

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin technique de la Suisse romande
<b>Band:</b>	47 (1921)
<b>Heft:</b>	9
<b>Artikel:</b>	L'échauffement des bandages des roues de véhicules de chemins de fer par suite du freinage
<b>Autor:</b>	Zehnder-Spörry, R.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-36588">https://doi.org/10.5169/seals-36588</a>

#### **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>**

# BULLETIN TECHNIQUE

## DE LA SUISSE ROMANDE

Réd. : Dr H. DEMIERRE, ing.

Paraissant tous les 15 jours

ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

**SOMMAIRE :** *L'échauffement des bandages des roues de véhicules de chemins de fer par suite du freinage*, par R. Zehnder-Spörry, Dr ès sciences techniques, Directeur du chemin de fer Montreux-Oberland bernois. — *Rapport des experts Rothpletz, Rohn et Buchi sur la formation des fissures dans la galerie sous pression de l'usine de Ritom des CFF (suite)*. — *Concours pour l'étude des plans d'un bâtiment d'internat à l'Ecole cantonale d'agriculture, à Cernier (suite)*. — *La Société des forces motrices du nord-est de la Suisse (N. O. K.)*. — *L'exportation de l'énergie électrique*. — **SOCIÉTÉS**: Société vaudoise et Section vaudoise de la Société suisse des Ingénieurs et des Architectes. — Société suisse des Ingénieurs et des Architectes. — *Usurpation de titres*. — **BIBLIOGRAPHIE**: *La semaine de l'aluminium*. — *Calendrier des Concours*.

### L'échauffement des bandages des roues de véhicules de chemins de fer par suite du freinage<sup>1</sup>.

par R. ZEHNDER-SPÖRRY, Dr ès sciences techniques,  
Directeur du chemin de fer Montreux-Oberland bernois.

Avez-vous déjà eu l'occasion d'apercevoir, de nuit, un train de marchandises de la ligne Berne-Lötschberg-Simplon, une puissante locomotive électrique en tête, descendant à grande vitesse la pente de 27 % de Goppenstein à Brigue ?

Lorsque le train débouche du grand tunnel percé à travers le massif des Alpes bernoises, on remarque la lumière intense des lanternes de tête de la machine électrique, puis ses fenêtres éclairées.

De temps en temps, lorsque l'archet de contact rencontre un léger obstacle au fil aérien alimentant la locomotive en énergie électrique, un éclair aussi intense que court apparaît et c'est alors qu'il est possible d'apercevoir, dans la gerbe de lumière, produite momentanément, les nombreux wagons à marchandises formant le convoi et qui, en dehors de ces quelques instants, sont plongés dans l'obscurité complète de sorte qu'on n'en voit rien.

Mais, après un certain parcours, vous apercevez parfois subitement derrière la locomotive, à des distances plus ou moins grandes de celle-ci, quelques points lumineux, d'abord d'un rouge pâle, mais dont l'intensité augmente à mesure que le train avance et descend. Ce n'est pas l'énergie électrique qui est la cause de ce phénomène : c'est l'énergie libérée détruite mécaniquement par le freinage des quelques wagons à marchandises dont les freins serrés doivent, avec ceux de la locomotive, retenir le convoi entier et en régler la vitesse. C'est l'énergie qui, transformée en chaleur, produit souvent un tel échauffement des sabots de frein que ceux-ci deviennent rouges.

Pour le comprendre, il suffit de rappeler que la quantité d'énergie libérée d'un train de 400 tonnes par exemple, descendant de Goppenstein à Brigue (différence

<sup>1</sup> A notre demande, M. le Dr Zehnder-Spörry a bien voulu résumer pour nos lecteurs le remarquable mémoire qu'il a publié sous le titre «Etude, avec abaques et diagrammes, relative à l'échauffement des bandages et des roues de véhicules de chemins de fer». Cet ouvrage, de 146 pages et 40 figures, édité par la librairie Rouge & Cie, à Lausanne, est en vente au prix de 10 fr. — Réd.

d'altitude environ 540 m.) s'élève à environ 131 000 000 mkg. ou environ 307 000 calories/kg., chaleur qui serait suffisante pour porter à sa température de fusion environ 2200 kg. de fonte de fer.

Bien qu'une grande partie de cette chaleur produise se perde par rayonnement ou par transmission, les quelques chiffres ci-dessus expliquent suffisamment le fait que les sabots de frein et même les bandages des roues peuvent atteindre des températures parfois très élevées.

Ce que nous venons d'exposer brièvement se produit sur de nombreuses autres lignes de chemins de fer à fortes déclivités lorsque la vitesse de marche des trains réglée au moyen des sabots de frein est grande, en sorte que la vitesse verticale (vitesse de chute) devient également considérable.

Cette élévation de la température des bandages peut même devenir si importante qu'elle suffit pour provoquer leur déboîtement et elle peut de ce chef, présenter un sérieux danger d'exploitation, puisque les effets du serrage entre le corps de roue et le bandage et qui doivent garantir la solidité de liaison entre ces parties, en sont parfois rendus illusoires.

Aussi bien les CFF que le Berne-Lötschberg-Simplon, le chemin de fer de la Bernina, les chemins de fer rhétiques, le Montreux-Oberland bernois et d'autres compagnies encore nous ont affirmé que des déboîtements de bandages par suite de l'échauffement ont été plus ou moins souvent constatés sur les véhicules de leurs lignes.

Tous les moyens (cercles de retenue, segments de différentes formes et dimensions, boulons, rivets) dont on s'est servi jusqu'à présent pour le prévenir, paraissent être inefficaces et ne suffisent point, lorsque le bandage, à cause de son échauffement, n'est plus maintenu sur la roue par les effets du serrage.

D'autre part, il y a lieu de remarquer qu'il serait erroné de considérer l'élévation de la température des bandages comme cause unique de leur déboîtement. Il y a encore de nombreux autres facteurs qui peuvent, sinon provoquer directement ce déboîtement, du moins y contribuer dans une proportion plus ou moins grande.

L'emploi d'un serrage supérieur au serrage habituel de 1 : 1000 est donc, dans certains cas, non seulement nécessaire, mais absolument admissible et recommandable.

La tension du matériel qu'on impose par le serrage aux différentes parties des roues augmente naturellement

avec l'augmentation de la valeur du serrage. Il est d'autant plus indispensable d'observer, en ce qui concerne le choix du serrage, une grande prudence, qu'il se produit dans l'exploitation, lors du roulement des véhicules sur la voie ferrée, des efforts dynamiques considérables.

Nous désignons par

$D$  = le diamètre extérieur de la jante après la pose du bandage =  $2R$ .

$\varepsilon_m$  = le serrage =  $\sim \frac{\lambda_m}{D}$ .

$\lambda_m$  =  $\lambda_s + \lambda_b$ .

$d_b$  = épaisseur représentative du bandage (en admettant que cette épaisseur soit uniforme sur toute la largeur).

$d_s$  = épaisseur de la jante.

$B$  = largeur du bandage.

$b$  = largeur de la jante.

$F$  = surface de contact entre bandage et jante,

$f$  = section moyenne d'un rayon de la roue.

$n$  = nombre des rayons de la roue.

$l$  = longueur d'un rayon.

$E$  = module d'élasticité.

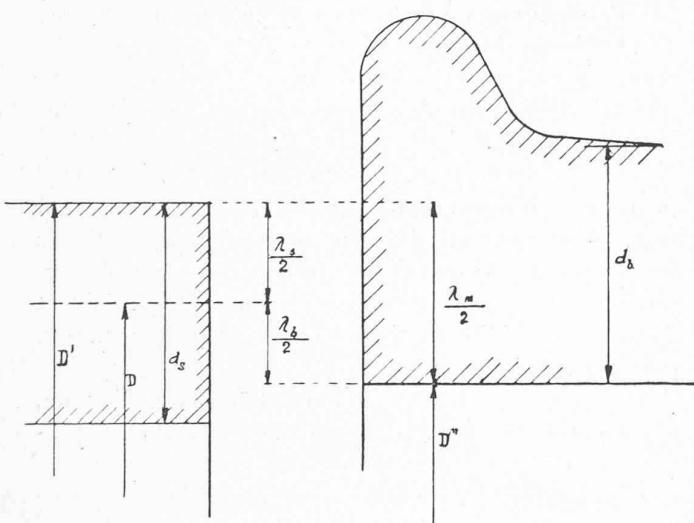


Fig. 1.

Lorsque, après la pose du bandage sur le corps de roue au moyen du serrage, l'équilibre s'est rétabli, la pression spécifique  $p_b$  exercée par la surface intérieure du bandage sur la jante doit être compensée par la somme des pressions spécifiques  $p_s$  et  $p_r$  exercées par la jante et par les rayons sur la surface intérieure du bandage :

$$p_b = p_s + p_r$$

$$p_b = \frac{d_b E \lambda_b B}{D R b}$$

$$p_s = \frac{E \lambda_s}{D} \times \frac{\left(1 + \frac{d_s}{R}\right)^2 - 1}{2 \left(1 + \frac{d_s}{R}\right)^2} = \frac{E \lambda_s}{D \varphi_s}$$

$$p_r = \frac{n E \frac{\lambda_s}{2} f}{F l}$$

On obtient ensuite :

$$\lambda_s = \frac{\lambda_m}{1 + \frac{D R b}{d_b B} \left( \frac{1}{D \varphi_s} + \frac{n f}{2 F l} \right)}$$

Avec cette formule de base, nous trouvons  $\lambda_s$ , ce qui nous permettra d'obtenir aussi  $\lambda_r = \frac{\lambda_s}{2}$ ,  $\lambda_b = \lambda_m - \lambda_s$  et par conséquent toutes les autres inconnues  $p_b$ ,  $p_s$ ,  $p_r$  et les tensions du matériel  $\sigma_b$ ,  $\sigma_s$  et  $\sigma_r$ .

Il est aisément d'obtenir les pressions  $p$ , les tensions  $\sigma$ , ainsi que les valeurs des  $\lambda$  au moyen d'un calcul graphique, en traçant sur un diagramme les lignes représentant  $p_s$ ,  $p_b$  et  $p_r$  dans les limites de  $\lambda_b = 0$  à  $\lambda_b = \lambda_m$  (voir le diagramme relatif à la roue d'automotrice du B. L. S.) (Fig. 2).

L'état d'équilibre interviendra au point d'intersection des lignes  $p_b$  et  $p = p_s + p_r$ , point où ces deux valeurs deviennent égales.

Les valeurs données par la ligne  $p_b$  se rapportent au bandage neuf, les valeurs données par  $p_b'$  correspondent au bandage usé à son épaisseur minimale autorisée.

Examinons maintenant dans quelle mesure les valeurs de  $\lambda_b$ ,  $\lambda_s$ ,  $\sigma_b$  et  $\sigma_s$  se modifient lorsque, par suite du freinage au moyen des sabots de frein, la température du bandage s'élève, tandis que celle de la roue est considérée comme constante et qu'il se produit, de ce chef, une dilatation du bandage, les dimensions de la roue restant inchangées.

$$\lambda_{b_t} = D_t - D_t'' = D (1 + \beta t) - D'' (1 + \alpha t)$$

$$\sigma_{b_t} = \frac{E}{D_t''} [D (1 + \beta t) - D'' (1 + \alpha t)]$$

$\alpha$  = coefficient de dilatation linéaire; pour l'acier, il est en moyenne d'environ  $12,5 \times 10^{-6}$  pour les limites de température considérées.

La valeur de  $\beta$  est donnée par l'expression

$$\beta = \frac{D'' (1 + \varepsilon_m) - D}{D \varepsilon_m} \alpha$$

En désignant par  $t_b$  la différence entre les températures du bandage et du corps de roue, nous pouvons rapporter dans la fig. 3 en fonction de  $t_b$  (et entre les limites  $t_b = 0$  et  $t_b = \frac{\varepsilon_m}{\alpha}$ ) les lignes de  $D_t$ ,  $D_t''$  et celles représentant  $\sigma_s$  et  $\sigma_b$ . Au moyen de ce diagramme il nous est maintenant possible d'obtenir, avec une approximation suffisante, les valeurs de  $\lambda_m$ ,  $\lambda_b$ ,  $\lambda_s$ ,  $\sigma_b$ ,  $\sigma_s$ , ainsi que celles des pressions spécifiques  $p$ .

L'énergie libérée  $A$  (en kgm) provoquant, lorsqu'elle est détruite par le freinage mécanique, l'échauffement des bandages (et des sabots de frein) est de

$$A = G_t (1000 H - L \rho)$$

$G_t$  étant le poids du train (en tonnes),  $H$  la différence d'altitude du tronçon en pente de longueur  $L$  (en m.) et  $\rho$  le coefficient moyen de résistance au roulement exprimé en kg. par tonne.

Roue d'automotrice B.L.S.

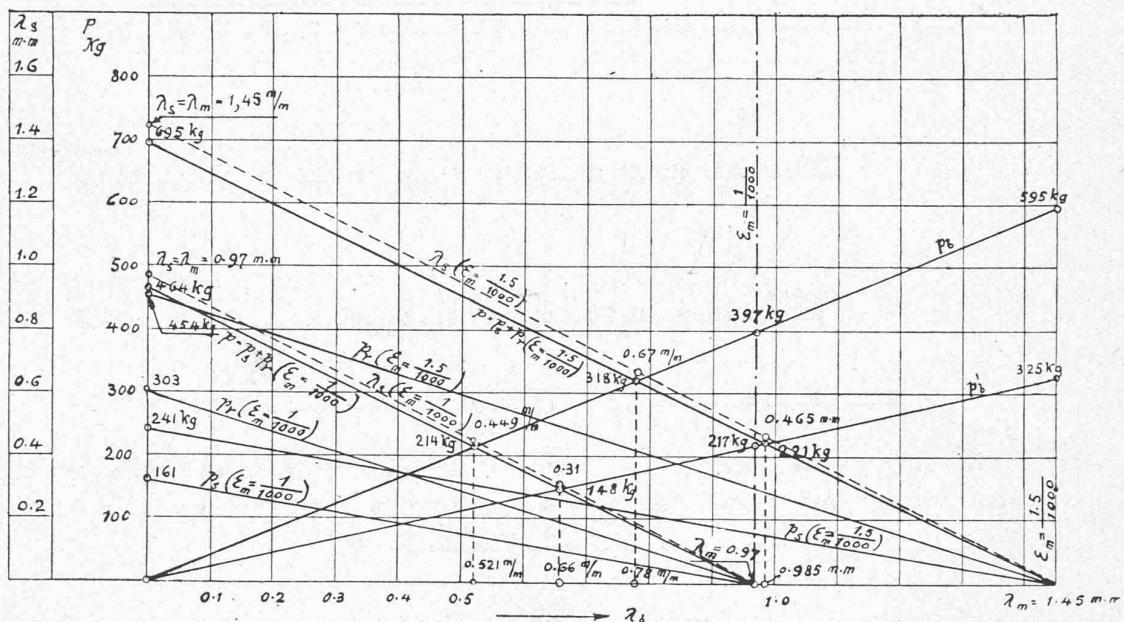


Fig. 2.

L'abaque fig. 4 permet de trouver les valeurs de  $\rho$  lorsque la déclivité  $s$  et l'augmentation de la vitesse de marche du train en 5 secondes  $\Delta v = v_1 - v_0$  sont connues. Cet abaque nous renseigne encore sur 3 autres variables, la vitesse initiale  $v_0$ , le chemin parcouru  $l$  et l'augmentation  $\Delta l$  de  $l$  due à l'accélération.

L'énergie libérée en kgm. dans l'unité de temps est de

$$a = G_t \left( 1000 \frac{H}{t} - \frac{L}{t} \rho \right) = G_t (1000 v_v - v_h \rho)$$

$v_v$  étant la vitesse de chute du train,  $v_h$  sa vitesse horizontale de marche, les deux exprimées en mètres par seconde.

Pour obtenir l'énergie libérée en calories/kg., nous devons diviser le nombre des m/kg. par la valeur de l'équivalent mécanique de la calorie

$$1 \text{ cal/kg.} = 427 \text{ m/kg.}$$

Lorsque le train descendant une pente est freiné par les sabots agissant sur les bandages, l'énergie libérée détruite par le travail de frottement des sabots sur les bandages est donc, dans l'unité du temps et exprimée en cal/kg., de

$$a = 0,002342 \ G_t \ (1000 \ v_s - v_{h\rho})$$

Si toute la chaleur ainsi produite restait dans le bandage, nous aurions pour calculer l'élévation de la température du bandage ( $T - T_0$ ) ou la nouvelle température  $T$  du bandage après 1 seconde, l'équation suivante :

$$a \equiv G_b c (T - T_0)$$

$G_b$  = poids de tous les bandages prenant part au freinage du train de poids  $G_t$ .

$c = 0,12$ , valeur moyenne de la chaleur spécifique du matériel des bandages des roues.

$T_0$  = température initiale des bandages.

Après le temps  $\tau$  secondes, la température du bandage devient

$$T = \frac{a\mathcal{C}}{G_b c} + T_0$$

Cette équation n'est cependant valable que lorsque toute l'énergie libérée est convertie en chaleur accumulée entièrement dans la masse des bandages. En réalité une partie relativement faible seulement de cette énergie libérée et transformée en chaleur reste ainsi accumulée dans le bandage et les sabots de frein ; le reste, en fait la partie la plus importante, de la chaleur obtenue est transmis des bandages aux autres pièces de la roue et surtout à l'air, etc.

Si nous désignons par

*F* la surface totale de rayonnement de tous les bandages contribuant au freinage ;

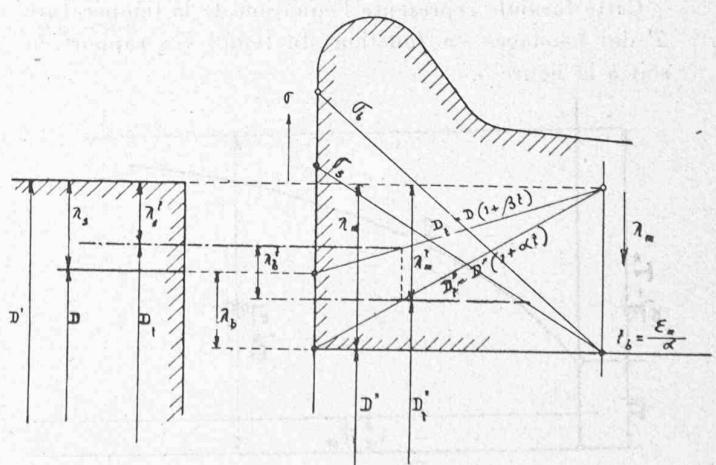


Fig. 3

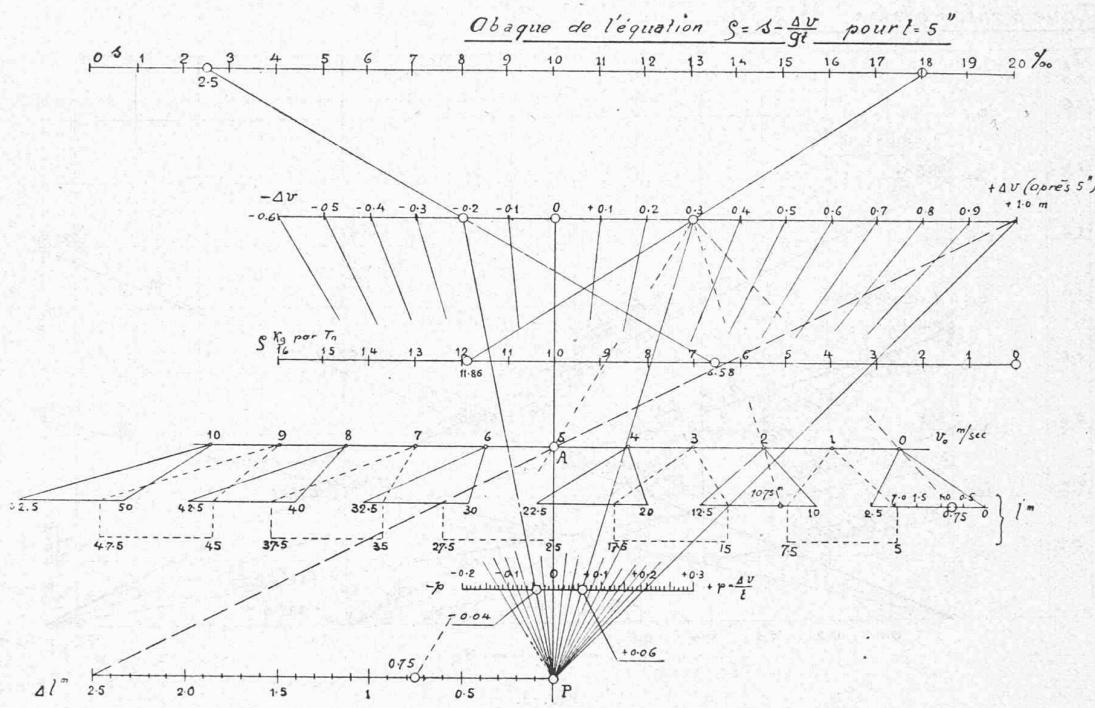


Fig. 4.

$K$  le coefficient de rayonnement des bandages, soit la quantité d'énergie (en cal/kg.) transmises aux parties voisines ou rayonnée par  $dm^2$  en une heure et pour une différence de  $1^\circ$  entre la température des bandages et celle de l'air ambiant ( $T_a$ ).

$$k = \frac{K}{3600}$$

nous pouvons représenter l'état des choses, qui intervient alors à chaque moment, par l'équation suivante :

$$\frac{dA}{d\tau} = a = G_b c \frac{dT}{d\tau} + Fk (T - T_a)$$

En développant cette équation, nous obtenons par intégration

$$T = \frac{\alpha'}{\beta'} + \left( T_0 - \frac{\alpha'}{\beta'} \right) e^{-\beta' \tau} = \frac{\alpha'}{\beta'} - \left( \frac{\alpha'}{\beta'} - T_0 \right) e^{-\beta' \tau}$$

Cette formule représente l'équation de la température  $T$  des bandages en fonction du temps  $\tau$ ; rapport en soit à la figure 5.

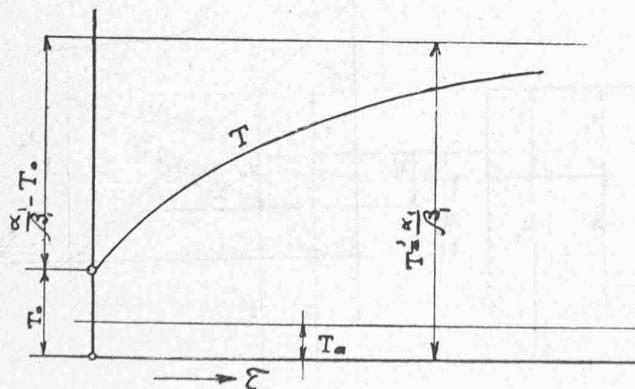


Fig. 5.

La température maximale (d'équilibre)  $T'$  atteinte après le temps  $\tau = \infty$ , est

$$T' = \frac{\alpha'}{\beta'}$$

Au point de vue expérimental, la valeur de  $T'$ , dite d'équilibre, est en somme celle pour laquelle on ne peut plus apprécier les variations de température du bandage.

Ajoutons encore que  $\alpha'$  et  $\beta'$  sont données par les expressions suivantes :

$$\alpha' = \frac{a + FkT_a}{G_b c}$$

$$\beta' = \frac{Fk}{G_b c}$$

Il serait erroné d'admettre que l'importance de l'échauffement des bandages dépend uniquement de la vitesse de marche du train, de sa vitesse spécifique de chute, de la surface de rayonnement et de la masse des bandages, du coefficient de rayonnement et du poids des véhicules.

Le cas où nous n'aurons pas à tenir compte d'autres éléments encore pour le calcul de l'élévation de la température des bandages ne se présentera qu'à la condition que le train soit composé de véhicules de tare et de poids brut absolument égaux et que tous les bandages de tous ces véhicules soient simultanément freinés avec une pression des sabots de même importance par rapport au poids total de chaque voiture, wagon ou locomotive. Dans ce cas seulement et à la condition que le coefficient de roulement soit le même pour tous ces véhicules et qu'il n'y ait pas de différence entre les dimensions des bandages, la température de ceux-ci atteindra partout à peu près la même valeur.

Toutefois ce cas de répartition idéale du travail de freinage entre tous les bandages du train ne se présente, on peut le dire, jamais dans le service pratique. D'ailleurs, la charge utile du train n'est jamais répartie uniformément entre tous les véhicules, les uns étant souvent vides lorsque d'autres sont fortement chargés.

La différence entre les échauffements des différents bandages atteint naturellement son maximum s'il y a, dans le train, des véhicules qui ne sont pas freinés du tout. Les véhicules freinés sont alors obligés de détruire à eux seuls la force vive totale du train, donc aussi

dant à celui des thermomètres. Ceux-ci ont été montés de façon à empêcher l'air froid de pénétrer dans les encoches pratiquées dans les bandages et sabots.

Nous reproduisons ci-après le diagramme correspondant à une de ces courses d'essais entreprises sur le tronçon Goppenstein-Brigue de la ligne du chemin de fer des Alpes bernoises. Dans ce diagramme, nous avons fait figurer, d'une part, l'horaire graphique de la course d'essai avec ses arrêts dans les stations, et, d'autre part, l'horaire graphique correspondant à un train direct marchant sans arrêt avec une vitesse égale à la vitesse moyenne de 56 km. à l'heure.

B. L. S. (8.IX.19):  $v_b = 15.5 \text{ sec}$ ;  $v_v = 32.9 \text{ sec}$ .

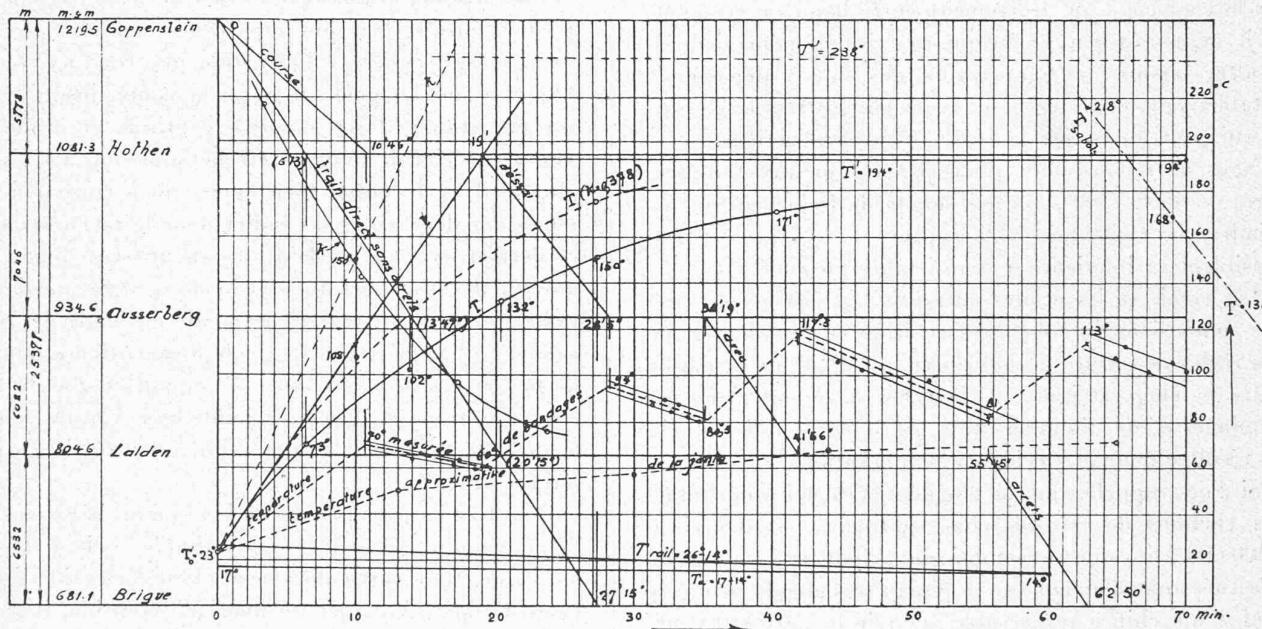


Fig. 6.

celle due aux véhicules ne prenant pas part au freinage.

Pour obtenir des résultats suffisamment exacts, il est indispensable de tenir compte, dans les calculs, de tous ces facteurs. Toutefois le cadre de ce bref exposé ne nous permet pas d'entrer ici dans les détails des calculs analytiques et graphiques y relatifs.

Dans le but de déterminer le coefficient de rayonnement  $K$ , nous avons procédé à plusieurs séries d'essais sur les lignes à fortes déclivités du chemin de fer Montreux-Oberland bernois (avec des pentes jusqu'à 73 %) et de celui de Berne-Lötschberg-Simplon (avec des pentes jusqu'à 27 %).

Pour mesurer l'élévation de la température par suite du freinage, nous nous sommes servis de thermomètres à mercure avec graduation allant jusqu'à 300°C et permettant d'obtenir la température après un laps de temps relativement court. Pour obtenir des résultats aussi exacts que possibles, nous avions percé, dans les bandages et sabots de frein, des trous de 35 mm. de profondeur et d'un diamètre de 6,5 mm., ce dernier correspon-

Les points marqués dans le diagramme, durant les arrêts du train, correspondent aux lectures des températures relevées aux thermomètres placés dans les bandages. Cette ligne brisée représente approximativement (mais non exactement puisque le diagramme est en réalité une courbe asymptotique) la variation de la température du bandage.

Sur la base des diagrammes ainsi obtenus, le coefficient  $K$  a été calculé pour les différentes sections. La courbe représentant  $T$  (pour le train marchant sans arrêts) a ensuite pu être construite en introduisant dans nos équations les valeurs correspondantes de  $K$ , resp.  $k$ .

Le coefficient de rayonnement enregistré aux essais de la ligne du B. L. S. a varié entre  $K = 1,08 - 0,378$ , tandis que pour les bandages des automotrices du Montreux-Oberland Bernois il était de  $K = 0,4$  au minimum pour atteindre, lors d'un temps de pluie, la valeur  $K = 0,599$ .

Les températures maximales obtenues, pour les trains directs, s'élèvent à l'arrivée dans la station terminus :

	aux bandages	à la jante	aux sabots de frein
Aux automotrices du B.L.S.			
sans surcharge, environ	151°	65°—70°	220°
avec surch. d'env. 80% env.	243°	157°	480°
Aux automotrices du M.O.B.			
sans surcharge, environ	176°—200°	80°—90°	300°
av. surch. d'env. 15% env.	220°	110°	450°

On se rend compte par ces chiffres que les températures des bandages dues au freinage mécanique peuvent présenter un sérieux danger au point de vue de leur déboîtement de la roue lorsqu'ils ont été posés avec le serrage habituel.

D'autre part, la température considérable des sabots de frein exerce certainement une influence défavorable sur le coefficient de frottement entre bandage et sabot, et il ne paraît pas exclu que des risques pourraient en résulter lorsque la température des sabots dépasserait notablement celles que nous avons enregistrées aux essais ce qui peut, dans certains cas, assurément arriver.

Nous ne remarquons qu'en passant qu'aux températures de 450°—500°, que les sabots de frein peuvent atteindre, la résistance à la rupture de la fonte est déjà sensiblement inférieure à sa résistance normale.

Les essais et les études entrepris ont permis de tirer des conclusions intéressantes et utiles et d'établir certaines règles de nature à augmenter la solidité de la liaison entre bandage et jante, d'empêcher le déboîtement des bandages et de diminuer ainsi les dangers qui peuvent en résulter pour le service de l'exploitation.

Si l'on rappelle que la longueur d'exploitation totale des chemins de fer des cinq continents est d'environ 1 200 000 km., que l'ensemble des kilomètres-voyageurs effectués annuellement sur ce réseau très étendu peut être évalué au chiffre respectable d'environ 550 000 000 000 et que pour ce faire il faut environ 135 milliards de kilomètres-bandage par an, on se rend compte, combien il est important que les bandages des roues présentent une solidité et une sécurité suffisantes.

## Rapport

des experts Rothpletz, Rohn et Buchi  
sur la formation des fissures dans la galerie sous  
pression de l'usine de Ritom des CFF

(Suite.)<sup>1</sup>

### E. Conditions statiques de la maçonnerie dans la galerie.

La plus grande largeur de la galerie s'élève à 1 m. 60, la hauteur est de 2 m. Les rayons de courbure de l'intrados de la galerie sont les suivants :

calotte	0,8 m.
pieds-droits	3,0 »
radier	2,0 »
point de transition entre les pieds-droits et le radier	0,4 »

<sup>1</sup> Voir *Bulletin technique* du 16 avril 1921, page 88.

L'épaisseur du béton des profils normaux<sup>1</sup> I, II et III dont il a été fait usage est de :

type I	type II	type III
0,14 m.	0,25 m.	0,35 m. pour la voûte et les pieds-droits,
0,14 m.	0,20 m.	0,30 m. pour le radier.

Le type projeté N° IV, profil circulaire, n'a pas été exécuté et aucun profil n'a été armé ; seul l'enduit a été muni d'une armature en fer pour qu'il fût étanche et adhérât mieux au béton de la galerie.

La pression intérieure que doit supporter la galerie est de 4,5 atm. au maximum.

Pour l'appréciation des conditions statiques intérieures et extérieures du revêtement en béton, *le mode d'exécution des travaux et l'assiette du tube de béton* dans la roche qui l'entoure sont d'une importance capitale.

En ce qui concerne l'*exécution* des travaux, on peut admettre que les pieds-droits et la voûte, jusqu'à sa clef ont été établis d'une manière continue et d'une seule coulée. La clef de voûte a été bétonnée un à trois jours plus tard, et le radier bien après (un à trois mois). Les joints des deux côtés du radier pour le raccordement de ce dernier avec les pieds-droits aboutissent dans l'intrados 0,3 m. au-dessus du niveau de la ligne médiane du radier, et forment, extérieurement, un angle de 70° par rapport à l'horizontale. Ce mode d'exécution a pour effet de ne permettre à ces joints de supporter que de faibles efforts de traction. Les deux joints de la clef de voûte, où le damage a changé de direction, sont aussi des points faibles. (Fig. 4).

Quant à l'*assiette* du tube de béton dans la roche, il faut de nouveau prendre en considération le mode d'exécution ainsi que, tout particulièrement, la déformation des surfaces d'appui. Au sujet du mode d'exécution, il y a lieu d'admettre que le radier adhère bien, tandis que la liaison de la voûte avec la roche dépend surtout de la qualité des injections de ciment. Le béton des pieds-droits a pu être très bien appliqué jusqu'à 1,2 m. à peu près au-dessus du radier, mais moins parfaitement, cependant, que celui du radier même. Les injections n'ont été pratiquées que dans le faîte de la galerie, et la voûte joint probablement mieux, par conséquent, que les pieds-droits. La déformation de la gaine rocheuse peut être plastique ou élastique, autrement dit, elle peut consister en un écrasement ou déplacement durables de la couche, ou bien en une modification passagère, qui disparaît au moment où la surcharge cesse. Nous avons déjà examiné les conditions géologiques de la galerie. Cette dernière est, notamment dans son dernier tiers, située dans une roche feuillettée et tendre, sujette, par conséquent, aux déformations plastiques.

Les *profils choisis* par les organes des chemins de fer fédéraux prouvent que le revêtement en béton était, avant tout, destiné à résister à la pression extérieure. La pression intérieure n'a été envisagée qu'indirectement, en ce sens qu'on a attaché une grande importance à un bétonnage adhérant partout. En d'autres termes, on a pensé

<sup>1</sup> Voir ces profils à la page 89 de notre N° du 16 avril.