

Recherches faites au sujet de la rupture d'un câble de funiculaire

Autor(en): **Perret, J.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **79 (1953)**

Heft 9-10: **École polytechnique de l'Université de Lausanne: publication du centenaire 1853-1953, fasc. no 1**

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-59765>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

pointes varie selon les conditions locales ; elles se situent entre 7 h. et 8 h. le matin, 11 h. 30 et 12 h. 30, 13 h. 30 et 14 h. l'après-midi et 17 à 18 h. 30 le soir. Rapportées au trafic moyen journalier 1, elles peuvent être estimées à 1,5, 2,5 et 1,7.

Elles nécessitent la mise en service d'un matériel supplémentaire important dont l'utilisation est peu économique. A ce point de vue, le tramway, par l'adjonction d'une ou deux remorques, est le moyen le plus avantageux.

L'échelonnement des entrées et sorties de bureaux et d'ateliers, la suppression de la pose de midi réalisés dans de nombreuses villes permettent d'étaler fortement l'importance des pointes.

Le prix de revient des différents moyens de transport au km voiture se laisse difficilement analyser ; il dépend avant tout des conditions locales qui déterminent les vitesses commerciales et du coût de l'énergie. Les dépenses pour le personnel atteignent jusqu'à 80 % du prix de revient.

Là où le tramway peut utiliser les remorques, le prix de revient est 20 à 30 % plus bas que l'autobus ou le trolleybus. Cet avantage serait fortement atténué par l'adjonction de remorques à l'autobus et particulièrement au trolleybus, pour autant que les vitesses commerciales ne subissent pas une diminution sensible par insuffisance de puissance ou par l'encombrement des voies publiques.

Les tarifs comportent toute une série de dispositions à but social, en sorte que le plein tarif n'est guère acquitté que par le 40 ou 50 % des voyageurs. Abonnements de toutes catégories, tarifs ouvriers et enfants, cartes ou tickets à rabais abaissent le tarif moyen à 60 % du tarif normal et donnent lieu à des exploitations souvent déficitaires que les pouvoirs publics sont généralement obligés d'équilibrer aux frais du contribuable.

Quelles sont les perspectives d'avenir des Transports en commun urbains en présence du développement des transports individuels ? Des statistiques récentes établies dans différentes villes européennes montrent qu'en un point de passage déterminé d'une artère à forte circulation, les transports en commun sont utilisés par 75 à 80 % des voyageurs, le solde, 20 à 25 %, est dévolu aux taxis, autos particulières, motos et vélos.

Une modification sensible de cette proportion en faveur des transports individuels conduirait à un encombrement tel que ces moyens perdraient de leur intérêt. Un exemple de ce fait est actuellement vécu

dans les grandes villes américaines, où des zones urbaines étendues ont dû être fermées à la circulation individuelle. Enfin on ne conçoit pas à brève échéance un enrichissement de la population tel que les proportions indiquées soient profondément modifiées.

D'aucuns prévoient la suppression du tramway au profit de l'autobus ; là encore la capacité, le prix de revient s'opposent à une transformation radicale, tout au moins dans les villes qui ne peuvent faire la dépense d'un métropolitain.

On peut néanmoins prévoir que certains tronçons de lignes de tramways seront placés en souterrain et que les urbanistes trouveront dans le rélargissement des artères la place normale du tramway à double voie au milieu de la chaussée avec deux voies routières latérales et les refuges nécessaires, soit des artères ayant au minimum 13 m de largeur carrossable.

Le trolleybus ou l'autobus remplaceront les lignes de tramways à une seule voie ou à trafic trop faible. L'adjonction de remorques à ces deux véhicules routiers étendra leur zone d'application économique.

Néanmoins aucune solution n'apportera un remède suffisant à l'encombrement de la circulation tant que le problème du stationnement des véhicules ne sera pas résolu.

En conclusion, le développement des régions urbaines et suburbaines a été générateur d'une évolution constante et rapide de la technique et de l'économie des transports en commun. Le rôle social qu'ils remplissent en a fait un service public indispensable à la vie des cités, et à ce titre ils ont retenu partout l'attention des autorités à qui il incombe d'assurer des possibilités d'exploitations normales. Dans les plans d'urbanisme on ne saurait omettre les dispositions nécessaires à leur développement.

La variété des moyens de transport permet à l'exploitant d'affecter à chaque cas la solution économique la plus appropriée et à en coordonner l'ensemble.

La compétition entre transports en commun et transports individuels a produit une saine émulation génératrice de progrès constants.

Il importe dès lors que les législations qui régissent les transports en commun ne soient pas une entrave à cette compétition mais qu'elles évoluent au fur et à mesure des progrès techniques.

A ces conditions l'avenir des Transports en commun ne paraît pas être compromis par le développement des transports individuels.

RECHERCHES FAITES AU SUJET DE LA RUPTURE D'UN CÂBLE DE FUNICULAIRE

par J. PERRET, ingénieur E. P. U. L.,
Directeur de la C^{ie} du Chemin de Fer de Lausanne à Ouchy et des Eaux de Bret

I. Préambule

Le 7 mars 1952, le câble de traction du funiculaire Lausanne-Gare s'est rompu en service. Les examens périodiques de ce câble n'avaient rien révélé d'anormal avant l'accident. Lors de la dernière visite faite le

3 mars 1952, on avait constaté une usure normale, un allongement de 0,47 % par rapport à l'état neuf, aucun fil apparent n'était cassé et le câble ne présentait pas de déformation. Afin de déterminer les causes probables de cet accident la Compagnie du chemin de fer

de Lausanne à Ouchy et des Eaux de Bret a entrepris certaines recherches dont nous donnons ci-après un bref compte rendu.

II. Description du funiculaire

Le funiculaire Lausanne-Gare est utilisé depuis 1879 pour transporter des voyageurs et acheminer des wagons de marchandises entre la gare de Lausanne C. F. F. et la gare du Flon.

La longueur totale du parcours est de 330 m, dont 250 m sont situés dans un tunnel rectiligne. La pente maximum est de 120 ‰, la pente moyenne est de 100 ‰. La voie unique est à écartement normal (1435 mm).

La voiture, qui peut contenir quarante voyageurs, comporte deux essieux porteurs et deux roues dentées qui s'engrènent sur une crémaillère, système Riggenbach. Ces roues dentées peuvent être freinées depuis la voiture et immobilisées par un frein automatique qui agit, en cas de rupture de câble, par l'intermédiaire d'un accouplement à friction. Les wagons de marchandises d'un poids maximum total de 28 tonnes sont poussés par la voiture.

La machine de traction de 250 CV, située à la station supérieure, comporte une turbine hydraulique Pelton qui actionne, par l'intermédiaire d'engrenages réducteurs, un tambour de 4,50 m de diamètre. La vitesse maximum d'enroulement du câble sur le tambour est de 3,5 m/sec. L'effort maximum de traction du câble est d'environ 5 tonnes.

Le funiculaire circule les jours ouvrables seulement, entre 6 h. 30 et 21 h. En dehors des heures de service le fourgon reste à la station supérieure, le câble étant enroulé sur le tambour dans la salle des machines.

Notons que dès l'ouverture à l'exploitation de la nouvelle gare aux marchandises que les Chemins de fer fédéraux construisent à Sébeillon, les wagons de marchandises seront acheminés à la gare du Flon par la nouvelle voie de raccordement qui suit la route de Genève. La Compagnie du chemin de fer de Lausanne à Ouchy et des Eaux de Bret étudie la transformation complète de la voie Lausanne-Gare qui sera réservée au transport exclusif des voyageurs et des bagages.

III. Description du câble

Le câble qui s'est rompu présentait les caractéristiques suivantes :

Longueur : 400 m ; charge de rupture effective à l'état neuf : 46 000 kg ; section métallique : 348 mm² ; diamètre : 30 mm.

Les fils étaient en acier clair suédois, tréfilé en Suède, offrant une résistance à la rupture de 155 à 175 kg/mm².

Câblé en croix à droite selon le système Tru-Lay, le câble comportait six torons et une âme en chanvre (fig. 1).

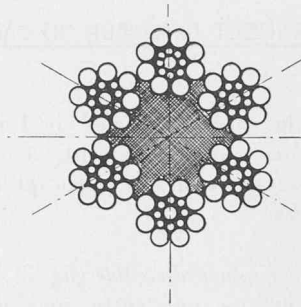


Fig. 1.
Coupe du câble.

Construction d'un toron : âme : 1 fil de 2,30 mm Ø
Première couche : 8 fils de 1,35 mm Ø
Deuxième couche : 8 fils de 2,60 mm Ø (couche extérieure).

Soit 17 fils par toron et 102 fils pour le câble entier.

L'âme était en chanvre de première qualité acheté avant guerre.

Date de la commande : 25 avril 1946

Date de la réception : 20 juillet 1946

Date de la mise en service : 20 octobre 1946

Ce câble a été retourné bout pour bout le 9 octobre 1949. Il était graissé à l'« huile câble 533 Esso-Standard » appliquée à raison de 10 kg par mois (graissage effectué par écoulement lent, soit environ 1 kg par heure).

IV. Circonstances de la rupture

La figure 2 montre quelle était la position du convoi au moment de la rupture et l'endroit où le câble s'est rompu.

La voiture, qui poussait un wagon d'un poids total de 28 tonnes, montait à l'allure de 3,5 m/sec. Au moment de la rupture le frein automatique a immédiatement fonctionné et le chef de train a aussitôt serré le frein à main. Le wagon poussé qui, conformément à l'usage n'était pas accouplé à la voiture, s'en est éloigné de 5 m environ puis est revenu tamponner la voiture

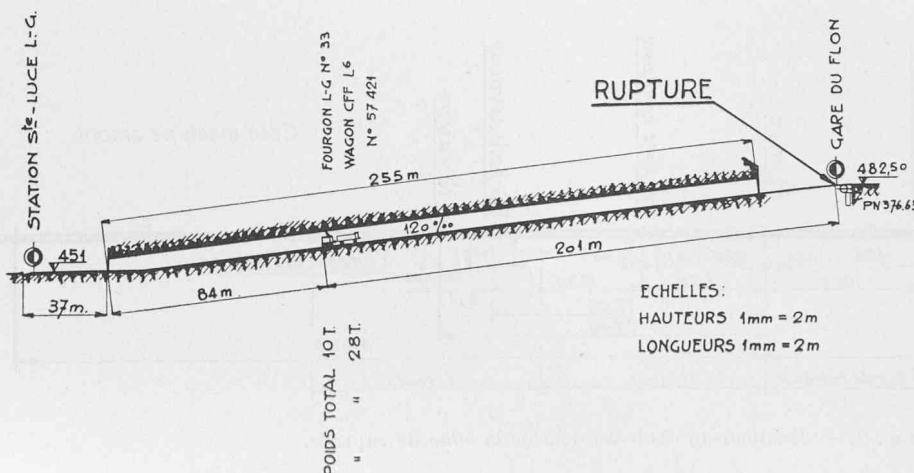
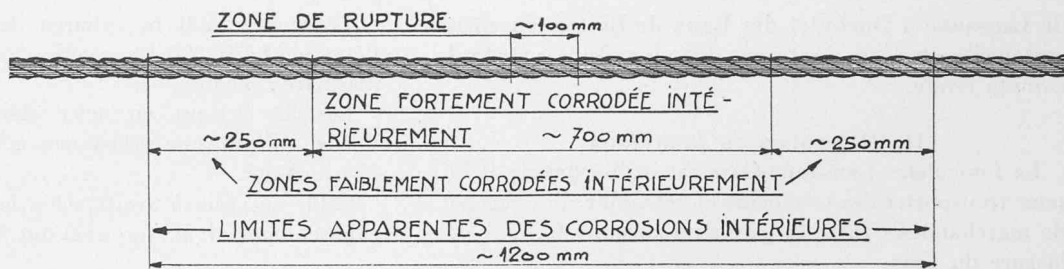


Fig. 2.
Position du convoi
au moment de l'accident
et point de rupture
du câble.

Fig. 3.
Examen de la zone de rupture du câble.



L'ASPECT EXTERIEUR DU CÂBLE NE PERMETTAIT DE DECELER AUCUNE DÉFECTUOSITÉ.

immobilisée. Sous ce choc la voiture a reculé de 1 m environ. Des trois voyageurs qui l'occupaient, deux d'entre eux ont été très légèrement blessés parce qu'ils s'étaient levés de leurs sièges.

V. Examen de la zone de rupture du câble (fig. 3)

Il est intéressant de constater que cette zone ne s'étend que sur une longueur de 10 cm et que chaque fil extérieur des torons d'acier est en contact avec l'âme en chanvre tous les 6 1/2 cm. Tous les fils des torons se sont rompus à l'endroit où ils étaient en contact avec l'âme en chanvre. D'importantes corrosions s'étendaient sur cette zone de contact seulement.

De ce fait il était impossible de déceler ces corrosions sans ouvrir le câble.

Tous les torons furent séparés les uns des autres à gauche et à droite de la rupture afin d'examiner sur quelle longueur s'étendaient les corrosions. Le dessin ci-dessus montre la symétrie presque parfaite des zones attaquées, par rapport à la rupture.

On constate que les attaques du métal diminuent progressivement dès la zone de rupture pour disparaître complètement à 0,60 m de part et d'autre de celle-ci. Par ailleurs on remarque que le câble avait été bien graissé depuis l'extérieur puisque l'huile avait pénétré jusqu'à la surface de l'âme.

Sèche et sans aucune résistance mécanique à l'endroit de la rupture, l'âme en chanvre présentait des caractéristiques apparentes normales à l'endroit où s'arrêtaient les corrosions.

VI. Examen du câble au-delà de la rupture (fig. 4)

On pouvait se demander si cette rupture très localisée du câble provenait d'un phénomène extérieur accidentel (écoulement localisé d'eau polluée, contact

avec un corps étranger, etc.). Le câble fut alors ouvert sur une longueur de 30 m en aval de la rupture et de 49 m en amont. On découvrit alors d'autres zones fortement corrodées comme le montre la figure ci-dessous.

On constate que ces zones sont réparties en ordre absolument dispersé et irrégulier sur le câble. De plus, les longueurs des zones attaquées sont très variables comme d'ailleurs l'intensité des attaques. Bref, sur une longueur de soixante-dix-neuf mètres de câble examiné, on a décelé cinq zones attaquées. Ces cinq zones sont réparties sur une longueur de trente-cinq mètres, elles mesurent au total 11,90 m.

Si l'on tient compte du fait que les zones attaquées ont été repérées sur un tronçon de câble toujours bien abrité lorsque le funiculaire est en service et que ce tronçon se trouve enroulé sur le tambour en dehors des dites heures de service (la circonférence du tambour mesure 14,85 m) on peut admettre que les corrosions sont d'origine interne.

VII. Résultats d'analyses

Afin de déceler les agents susceptibles d'avoir provoqué la corrosion, des éléments du câble ont été envoyés au Laboratoire fédéral d'essais des matériaux de Zurich et au Laboratoire de chimie physique de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne.

Il résulte des analyses qualitatives faites par le Laboratoire fédéral d'essais des matériaux sur deux échantillons de câble corrodé que l'âme en chanvre et la matière de graissage séchée noirâtre qui recouvrait cette âme ne contenait ni sulfate, ni ions acétates, ni ions formiates. En revanche, on a décelé la présence de chlorures (des ions chlore) qui sont des agents très agressifs et qui, en présence d'humidité, peuvent faire apparaître de fortes corrosions dans des temps asse

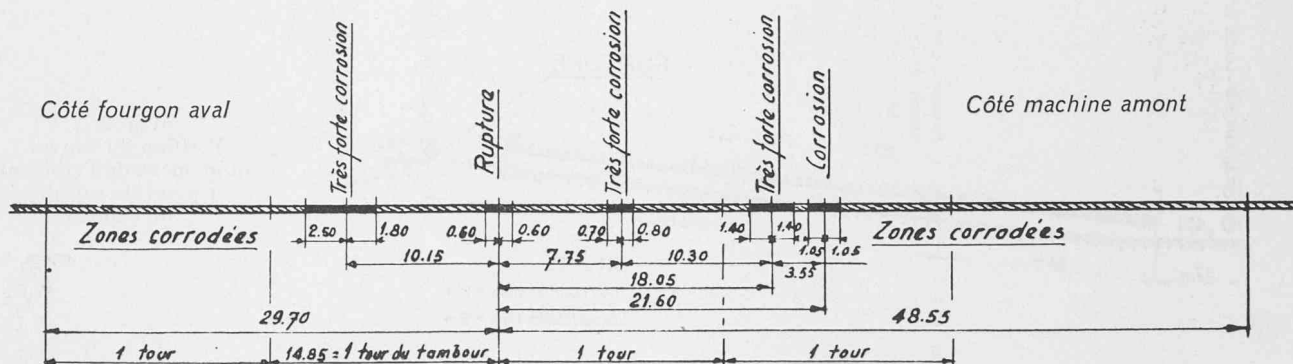


Fig. 4. — Examen du câble au-delà de la zone de rupture.

courts. Il est intéressant de noter que les deux extrémités d'un tronçon examiné contenaient davantage de chlorures que le milieu de ce tronçon pourtant plus fortement corrodé. Le Laboratoire de chimie physique de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne a analysé cinq échantillons de l'âme en chanvre du câble et trois échantillons de l'enduit recouvrant les torons. Cet institut a également analysé des échantillons d'âme en chanvre et d'enduit prélevé sur un ancien câble du funiculaire Lausanne-Ouchy qui, livré en 1927, avait été maintenu en service pendant dix ans.

Alors que les échantillons d'âme en chanvre provenant soit du câble Lausanne-Ouchy soit de parties non corrodées du câble Lausanne-Gare ne contiennent que de faibles quantités de ions chlore (8 à 12 milligrammes Cl^- pour 100 grammes de matière), les échantillons provenant des parties corrodées contiennent six fois plus de chlorure (52 à 72 milligrammes de Cl^-).

La teneur en ammonium passe de 4 à 8 milligrammes de NH_4^+ . Seuls les échantillons provenant des parties corrodées contiennent des traces d'acide nitreux (NO_2^-), des traces de sulfates (SO_4^-) et, ce qui paraît plus troublant, des traces de iode (I^-). On a décelé dans l'enduit recouvrant les torons attaqués 110 à 134 milligrammes de ions Cl^- ; cette quantité tombait à 32 milligrammes pour une zone non attaquée et à 10 milligrammes pour l'ancien câble Lausanne-Ouchy. Seul l'enduit des parties corrodées contenait des traces d'ammonium (NH_4^+), d'acide nitreux (NO_2^-), de sulfate (SO_4^-). On n'a pas trouvé de iode (I^-).

D'autres analyses faites récemment par le Laboratoire de chimie physique de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne sur un tronçon de câble provenant d'un funiculaire tessinois ont démontré que l'âme de ce câble contenait autant des mêmes agents corrosifs que l'âme altérée du câble Lausanne-Gare. En revanche, l'âme du câble du funiculaire tessinois était encore saturée de vaseline et les fils métalliques ne comportaient pas de corrosions.

Ces constatations ont conduit la Compagnie du chemin de fer de Lausanne à Ouchy et des Eaux de Bret à demander l'analyse d'échantillons de fils de chanvre filés en Suisse mais non traités ainsi qu'un échantillon d'âme de chanvre tressée, imprégnée de matières grasses mais non encore utilisée.

Ces échantillons ont été obligeamment fournis par une importante fabrique de câbles.

Les résultats d'analyse furent les suivants :

Teneur en milligrammes par 100 grammes	Fils de chanvre non traités	Âme en chanvre graissée mais non utilisée
Chlorures Cl^- . . .	42	30
Iode I^-	traces faibles	traces très faibles
Ammonium NH_4^+ . . .	0,8	0,48
Acide nitreux NO_2^-	forte présence	faible présence
Sulfate SO_4^-	0	0
Fer Fe^{++}	0,8	1,0
pH de l'extrait aqueux à 20° . . .	7,0	7,1

Il est frappant de constater que les fils de chanvre non traités contiennent 42 milligrammes de ions Cl^-

pour 100 grammes de matière, soit une quantité égale au deux tiers de celle décelée dans l'âme du câble rompu par la corrosion.

VIII. Conclusions

Les chapitres précédents nous ont permis de constater les faits suivants :

1° La répartition des corrosions sur le câble n'obéit pas à une loi.

2° Les fils d'acier n'ont été fortement corrodés qu'aux endroits où ils se trouvaient en contact direct avec l'âme en chanvre.

3° Les corrosions ne sont apparues qu'aux endroits où l'âme en chanvre était relativement sèche et les torons les plus corrodés ont été trouvés aux endroits où l'âme était très sèche et ne présentait pratiquement plus de résistance mécanique.

4° Le graissage extérieur du câble n'a pas d'influence appréciable sur l'intérieur de l'âme en chanvre.

5° Des agents susceptibles de provoquer la corrosion du métal existaient dans l'âme en chanvre et dans la matière noirâtre qui recouvrait les fils corrodés.

6° Des agents susceptibles de provoquer la corrosion ont également été décelés dans l'âme des tronçons de câble non corrodés, dans l'âme d'autres câbles non corrodés et même dans des fils de chanvre non utilisés et destinés à la fabrication d'âme de câble.

7° L'intensité des attaques n'est pas proportionnelle à la teneur de l'âme en matières corrosives.

L'identification de traces d'iode en présence de fortes quantités de chlore semblerait indiquer que les fibres de chanvre ont été mises en contact avec une eau saline.

Tous ces faits nous permettent de supposer que c'est à l'âme en chanvre qu'il faut attribuer l'origine des corrosions.

Les fibres de sisal qui sont utilisées pour la fabrication de l'âme des câbles proviennent des pays d'outremer tels que l'Afrique, le Mexique, le Brésil, l'Indonésie, etc. Ces fibres sont séchées dans le pays d'origine et ne subissent pas de traitement dans les pays importateurs du continent européen. Ces fibres ne sont pas neutres au point de vue chimique. En cours de voyage elles sont vraisemblablement exposées à l'eau de mer. La présence de chlorures et de traces d'iode semble le confirmer. Elles sont ensuite filées avec adjonction de quelques pour-cent d'huile minérale dans des usines suisses spécialisées. Enfin, le fabricant du câble reçoit les fils de sisal, d'un diamètre de 3 mm, enroulés sur des bobines. Ces bobines qui comportent de nombreux trous sont maintenues pendant plusieurs heures dans un bain de vaseline chaude. On procède ensuite au tressage des torons de l'âme, chaque toron étant composé de douze fils de sisal. Enfin, on tresse l'âme formée de quatre torons. Si ce procédé classique de fabrication est appliqué correctement il semble peu probable qu'une partie quelconque de l'âme puisse être privée de vaseline. Même si l'une des bobines de fil n'est pas correctement imprégnée, le fil de cette bobine ne constitue que la quarante-huitième partie de l'âme.

Il faut donc supposer que certains tronçons de l'âme du câble Lausanne-Gare ont été dégraissés soit avant ou pendant le câblage du câble, soit après ce câblage. Un produit dégraissant a-t-il aspergé le câble au cours du transport

ou, ce qui paraît moins probable, en cours d'exploitation ? C'est ce que l'enquête n'a pas pu déterminer.

Quoi qu'il en soit, il importe de constater que le chanvre naturel qui est utilisé pour la fabrication de l'âme des câbles d'acier peut contenir des quantités appréciables d'agents susceptibles d'entraîner une corrosion rapide des fils de métal. Cette corrosion ne se manifesterait pas tant que l'âme est parfaitement imprégnée de vaseline.

L'Ordonnance fédérale sur les câbles des chemins de fer funiculaires du 21 mai 1946 contient de judicieuses dispositions au sujet de la qualité de l'acier et des essais auxquels les fils de ce métal doivent être soumis avant la fabrication d'un câble, mais ne mentionne que la remarque suivante au sujet de l'âme en chanvre :

Art. 7, § 2, « Les âmes en chanvre doivent être traitées avec une graisse exempte d'acidité ».

Les analyses qui ont été faites à la suite de la rupture du câble Lausanne-Gare montrent toute l'importance qu'il faut attacher aux matériaux constituant et enrobant l'âme des câbles d'acier.

Il importe que ces matériaux soient exempts d'agents corrosifs. Ce résultat pourrait être atteint en appliquant au chanvre brut un traitement approprié ; nous pensons par exemple à un lavage suivi d'un séchage et d'une imprégnation sous vide. Des essais de contrôle devraient être faits avant de tresser l'âme.

Nous ne doutons pas que tous ceux qui exploitent des installations dont la sécurité dépend de la résistance des câbles d'acier s'intéressent à ce problème.

CONSTRUCTION D'UN CHEMIN DE FER A VOIE NORMALE SEMBRANCHER-LE CHÂBLE

par A. MONAY, ingénieur EPUL,
chef d'exploitation du chemin de fer Martigny-Orsières

Introduction

Ainsi que chacun le sait, des travaux d'une importance considérable, dont le but est un développement toujours plus grand de l'énergie hydro-électrique, sont actuellement en cours en Valais.

Dans la région intéressant la nouvelle ligne de chemin de fer faisant l'objet du présent article vont s'élever bientôt les importants barrages de la Grande-Dixence et du Mauvoisin.

Le premier permettra d'obtenir un bassin d'accumulation de 400 millions de m³, prévu pour l'alimenta-

tion des trois usines de Fionnay (puissance installée 330 000 kW), de Sembrancher (puissance installée 287 000 kW) et de Martigny-Guercet (puissance installée 111 000 kW).

Le deuxième donnera naissance à un lac situé dans le haut de la vallée de Bagnes, à environ 5 km de Fionnay, et qui aura une contenance de 177 millions de m³. Il alimentera une première usine électrique à Fionnay (puissance installée 180 000 kW) et une deuxième à Riddes (puissance installée 300 000 kW).

C'est pour la desserte de ces différents chantiers, et



Fig. 1. — Tracé de la ligne Sembrancher-Le Châble.