

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 58 (1932)

Heft: 14

Artikel: L'electrification de la ligne Delémont-Delle

Autor: Lob, Edmond

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-44855>

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: 26.01.2026

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

Le dernier alinéa de l'article 21, N° 8 du règlement de police pour la navigation du Rhin ayant trait à l'emploi, à titre d'essai, de projecteurs, qui avait été mis en vigueur le 1^{er} août 1929 pour la durée de deux ans, a été maintenu provisoirement pour une nouvelle période de cinq ans, à compter du 1^{er} août 1931.

Enfin l'article 23, N° 2, relatif à la conduite à tenir par le conducteur d'un bateau échoué ou coulé, a été modifié, de même que le texte allemand du chiffre 4 du même article. L'article 12 du règlement de visite des bateaux du Rhin a subi des modifications de pure forme.

(A suivre.)

L'Electrification de la ligne Delémont-Delle,

par M. Edmond LOB, ingénieur.

Le 27 février dernier, la Direction du 1^{er} Arrondissement des C. F. F. a convié la presse du Jura bernois à une visite des travaux exécutés actuellement dans le tunnel de la Croix.

M. Ed. Savary, directeur, a su en un exposé clair et précis, faire valoir très justement les efforts consacrés par les C. F. F. pour venir en aide à l'industrie et à la main-d'œuvre suisses dans une période de marasme économique sans précédent. Il rappela également que la Suisse se place au premier rang des nations pour ce qui concerne l'électrification de son réseau ferroviaire. Dans une énumération détaillée des différents postes qui constituent le budget prévu pour l'électrification de la ligne Delémont-Delle, il indiqua les dépenses occasionnées par ces travaux et qui se montent à environ 10 millions de francs, dont plus de deux millions seront absorbés pour la réfection des tunnels.

La ligne de chemin de fer qui relie Delémont à Delle, a été construite dans les années 1873-1877 en trois tronçons (fig. 1) :

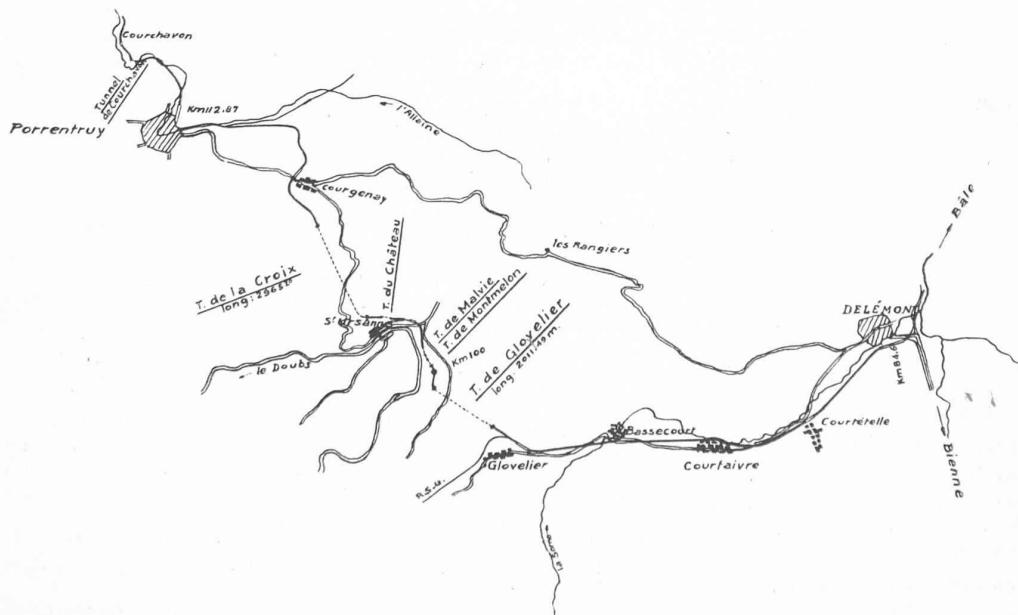


Fig. 1. — Plan de situation des tunnels de la ligne Delémont—Delle. Echelle 1 : 200 000.

1. Delle—Porrentruy, par une compagnie française ; mis en exploitation le 23 septembre 1872 et racheté le 30 décembre 1875 par le canton de Berne.

2. Glovelier—Delémont, par le Jura—Berne—Lucerne ; mis en exploitation le 15 octobre 1876.

3. Glovelier—Porrentruy, également par le Jura—Berne—Lucerne et ouvert à l'exploitation le 30 mars 1877. Elle devint en 1900, lors de la nationalisation des chemins de fer, propriété des C. F. F., pour être administrée par ceux-ci à partir du 1^{er} mai 1903.

Au moment de la construction de la ligne, deux principaux tracés se sont trouvés en présence. Le premier passant par Glovelier—Saint-Ursanne—Courgenay, qui fut exécuté par suite de la participation financière des communes intéressées. Le deuxième tracé empruntait la ligne actuelle de Delémont à Glovelier pour bifurquer en ce lieu sur la droite en un angle droit et passait au-dessus du village de Boécourt, se dirigeant ensuite vers l'Ajoie en passant en tunnel sous les Rangiers, pour redescendre vers Cornol et Courgenay. Ce tracé avait le grand désavantage de délaisser complètement le Clos-du-Doubs.

Le profil en long général présente d'assez fortes déclivités variant du palier à 16 %o. La ligne part de Delémont à la cote 416 m pour monter jusqu'au tunnel de Glovelier à la cote maximum de la ligne 523,40 m, pour redescendre à Saint-Ursanne gare, à la cote 495 ; de là, elle remonte jusqu'au tunnel de la Croix où elle atteint l'altitude 522,70 m et se dirige ensuite sur Delle, à la cote 370,70 m (fig. 1). La longueur de la ligne Delémont—Delle est de 40 km, dont 5834,65 m en tunnels. Son tracé en simple voie sur tout le parcours comporte d'importants travaux d'art.

Avant d'introduire la traction électrique prévue pour le printemps 1933, il a fallu procéder, tout d'abord, à des travaux préliminaires longs et coûteux ; ceux-ci consis-

tent dans le renforcement ou le remplacement des ponts et des viaducs et dans la mise en état au profil d'électrification, des tunnels. La première partie de ces travaux, c'est-à-dire la reconstruction ou le renforcement des ponts, est actuellement achevée. Le plus grand de ces travaux fut la reconstruction du viaduc de la Combe-Maran près de Saint-Ursanne, qui a coûté 1 100 000 francs.

Nous ne nous occuperons par la suite que des tunnels, de sorte que nous laisserons de côté la ligne Delémont—Glovelier. De

cette dernière station à Delle, nous rencontrons les tunnels suivants :

1. *Tunnel de Glovelier* : entre les stations de Glovelier et Saint-Ursanne, longueur 2011,49 m.
2. *Tunnel de Montmelon* : entre les deux villages du même nom, longueur 222,63 m.
3. *Tunnel de Malvie* : à 150 m du précédent, longueur 212,53 m.
4. *Tunnel du Château* : au-dessus de Saint-Ursanne, longueur 230,03 m.
5. *Tunnel de la Croix* : entre les stations de Saint-Ursanne et Courgenay, 2965,70 m.
6. *Tunnel de Courchavon* : à proximité de la station de même nom, longueur 194,07 m.

La longueur totale des tunnels est donc de 5834,65 m. Les cinq premiers construits par la Compagnie du Jura—Berne—Lucerne, ont la calotte en forme d'arc de cercle, celui de Courchavon a été exécuté en profil normal ovoïde, en usage à l'époque à la Compagnie des chemins de fer du P.-L.M. Le gabarit de ces tunnels est en général trop faible pour la traction électrique mais suffisant pour celle à vapeur. Pour le passage des locomotives électriques et pour la ligne aérienne, de contact, il est nécessaire d'avoir une hauteur libre minimum de 5,20 m entre le dessus du rail et le faîte de la voûte (fig. 3). Si ce profil n'existe pas, on doit le créer et pour cela deux solutions se présentent : l'obtention de l'espace libre par le haut ou par le bas. Comme tous les tunnels de ce réseau sont complètement revêtus de maçonnerie, à l'exception d'une petite longueur dans le tunnel de Glovelier, on a renoncé à l'obtention de la hauteur libre nécessaire par la démolition du faîte de la voûte et c'est le procédé inverse qui fut adopté, c'est-à-dire l'abaissement plus ou moins grand de la voie.

L'étude du profil normal tel qu'il fut exécuté (fig. 3) montre qu'il aurait amplement suffi pour le passage du gabarit de l'électrification. Néanmoins, des levés très exacts permettent de constater, par exemple dans le tunnel de la Croix, qui est le plus long de tous, que la voie doit être abaissée sur toute sa longueur et ceci jusqu'à la valeur maximum de 55 cm. Il est à supposer que lors de la construction, la voie fut posée à sa hauteur normale et que c'est sous l'influence de phénomènes, que nous allons étudier par la suite, qu'elle fut soulevée.

A l'inverse des deux grands tunnels¹ de la ligne du Jura neuchâtelois, celui des Loges et du Mont-Sagne, nous trouvons ici dans le tunnel de Glovelier (2009,49 m) et celui de la Croix (2965,70 m) le phénomène caractéristique de la poussée vers le haut du radier, telle que la

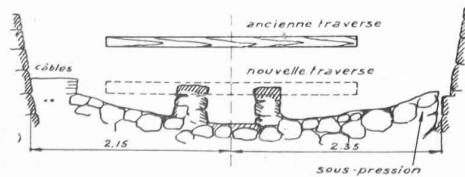


Fig. 2. — Coupe en travers de l'ancien radier 1 : 75.

¹ Voir *Bulletin technique* du 19 avril 1930, page 96, la description des travaux d'électrification de ces tunnels. — Réd.

constatation en fut faite dans les principaux tunnels du Jura : tunnel de base du Hauenstein, celui de Granges et du Weissenstein.

Si nous considérons la coupe géologique des tunnels de Glovelier et de la Croix, nous voyons que ces tunnels traversent, sur leur plus grande longueur, des couches de marne. Le constructeur se rendit bien compte du danger de cette roche marneuse en prévoyant un radier voûté. Malheureusement, le radier, fait en maçonnerie de pierre brute, fut trop faible. Les joints des pierres furent incomplètement remplis de mortier et par la suite laissèrent passer l'eau. Celle-ci, au contact de la marne, accéléra sa décomposition, ce qui eut pour effet de former les poussées typiques signalées plus haut. Le canal d'assainissement qui fut construit à même le radier voûté (fig. 2) est dans le même état que ce dernier, ce qui fait que l'eau qui doit s'y trouver, coule au travers du radier démolie pour pénétrer ensuite dans la marne. Celle-ci rendue humide par l'infiltration d'eau, accélérera sa décomposition, ce qui aura pour conséquence une augmentation de la poussée et le déplacement de la voie vers le haut. Il s'ensuit le remplacement de l'ancien radier par un nouveau, afin d'éviter d'autres dommages à la maçonnerie du tunnel. Il est formé d'une voûte en moellons du Jura de 40 à 50 cm d'épaisseur ou de pierres artificielles silico-calcaires, de Hunziker à Olten, avec un rayon de 4,50 et 6 m. Au-dessus, se trouve un béton de remplissage dans lequel vient se placer, au côté droit du tunnel, le canal. Ce béton de remplissage, forme masse avec la voûte et répartit uniformément les chocs des lourdes locomotives électriques sur le sous-sol. La plateforme supérieure de ce béton de remplissage est inclinée vers le canal, afin que toutes les eaux d'infiltration puissent s'y rassembler (fig. 3). Le canal fut déplacé du milieu au côté droit, l'expérience ayant démontré que lorsqu'il se

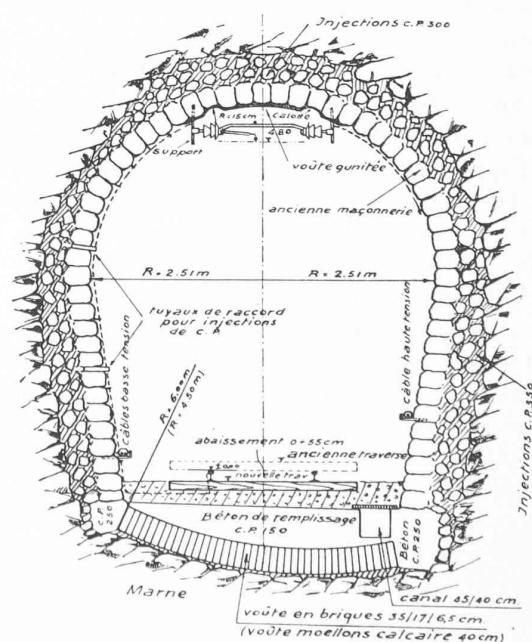


Fig. 3. — Ancienne maçonnerie, avec nouveau radier.
Echelle 1 : 100.

trouve sous la voie, son accès est très difficile et par suite, son contrôle ainsi que son nettoyage sont presque impossibles.

Une autre opération non moins importante nécessitée par l'électrification, est l'étanchement de la voûte. Tout filet ou goutte d'eau tombant sur la ligne aérienne peut, aux environs des portails dans les grands tunnels, ou sur toute la longueur, dans les tunnels de 200 à 300 m former en hiver des glaçons qui provoqueront des mises à la terre ou court-circuits. Un filet d'eau d'une certaine importance aura le même effet le reste de l'année. Il est donc nécessaire d'éviter cette humidité. On profite, dans les parties où cette protection du fil est exécutée, de le faire sur une largeur suffisante pour protéger en même temps les rails et les traverses (fig. 3). Cet étanchement est obtenu de deux manières :

1^o par des injections ; 2^o par l'application d'un enduit au faîte de la voûte.

Les injections qui serviront aussi à la consolidation de la maçonnerie, se font par l'introduction entre le revêtement en moellons et le rocher, de mortier liquide, sous une pression de 5 atmosphères. Le vide compris entre la maçonnerie et la roche est partiellement rempli de pierres sèches, comme cela se pratiquait à l'époque de la construction du souterrain. Cette maçonnerie, vieille d'environ soixante ans, a souffert des gaz, de l'eau, des poussées de la marne et doit être renforcée ou renouvelée. L'injection aura pour effet la formation d'un conglomérat compact et très résistant ainsi que l'amélioration des joints vides qui se trouveront remplis de mortier. La proportion de mélange entre sable et ciment est de 1 ½ à 1 à 5 en moyenne 1 : 3,5. La quantité de mortier liquide injecté est variable suivant l'état de la maçonnerie et peut passer de 10 m³ à ½ m³ au mètre courant.

Une autre conséquence très importante de cette opération est la répartition régulière sur tout le profil, des poussées. Toutes les parties fortement humides de la voûte ainsi que toutes les surfaces ayant subi l'influence des poussées seront ainsi traitées par injections.

L'obtention de l'étanchéité proprement dite consiste dans l'application d'un enduit de 2 à 5 cm d'épaisseur sur le faîte de la voûte, qu'elle soit revêtue ou non. Cet enduit n'est pas appliqué à la main mais à l'aide d'un « canon » projetant sur la surface à étancher, le matériel sous 4 atmosphères de pression.

Un tel procédé revient meilleur marché et possède le grand avantage d'être beaucoup plus rapide qu'un nouveau jointoyage de la maçonnerie à l'aide d'un mortier imperméable. Une précaution *sine qua non* pour une bonne adhésion de cet enduit, consiste dans le nettoyage préalable de la surface à étancher pour y enlever la suie qui la couvre. Le même appareil assure ce nettoyage au moyen d'un jet de sable et d'eau. Le sable et le ciment sont réunis à sec dans un mélangeur et sont transportés par l'air comprimé dans un tuyau jusqu'au cône de sortie, pour être là, mélangés avec de l'eau au moyen d'une conduite spéciale et sous pression. On peut exécuter en

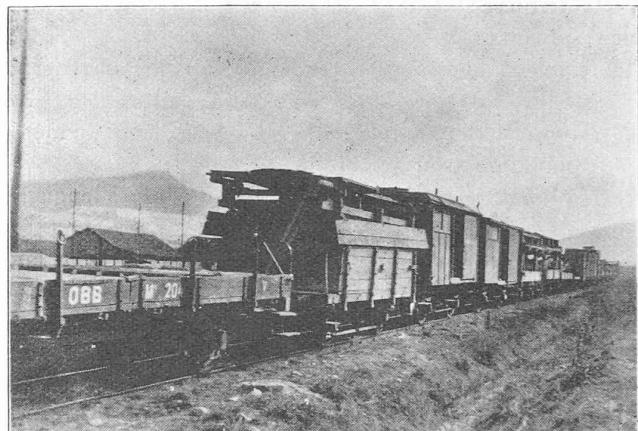


Fig. 4. — Composition de train de service prête au départ.

une nuit de travail et suivant l'humidité de la voûte, 4 à 8 m de tunnel, sur une largeur de 2,20 m. Bien souvent, un seul de cet enduit de gunite est insuffisant et il est alors nécessaire d'appliquer une seconde ou plusieurs couches jusqu'à l'obtention d'un étanchement parfait.

Outre ces travaux principaux, il sera procédé :

1. A la reconstruction de l'ancienne maçonnerie dans les parties les plus défectueuses.

2. Au réglage du canal dans les parties non reconstruites.

3. A la pose, aux piédroits des tunnels, des supports pour les câbles à basse tension à gauche à 15 cm au-dessus du rail et pour celui à haute tension (câble d'alimentation) à 75 cm au-dessus du rail (fig. 3).

4. A la pose des boulons de scellement pour supports de la ligne de contact.

5. Enfin à différents petits travaux.

L'exécution de ces travaux se trouve compliquée par le fait que l'obligation de maintenir l'exploitation normale de la ligne exige le travail de nuit. Le plus long temps nocturne disponible est laissé entre le passage du train 143, départ de Delémont à 23 h. 52 et le 1663 passant à Courgenay à 5 h. 35 du matin. La durée effective du travail (stationnement des trains de travaux dans les tunnels) est de quatre heures. Il y a lieu de tenir compte également des retards qui peuvent être occasionnés par les trains internationaux et les trains de saison qui raccourcissent encore ce temps disponible. D'autre part, le maintien de l'exploitation normale met l'entreprise dans l'obligation de rendre son installation mobile. Ne pouvant laisser entreposer dans les tunnels les matériels, échafaudages, etc., toute l'installation doit être montée sur wagons. A cet effet, deux trains sont formés durant la journée à Delémont, soit l'un destiné au tunnel de Glovelier, l'autre à celui de la Croix. Ils se composent de 50 à 60 wagons (échafaudages, ballastières, machines à injections, à guniter, etc.) et partent de Delémont à 21 h. 30 et 22 h. 15 pour y rentrer le matin à 5 h. 40, respectivement 6 h. 04. Après le croisement du direct 143 en gare de Glovelier et Courgenay, les trains de travaux

peuvent seulement entrer dans les tunnels afin de commencer le travail effectif.

L'outillage et les machines (marteaux perforateurs et piqueurs, bourre-ballast, machines à guniter et à injecter, etc.) sont actionnés par l'air comprimé fourni au tunnel de la Croix par deux compresseurs rotatifs de la « Fabrique suisse de locomotives et machines à Winterthour ». Ces compresseurs débiteront 18 m³ d'air par minute, à la pression de 5 atm ; ils sont installés au portail sud du tunnel d'où part une conduite de 120 mm alimentant tout le tunnel, avec prise tous les 30 m. Pour le tunnel de Glovelier, une installation identique existe au portail nord. A la fin des travaux de ce tunnel, le compresseur disponible accouplé aux précédents, permettra de disposer d'un débit global de 26 m³/minute d'air comprimé.

Actuellement, 210 ouvriers sont occupés sur les différents chantiers ; plus des $\frac{2}{3}$ sont des chômeurs de la région. A titre indicatif, nous donnons ci-dessous un aperçu des quantités de matériaux déjà employés à ce jour, tous de provenance suisse :

30 000 sacs de ciment
120 000 briques artificielles
1 400 m ³ de sables
4 000 m ³ de sables tout-venant
200 m ³ de bois
1 600 kg de cheddite
22 000 détonateurs
32 000 m de mèche.

Nous allons décrire brièvement les principaux travaux qui sont exécutés ou à faire dans chaque tunnel :

Tunnel de Glovelier, longueur 2011,49 m.

Le tunnel de Glovelier, comme presque tous les grands tunnels du Jura, a été construit en dos d'âne. Sa réfection fut mise en chantier au mois d'avril 1931 et se trouve sur

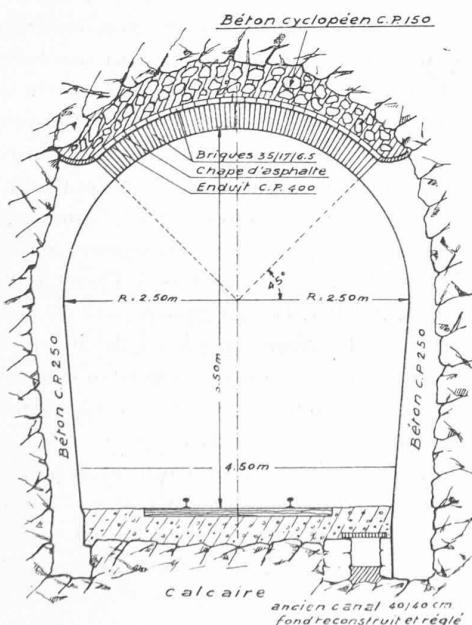


Fig. 5. — Tunnel de Glovelier. Nouveau profil normal.
Echelle 1 : 100.

le point d'être terminée actuellement. La partie sud, d'une longueur de 700 m, est quasi horizontale (pente de 0,95 ‰ vers Glovelier), la partie nord a une pente de 5,21 ‰ en moyenne.

Du portail sud km 97,400 au km 98,200, ce souterrain traverse des couches calcaires du Jura supérieur, de là au portail nord km 99,412, nous rencontrons la marne (Bathonien, Lias et Keuper). Dans cette partie, il fut nécessaire de reconstruire le radier, soit sur une longueur de 1139 m. Sur une distance de 100 m environ (km 98,400 au km 98,500) le radier existant fut trouvé détruit et le canal érasé par suite du phénomène relaté plus haut. Cette reconstruction aurait dû être faite même si l'électrification n'était pas intervenue. Le portail sud côté Glovelier fut entièrement reconstruit et avancé de 2 m, afin de permettre la captation d'une importante source et pour la protection de la ligne aérienne contre les eaux et pierres dévalant de la montagne. Il fut aussi nécessaire de revêtir la roche sur une longueur de 11,40 m, celle-ci étant à cet endroit gélive et se délitant. Fig. 5.) Le canal fut partiellement reconstruit et réglé sur 860 m, pour permettre un écoulement plus rationnel des eaux qui peuvent atteindre, en temps de pluie, de 300 à 400 l/sec. On injecta 5700 m² de maçonnerie pour sa consolidation. 470 m de tunnel furent étanchés à la voûte au moyen de gunite. La voie a été abaissée sur 1400 m d'une hauteur variant de 0 à 25 cm. On procède actuellement au changement de ballast et à la pose des supports pour les câbles à basse et haute tension ainsi que pour la ligne de contact. Dans la partie où le radier fut exécuté à nouveau, on refit en même temps le canal. Un très bon

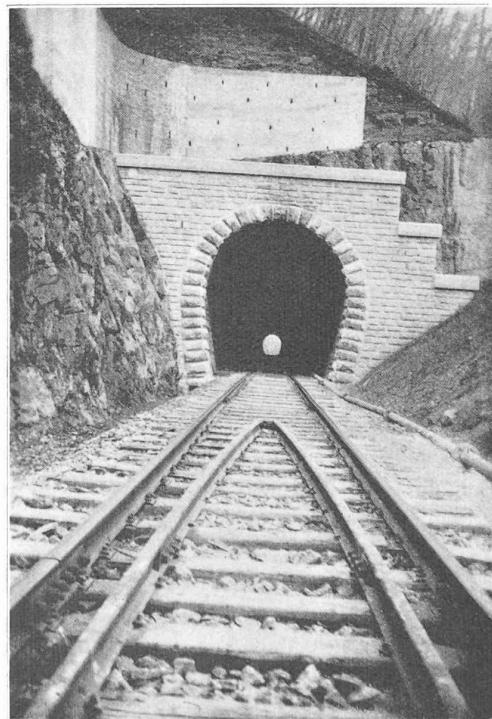


Fig. 6. — Portail aval du tunnel de Montmelon (côté tête nord).



Fig. 7. — Portail aval du tunnel de Malvie.

assainissement du tunnel est de toute importance ; ainsi que nous l'avons vu, le contact de l'eau et de la marne détériore cette dernière et provoque des poussées.

Tunnel de Montmelon, longueur 222,63 m.

Cette galerie, ainsi que le tunnel du Château, sont caractérisés, quant à leur profil en long, par une pente de 16 % inclinée vers Saint-Ursanne. Il traverse de la roche calcaire dans toute sa longueur. Le profil d'espace libre nécessité par l'électrification étant suffisant, il ne sera pas nécessaire de procéder à l'abaissement de la voie. Les deux portails durent être reconstruits, celui côté Glovelier partiellement, celui côté Saint-Ursanne, entièrement. Ce dernier fut avancé de 2,20 m pour les mêmes raisons qui ont motivé l'avancement du portail de Glovelier décrit ci-dessus. Dans le même but, un mur de soutènement a été construit au-dessus du portail (fig. 6). Les injections de maçonnerie ont été faites sur une surface de 980 m² et le revêtement de gunite sur 67 m de faîte du tunnel ; en outre, quelques travaux de reconstruction de maçonnerie ont été nécessaires. Il reste encore à exécuter le changement de ballast et la pose des différents supports pour l'électrification.

Tunnel de Malvie, longueur 212,53 m.

Nous nous trouvons, quant au profil en long, dans les mêmes conditions qu'au tunnel de Montmelon. Des bancs de marne se sont révélés au milieu du tunnel, dans le radier non revêtu. Pour éviter la formation de cratères de boue dans le ballast, on construisit un radier dalle en béton sur une longueur de 16,30 m. Il fut aussi

nécessaire d'injecter 870 m² de maçonnerie et de revêtir à l'enduit de gunite 75 m de voûte du tunnel. Il est prévu également le changement de ballast et la pose des supports. (Fig. 7.)

Tunnel du Château, longueur 230,03 m.

Les travaux n'ont pas encore commencé pour la réfection de ce souterrain, mais seront entrepris dans le courant de cet été. Ce tunnel est incliné vers Saint-Ursanne avec une pente de 16 % et traverse sur toute sa longueur la roche calcaire qui est ici très acquifère ou fissurée. L'état du revêtement du tunnel est de beaucoup plus mauvais que dans les deux petits que nous venons de décrire. Cette situation est due, en partie, à la mauvaise exécution durant la construction, en partie à la grande humidité. A part quelques petites reconstructions de maçonnerie, la consolidation et l'étanchement de la voûte exigeront l'injection et le gunitage sur toute la longueur. Nous nous trouvons dans les mêmes conditions que pour les autres petits tunnels où l'espace libre pour l'électrification est suffisant. Il sera procédé en dernier lieu au changement de ballast.

Tunnel de la Croix, longueur 2965,70 m.

Dans ce tunnel, le plus long de tous ceux que comporte le tracé Delémont—Delle, le plus grand abaissement de la voie interviendra avec un maximum de 55 cm. Cette opération devant être exécutée sur toute la longueur du tunnel, il sera nécessaire de faire la reconstruction du radier sur une longueur relativement grande. Ce travail actuellement en pleine activité, prévoit 1100 m de nouveau radier. Nous avons déjà fait remarquer précédemment que nous nous trouvons dans les parties où la poussée s'observe. Il est indéniable que, tôt ou tard, afin d'assurer la complète sécurité du tunnel, la nécessité se serait fait sentir de procéder à cette reconstruction, même sans l'intervention de la traction électrique. On a constaté, dans les parties où se produit une forte poussée, une déformation typique de la maçonnerie de revêtement ; pour y remédier, il est prévu l'injection de 200 m de tunnel à profil complet. Le gros du travail est la reconstruction dudit radier. Il est exécuté au moyen de ponts provisoires¹, au nombre de 12, formés de 4 fers à I N° 34 renforcés d'une semelle supérieure et inférieure de 150/25 mm ; les 2 paires de fers à I sont entretoisés avec des fers L 70/70/7. Le rail repose, par l'intermédiaire de selles, sur des traverses en chêne de 40 cm de longueur. Les ponts ont une longueur de 10 m et permettent une excavation de 7,50 m pour donner en définitive un radier de 7 m de longueur. Leur poids est d'environ 5,5 t chacun. A l'achèvement d'un anneau, le pont est ripé sous la voie d'une longueur égale à l'anneau suivant. La construction d'un anneau de 7 m dure, en marche normale, 11 nuits d'environ 4 h. de travail effectif et qui se répartissent comme suit :

¹ Ce système de ponts est décrit à la page 97 *Bulletin technique* du 19 avril 1930. — *Réd.*

Ripage ou pose d'un pont	1 nuit
Excavation de l'ancien radier et des sous-œuvres adjacents.	4 »
Bétonnage en sous-œuvre des piédroits du tunnel	2 »
Maçonnerie du radier proprement dit. .	4 »
	11 nuits

Il a été exécuté à ce jour 100 m de radier. Le radier une fois exécuté, et les travaux d'injection et de gunitage terminés, il sera procédé à l'abaissement de la voie. Cet abaissement se fait par étapes successives de 100 m de long sur une hauteur de 15 cm environ. Il n'est pas possible de faire un abaissement plus grand, vu qu'une trop grande dénivellation de la voie mettrait celle-ci en danger. Ce travail exécuté, il sera procédé au changement de ballast et à la pose des supports.

Tunnel de Courchavon, longueur 194,07 m.

Ce tunnel se trouve dans le même état que celui du Château. Il est à pente unique de 9% inclinée vers Delle. Le profil est en forme ovoïde comme indiqué au commencement de notre exposé. Par suite de cette forme, il sera nécessaire de procéder à un abaissement de la voie d'environ 15 cm sur toute la longueur du tunnel. De même les injections de mortier liquide seront nécessaires ainsi que le gunitage de la voûte sur les 194 m. Les travaux dans ce tunnel commenceront dans le courant de cet été parallèlement aux tunnels de la Croix et du Château.

Les travaux généraux furent commencés en avril 1931 et se poursuivent pour une durée probable allant jusqu'à la fin de l'année courante ou au printemps 1933.

Ils furent confiés au bureau d'ingénieurs-conseils *Rothpletz et Lienhard* à Aarau, et dirigés par l'auteur de cette note.

Mars 1932.

Note sur l'onde positive de translation dans les canaux d'usines,

par JULES CALAME, ingénieur-conseil à Genève.

Quand une usine hydraulique est pourvue d'un canal à *libre écoulement*, on calcule d'abord ce canal d'après les formules classiques pour qu'il conduise convenablement le débit maximum et l'on s'assure que la retenue ne dépasse pas les berges quand l'usine est arrêtée ; on pense même avoir pris ses précautions en plaçant le couronnement du mur à 1 m environ au-dessus de la retenue et l'on se préoccupe en général assez peu, dans ce cas, des phénomènes transitoires qui prennent naissance lors de la mise en marche ou de l'arrêt des turbines.

Le calcul de l'*onde de translation*, qui surgit lors d'une variation rapide du régime des turbines *en canal découvert*, est d'ailleurs connu de longue date, approximativement tout au moins, pour une section rectangulaire ou

trapézoïdale et il suffit, en général, pour les besoins de la construction, d'estimer la hauteur maximum de l'onde.

Disons tout de suite que, dans une usine-barrage provoquant un remous, la largeur du bassin naturel d'amont est, en général, si grande que l'onde en question ne joue qu'un rôle très effacé et, pour tout dire, négligeable vis-à-vis de la marge qu'on aura prise en établissant le couronnement des ouvrages à une cote nettement supérieure à celle de la retenue des plus hautes eaux.

Mais il n'en va pas toujours de même quand l'usine est précédée ou suivie d'un bief étroit, surtout si le canal, bien qu'à libre écoulement, est constitué par une galerie fermée de section forcément plus réduite : l'onde peut alors occuper momentanément une part importante de la section libre du profil et parfois même provoquer la mise en charge de la galerie.

C'est ce dernier problème qu'on examinera plus particulièrement ici et qui s'est posé, pour la première fois d'une manière urgente, à notre connaissance, à l'occasion de la construction de la galerie de fuite de l'Usine génératrice de Wettingen sur la Limmat, dans les conditions qui seront relatées plus loin (§ 7).

Le problème fut abordé sur l'initiative de M. E. Meyer-Peter, professeur à l'Ecole polytechnique fédérale, lequel avait été chargé par la Ville de Zurich du calcul de la galerie de fuite de Wettingen et en avait déjà déterminé à ce moment-là, la situation, la forme et les dimensions.

Le calcul de l'onde de translation fut alors entrepris, d'une part à l'aide de la méthode que l'on trouvera exposée ici et, d'autre part, simultanément, par le *Laboratoire de recherches hydrauliques* à Zurich, sous la haute direction de M. le Professeur Meyer, à l'aide d'une méthode analytique que publie actuellement la *Schweizerische Bauzeitung*.

La concordance pratique des résultats du calcul, obtenus d'une manière indépendante par ces deux méthodes, trouva finalement sa confirmation dans l'essai de laboratoire exécuté sur un modèle complet de la galerie et de ses abords, dont on trouvera la description à la suite de cette note.

§ 1. Définitions et hypothèses.

C'est sauf erreur Scott Russell qui, le premier, observa vers 1845 l'*onde de translation* qui prend naissance dans un bassin d'eau tranquille, lorsqu'on déplace en ligne droite, d'un mouvement uniforme, un corps immergé selon une direction donnée et toujours dans le même sens. L'onde en saillie qui précède alors le corps déplacé, dans la direction du déplacement, et l'onde en creux qui suit le dos du corps en sens inverse, se propagent l'une et l'autre à une certaine vitesse, en général différente de celle du corps déplacé.

Un phénomène analogue se produit quand, au lieu de provoquer le déplacement d'un corps immergé dans un milieu tranquille, on arrête un *écoulement tranquille*¹

¹ Par écoulement tranquille, on entend préciser ici que la profondeur de l'eau dans le canal est supérieure à la profondeur critique, puisqu'alors seulement une onde provoquée a la faculté de se propager régulièrement ; ceci par opposition à un écoulement torrentiel.