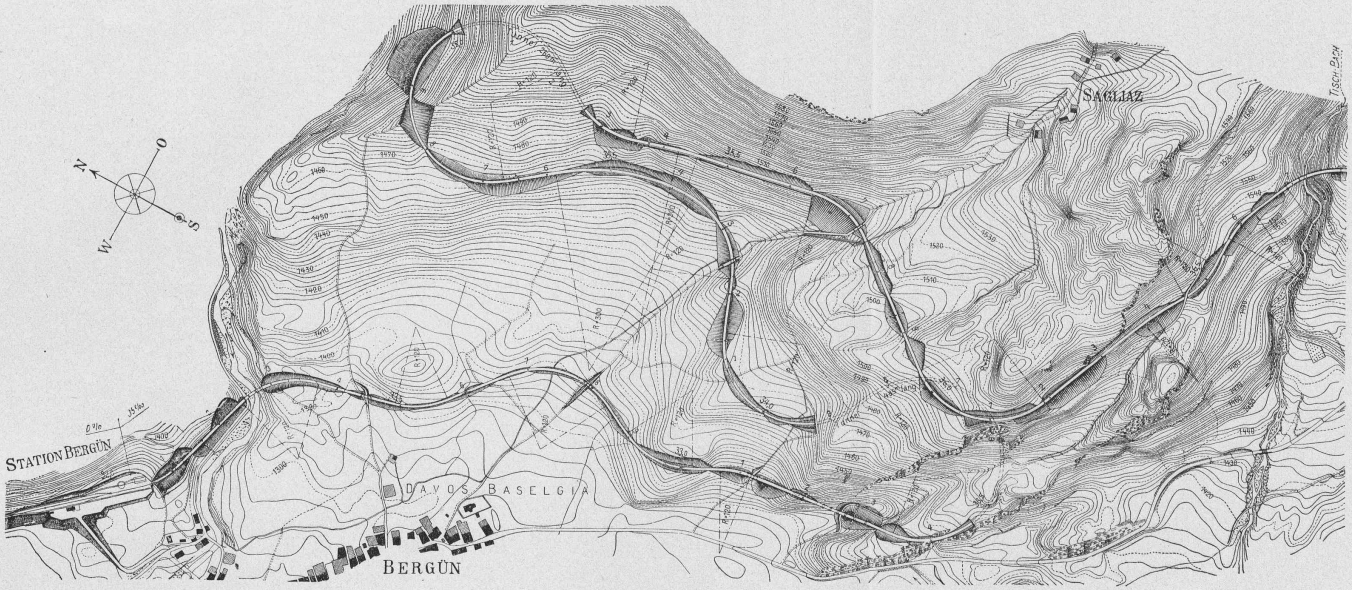


FIG. 1. — DÉVELOPPEMENT DE LA LIGNE DE L'ALBULA PRÈS DE BERGÜN.

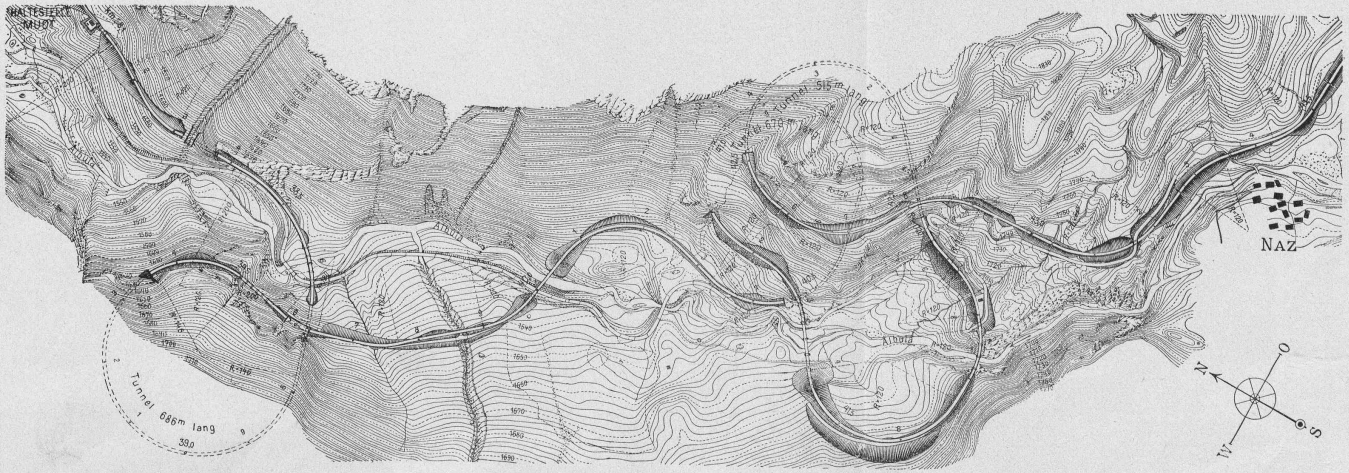


FIG. 2. — DÉVELOPPEMENT DE LA LIGNE DE L'ALBULA ENTRE MUOT ET NAZ.

Clichés appartenant à la *Schweizerische Bauzeitung*.

Echelle 1 : 7500.

Seite / page

leer / vide / blank

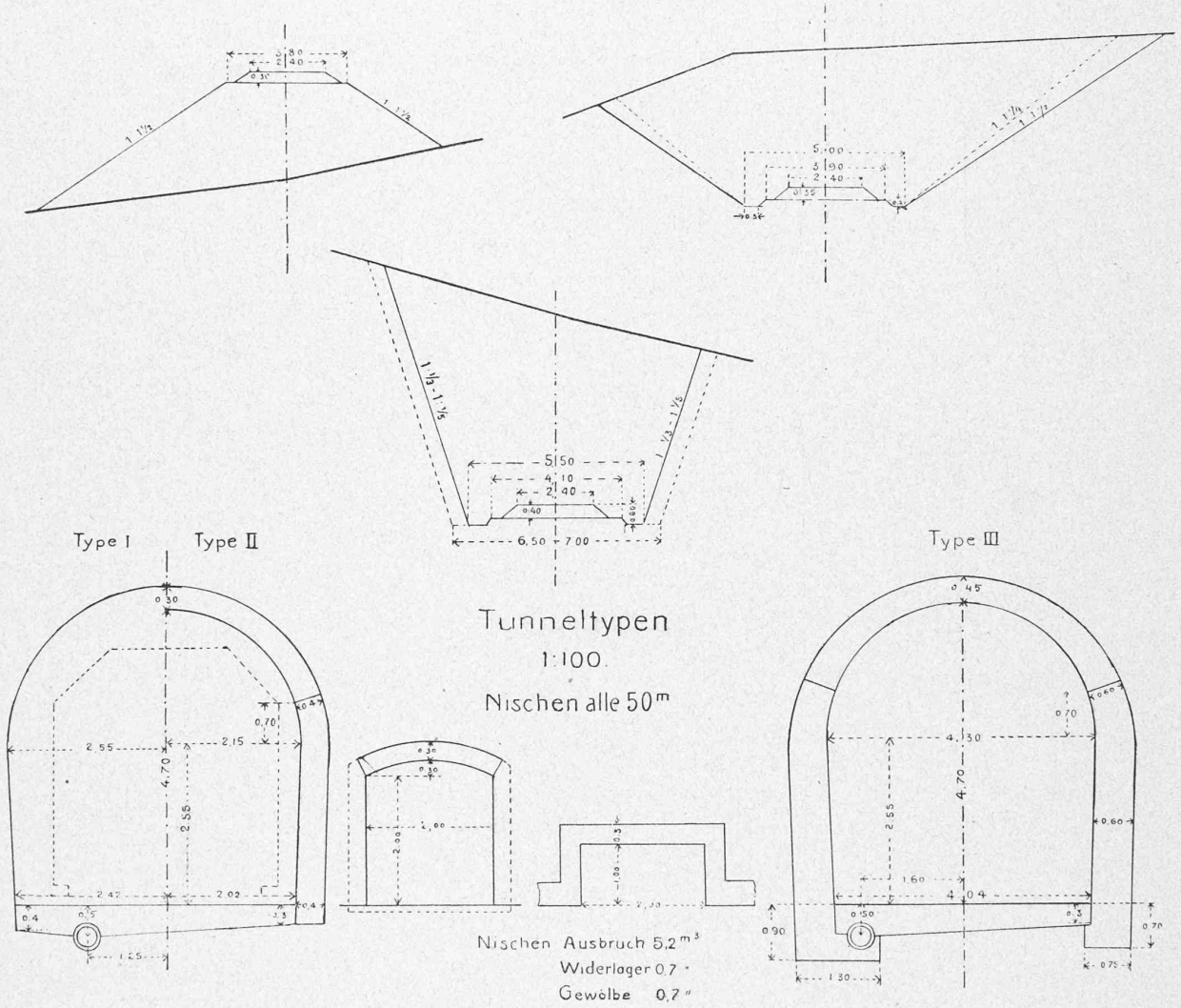


Fig. 3. — Remblai et déblai, tunnels et niches. — Echelle : 1 : 100.

Cube de déblai d'une niche 5,2 m³ ; cube de maçonnerie des piédroits 0,7 m³ ; cube de maçonnerie de la voûte 0,7 m³.

Surfaces des diverses sections de tunnels.

Désignations.	Types.		
	I	II	III
	m²	m²	m²
Espace libre	22.57	17.89	17.89
Ballast et aqueduc	2.00	1.72	1.72
Piédroits	—	2.96	5.26
Voûte	—	2.00	3.14
Excavation totale	24.57	24.57	28.01

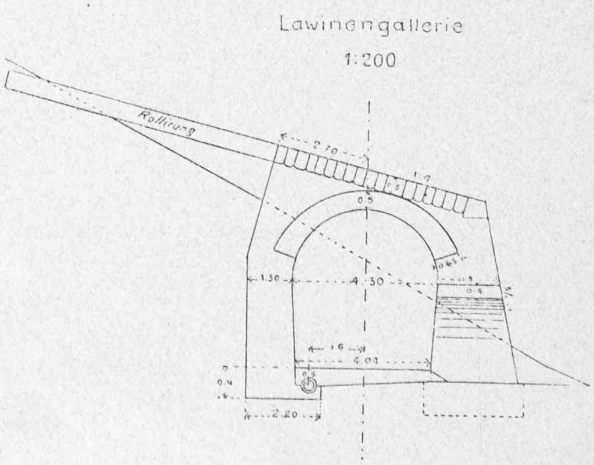


Fig. 4. — Galerie de protection contre les avalanches.

PROFILS EN TRAVERS TYPES DU CHEMIN DE FER RHÉTIQUE

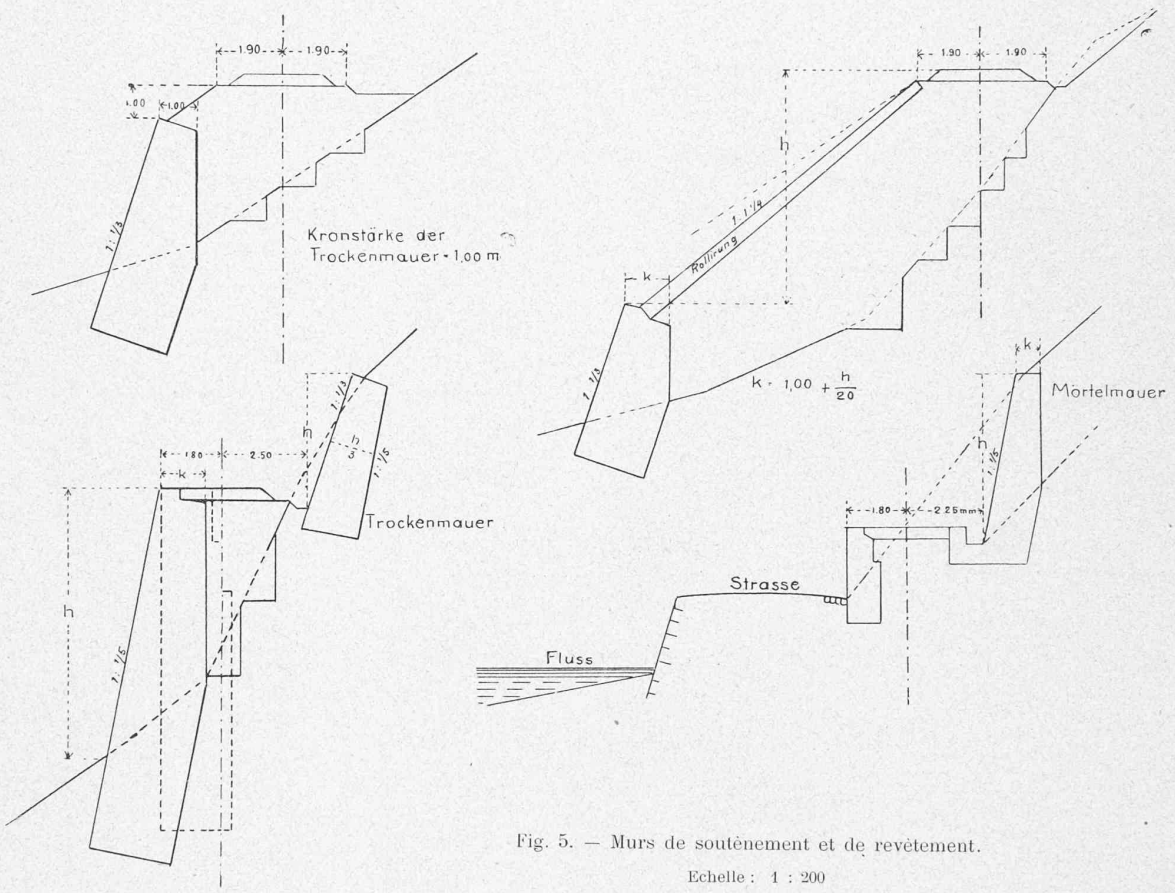


Fig. 5. — Murs de soutènement et de revêtement.

Echelle : 1 : 200

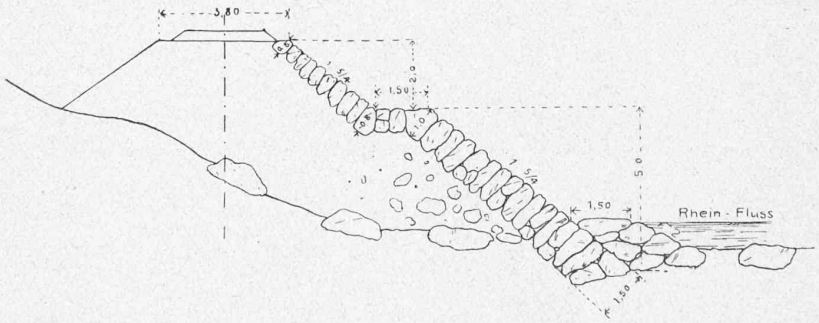


Fig. 6. — Profil-type des perrés du Rhin sur la ligne de Reichenau à Ilanz.

Echelle 1 : 200.

Dimensions des murs de soutènement et de revêtement.

Hauteur.	Murs de soutènement.		Murs de revêtement en mortier.	Hauteur.	Murs de soutènement.		Murs de revêtement en mortier.
	Fruit ext. = 1/5 Fruit int. = 0	Fruit ext. = 0 Fruit int. = 1/5	Fruit 1/5.		Fruit ext. = 1/5 Fruit int. = 0	Fruit ext. = 0 Fruit int. = 1/5	Fruit 1/5.
h.	*k.*	*k.*	*k.*	*h.*	*k.*	*k.*	*k.*
m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
1	0.60	0.70	0.50	6	1.15	1.30	0.90
2	0.60	0.70	0.50	8	1.40	1.60	1.20
3	0.75	0.90	0.50	10	1.65	1.80	1.50
4	0.80	1.00	0.60	12	1.90	2.10	1.80
5	1.00	1.20	0.75				

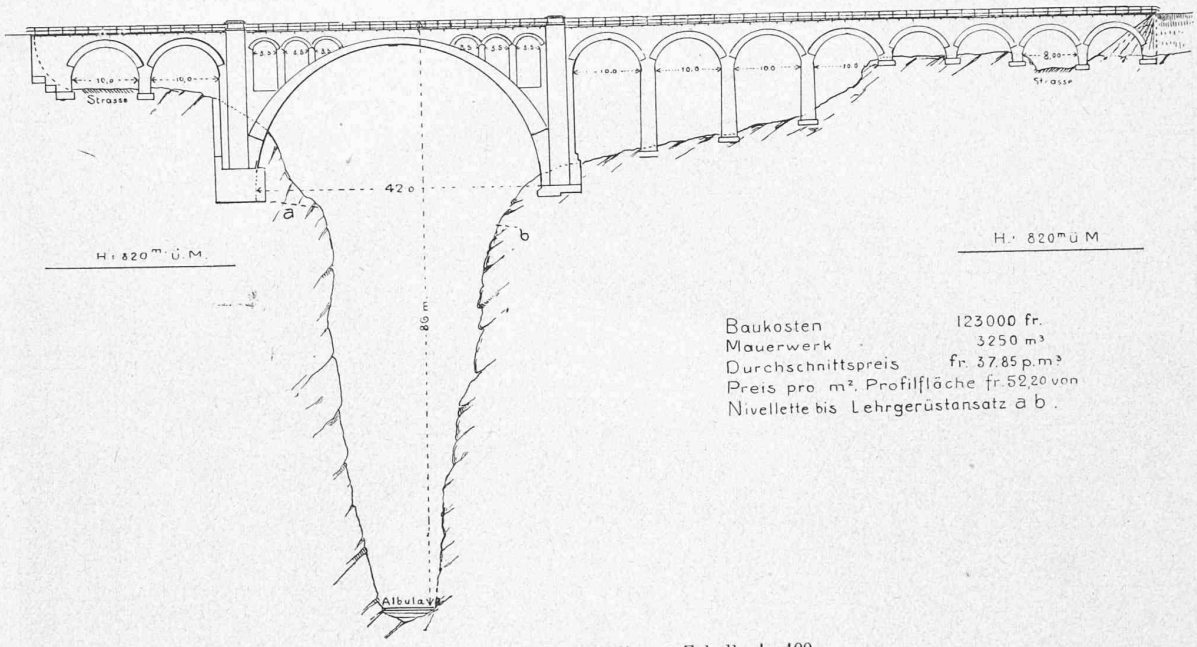


Fig. 7. — Viaduc de Solis. — Echelle 1 : 100.

Coût de construction 123 000 fr. Cube de maçonnerie 3250 m³. Coût moyen par m³ de construction 37 fr. 85.
Coût de la grande arche, y compris les deux piles-culées, 52 fr. 20 par m² de surface d'élévation comptée à partir des naissances de la voûte.

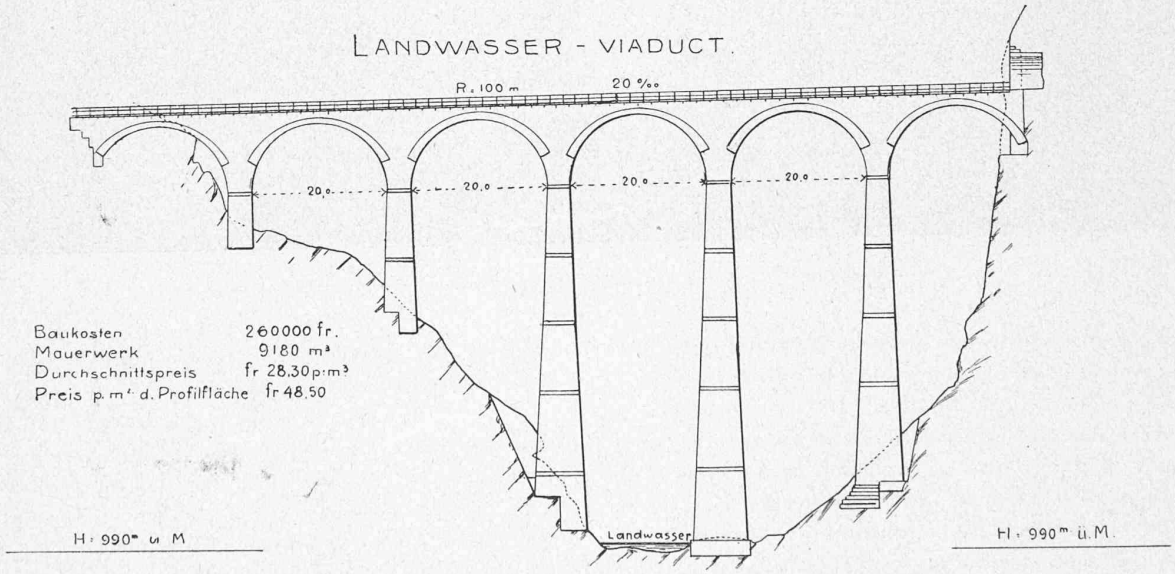


Fig. 8. — Viaduc du Landwasser. — Echelle : 1 : 100.

Coût de construction 260 000 fr. Cube de maçonnerie 9180 m³. Coût par m³ de construction 28 fr. 30.
Coût par m² de surface d'élévation 48 fr. 50.

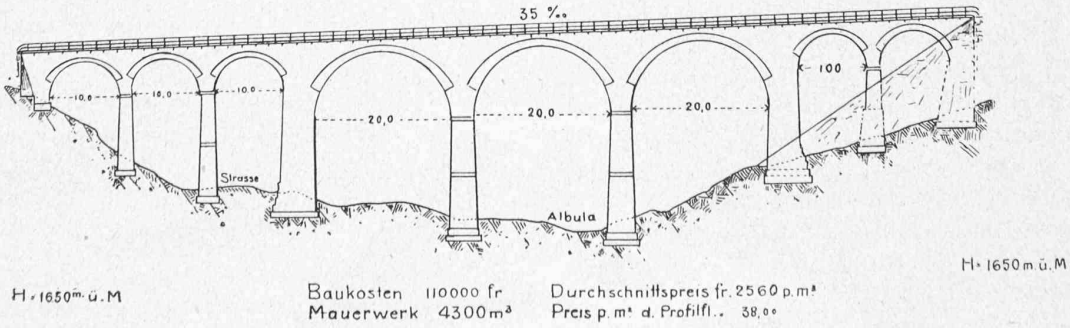


Fig. 9. — Troisième viaduc sur l'Albula. — Echelle : 1 : 100.

Coût de construction 110 000 fr. Cube de maçonnerie 4300 m³. Coût par m³ de construction 2560 fr.
Coût par m² de surface d'élévation 38 francs.

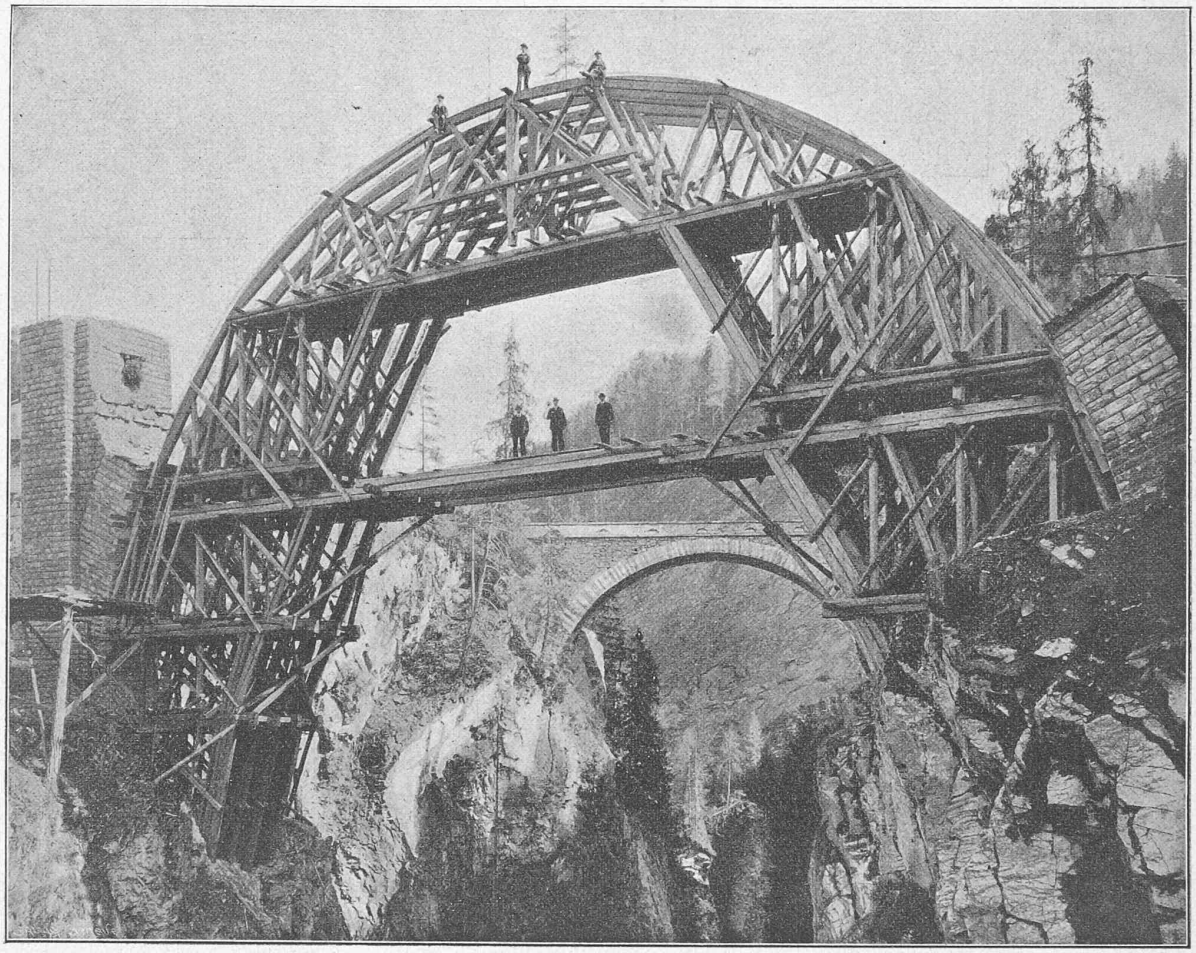


Fig. 10. — Cintre de l'arche centrale du viaduc de Solis. — Ouverture 42 m.

A ce palier succède une pente de 2 ‰ qui règne sur une longueur de 2596 m., soit jusqu'à la station de Spinas (1818 m.) à la tête Sud du tunnel.

Le tracé descend ensuite le vallon du Béverin avec une pente de 32 ‰ jusqu'à la station de Bevers, où il débouche dans la vallée de l'Inn en décrivant une grande courbe de 100 m. de rayon. Ce tronçon de Spinas à Bevers, de 3800 m. de longueur, ne présente rien de particulier ; le corps de la voie est en majeure partie en remblai, ce qui contribue à le protéger contre les avalanches et les éboulis de pierres. Au kilomètre 53, on a dû cependant établir parallèlement à la voie, du côté du torrent, un grand mur de défense de 180 m. de longueur sur 5 m. de hauteur, pour protéger la voie contre une avalanche qui, descendant du côté opposé de la vallée, passe parfois sur l'autre rive.

L'emplacement de la station de Bevers (1714 m.) a été choisi de façon à permettre l'embranchement d'une ligne pour la Basse-Engadine, actuellement à l'étude.

De Bevers à Celerina, distance 4700 m., la ligne ne présente pas de difficultés particulières et revêt plutôt le caractère d'une ligne de plaine.

Entre ces deux stations, nous trouvons celle de Samaden (1708^{m},70) avec un dépôt de locomotives et des ateliers de réparations. Dans le choix et la disposition de l'emplacement de cette station, il a été tenu compte de l'éventualité d'un embranchement sur Pontresina.

A partir de Celerina (1733 m.), le tracé s'élève de nouveau avec des rampes allant jusqu'au 20 ‰, puis se dirige vers la gauche et longe la gorge de l'Inn, en traversant deux tunnels de 450 et 112 m., pour déboucher à la gare terminus de St-Moritz, située à l'extrémité Nord du lac de ce nom, à la cote 1774^{m},50 au-dessus de la mer.

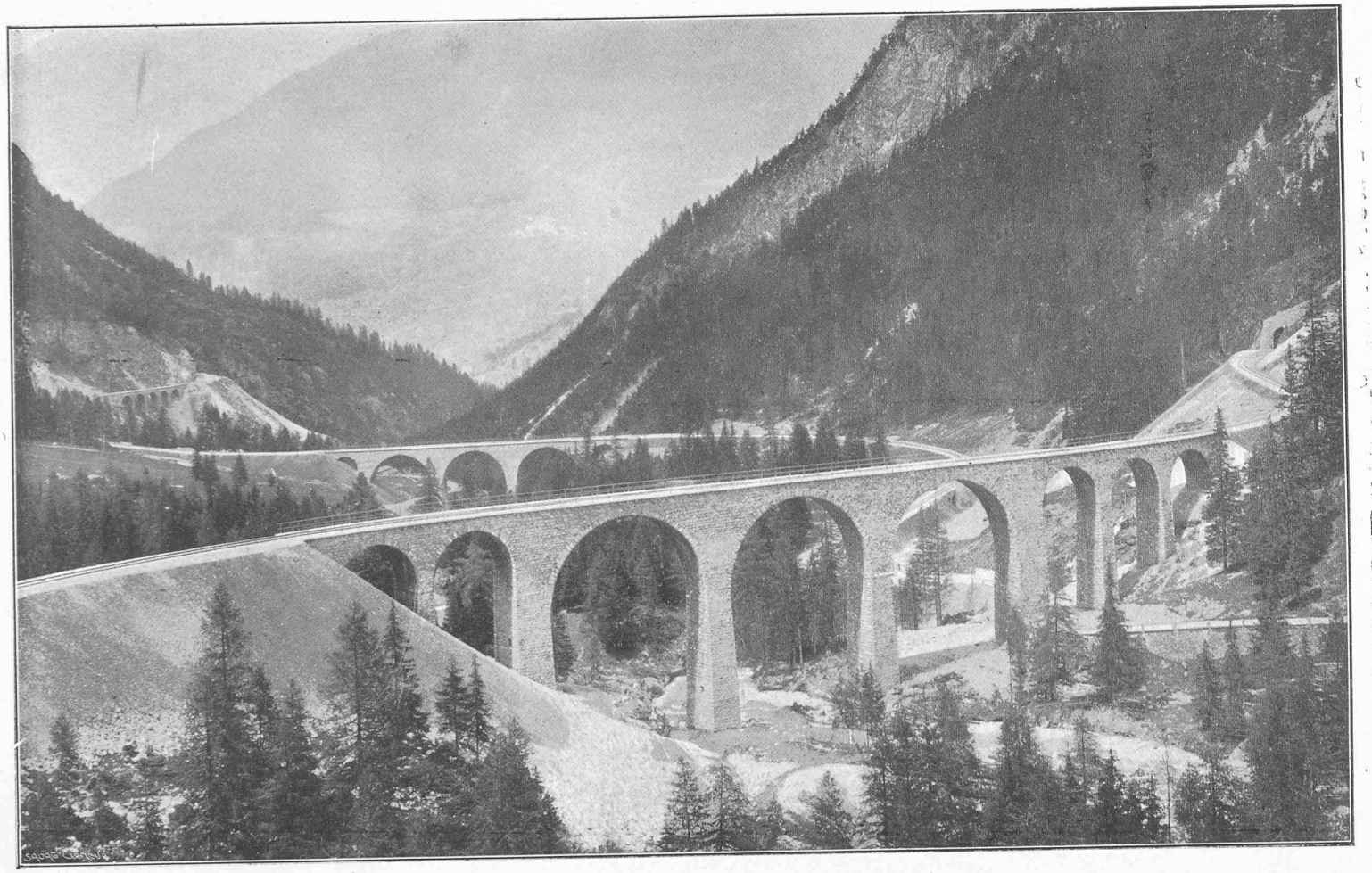
La construction du tronçon Celerina-St.-Moritz, d'une longueur de 2600 m., a été retardé par suite de difficultés qui se sont élevées au sujet du choix de l'emplacement de la gare de St-Moritz ; l'achèvement de ce travail est prévu pour l'été 1904.

De Thusis à St-Moritz, le tracé comporte, dans son ensemble, des alignements et des courbes dans la proportion de

57 % pour les alignements droits

et 43 % pour les courbes.

Le passage des alignements aux courbes s'effectue au moyen d'un raccordement parabolique. La transition d'une rampe à un palier est ménagée dans le sens vertical par une courbe de 2000 m. de rayon, pouvant être réduit à 1000 m. à l'entrée des stations.



LES NOUVELLES LIGNES DU CHEMIN DE FER RHÉTIQUE. — VIADUCS Nos 2 ET 3 SUR L'ALBULA.

Seite / page

leer / vide / blank

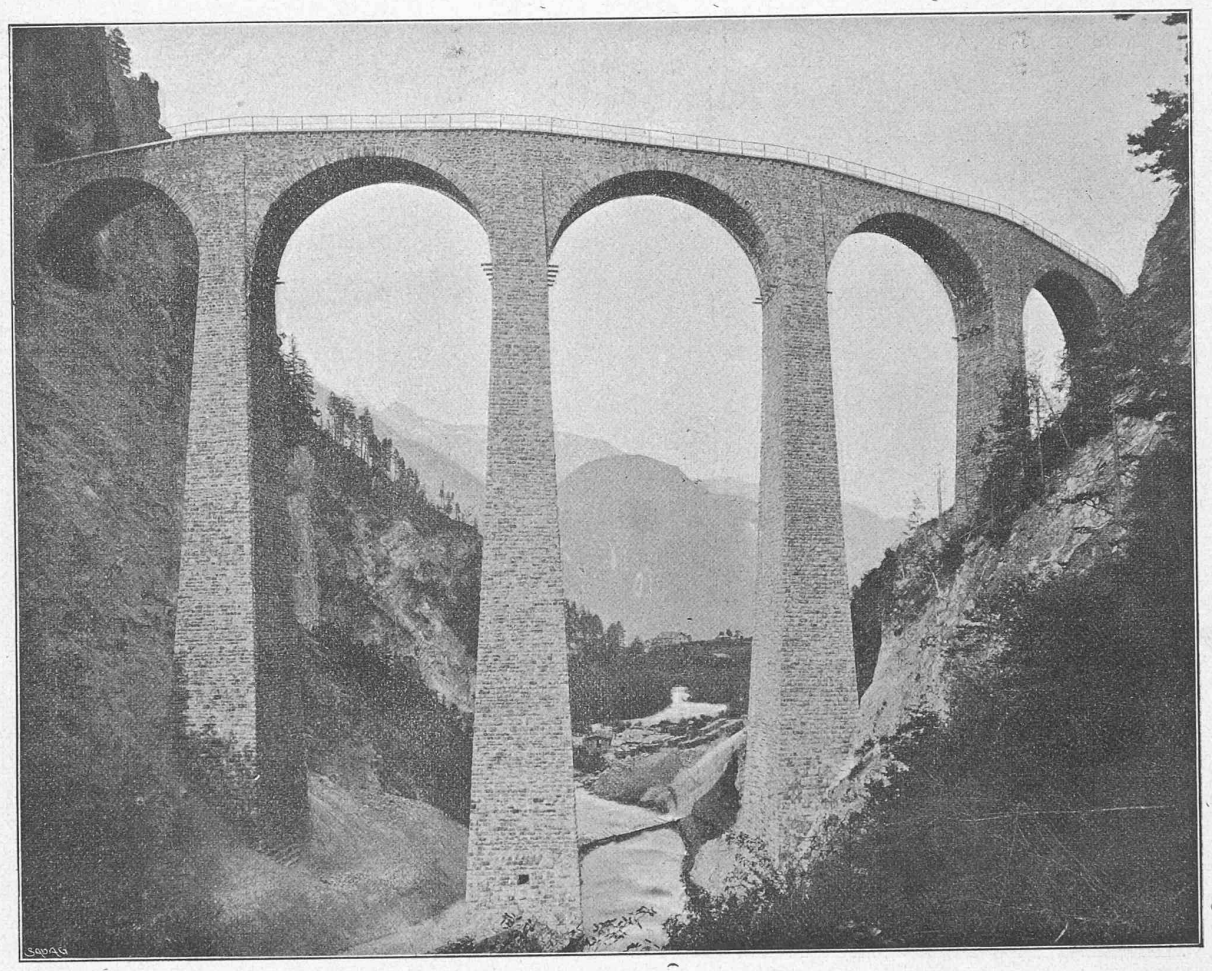


Fig. 11. — Viaduc du Landwasser. — Hauteur 65 m. Ouverture des arches 20 m.

Ouvrages d'art. — Vu le caractère exceptionnellement accidenté de cette ligne, le nombre d'ouvrages d'art que l'on y rencontre, est considérable. Outre les petits ouvrages courants, on y compte une cinquantaine de ponts et viaducs de dimensions diverses, représentant une longueur totale de 3500 m. Il est à remarquer que, à l'exception de la travée centrale du pont sur le Rhin près de Thusis et de quatre petits ouvrages dans l'Engadine, qui comportent des tabliers métalliques, tous les ouvrages sont en maçonnerie. On s'est attaché à leur donner un aspect de simplicité et de rusticité qui s'harmonise avec le caractère sauvage de la nature traversée; aussi la pierre de taille n'y apparaît-elle que dans les plinthes de couronnement, qui sont en granit du Gothard et d'Andeer (Grisons). Dans les piles des viaducs élevés, on a encore intercalé de 10 en 10 m. des assises en pierre de taille de $0^m,50$ d'épaisseur. Dans les voûtes jusqu'à 12 m. d'ouverture, on a employé des moellons ordinaires lités, dans celles de 12 à 30 m., des moellons piqués, et au delà des moellons par assises réglées.

La largeur normale des viaducs est de $3^m,60$ entre tympans et de $4^m,20$ à la hauteur du couronnement, de sorte que l'espace libre entre les garde-corps métalliques a pu être porté à 4 m.

Le premier ouvrage important à partir de Thusis est le pont sur le Rhin Postérieur, d'une longueur totale de 240 m., comprenant 6 arches en maçonnerie de 15 m. et 11 m. d'ouverture et une travée métallique centrale de 80 m. de portée. Les piles-culées supportant le tablier métallique sont fondées à environ 4 m. au-dessous du niveau de l'étiage du Rhin et reposent sur d'énormes blocs de rocher; elles sont en outre protégées par les digues longitudinales du fleuve. Le tablier métallique a un poids total de 292 tonnes, ce qui représente 3,6 tonnes de fer par mètre courant.

A signaler, au kilomètre 6,636, le viaduc du Lochtobel avec 5 arches de 16 m., dont une des piles a dû être descendue à 13 m. de profondeur pour l'asseoir sur le rocher solide, puis, au kilomètre 7,011, une belle voûte de 30 m. d'ouverture jetée sur le ravin de Mutten.

Au kilomètre 8,650, nous trouvons le pont de Solis (fig. 7, 10 et pl. 13) franchissant la gorge de l'Albula à 90 m. de hauteur au-dessus du torrent, un des ouvrages les plus intéressants tant par ses formes sveltes que par la hardiesse de ses proportions. Il a 160 m. de longueur et comprend 10 arches de 8 et 10 m. d'ouverture et une grande arche centrale en plein cintre de 42 m. de portée, ayant $1^m,40$ d'épaisseur à la clé et $2^m,60$ au joint de rupture. L'arc a été établi en trois anneaux concentriques; après le clavage du premier anneau, le sommet de l'arc s'est abaissé de 5 centimètres,

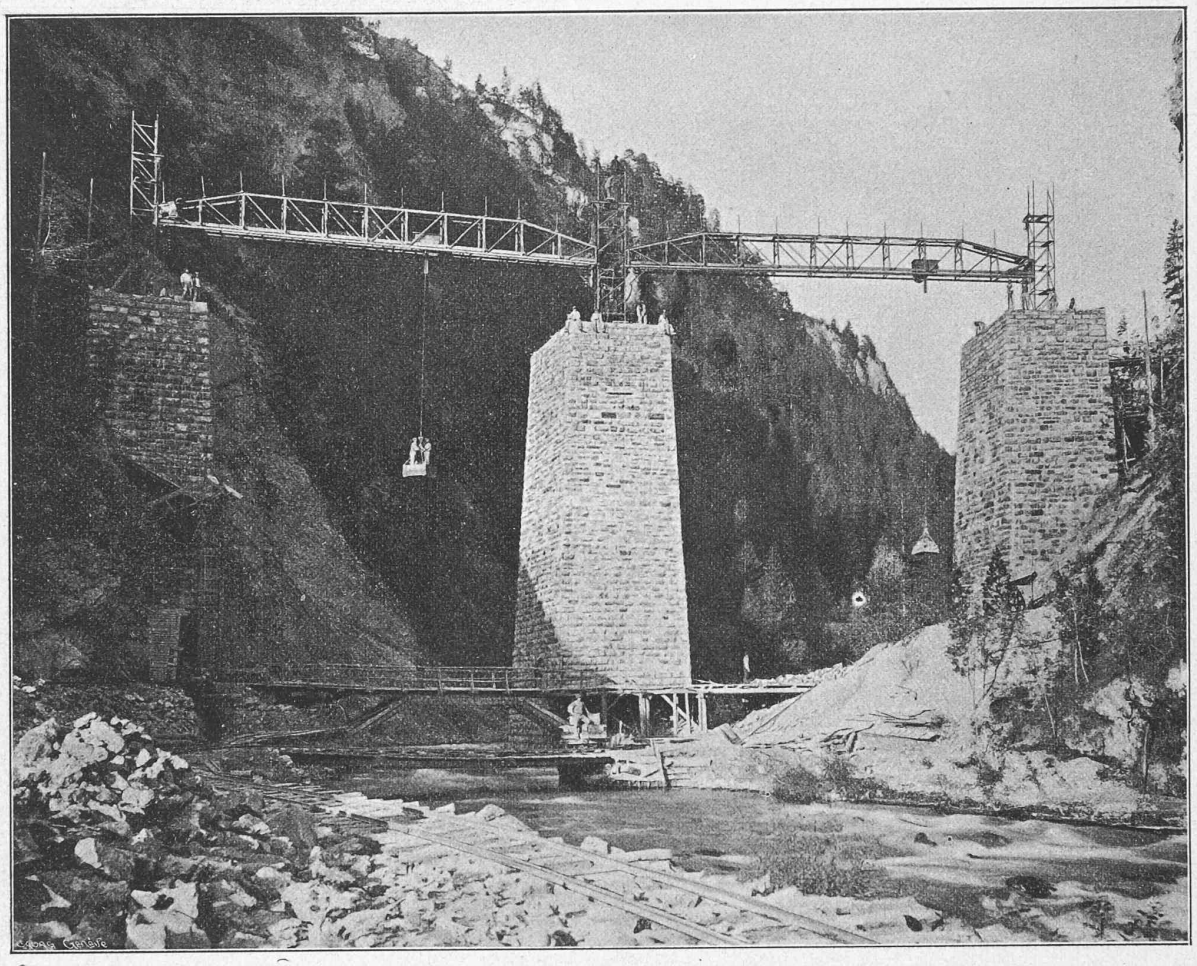


Fig. 12. — Montage des piles du viaduc du Landwasser.

par suite d'un tassement des pièces du cintre ; cet abaissement est resté sensiblement stationnaire. La maçonnerie composant les trois anneaux est en moellons piqués en assises réglées, hourdées au mortier de ciment. La pression maximum à la clé est de 24 kg. par centimètre carré. La pierre employée, un excellent calcaire, a été extraite d'une carrière à peu de distance de la ligne.

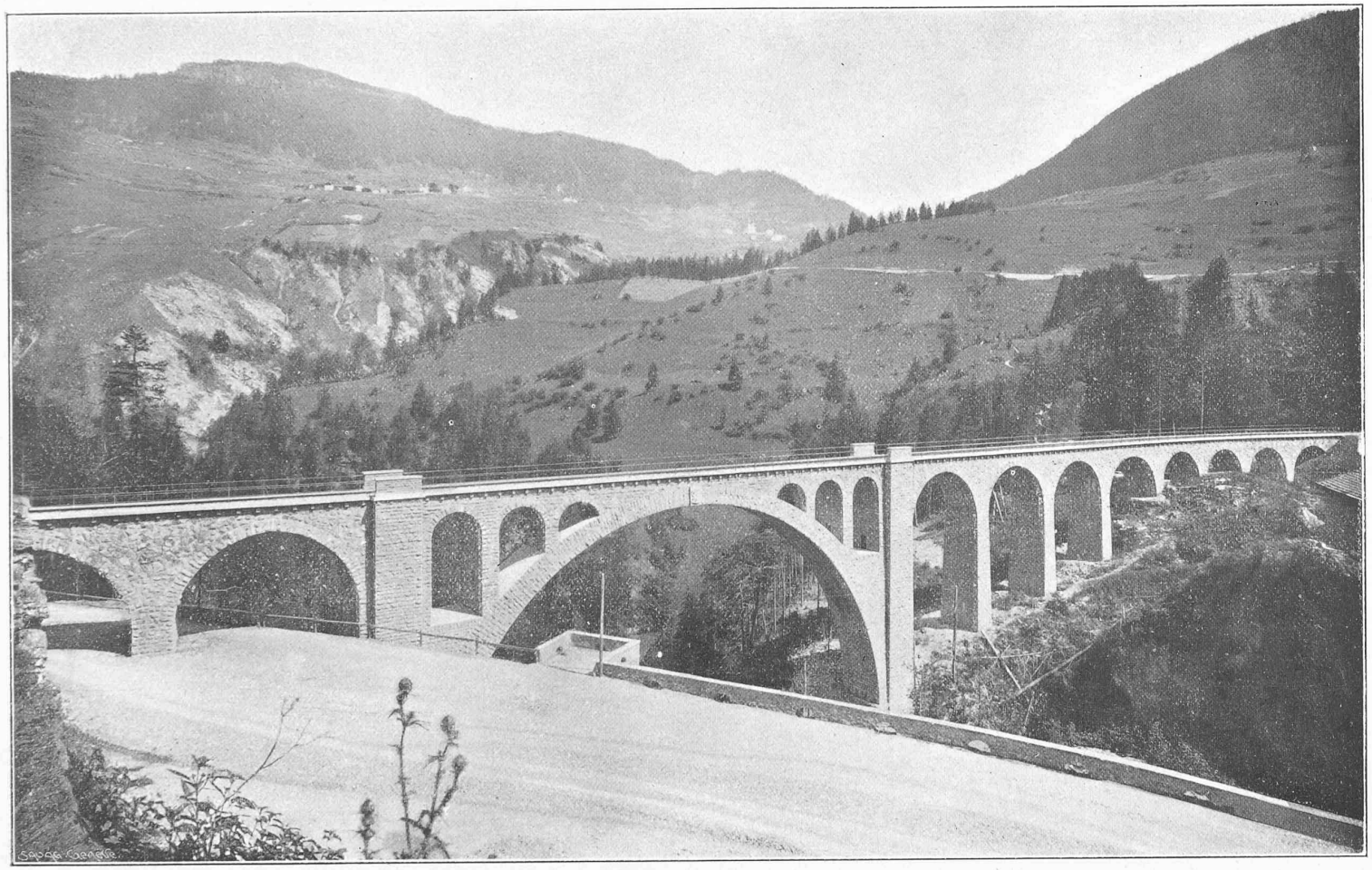
Entre autres grands ouvrages, nous trouvons sur le tronçon Alvaneu-Filisur le viaduc sur le ravin de Schmitten, de 35 m. de hauteur, avec 7 arches de 15 m. d'ouverture ; puis, à environ 500 m. de là, le viaduc sur le Landwasser (fig. 8, 11 et 12), qui est l'ouvrage le plus important de la ligne par la hardiesse de ses dimensions et par le volume de maçonnerie qu'il représente. Il a 140 m. de longueur et se compose de 6 arches de 20 d'ouverture ; sa plus grande hauteur est de 65 m. Il est établi sur la rampe de 20 ‰ et dans une courbe de 100 m. de rayon ; le choix de ce rayon exceptionnel a été dicté par des motifs d'économie, car, sauf dans deux ou trois cas, on s'en est tenu sur tout le tracé au rayon minimum de 120 m.

Les matériaux nécessaires aux piles centrales de ce viaduc ayant dû être montés depuis leur pied, celles-ci ont été construites à l'aide de deux ponts volants en fer, sur lesquels circulait un treuil roulant mu par un moteur électrique (fig. 12). Cet échafaudage, reposant sur les piles en construction, devait s'élever au fur et à mesure que celles-ci avançaient. Cette disposition a en outre beaucoup facilité la mise en place des cintres des voûtes. Les fondations, reposant sur le rocher, n'ont pas présenté de difficultés.

Citons encore, entre Bergün et Preda, quelques viaducs d'une certaine importance, tels que celui du Tischbach, de 102 m. de longueur sur 40 m. de hauteur, avec 5 arches de 8 et 20 m. d'ouverture, puis le troisième viaduc traversant la vallée de l'Albula au kilomètre 41,370 (fig. 9 et pl. 14), ayant 138 m. de longueur et 27 m. de hauteur, comportant 8 arches de 10 et 20 m.

Tunnels. — Le relief fortement accentué des terrains traversés devait nécessairement entraîner le percement d'un grand nombre de tunnels. Outre celui de l'Albula, on en compte 38, avec une longueur totale de 10161 m., dont 7742 m. avec revêtement en maçonnerie. La longueur totale des tunnels, y compris celui de l'Albula, atteint près de 16 kilomètres, ce qui représente un peu plus du 25 % de la ligne.

Sauf sur quelques parties, dans le Schyn et au-dessus de Filisur, où l'on a traversé des terrains meubles ayant nécessité des boisages, ainsi qu'au tunnel du Rugnux, en amont de Bergün, où de fortes venues d'eau à la température de



LES NOUVELLES LIGNES DU CHEMIN DE FER RHÉTIQUE. — VIADUC DE SOLIS.

10 arches de 8 et 10 m. et 1 arche centrale de 42 m. d'ouverture. Hauteur 90 m.

Seite / page

leer / vide / blank

4° ont notablement entravé la marche normale des travaux, l'établissement de ces ouvrages n'a rien présenté de particulier.

Le profil des tunnels, à l'exception de celui de l'Albula, a 4m,70 de hauteur sur 4m,30 de largeur, avec un aqueduc latéral (fig. 3).

Des niches de 2m,0 de largeur sur 1m,0 de profondeur, ménagées dans les piédroits, ont été réparties alternativement à droite et à gauche de 50 en 50 mètres.

Le tunnel de l'Albula (fig. 13), d'une longueur de 5864 m., constitue non seulement l'œuvre la plus considérable de la ligne, mais il est encore le tunnel le plus long construit jusqu'à présent pour voie étroite. Il est situé entre les stations de Preda et de Spinas, et orienté dans la direction O.-N.-O. E.-S.-E. Les terrains traversés sont, à partir de la tête Nord, d'abord les schistes marno-calcaires du trias sur 1097 m., les calcaires dolomitiques poreux ou rauwacke inférieure sur 111 m., puis les schistes argileux dits de Casanna sur 52 m., auxquels succède le granit compact du massif central, percé sur une longueur de 4346 m. A la suite, sur le versant sud, vient la moraine inférieure de l'ancien glacier du Béverin, sur 92 m., puis, pour terminer vers la tête Sud, une couche de débris granitiques s'étendant sur 168 m.

Les travaux d'attaque de la galerie de base ont été commencés aux deux têtes au mois d'octobre 1898, d'abord en régie, puis repris en janvier 1899 par l'entreprise Ronchi & Cie, avec laquelle il avait été conclu un contrat pour l'achèvement complet du tunnel dans un délai de 4 ans.

Des difficultés ne tardèrent pas à venir entraver la marche des travaux aux deux attaques. De nombreuses infiltrations d'eau survinrent du côté Nord dans les terrains précédant les schistes de Casanna et du côté Sud dans les débris granitiques, où il s'est en outre produit un éboulement dans la galerie, sur une longueur de 12 m. Les infiltrations qui, dans le premier kilomètre de la tête Nord, avaient atteint 75 litres à la seconde, augmentèrent subitement par suite d'une venue d'eau considérable qui fit irruption en avril 1900 et porta le débit total d'abord à 300 litres, pour redescendre ensuite à 215. Cette eau, par sa basse température (6° centig.), constituait une grave entrave à l'avancement du travail, les ouvriers ne pouvant pas y tenir longtemps. Les difficultés redoublèrent lorsque la galerie eut pénétré dans les dolomies, à 1100 m. de la tête Nord. La roche poreuse et crevassée, fortement imprégnée d'eau, perdait peu à peu toute cohésion, provoquant des coulées de boue dans le tunnel. La perforation mécanique dut, par ce fait-là, être suspendue le 6 juin 1900, pour ne devoir être reprise que 15 mois plus tard, lorsque la galerie eut atteint le granit. Cette traversée des dolomies, dont on n'a pu venir à bout qu'avec des efforts et des précautions inouïs, et en revêtant le tunnel au fur et à mesure de l'avancement, afin d'éviter les éboulements, a exigé plus d'une année de travail pour une longueur excavée de 110 m. seulement.

Les dépenses considérables que ces travaux avaient coûtées à l'entreprise du tunnel, et la perspective des sacrifices ultérieurs nécessaires pour achever l'œuvre dans le délai prescrit, engagèrent celle-ci à résilier le contrat, ce qui eut lieu par une transaction à l'amiable. Le travail fut alors repris le 1er avril 1901 par la compagnie et exécuté en régie, sous la direction de M. Weber, ingénieur à Zurich.

La galerie ayant enfin atteint le granit au point 1260 m. à partir de la tête Nord, le travail reprenait sa marche normale, et la perforation mécanique pouvait de nouveau être pratiquée, d'abord à l'aide de 2, puis de 3 machines.

Du côté Sud, la perforation mécanique, commencée en octobre 1900 à 323 m. de la tête, avait pu continuer sans interruption avec 3 machines, et le 29 mai 1902 les deux galeries se rencontraient à 3032 m. de la tête Nord, avec un retard d'un mois seulement sur les prévisions, ce qui peut être considéré comme un résultat favorable, vu les nombreuses difficultés auxquelles on s'est heurté, particulièrement du côté Nord, ainsi que nous venons de le voir.

Au mois de mars 1903, le tunnel était achevé de façon à recevoir la pose de la voie définitive. Commencé en octobre 1898, il a donc été achevé en quatre ans et demi.

L'avancement de la galerie de base dans le granit a été en moyenne de 6m,0 par jour et par attaque, en employant 3 perforatrices. Du côté Nord, l'avancement avait même atteint une moyenne de 7m,28 dans les deux derniers mois qui ont précédé la rencontre des galeries.

La consommation de dynamite a été en moyenne de 20 kg. par mètre courant de galerie, pour une section de 5,5 m², le nombre des trous de mine au front d'attaque étant de 9 à 10, avec une profondeur de 1m,40 à 1m,50.

On a fait usage de machines perforatrices Brandt, qui marchaient à une pression de 80 à 90 atmosphères et absorbaient de 20 à 25 chevaux-vapeur chacune.

La force motrice était produite, du côté Nord, par une chute d'eau de 75 m. pouvant fournir de 140 à 200 chevaux suivant la saison. Cette chute alimentait 6 turbines qui faisaient mouvoir 3 ventilateurs, les pompes des perforatrices et les machines des ateliers. La conduite de ventilation du tunnel avait de 350 à 400 mm., et celle amenant l'eau sous pression aux perforatrices 70 mm. de diamètre.

Du côté Sud, les installations étaient analogues, sauf que, la force hydraulique disponible étant plus faible, on a dû l'augmenter par l'adjonction de 2 locomobiles de 25 chevaux.

Sur les 5864 m. de longueur du tunnel, 3957 m. comportent un revêtement en maçonnerie. Sur une longueur d'environ 800 m., les piédroits seuls ont été revêtus, le rocher de la calotte ayant été trouvé suffisamment résistant.

Le profil du tunnel de l'Albula a des dimensions un peu plus fortes que celui des autres tunnels; sa largeur est de 4m,50 et sa hauteur 5m,00 au-dessus des traverses (fig. 13).

Outre les petites niches ménagées dans les piédroits, espacées de 50 en 50 m. et disposées alternativement à droite et à gauche, il a été établi, à des intervalles de 1 kilomètre, des chambres de 6 m. de longueur sur 3 m. de largeur, destinées aux ouvriers. Ces chambres sont pourvues d'un téléphone, permettant de communiquer avec les sta-

TUNNEL DE L'ALBULA

Longueur 5864 m.

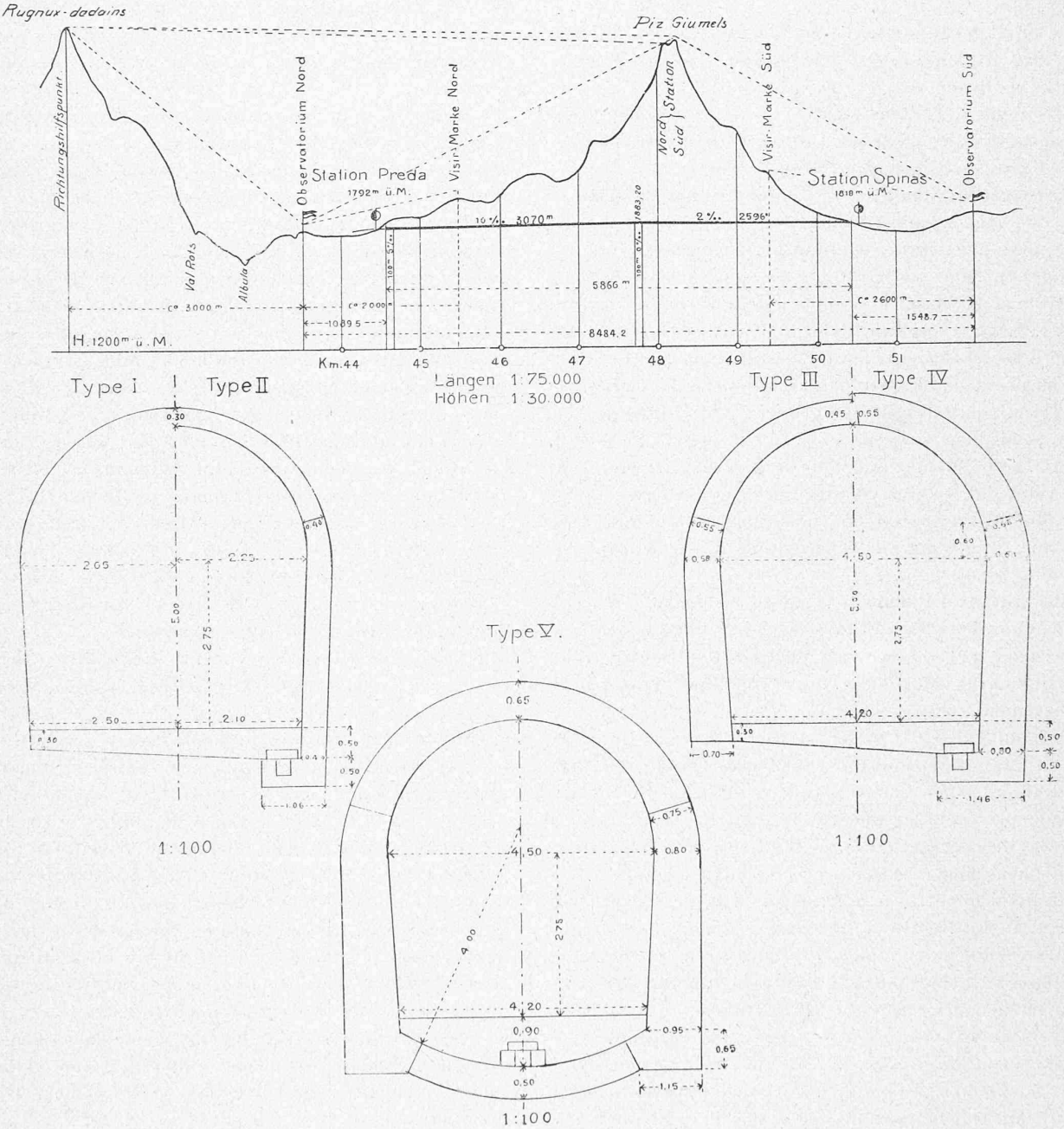


Fig. 13. — Profil en long et sections transversales.

Surfaces des diverses sections.

Désignations.	Types				
	I	II	III	IV	V
	m²	m²	m²	m²	m²
Espace libre	24.77	19.91	19.91	19.91	19.91
Aqueduc et fondation des piédroits	0.53	0.53	0.68	0.73	0.23
Ballast et dalle de l'aqueduc	2.13	1.75	1.75	1.75	2.63
Voûte du radier	—	—	—	—	1.85
Piédroits	—	3.04	4.78	5.57	7.99
Voûte de la calotte	—	2.20	3.26	4.00	4.74
Excavation totale	27.43	27.43	30.38	31.96	37.35

tions de tête du tunnel, et portent à leur entrée une lanterne-signal.

Le débit d'eau constant fourni par le tunnel est, à la tête Nord, de 244 et, à la tête Sud, de 75 litres par seconde.

La température de l'air, mesurée à l'avancement avant la rencontre des galeries, a été trouvée de 14 à 15° centigrades.

Superstructure. — La voie est composée de rails en acier d'une longueur normale de 12 m., et du poids de 25 kg. le mètre sur le tronçon Thusis - Filisur et de 27 kg. sur le restant de la ligne. Les traverses sont en fer, du poids de 37 kg., sauf sur quelques voies secondaires de stations et dans le grand tunnel, où l'on a posé des traverses en chêne imprégnées.

L'attache des rails sur les traverses métalliques consiste dans l'emploi de plaques de serrage, pressées contre le patin par un boulon à crochet. Sur les traverses en bois, l'attache a lieu à l'aide de 3 crampons, avec interposition d'une selle en fer. Il y a 16 traverses par longueur de rail ; le joint, en porte-à-faux de $0^m,37$ de portée, est muni de fortes éclisses à cornière portant 4 boulons.

L'angle des branchements de voie est de 1 : 7 et les distances d'axe en axe des voies sont de $4^m,0$. La somme des voies d'évitement et secondaires représente le 13 % de la longueur de la ligne.

Le surécartement maximum des rails, qui a lieu dans les courbes de rayon inférieur à 150 m., est de 24 mm., et le dévers de la voie, auquel participe aussi la plateforme des terrassements et des ouvrages d'art, atteint son maximum de $0^m,125$ dans les courbes de 100 m. de rayon.

Bâtiments et accessoires. — Le type courant des bâtiments des stations est le même que celui employé sur l'ancien réseau, soit bâtiment des voyageurs avec halle aux marchandises attenante, le tout en bois, sur fondation en maçonnerie. Seuls les bâtiments des voyageurs de Bevers, Samaden, Celerina et St-Moritz sont en maçonnerie, eu égard aux conditions climatériques de l'Engadine et au prix plus élevé des bois de construction.

Le service de l'exploitation a exigé l'établissement de 3 remises à locomotives, 2 remises à voitures, 6 stations d'alimentation comprenant 10 grues hydrauliques, 7 plaques tournantes pour locomotives, ainsi que des ateliers de réparations avec dépôt de machines à Samaden.

Dépenses. — Les dépenses d'établissement de la ligne de Thusis à St-Moritz se décomposent comme suit :

1. Frais d'organisation et d'administration	Fr.	1 320 000
2. Intérêts du capital d'établissement . .	»	525 000
3. Expropriations	»	525 000
4. Infrastructure	»	17 814 000
5. Superstructure	»	1 601 000
6. Bâtiments et accessoires	»	943 000
7. Télégraphe, signaux et divers . . .	»	123 000
8. Matériel roulant	»	1 600 000
9. Mobilier et ustensiles	»	100 000
Total	Fr.	24 551 000

Soit environ 398 000 fr. par kilomètre.

L'infrastructure seule est revenue à 289 000 fr. le kilomètre. Si l'on en déduit le coût du tunnel de l'Albula, soit 7 070 000 fr., l'infrastructure du reste de la ligne, qui a absorbé 10 744 000 fr., revient à 191 000 fr. le kilomètre.

Le prix du mètre courant du grand tunnel a été de 1200 fr. et celui des petits de 400 fr. en moyenne.

Cette dépense, considérable pour un chemin de fer à voie étroite, s'explique par les difficultés de tous genres que l'on a dû surmonter dans un pays aussi accidenté. En effet, à côté des nombreux tunnels et ouvrages d'art décrits plus haut d'une façon sommaire, il a été remué 1 250 000 m^3 de terrassements et construit 75 000 m^3 de murs à sec et 18 000 m^3 de murs à mortier.

Si nous passons aux ouvrages d'art, nous trouvons que les viaducs ont coûté en moyenne et suivant les profondeurs de fondations, de 40 à 45 fr. par mètre carré d'élévation comptée à partir du sol. La grande arche du pont de Solis, y compris les 2 piles-culées, est revenue à 52 fr. par m^2, la surface d'élévation comptée à partir des naissances de la voûte. Le viaduc entier est revenu à 123 000 fr., y compris le cintre de l'arche centrale, qui constituait déjà par lui-même uue partie coûteuse de l'ouvrage.

Le viaduc du Landwasser, avec ses 9200 m^3 de maçonnerie, a coûté 260 000 fr., soit 48 fr. 50 par mètre carré d'élévation, et le pont du Rhin près de Thusis, avec sa travée métallique de 80 m., 250 000 fr.

II. — Ligne de Reichenau à Ilanz.

Longueur 19,4 kilomètres (fig. 1).

Tracé et déclivités. — Le tracé se détache de la ligne de Coire à Thusis à 600 mètres à partir de la station de Reichenau, traverse le Rhin Antérieur sur un pont métallique de 55 m. d'ouverture, puis s'engage dans les gorges sauvages où le Rhin s'est creusé un lit à travers les éboulements préhistoriques du Flimserberg. Tandis que, sur la ligne de l'Albula, le tracé côtoie généralement le flanc de la montagne, ici, il suit le fond de la vallée bordée de chaque côté de hautes parois escarpées, en partie boisées et en partie formant de grandes surfaces d'érosion, et longe le Rhin, d'abord sur la rive gauche sur environ 7 kilomètres de longueur, puis sur la rive droite jusqu'à Ilanz.

De ces hautes parois, parfois fortement déchiquetées et qui sont formées d'éboulis comprimés en une sorte de conglomérat très compact, se détachent fréquemment des pierres, surtout à l'époque du dégel. Ces éboulis ont nécessité de tenir le tracé, en quelques endroits, à une certaine distance du pied de la montagne, en le reportant du côté du Rhin, de façon à ménager entre deux des plateformes en contre-bas de la voie pour recevoir ces matériaux. Dans les parties particulièrement exposées, on a élevé le long de la voie des parois de défense de $3^m,50$ de hauteur, consistant en poutrelles métalliques verticales fondées sur maçonnerie et entre lesquelles ont été enchâssées horizontalement des pièces de bois rond de $0^m,20$ de diamètre. Ailleurs on a élevé, le long de la voie, des murs-digues, dont un entre autres a 100 m. de longueur sur $6^m,0$ de hauteur.

Le choix de ce tracé longeant le Rhin a nécessité des travaux considérables de défense de rives, consistant en perrés protégés par des enrochements ; ces perrés ont été exécutés sur une longueur de 6 kilomètres et ont absorbé 105 000 m³ de pierres.

Au kilomètre 3,630, les perrés sont interrompus par le passage de la ligne dans un tunnel de 298 m. de longueur, auquel succède la station de Trins (611m,95).

Au kilomètre 6,034, autre tunnel de 422 m., puis, à 1500 m. de là, un deuxième pont métallique de 60 m. d'ouverture sur le Rhin, suivi d'un petit tunnel de 83 m.

Le tracé passe ensuite à la station de Versam (638m,37), puis traverse entre les kilomètres 13 et 15 des terrains composés de schistes délités transformés en marne, qui ont exigé de grands travaux d'assainissement avant que l'on pût y asseoir le corps de la voie.

Les stations que l'on rencontre encore, sont Valendas-Sagens (672m,0), puis Kästris, qui constitue le point culminant de la ligne à une altitude de 708m,50. De là le tracé descend avec une rampe de 5 ‰, franchit le Glenner sur un pont métallique de 37 m. d'ouverture pour aboutir à la station terminus d'Ilanz (701m,50).

Les localités de Trins, Versam, Valendas et Sagens étant situées à des hauteurs variant de 110 à 270 m. au-dessus de leurs stations respectives, il a fallu établir des routes d'accès très coûteuses, avec rampes maxima de 12 à 13 %. Ces voies de communication, dont les longueurs varient de 1700 à 3100 m., ont été classées dans le réseau des routes communales.

La rampe maximum employée sur la ligne de Reichenau à Ilanz est de 10 ‰, et le rayon minimum des courbes de 120 m. La somme des alignements droits représente le 47 % et celle des courbes le 53 % de la longueur totale.

Ouvrages d'art. — Les principaux ouvrages d'art que l'on rencontre sur cette ligne sont d'abord, au kilomètre 1,170, un pont métallique de 55 m. sur le Rhin Antérieur, avec 2 arches de rive en maçonnerie de 10 et 12 m. d'ouverture. La culée de gauche a pu être fondée sans difficultés sur le roc calcaire ; celle de droite, descendue au travers d'un banc de gravier jusqu'à 2m,0 au-dessous du lit du Rhin, a exigé des épuisements assez laborieux. Le tablier métallique est de forme tubulaire et pèse 137 tonnes.

Le second pont sur le Rhin, au kilomètre 7,950, comporte un tablier métallique de 60 m. d'ouverture, de section tubulaire également et du poids de 142 tonnes. Les culées ont été fondées sur le conglomérat à 1 m. au-dessous du lit du Rhin et sont en outre protégées contre les flots du torrent par des perrés et des enrochements.

Au sortir de la station de Valendas, la nouvelle route d'accès au village de Sagens franchit le Rhin sur un pont métallique de 60 m. d'ouverture, d'un poids de 78 tonnes.

La traversée du Glenner, au kilomètre 19,050, a lieu à l'aide d'une travée métallique de 37 m. d'ouverture, avec poutres en garde-corps ; son poids est de 57 tonnes.

Entre autres ouvrages courants, on peut citer encore 2 ponts voûtés, de 12 et 15 m. d'ouverture, et un viaduc à flanc de coteau, composé de 12 arches de 6 m., qui a remplacé un mur de soutènement primitivement prévu le long du Rhin.

Tunnels. — Les trois tunnels de cette ligne, d'une longueur totale de 803 m., ont été percés dans le conglomérat et revêtus sur toute leur longueur. Leur exécution n'a pas présenté de difficultés particulières.

Superstructure. — Le type de voie est le même que sur la ligne de Thusis à St-Moritz, avec emploi du rail de 25 kg. le mètre.

L'aiguille de bifurcation placée en pleine voie sur la ligne de Coire à Thusis est enclenchée avec deux disques de protection et un sémaphore, qui la couvrent dans les directions de Thusis, d'Ilanz et de Coire. Ces trois signaux sont reliés par un courant électrique avec des appareils de contrôle répétiteurs à voyant, placés à la gare de Reichenau et qui indiquent à chaque instant la position de ces signaux ainsi que celle de l'aiguille de bifurcation.

Bâtiments et accessoires. — Les bâtiments des stations sont du même type que ceux de la ligne de Thusis à St-Moritz, sauf qu'à Ilanz le bâtiment des voyageurs est en maçonnerie.

A chaque tête de ligne se trouvent une prise d'eau et une plaque tournante. Reichenau possède en outre une remise pour une locomotive.

Dépenses. — Les dépenses d'établissement de la ligne de Reichenau à Ilanz se décomposent comme suit :

1. Frais d'organisation et d'administration	Fr.	300 000
2. Intérêts du capital d'établissement . .	»	200 000
3. Expropriations	»	125 000
4. Infrastructure	»	3 000 000
5. Superstructure	»	462 000
6. Bâtiments et accessoires	»	165 000
7. Télégraphe, signaux et divers . . .	»	37 000
8. Matériel roulant	»	316 000
9. Mobilier et ustensiles.	»	28 000
Total	Fr.	4 633 000

Soit environ 240 000 fr. par kilomètre.

L'infrastructure, dans laquelle les travaux d'endiguement du Rhin figurent pour 725 000 fr., est revenue à 160 000 fr. le kilomètre.

Le mètre courant de tunnel a coûté en moyenne 375 fr.

* * *

Nous ne voulons pas terminer cette description sans mentionner ici le nom de l'éminent ingénieur en chef, M. Hennings, qui a dirigé les études et l'exécution des deux lignes de Thusis à St-Moritz et de Reichenau à Ilanz avec autant de compétence que d'habileté.

Coire, novembre 1903.