

Bulletin de l'Association  
internationale des chemins  
de fer ["puis" du Congrès des  
chemins de fer]

Association internationale du congrès des chemins de fer. Bulletin de l'Association internationale des chemins de fer ["puis" du Congrès des chemins de fer]. 03/1926.

**1/** Les contenus accessibles sur le site Gallica sont pour la plupart des reproductions numériques d'oeuvres tombées dans le domaine public provenant des collections de la BnF. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n°78-753 du 17 juillet 1978 :

- La réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur et notamment du maintien de la mention de source.

- La réutilisation commerciale de ces contenus est payante et fait l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

[CLIQUER ICI POUR ACCÉDER AUX TARIFS ET À LA LICENCE](#)

**2/** Les contenus de Gallica sont la propriété de la BnF au sens de l'article L.2112-1 du code général de la propriété des personnes publiques.

**3/** Quelques contenus sont soumis à un régime de réutilisation particulier. Il s'agit :

- des reproductions de documents protégés par un droit d'auteur appartenant à un tiers. Ces documents ne peuvent être réutilisés, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

- des reproductions de documents conservés dans les bibliothèques ou autres institutions partenaires. Ceux-ci sont signalés par la mention Source gallica.BnF.fr / Bibliothèque municipale de ... (ou autre partenaire). L'utilisateur est invité à s'informer auprès de ces bibliothèques de leurs conditions de réutilisation.

**4/** Gallica constitue une base de données, dont la BnF est le producteur, protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle.

**5/** Les présentes conditions d'utilisation des contenus de Gallica sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

**6/** L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur, notamment en matière de propriété intellectuelle. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

**7/** Pour obtenir un document de Gallica en haute définition, contacter [utilisationcommerciale@bnf.fr](mailto:utilisationcommerciale@bnf.fr).

## BULLETIN

DE L'ASSOCIATION INTERNATIONALE DU

## CONGRÈS DES CHEMINS DE FER

[ 621 .151.3 (.493) &amp; 621 .152.3 (.493) ]

**Résultats d'essais effectués sur une locomotive « Pacific »  
à quatre cylindres égaux, type 10, de l'État belge,**

Par M. F. LEGEIN,

INGÉNIEUR EN CHEF-INSPECTEUR DE DIRECTION AUX CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT BELGE.

Fig. 1 à 4, p. 245 à 250.

L'État belge a apporté, à titre d'essai, quelques modifications à une de ses locomotives *Pacific*, type 10, à quatre cylindres égaux, timbrées à 14 kgr. et munies d'un foyer profond de 5 m<sup>2</sup> de surface de grille.

Cette machine, construite en 1910, a déjà été décrite précédemment <sup>(1)</sup>, aussi nous bornerons-nous ici à en donner les caractéristiques principales :

Diamètre des roues accouplées . . .	1 980 mm.
Quatre cylindres } Diamètre . . .	500 mm.
égaux . . . . . } Course . . . . .	660 mm.
Timbre . . . . .	14 kgr./cm <sup>2</sup>
Diamètre du corps cylindrique (2 <sup>e</sup> virole) . . . . .	1 800 mm.
Gros tubes à fumée } Nombre . . . . .	31
ordinaires . . . . . } Diamètre . . . . .	118/127 mm.
Tubes à fumée } Nombre . . . . .	230
ordinaires . . . . . } Diamètre . . . . .	45/50 mm.

Longueur des tubes entre tôles tubulaires . . . . .	5 000 mm.
Diamètre des tubes surchauffeurs . . . . .	27/34 mm.
Surface de grille . . . . .	5 m <sup>2</sup>
Poids total en ordre de marche . . . . .	111.4 t.

En raison de son poids adhérent considérable, de la puissance de sa chaudière, cette machine a rendu de grands services pour la remorque des trains de voyageurs rapides sur les lignes accidentées, notamment sur celle de Bruxelles à Arlon qui présente des rampes fréquentes et prolongées de 16 mm. et pour laquelle la charge remorquée par cette machine est fixée à 360 t. et celle de Bruxelles à Liège qui est en rampe à peu près continue de 3 à 5 mm.

Cette locomotive présentait cependant quelques points faibles, que l'on ren-

(1) Voir l'ouvrage : *Le matériel des chemins de fer de l'État belge à l'Exposition universelle et internationale de Bruxelles de 1910*, par J. B. FLAMME, édité en 1911 à Paris, chez H. Dunod et E. Pinat, 47 et 49, quai des Grands-Augustins, et dont nous avons publié un compte rendu dans le numéro de juin 1911, p. 669, du *Bulletin du Congrès des chemins de fer*.

Voir également l'article intitulé : « Le matériel roulant des chemins de fer à l'Exposition universelle et internationale de Bruxelles 1910 », par A. SCHUBERT, dans les numéros de janvier et de février 1911 de la *Revue générale des chemins de fer*.

contre d'ailleurs à beaucoup de locomotives de grande puissance construites vers cette époque :

1° la surchauffe était insuffisante, la température de la vapeur dépassant à peine 300° C.;

2° le surchauffeur proprement dit offrait une section trop faible à la vapeur se rendant aux cylindres; la chute de pression de la chaudière aux chapeaux atteignait environ 2 kgr. par centimètre carré en plein travail;

3° la contrepression à l'échappement au fort travail, atteignait une valeur exagérée allant jusqu'à 0.8 à 0.9 kgr. par centimètre carré.

Les modifications qui ont été étudiées en vue de remédier à ces inconvénients comportent l'application d'un nouveau surchauffeur renforcé et d'un échappement double.

**Application d'un nouveau surchauffeur.** — Le faisceau tubulaire primitif comportait 31 gros tubes de 118/127 mm. et 230 tubes à fumée ordinaires de 45/50 mm. La longueur entre plaques tubulaires de ces tubes est égale à 5 m. Le surchauffeur comportait 31 éléments à double circuit de 27/34 mm. La distance des extrémités des éléments à la plaque tubulaire du foyer était 610 mm. Comme il a été dit plus haut, la température de la vapeur ne dépassait guère 300° C., ce qui est insuffisant pour obtenir un fonctionnement économique. Il convient de noter qu'à l'époque où la locomotive type 10 fut construite, il était de règle de proportionner la surface de surchauffe à la surface de chauffe ordinaire. Cette méthode n'était pas rationnelle, elle supposait à priori que les efficacités moyennes des surfaces de chauffe et de surchauffe étaient des quantités fixes. Il est

cependant loin d'en être ainsi : la transmission de la chaleur à travers un élément de surchauffe décroît rapidement en s'éloignant du foyer pour arriver à peu près à zéro à la boîte à fumée. L'efficacité de la tubulure ordinaire décroît également, mais beaucoup moins rapidement, vers la boîte à fumée; enfin, ce qui est au moins aussi important, l'intensité de la transmission de la chaleur dépend de la vitesse de circulation des gaz. Il ne suffit pas, en effet, qu'un surchauffeur présente une surface suffisante et convenablement placée, il faut encore que cette surface soit léchée par une fraction suffisamment grande du poids total des gaz de la combustion. Cette fraction devra être d'autant plus grande, évidemment, que la vaporisation par kilogramme de combustible sera plus élevée.

Le nouveau surchauffeur comporte 40 éléments de 125/133 mm. Le nombre de tubes à fumée ordinaires de 45/50 mm. a été réduit à 190. Les éléments sont constitués de tubes de 30.5/38 mm., de plus, la boucle de retour ne s'étend plus jusqu'à la plaque tubulaire de la boîte à fumée, elle s'arrête à 3 m. 60 de la plaque tubulaire du foyer. Conformément à la pratique actuellement générale, l'étouffoir a été supprimé. Les quatre reniflards placés sur les tuyaux amenant la vapeur aux cylindres ont été remplacés par un reniflard unique étudié spécialement et placé sur le compartiment vapeur saturée du collecteur (fig. 1). Ce reniflard unique se compose des organes du reniflard Knorr à commande par l'air comprimé. Le raccordement au collecteur se fait par un canal cylindrique dans l'axe duquel s'écoule un jet de vapeur, amenée en V et qui accentue l'appel d'air par le reniflard. Cet écoulement de vapeur est commandé par un robinet placé dans la boîte à fu-

mée (voir fig. 3) et manœuvré de la cabine au moyen d'une tringle disposée le long du corps cylindrique. Ce robinet

est maintenu ouvert aussi longtemps que la machine roule, que le modérateur soit ouvert ou fermé.

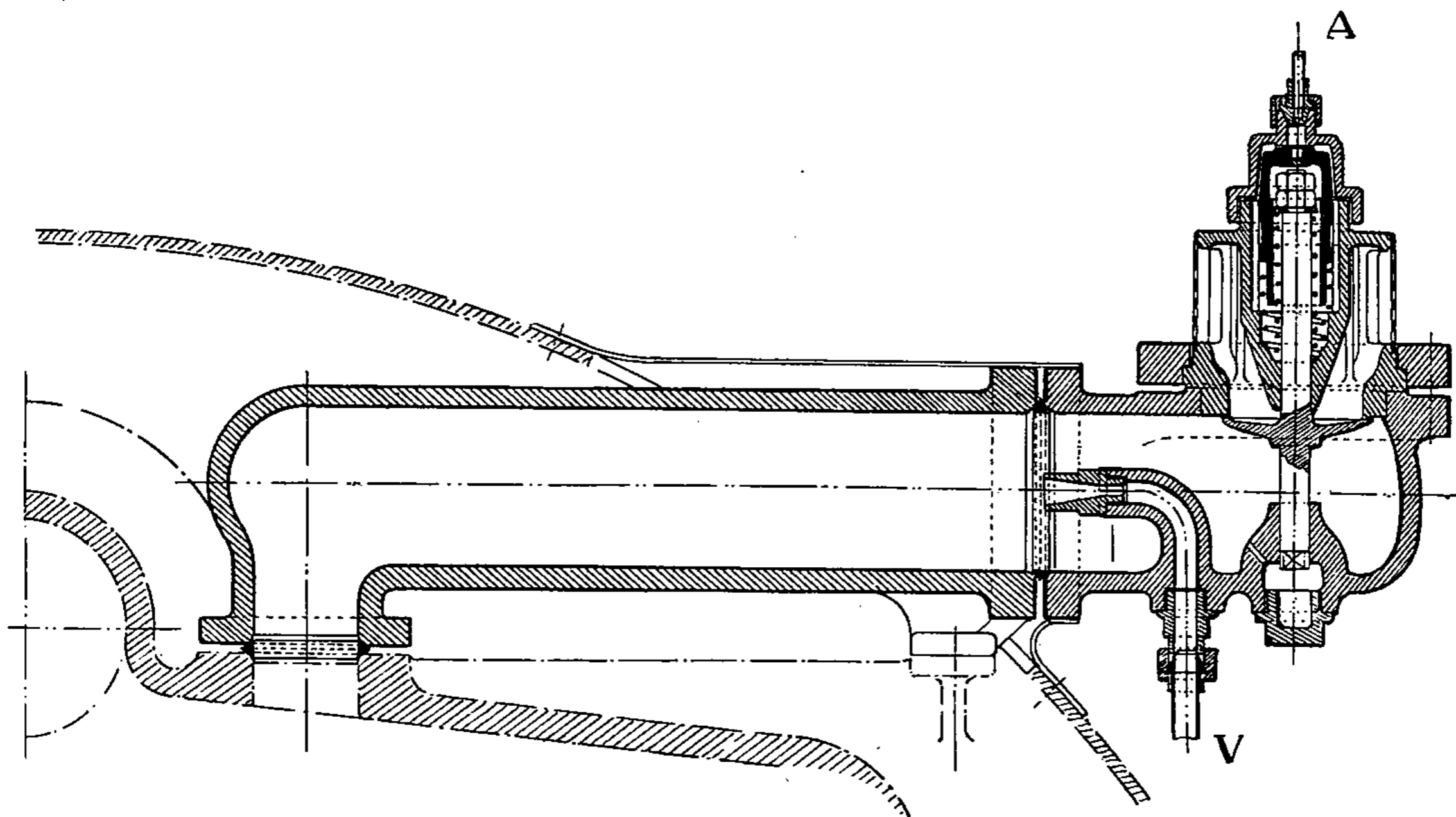


Fig. 1.

Dès que le modérateur est fermé, le mécanicien fait manœuvrer les robinets de «by-pass» des cylindres. Pour cela, il ouvre un robinet à trois voies placé à sa portée et qui envoie l'air comprimé aux cylindres de commande des robinets de «by-pass». L'air comprimé est envoyé en même temps en A (fig. 1) au reniflard placé sur le collecteur. Celui-ci s'ouvre, l'air atmosphérique aspiré par les cylindres traverse le surchauffeur, rafraîchit les éléments et s'échauffe lui-même avant de se rendre aux cylindres. Le jet de vapeur dont il a été question plus haut renforce encore la circulation de l'air, cette vapeur a d'ailleurs un effet favorable sur la conservation des huiles des cylindres.

La disposition décrite a donné de très bons résultats : la machine roule tout à

fait librement à modérateur fermé et le graissage des tiroirs cylindriques est parfait. Ces avantages s'obtiennent, en somme, au prix d'une dépense de vapeur relativement faible. A modérateur ouvert, la vapeur du jet s'ajoute simplement à celle qui est amenée par le modérateur pour se rendre aux cylindres, elle est donc employée normalement.

Le surchauffeur renforcé a permis d'atteindre couramment la température de 345 à 350° C.

Le diamètre intérieur des éléments ayant été porté de 27 à 30,5 mm., leur nombre étant de 40 au lieu de 31, la section totale de passage offerte à la vapeur est actuellement 292 cm<sup>2</sup> 2 contre 177 cm<sup>2</sup> 5. La chute de pression de la chaudière aux chapelles reste actuelle-

ment dans des limites acceptables, elle reste inférieure à 1 kgr. par cm<sup>2</sup> au plus fort travail.

**Application d'un double échappement.**  
— La locomotive type 10 comportait primitivement un échappement simple, la tuyère de décharge se trouvait à 260 mm. au-dessus de l'axe de la chaudière. La disposition relative de la tuyère et de la cheminée est indiquée au schéma figure 2.

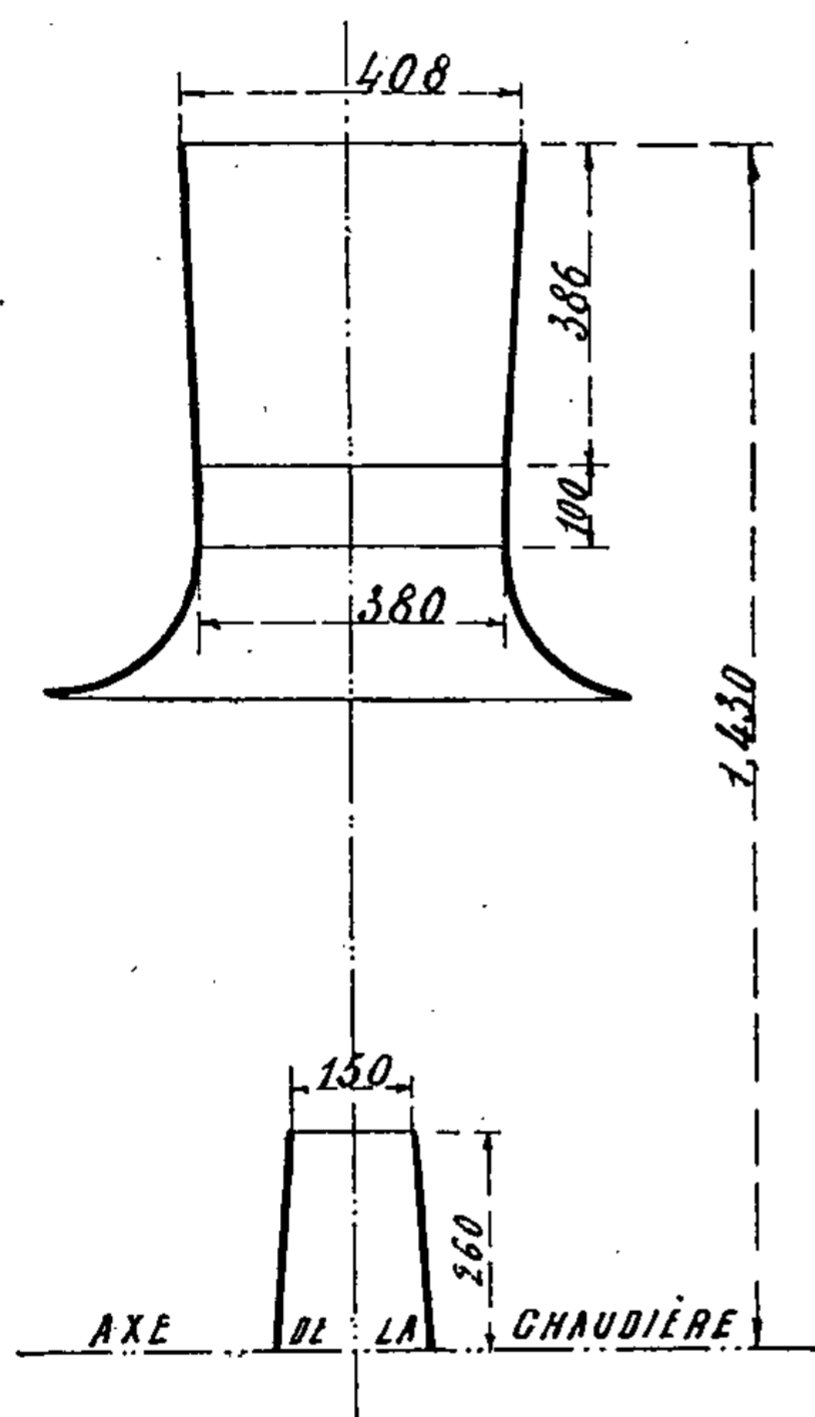


Fig. 2.

L'échappement ainsi réalisé ne pouvait être avantageux pour une locomotive à foyer profond de 5 m<sup>2</sup> de grille. Il est aisé de s'en rendre compte en remarquant que des locomotives d'un fonctionnement éprouvé et de puissance *moitié moindre* avaient déjà une cheminée de même diamètre.

Si la cheminée du type 10 doit évacuer

un volume de gaz et de vapeur deux fois plus grand, les vitesses de gaz et de vapeur à considérer sont également doubles. A une vitesse double de la vapeur correspond une contre-pression *quadruple*. Ce raisonnement simple suppose évidemment que l'on conserve, non seulement le diamètre de la cheminée, mais encore celui de la tuyère d'échappement.

En réalité, il n'en est pas ainsi, le diamètre de la tuyère est de 150 mm. au type 10, alors qu'il était de 135 mm. aux machines de puissance moitié moindre. Cet accroissement de diamètre de la tuyère diminuait l'importance de la contre-pression, mais cet avantage était obtenu au prix d'un autre inconvénient. Le rapport des diamètres respectifs de la cheminée et de la tuyère est diminué et, de ce chef, le rendement de l'appareil d'échappement se trouve réduit; le poids de gaz que peut entraîner chaque kilogramme de vapeur est devenu plus faible. C'est évidemment pour ce motif que le diamètre de 150 mm. pour la tuyère unique du type 10 ne pouvait être augmenté. Encore ne pouvait-il suffire que parce que le combustible utilisé était de bonne qualité et que la surchauffe était peu intense.

Pour remédier aux inconvénients signalés ci-dessus, il eût été désirable d'adopter une cheminée de diamètre plus grand et une section de tuyère correspondante, également agrandie. On aurait dû, logiquement, adopter des sections de cheminée et de tuyère *doubles* de celle de la machine éprouvée de puissance moitié moindre.

On eût été ainsi conduit à augmenter les distances en hauteur des sections de tuyère et de cheminée dans le rapport  $\sqrt{2} = 1.41$ . Il est nécessaire, en effet, d'avoir toute certitude que le jet de vapeur *touche* les parties supérieures de la

cheminée. L'inclinaison du cône formé par le jet étant constante et égale à environ  $1/10$ , il va de soi que plus les sections en présence sont considérables, plus la tuyère doit être éloignée de la cheminée.

Si l'espace disponible ne faisait pas défaut, il serait bien simple de constituer l'échappement unique répondant aux meilleures conditions de fonctionnement. Si cela a pu être réalisé d'une façon très satisfaisante pour des machines de 2 à 3 m<sup>2</sup> de surface de grille (foyers profonds), il n'en est plus de même lorsque la surface de grille atteint et dépasse 5 m<sup>2</sup>.

Dans le cas particulier du type 10, il s'agissait de respecter le gabarit de 4 m. 28 et de placer la tuyère d'échappement à une hauteur acceptable au-dessus des cylindres intérieurs.

Il a paru avantageux de faire l'essai d'un double échappement, disposition qui consiste à mettre simplement en parallèle deux échappements simples, de section moitié moindre de celle qu'il eût fallu avec un échappement unique convenable.

Cette idée n'est pas neuve. Nozo et Geoffroy ont envisagé et rendu compte de solutions de ce genre dans leur très remarquable mémoire qu'ils ont présenté à la Société des Ingénieurs civils de France en 1863, travail admirable dans lequel ces deux savants ingénieurs ont dégagé, si tôt, et d'une manière si précise et si claire, les lois principales de l'échappement des locomotives.

A cette époque, les locomotives étaient loin d'avoir la puissance de celles d'aujourd'hui. Il était bien aisé de concilier les exigences du gabarit avec une disposition rationnelle des organes d'un échappement simple. Un échappement multiple dont l'emploi avait été démontré comme praticable sans inconvénient ne se justi-

fiait donc pas et c'est bien certainement pour cette raison que les essais de ce genre effectués par Nozo et Geoffroy sont restés sans application pratique aux locomotives.

Mais combien les conditions de construction ont changé depuis! D'une part, le gabarit est resté le même; d'autre part, la présence de cylindres intérieurs de diamètres toujours croissants ont obligé d'élever le niveau de la tuyère plutôt que de l'abaisser. La distance entre la tuyère et le bord supérieur de la cheminée a donc plutôt diminué, tandis que cette hauteur eût dû logiquement croître approximativement avec la racine carrée du poids de vapeur produite.

La figure 3 représente l'application d'un échappement double aux locomotives type 10. Il convient de remarquer que les deux tuyères débouchent d'une canalisation *commune* et que chacune des deux cheminées cylindriques communique directement avec la capacité unique formant boîte à fumée. Le diamètre de chacune des tuyères est de 135 mm. Elles correspondent donc comme section totale à une tuyère unique de 191 mm. de diamètre, chiffre à rapprocher du diamètre de 150 mm. de la tuyère unique des locomotives type 10. La section totale d'écoulement est donc 1.62 fois plus grande.

Le rapport du diamètre de la cheminée à celui de la tuyère qui était primitivement  $\frac{408}{150} = 2.72$  est actuellement égal à  $\frac{420}{135} = 3.11$ .

L'accroissement de ce rapport conduit à un meilleur rendement de l'échappement, le poids de gaz entraîné par kilogramme de vapeur étant plus élevé.

Cet échappement double a donné toute satisfaction; il a permis d'assurer la pro-

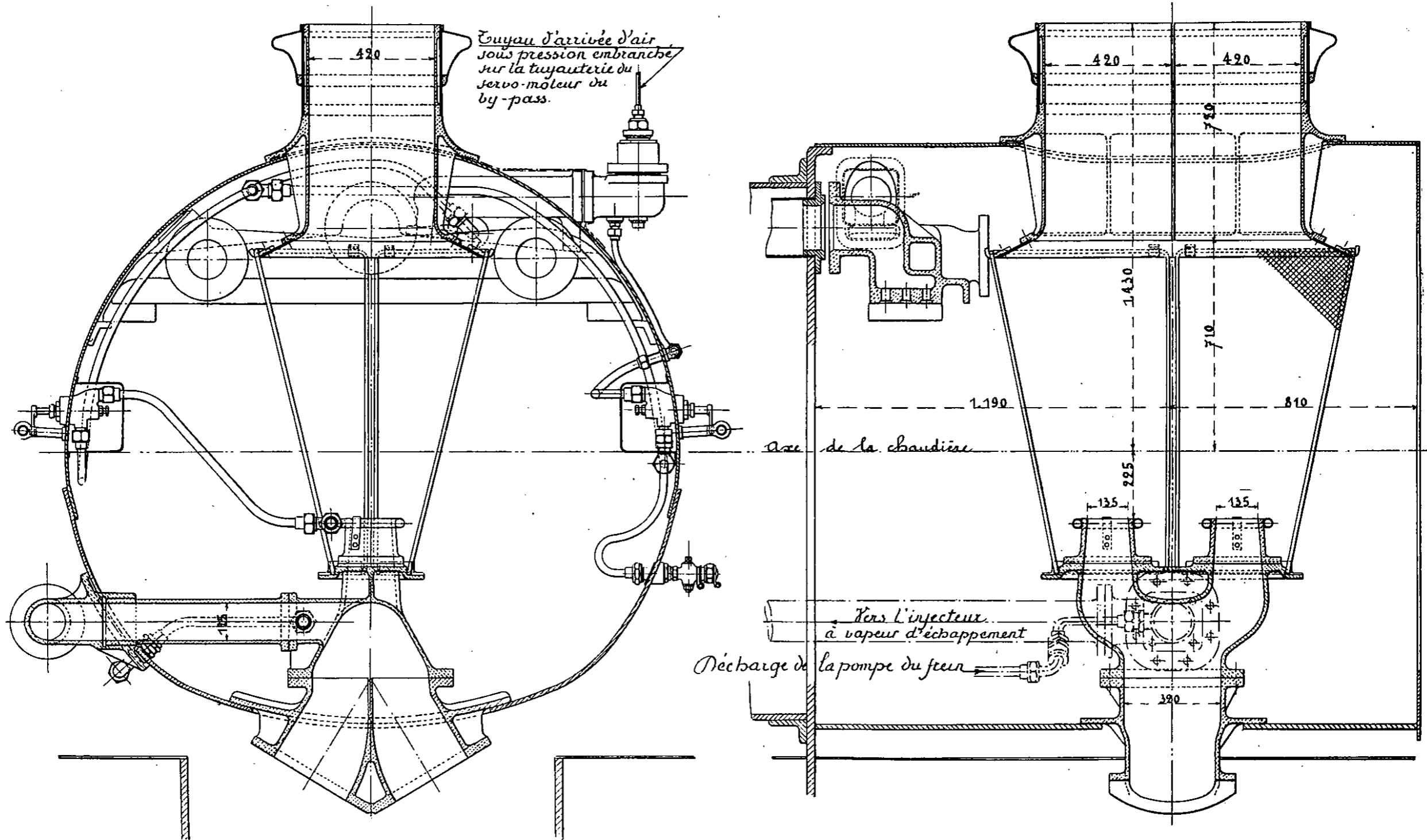


Fig. 3.



duction maximum de la chaudière, soit plus de 15 000 kgr. de vapeur par heure, avec une section de tuyères 1.62 fois plus grande qu'auparavant, bien que la vapeur fut portée à un degré de surchauffe plus élevé, circonstance de nature à justifier un échappement plus serré.

Les mesures effectuées au cours des essais dynamométriques ont montré que la contre-pression à l'échappement, dont la valeur atteignait parfois 0 kgr. 95 par centimètre carré avec l'échappement unique, ne dépassait pas, dans des conditions de travail semblables <sup>(1)</sup> 0 kgr. 370 par cm<sup>2</sup> avec l'échappement double.

\* \* \*

**Essais dynamométriques.** — La locomotive n° 4505, type 10, fut soumise à une série d'essais dynamométriques; elle avait été munie du surchauffeur renforcé décrit plus haut, d'un échappement double et d'un injecteur à vapeur d'échappement système Metcalfe.

Les résultats les plus intéressants de ces essais sont reproduits ci-après :

**Premier voyage : Bruxelles-Nord à Ans (Liège), train n° 82 du 6 juillet 1925.**

Nombre d'essieux du train.....	60 (composition maximum autorisée).
Nombre de véhicules..	15 (voitures à bogies).
Charge du train.....	725 t.
Tare totale du train...	613 t.

Le parcours Bruxelles-Nord à Ans comportant 94 km. en rampe presque continue de 3 à 5 mm. fut franchi sans arrêt en 74 m. 55 s. La capacité de production maximum de la chaudière ne fut pas atteinte, la vitesse de marche fut limitée en de nombreux endroits par suite des travaux de réfection des voies.

<sup>(1)</sup> Avec 45 % d'admission, modérateur complètement ouvert, à la vitesse de 66 km. par heure.

Les résultats enregistrés par le wagon-dynamomètre concernant ce voyage sont consignés ci-après :

Travail total aux cylindres en chevaux-heures indiqués. . .	$T_i = 2\ 050$
Travail utile, au crochet de traction du tender, en chevaux-heures. . . . .	$T_u = 1\ 265$
Rapport $\frac{T_u}{T_i}$ . . . . .	$= 0.618$
Consommation d'eau totale. . .	$E = 17\ 000\ l.$
Consommation de charbon totale . . . . .	$C = 2\ 250\ kgr.$
Consommation <i>moyenne</i> de vapeur en kilogrammes par cheval-heure indiqué. . . . .	$\frac{E}{T_i} = 8.30$
Consommation <i>moyenne</i> de charbon en kilogrammes par cheval-heure indiqué. . . . .	$\frac{C}{T_i} = 1.098$

**Deuxième voyage : Bruxelles-Nord à Arlon, train n° 14 du 11 juillet 1925.**

Nombre d'essieux du train . . . . .	36
Nombre de véhicules . . . . .	9
Charge du train . . . . .	384 t.
Tare totale du train . . . . .	342 t.

Le parcours de Bruxelles-Nord à Arlon comporte un profil en dents de scie, long de 192 km. et présentant des déclivités atteignant fréquemment 16 mm. par mètre. Le trajet de Namur à Courrière est en rampe à peu près continue de 16 mm. sur 13 km.; la vitesse soutenue de 60 km. à l'heure y a été réalisée.

Les résultats dynamométriques sont les suivants :

Travail total aux cylindres en chevaux-heures indiqués. . .	$T_i = 3\ 480$
Travail utile, au crochet de traction du tender, en chevaux-heures . . . . .	$T_u = 2\ 165$
Rapport $\frac{T_u}{T_i}$ . . . . .	$= 0.624$
Consommation d'eau totale. . .	$E = 32\ 220\ l.$
Consommation de charbon totale . . . . .	$C = 3\ 872\ kgr.$

Consommation *moyenne* de vapeur en kilogrammes par cheval-heure indiqué. . . . .  $\frac{E}{T_i} = 9.25$

Consommation *moyenne* de charbon en kilogrammes par cheval-heure indiqué. . . . .  $\frac{C}{T_i} = 1.11$

La consommation moyenne plus élevée, constatée au cours de cet essai provient des conditions de travail moins avantageuses pour la machine (grandes admissions, faibles vitesses, fermetures plus fréquentes du modérateur) qui résultent du profil difficile de la ligne.

**Troisième voyage : Bruxelles-Nord à Ostende et retour, effectué aux trains n<sup>os</sup> 3025 et 3042 du 18 septembre 1925.**

Ce voyage eut uniquement pour but de déterminer les courbes représentant l'effort de traction indiqué en fonction de la vitesse et du degré d'admission, le modérateur étant complètement ouvert et la pression à son maximum, soit 14 kgr. par centimètre carré.

Les courbes sont représentées figure 4. Le diagramme donne de plus la valeur de la résistance de la locomotive et du tender aux différentes vitesses.

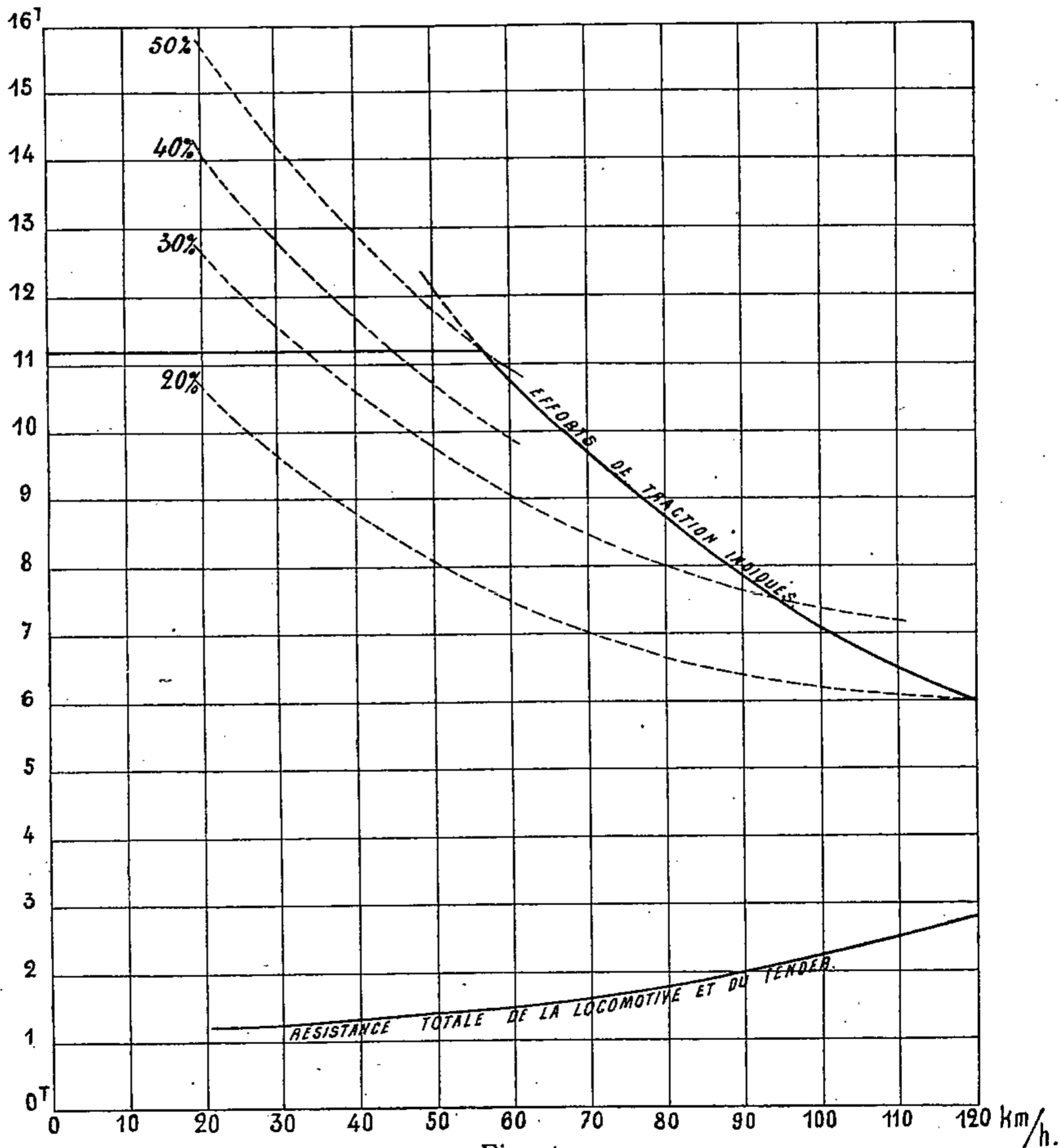


Fig. 4.

Les divers essais auxquels la machine a été soumise ont montré que lorsque la chaudière est alimentée de bon combustible (briquettes), le régime normal de marche soutenue correspond à un produit de la vitesse exprimée en kilomètres par heure par le degré d'admission aux cylindres exprimé en % égal à 2 400.

En tablant sur cette base, le diagramme a été complété par la courbe donnant les efforts de traction indiqués maximums en marche soutenue.

La puissance indiquée maximum soutenue constatée au cours de ces essais s'est élevée à 2 700 ch., à 20 % d'admission et à 120 km. à l'heure.

Le poids total, en ordre de marche, de la machine sans tender étant de 111.4 t., la puissance maximum développée par tonne

de locomotive s'élève à 24.2, chiffre exceptionnellement élevé.

Les courbes données figure 4 sont celles qui ont été relevées avec la machine n° 4505. Cette locomotive, n'étant pas neuve, s'écartait légèrement, en ce qui concerne les diamètres des cylindres et le diamètre des roues, des dimensions primitives. L'expression caractéristique  $\frac{2pd^2l}{D}$  atteignait pour cette machine la valeur 24 069 alors que les dimensions primitives conduisent au chiffre 23 333.

Si l'on introduit les valeurs réelles de  $d$  et de  $D$  dans la formule de l'effort de traction indiqué moyen :

$$T_i = \alpha \cdot \frac{2pd^2l}{D}$$

on trouve la série des valeurs de  $\alpha$  donnée par le tableau ci-dessous :

Valeur de $\alpha$ dans la formule $T_i = \alpha \cdot \frac{2pd^2l}{D}$ .					
$n$ , nombre de révolutions par minute.	$V$ , vitesse en kilomètres à l'heure.	Degré d'admission, en pour cent :			
		20	30	40	50
60	22.38	0.4340	0.5150	0.5725	0.6360
80	29.82	0.4020	0.4810	0.5330	0.5920
100	37.30	0.3750	0.4495	0.4970	0.5500
120	44.75	0.3500	0.4220	0.4655	0.5120
140	52.20	0.3300	0.3980	0.4365	0.4820
160	59.62	0.3120	0.3770	0.4125	0.4555
180	67.10	0.2965	0.3582	...	...
200	74.60	0.2840	0.3430	...	...
220	82.00	0.2730	0.3282	...	...
240	89.50	0.2660	0.3180	...	...
260	97.00	0.2582	0.3082	...	...
280	104.50	0.2545	0.3022	...	...
300	111.80	0.2505	...	...	...
320	119.20	0.2490	...	...	...

L'ensemble des essais a conduit aux conclusions suivantes :

La puissance maximum indiquée de la locomotive type 10 a été portée de 2 250 à 2 700 ch., en même temps que sa consommation par cheval-heure indiqué était réduite de 20 % environ.

Ces résultats sont dus :

*a)* à la réduction considérable de la contre-pression à l'échappement;

*b)* à la diminution de la chute de pression de la chaudière aux chapes;

*c)* à la température plus élevée de la vapeur surchauffée.

L'influence de la surchauffe a une importance prépondérante dans l'économie de consommation réalisée.

---

## Note sur un nouvel appareil servant à découvrir les défauts internes des rails, <sup>(1)</sup>

Par M. M. SUZUKY,

INGÉNIEUR AU SERVICE DES ÉTUDES ET ESSAIS DES CHEMINS DE FER DU GOUVERNEMENT JAPONAIS, TOKIO (JAPON).

Fig. 1 à 25, p. 255 à 271.

### I. — Avant-propos.

La détermination de la résistance et la détection des défauts d'homogénéité de l'acier à rails et d'autres métaux a pris, dans ces derniers temps, une importance de plus en plus grande. Les différentes épreuves actuellement usitées : essais par traction, par compression, essais de flexion et de torsion, essais de dureté, analyse de la composition chimique, etc., présentent l'inconvénient que les spécimens essayés ne peuvent plus être remis en service comme matériel industriel. D'autre part, l'utilité de ces épreuves est basée sur l'hypothèse que les éprouvettes représentent exactement la structure et le procédé de fabrication des produits en question. Or, quand il s'agit de pièces d'une certaine longueur, il est difficile de s'assurer si leur section transversale a partout une structure homogène et une résistance uniforme. C'est ainsi, par exemple, que les rails de chemins de fer ne peuvent pas toujours être exempts d'un défaut d'homogénéité. Dans certains rails en service, on trouve des fissures invisibles du dehors (appelées fissures transversales : voir fig. 14), des régions ayant subi des efforts anormaux, des ségréga-

tions d'impuretés dues à une fabrication mal soignée ou mal étudiée et à un traitement thermique inégal. Ce sont des défauts qu'il est impossible de découvrir à l'aide des méthodes d'essai ordinaires. La présente note a pour objet de décrire un nouvel appareil, étudié dans notre laboratoire, qui permet de déceler du dehors les défauts internes dans les rails et autres pièces en fer ou en acier de section transversale uniforme, tout en laissant intactes les pièces essayées.

Ainsi que nous l'expliquerons plus loin, le fonctionnement de cet appareil, auquel nous avons donné le nom de défectoroscope magnétique pour rails, est basé sur l'induction magnétique.

Dans un intéressant mémoire relatif à cette question, le D<sup>r</sup> P. H. Dudley a décrit <sup>(2)</sup> un appareil destiné à déceler les défauts des rails en acier. La première note sur les actions magnétiques a été rédigée par le D<sup>r</sup> C. W. Burrows et M. F. P. Fahy, du « Bureau of Standards » des États-Unis <sup>(3)</sup>; les auteurs partent du principe qu'il existe une relation étroite entre les propriétés magnétiques et mécaniques des aciers à rails. Enfin, des monographies sur la question de l'analyse

<sup>(1)</sup> Traduit de l'anglais.

<sup>(2)</sup> P. H. DUDLEY, *Iron Age*, vol. 108 (1921), p. 1271, et vol. 104 (1919), p. 43. — P. H. DUDLEY, A. S. T. M. (Société américaine pour les essais des matériaux), vol. 19 (1919), p. 51.

<sup>(3)</sup> C. W. BURROWS et F. P. FAHY, A. S. T. M., vol. 19 (1919), p. 7.

magnétique ont été publiées par le professeur S. R. Williams, du collège Oberlin, et M. N. J. Gebert, du département métallurgique de la maison Holy & Co., de New-York.

Ils ont fait remarquer que l'analyse magnétique peut être appliquée à l'étude des effets des traitements thermique et mécanique de l'acier et que l'on peut s'en servir pour découvrir des défauts dans les pièces formées de métaux ferreux et ayant une section uniforme, telles que les rails ou barres en acier.

Pour trouver les défauts, ils employaient la méthode du flux magnétique total et il fallait 25 minutes pour terminer une série de vérifications sur un rail, la moitié de ce temps étant nécessaire pour mettre le rail en place sur les appuis et le retirer. Le défectorscope du D<sup>r</sup> Dudley n'est pas portatif et ne peut donc pas être utilisé en campagne; d'ailleurs, les courbes tracées par cet appareil ne sont pas assez nettes pour qu'on puisse facilement découvrir les défauts des rails.

Nous avons voulu aller plus loin. Au lieu de l'appareil compliqué et non portatif du D<sup>r</sup> Dudley, nous en avons imaginé un qui est très simple et portatif et dans lequel nous appliquons la méthode des pertes ou fuites de flux magnétique. Nous l'avons essayé en 1920-1922 sur cent rails. Il fallait une ou deux minutes pour effectuer une série d'essais sur un rail. On en trouvera la description détaillée dans les chapitres qui suivent. Pour la gouverne du lecteur, nous ajouterons que cette méthode n'est applicable qu'aux pièces de section uniforme en matériaux ferreux.

## II. — Appareil et méthode d'essai.

On sait que quand un corps ferro-magnétique, tel que le fer ou l'acier, est placé dans un champ magnétique intense,

il est aussitôt magnétisé par induction et devient un aimant. L'intensité de la magnétisation varie beaucoup avec les propriétés des corps dont il s'agit et aussi avec le traitement mécanique et thermique qu'ils ont subi. Par exemple, l'intensité de magnétisation d'un acier au carbone diminue à mesure que la teneur en carbone augmente. De même, un fait bien connu est que l'intensité de magnétisation, c'est-à-dire la perméabilité magnétique, varie entre des limites étendues avec le forgeage, le traitement thermique, etc.; en d'autres termes, elle dépend beaucoup des tensions dues à des efforts extérieurs. A cette action du traitement thermique et des efforts mécaniques s'ajoute enfin celle des matières étrangères et des scories qui exercent une grande influence sur la perméabilité magnétique  $\mu$ .

Nous allons examiner maintenant quelles sont les relations qui existent entre la force magnétomotrice, le flux magnétique et la réluctance magnétique.

Appelons :

- N, le nombre total de spires de la bobine magnétisante;
- $l$ , la longueur axiale de la bobine magnétisante, en centimètres;
- $n$ , le nombre de spires de la bobine magnétisante par centimètre de longueur de l'aimant, de sorte que  $\frac{N}{l} = n$ ;
- $i$ , le courant de la bobine magnétisante, en ampères;
- H, l'intensité magnétique en unités C. G. S. (gauss).

Il vient alors :

$$H = \frac{4\pi Ni}{10l} = 0.4 \pi ni \text{ gauss.}$$

Telle est l'intensité magnétique produite dans une bobine à travers laquelle circule un courant de  $i$  ampères.

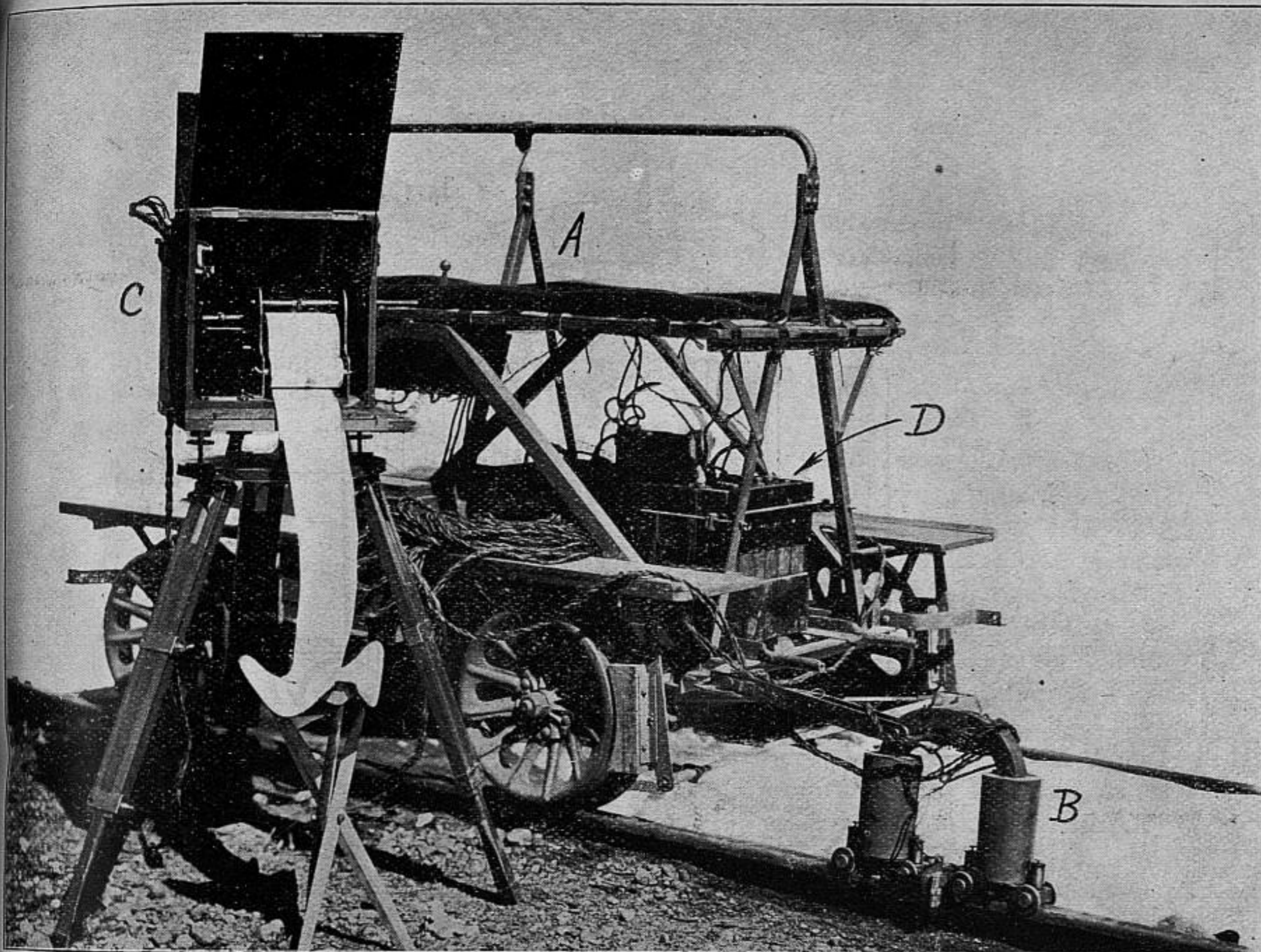


Fig. 1. — Vue d'ensemble du déflectoscope magnétique.

LÉGENDE : A = Chariot moteur. — B = Électro-aimant. — C = Appareil enregistreur. — D = Batterie.

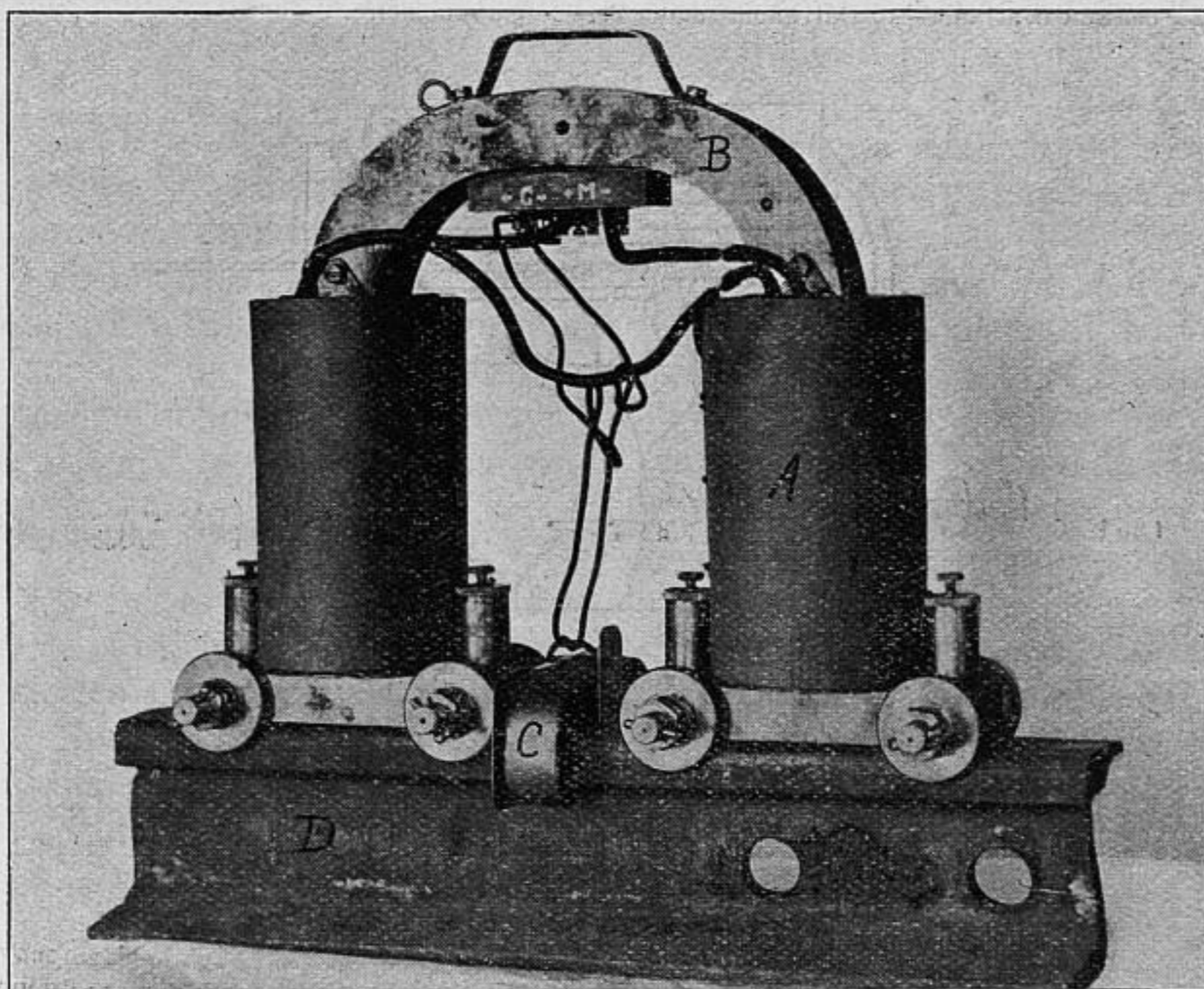


Fig. 2. — Vue détaillée de l'électro-aimant en place sur un rail.

LÉGENDE : A = Bobine magnétisante. — B = Noyau de fer doux. — C = Bobine d'exploration. — D = Rail.

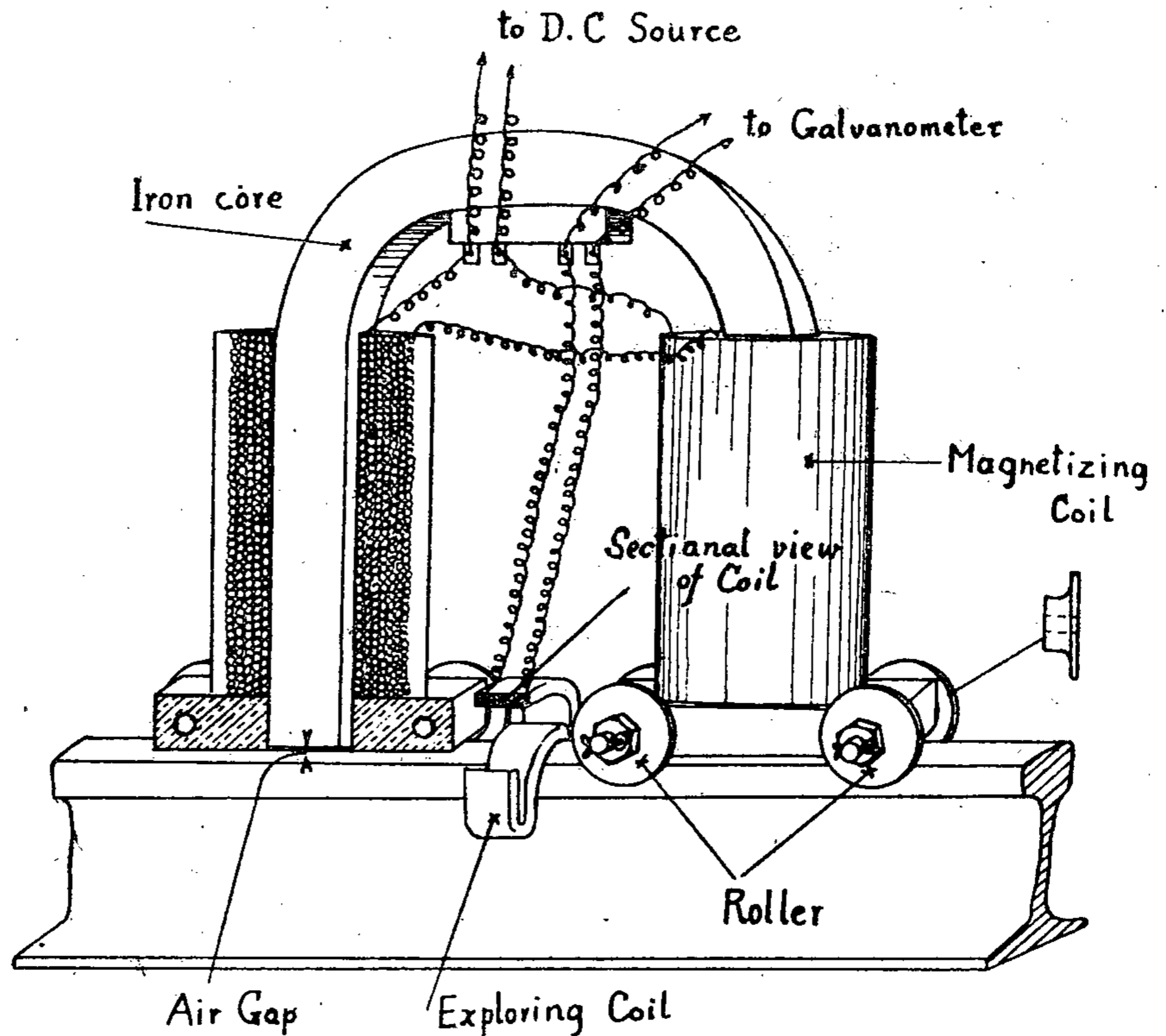


Fig. 3. — L'électro-aimant en place sur un rail.

*Explication des termes anglais:* Air gap = Vide. — Exploring coil = Bobine d'exploration. — Iron core = Noyau de fer doux. — Magnetizing coil = Bobine magnétisante. — Roller = Galet. — Sectional view of coil = Vue en coupe de la bobine. — to D. C. source = Vers la source de courant continu. — to Galvanometer = Vers le galvanomètre.

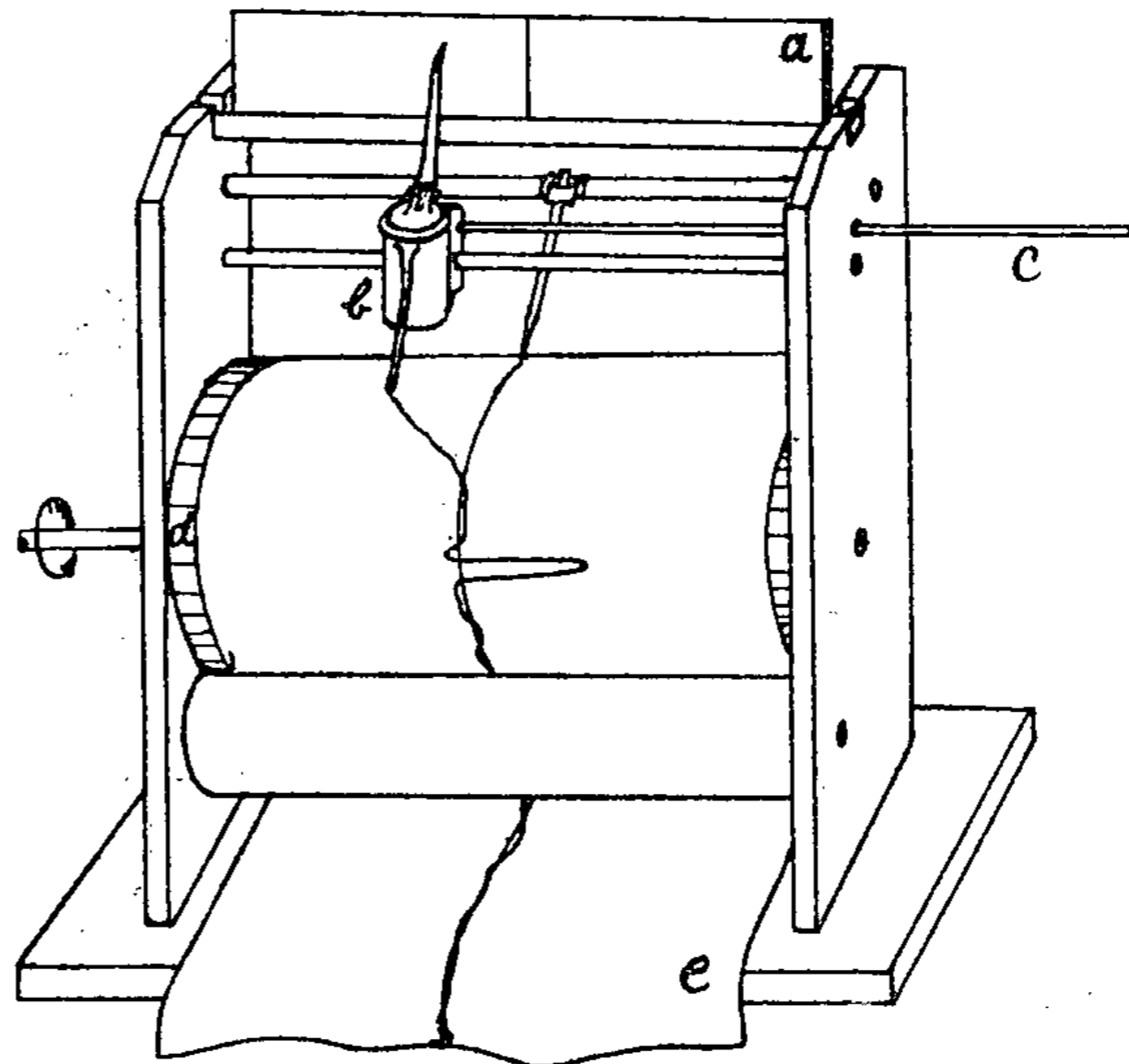


Fig. 4. — Vue détaillée de l'appareil enregistreur.

LÉGENDE : a = Verre dépoli. — b = Porte-plume. — c = Tige de manœuvre du porte-plume. — d = Tambour enregistreur. — e = Papier enregistreur. — f = Arbre partant du mouvement d'horlogerie.



Soient, en outre,  
 S, l'aire de la section transversale du  
 noyau de fer, en centimètres carrés;  
 $\mu$ , la perméabilité du fer du noyau;  
 B, l'induction magnétique, en gauss;  
 $\Phi$ , le flux magnétique dû à l'induction  
 magnétique.

Nous aurons alors la relation :

$$\Phi = BS.$$

Et comme

$$B = \mu H,$$

$$\Phi = \mu HS = \frac{0.4 \pi Ni S \mu}{l} = \frac{0.4 \pi Ni}{\frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{S}} \text{ gauss.}$$

Ce flux magnétique  $\Phi$  est celui produit  
 par l'intensité magnétique H dans un  
 noyau de fer de perméabilité  $\mu$  et de  
 section S centimètres carrés.

On remarquera la similitude étroite  
 entre l'expression ci-dessus et la loi  
 d'Ohm relative au courant électrique.  
 Appelons maintenant « circuit magné-  
 tique » le circuit du flux magnétique,  
 « force magnétomotrice » la force magné-  
 tisanse  $0.4 \pi Ni$  agissant sur ce circuit, et  
 désignons  $\frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{S}$  sous le nom de « résis-  
 tance magnétique » ou « réluctance », par  
 analogie avec « circuit électrique »,  
 « force électromotrice » et « résistance  
 électrique ». On voit alors par la formule  
 ci-dessus que le flux magnétique est di-  
 rectement proportionnel à la force magné-  
 tomotrice  $0.4 \pi Ni$  et inversement pro-  
 portionnel à la réluctance  $\frac{1}{\mu} \cdot \frac{l}{S}$ . Les  
 éléments N, i, l et S de la force magnéto-  
 motrice et de la réluctance étant constants  
 pour un électro-aimant donné, il est évi-  
 dent que le flux magnétique  $\Phi$  n'est fonc-  
 tion que de la perméabilité  $\mu$ . Par suite,  
 si d'autres substances magnétiques de

section et de perméabilité différentes se  
 trouvent placées dans le circuit magné-  
 tique, le flux magnétique  $\Phi$  devient :

$$\Phi = \frac{0.4 \pi Ni}{\frac{1}{\mu_1} \cdot \frac{l_1}{S_1} + \frac{1}{\mu_2} \cdot \frac{l_2}{S_2}}$$

Dans cette expression,  $\mu$  varie avec la  
 nature du corps employé; pour le fer pur  
 on a :  $\mu = 2\,000$ ; pour l'acier,  $\mu = 400$ ;  
 pour l'air,  $\mu = 1$ , de sorte que si une  
 discontinuité d'environ 1 mm. d'air existe  
 dans le circuit magnétique, le flux ne  
 représente qu'une fraction de celui d'un  
 circuit magnétique sans solution de con-  
 tinuité.

Si la perméabilité est constante, le ma-  
 gnétisme produit par les lignes de force  
 magnétiques constantes (ou flux magné-  
 tique) sera constant dans toute la lon-  
 gueur de l'éprouvette. Mais si l'éprouvette  
 a un défaut en un point quelconque, sa  
 perméabilité n'est pas constante, l'inten-  
 sité du flux magnétique subira une  
 variation en ce point et il s'y produira  
 une perte de flux magnétique. Dès lors,  
 si une bobine d'exploration (fig. 6 et 7)  
 est promenée le long de la barre d'essai  
 et si le courant induit dans la bobine est  
 mesuré par la méthode du galvanomètre,  
 la perte de flux magnétique sera décelée.  
 En d'autres termes, si le spécimen (le  
 rail) est homogène, c'est-à-dire si la per-  
 méabilité est constante dans toute sa  
 longueur, et si la perte de flux magnétique  
 est constante, il ne sera pas induit de  
 courant dans la bobine d'exploration et  
 le miroir du galvanomètre ne sera pas  
 dévié, tandis que, d'autre part, s'il existe  
 un défaut en un point quelconque du  
 spécimen et si l'uniformité de la perte de  
 flux magnétique est localement interrom-  
 pue, le courant induit dans la bobine  
 d'exploration provoque une déviation du  
 miroir du galvanomètre, de sorte qu'en

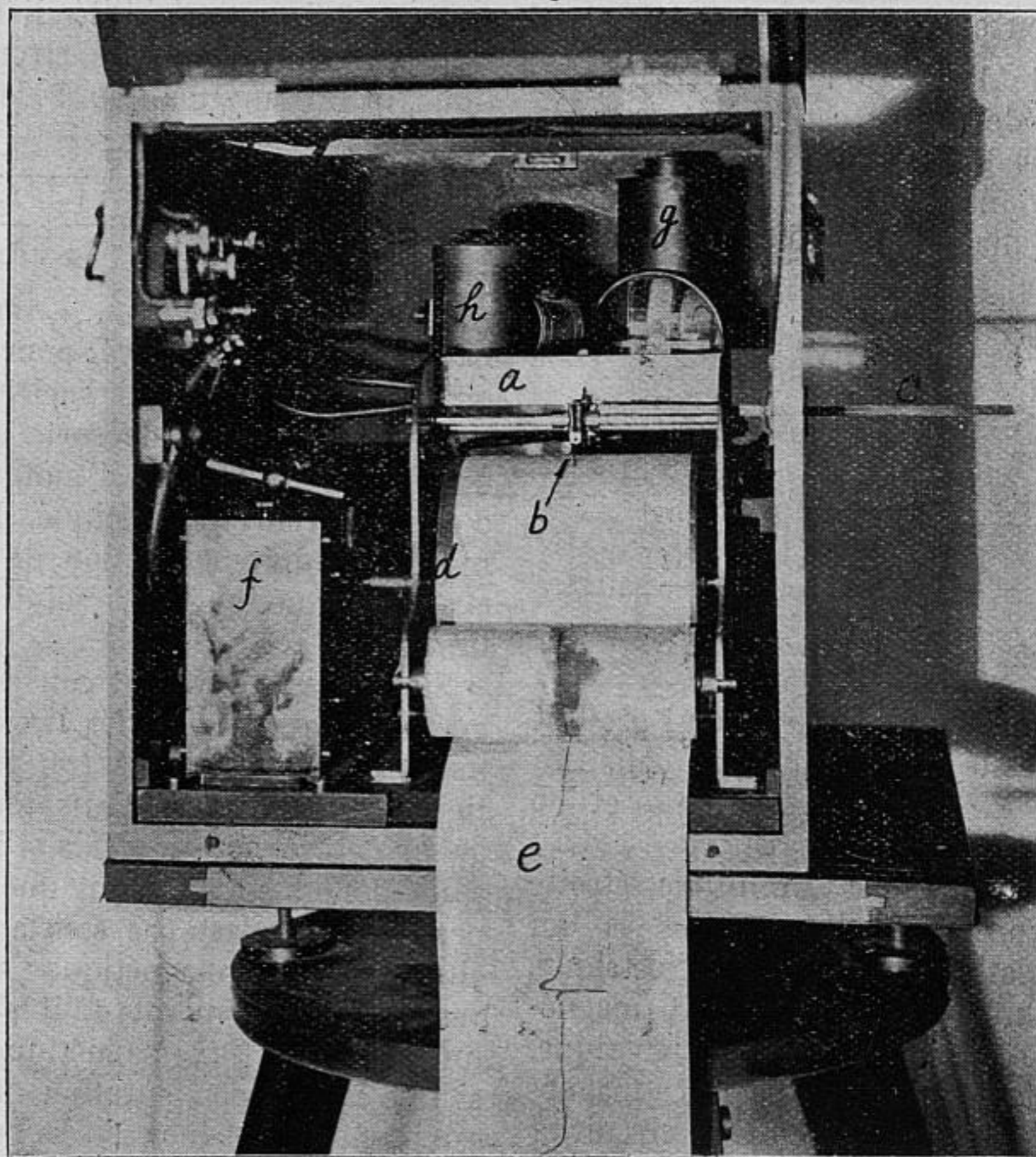


Fig. 5. — Vue détaillée de l'appareil enregistreur.

- |           |   |   |  |                                    |
|-----------|---|---|--|------------------------------------|
| LÉGENDE : | { | <i>a</i> = Verre dépoli.                    |  | <i>e</i> = Papier enregistreur.    |
|           |   | <i>b</i> = Porte-plume.                     |  | <i>f</i> = Mouvement d'horlogerie. |
|           |   | <i>c</i> = Tige de manœuvre du porte-plume. |  | <i>g</i> = Galvanomètre.           |
|           |   | <i>d</i> = Tambour enregistreur.            |  | <i>h</i> = Source lumineuse.       |

mesurant dans toute la longueur du spécimen le courant induit dans la bobine, on découvrira tous les défauts qui existent à l'intérieur du rail.

Représentons par  $\frac{d\Phi}{dt}$  la variation du flux magnétique, c'est-à-dire la vitesse à laquelle le flux magnétique qui se perd est coupé par la bobine, et soit  $n$  le nombre de spires de la bobine d'explora-

tion; alors la force électromotrice  $E$  produite dans la bobine sera :

$$E = \frac{-1}{10^8} n \frac{d\Phi}{dt} \text{ volts.}$$

En d'autres termes, la force électromotrice induite est proportionnelle à  $\frac{d\Phi}{dt}$  et au nombre  $n$  de spires de la bobine d'explo-

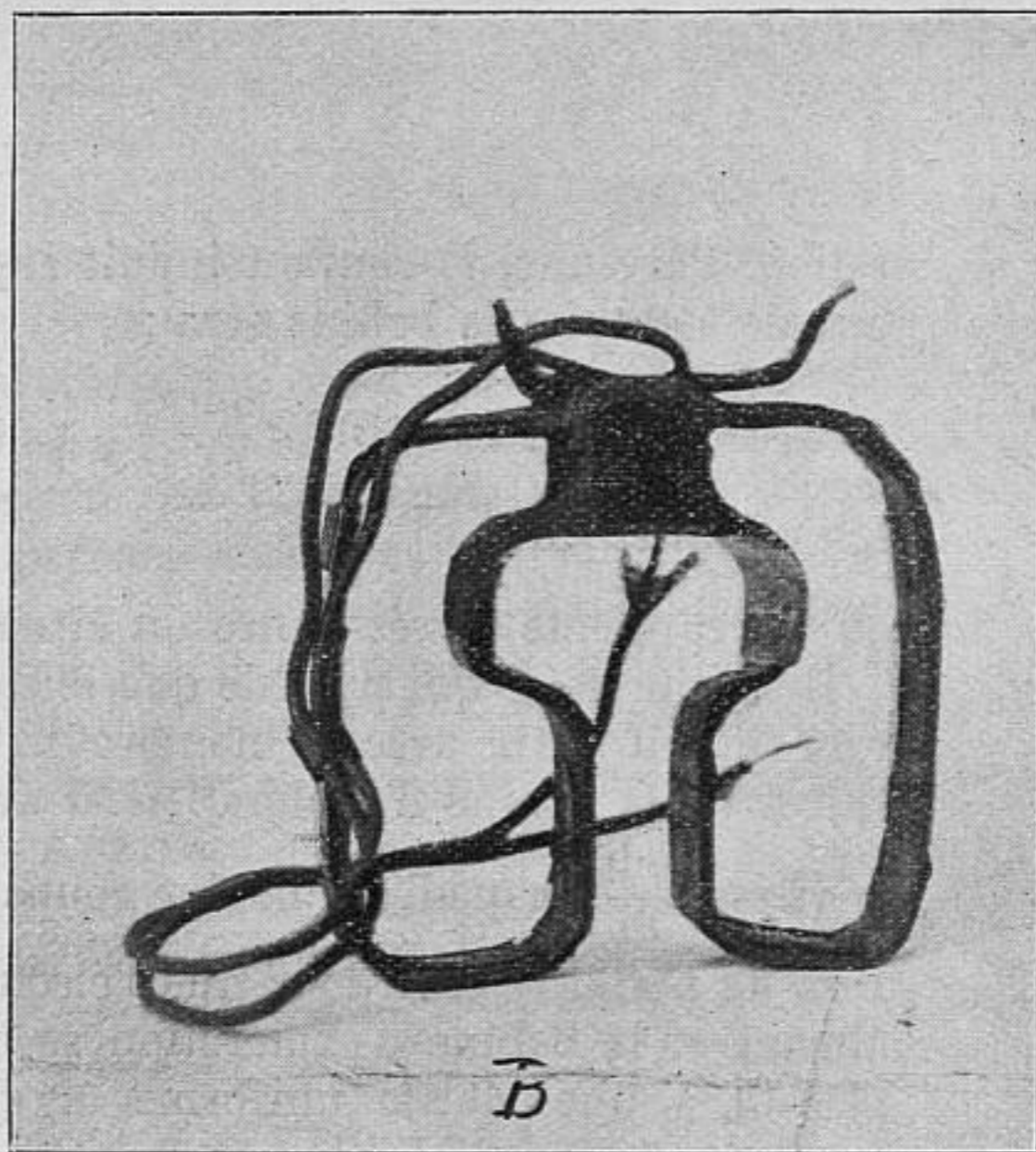
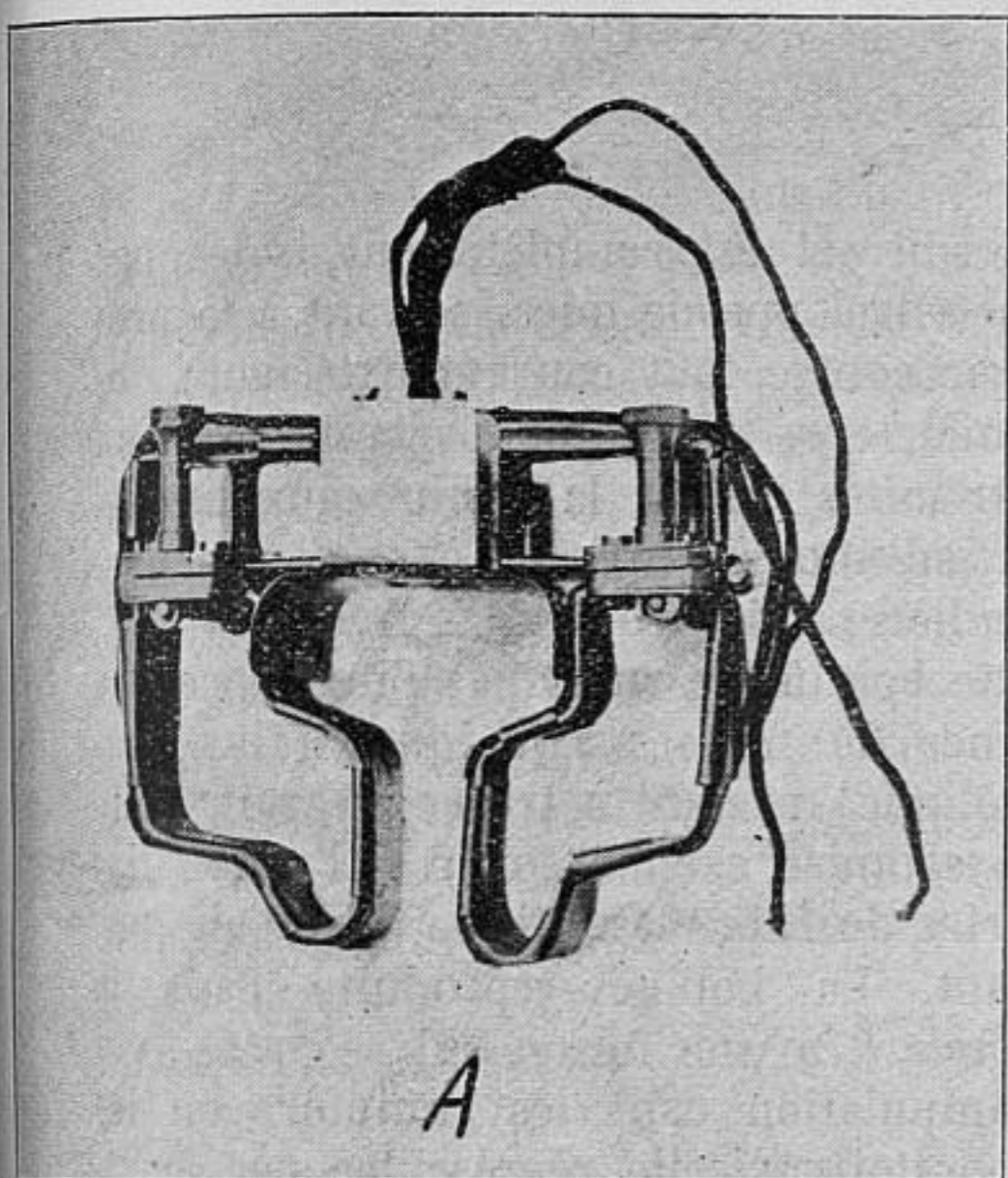


Fig. 6. — *A* et *B* : Bobine d'exploration (type de laboratoire).

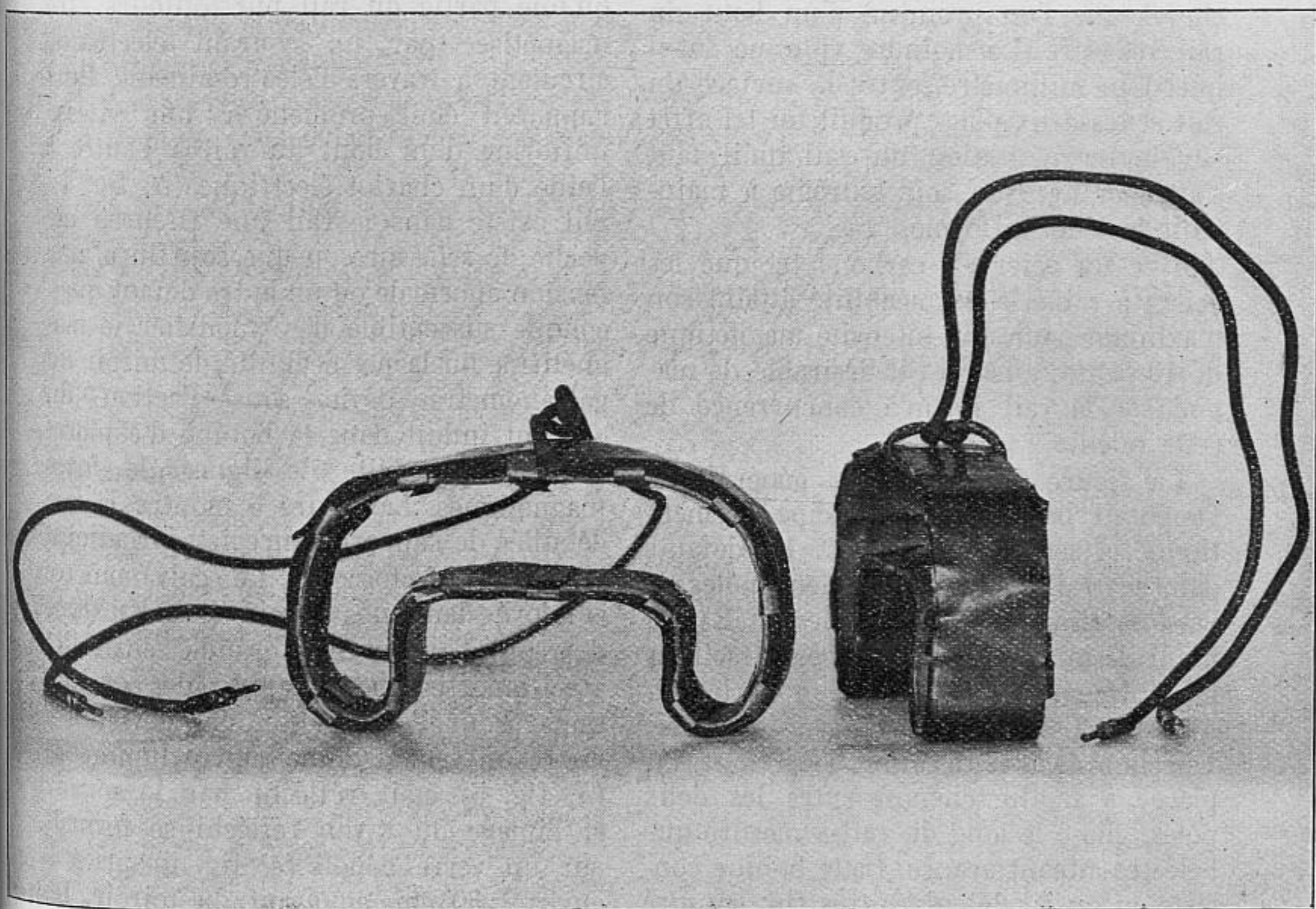


Fig. 7. — Bobine d'exploration (type de campagne).

ration. Par suite, le courant induit  $i$  qui circule à travers la bobine sera :

$$i = \frac{E}{R} = \frac{10^{-8} n \frac{d\Phi}{dt}}{R}$$

où  $R$  représente la résistance du circuit.

Il résulte de ce qui précède que le courant induit varie avec le nombre  $n$  de spires de la bobine d'exploration et avec la vitesse  $\frac{d\Phi}{dt}$  à laquelle la bobine coupe le flux de perte. Il faut donc que l'électro-aimant et la bobine d'exploration se déplacent à une vitesse uniforme et que la vitesse à laquelle le flux est coupé soit constante.

Pour magnétiser le rail, on le coiffe d'un électro-aimant du type en fer à cheval que l'on promène d'un bout du rail à l'autre. Le moindre vide, ne fût-il que d'un millimètre, entre la surface du rail et les deux pôles produit un tel effet sur la magnétisation du rail qu'il faut s'attacher avec un soin extrême à maintenir le vide uniforme.

Avec un acier au carbone tel que les aciers à rails, la perméabilité atteint son maximum pour une intensité magnétique de 10 gauss; aussi est-il désirable de magnétiser le rail jusqu'à concurrence de cette valeur.

La figure 1 est une vue générale de l'appareil basé sur le principe prémentionné et servant à découvrir les défauts dans les rails. Chacun des deux pôles de l'électro-aimant en fer à cheval (B) est muni de quatre galets destinés à faciliter le déplacement de l'électro, dont les figures 2 et 3 donnent une vue détaillée. Une bobine d'exploration (fig. 6 et 7), placée à moitié chemin entre les deux pôles, glisse le long du rail à mesure que l'électro-aimant avance. Cette bobine consiste en un fil de cuivre très fin, entouré

de soie, et est complètement isolée par une enveloppe de mica, servant à la protéger contre tout courant extérieur; des conducteurs en plomb partant des deux extrémités relient la bobine aux bornes du galvanomètre. Grâce à sa forme particulière, indiquée par les figures 6 et 7, cette bobine ne subit pas l'influence des lignes de force magnétiques (flux magnétique) passant à travers le rail, mais est soumise exclusivement à l'action des pertes de flux magnétique dans l'air ambiant. La bobine reproduite dans la figure 6 a une forme qui se prête à sa manipulation dans les laminoirs ou les laboratoires; celle représentée par la figure 7 convient mieux pour des rails déjà posés dans la voie. Pour l'examen des rails, l'appareil était disposé de manière qu'une partie du rail pût toujours être magnétisée par un courant électrique circulant à travers l'électro-aimant. Puis l'appareil était promené à une vitesse uniforme d'un bout du rail à l'autre à l'aide d'un chariot électrique (A, fig. 1). S'il existe dans le rail une fissure, une poche de retassure ou une soufflure, une tension anormale ou un autre défaut quelconque susceptible d'en modifier le magnétisme ou la perméabilité, le miroir du galvanomètre dévie sous l'action du courant induit dans la bobine d'exploration par la fuite de lignes de force magnétiques. La figure 5 montre la vue détaillée de l'appareil enregistreur adjoint à notre défectorscope. Le galvanomètre employé dans nos essais était du type d'Arsonval, ayant une grande sensibilité avec amortissement rapide des oscillations. Pour l'observation des déviations, un rayon venant d'une source lumineuse ( $h$ , fig. 5) était réfléchi par le miroir et l'image du rayon réfléchi se formait sur un verre dépoli ( $a$ , fig. 5) placé à environ 30 cm. en avant du miroir. De

cette façon, chaque oscillation du miroir était suivie d'un mouvement de l'image.

La figure 4 montre la vue détaillée de l'appareil enregistreur. L'opérateur agit par l'intermédiaire d'une tige *c* sur le porte-plume *b* qui trace l'image réfléchie du faisceau lumineux venant du miroir du galvanomètre et se déplaçant à droite et à gauche sur le verre dépoli *a*, le long d'une barre horizontale, et un stylet fixé à l'extrémité inférieure du porte-plume enregistre les déplacements du faisceau lumineux sur le papier *e* entraîné par un mouvement d'horlogerie.

La figure 15 montre des exemples de

courbes tracées par notre appareil enregistreur pour différents rails. Pour l'enregistrement parfait des déviations du galvanomètre, une pellicule photographique aurait pu être préférable, au point de vue de l'exactitude et de la bonne apparence des résultats enregistrés, au papier *e* (fig. 4 et 5). Mais nous avons adopté ce dernier parce qu'il était très facile à manier et permettait de découvrir aisément les défauts sur place, aussi bien dans la voie qu'au laboratoire.

Parmi les données d'établissement de l'appareil, nous mentionnerons les suivantes :

**Electro-aimant :**

Dimensions de l'aimant en fer à cheval . . . . .	38 × 38 × 735 mm.
Distance entre les deux pôles . . . . .	205 mm.
Force magnétisante . . . . .	4 000 ampères-tours.
Voltage de magnétisation . . . . .	12 volts.
Courant de magnétisation . . . . .	2 ampères.
Nombre total de spires de la bobine magnétisante . . . . .	2000.
Diamètre du fil de la bobine magnétisante . . . . .	n° 14 de la jauge de Birmingham (2 mm. 1).
Vide entre les pôles de l'aimant et le rail . . . . .	0 mm. 5.

**Bobine d'exploration :**

Nombre total de spires . . . . .	100.
Diamètre du fil . . . . .	n° 36 de la jauge de Birmingham (0 mm. 1).
Résistance de la bobine avec fil conducteur. . . . .	50 ohms.

**Galvanomètre :**

Fournisseur . . . . .	Lead & Northrup (États-Unis).
Type . . . . .	d'Arsonval, type R, n° 2500.
Période. . . . .	6 secondes.
Sensibilité . . . . .	0.0005 microampère.

**Chariot moteur :**

Moteur à courant . . . . .	1 cheval, 48 volts, 10 ampères, 1 000 tours par minute.
Source électrique . . . . .	Accumulateur de 80 ampères-heures.
Nombre d'éléments . . . . .	24.

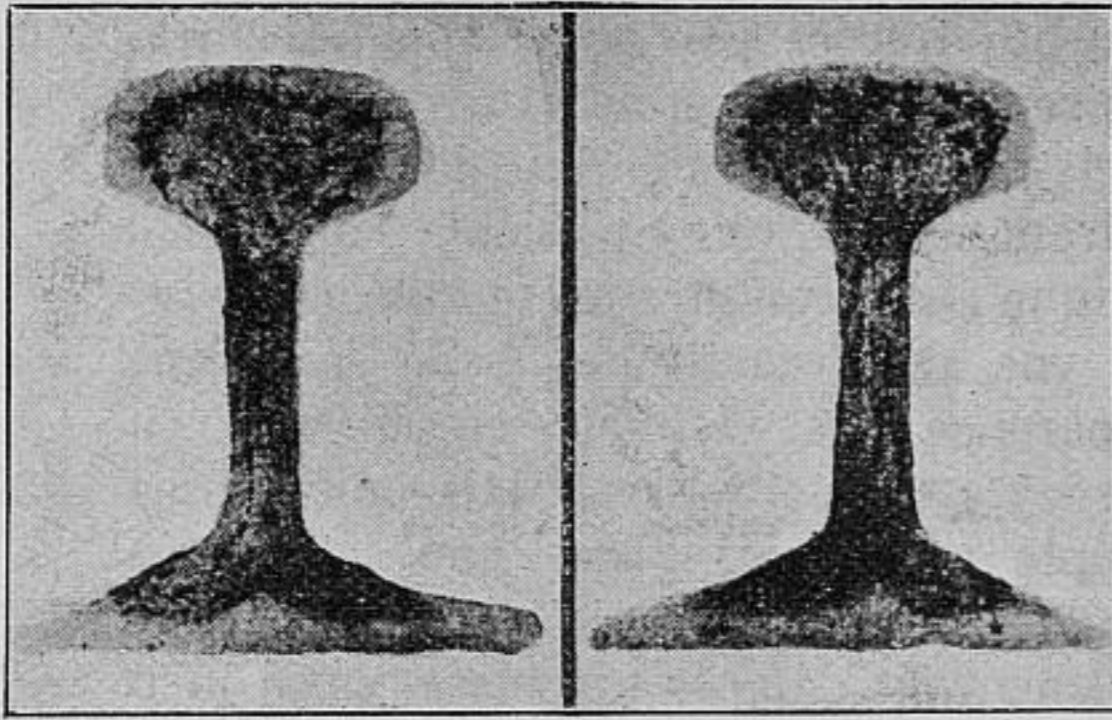


Fig. 8. — Comparaison d'empreintes à l'acide sulfurique.  
 A droite : partie défectueuse.  
 A gauche : partie sans défaut.

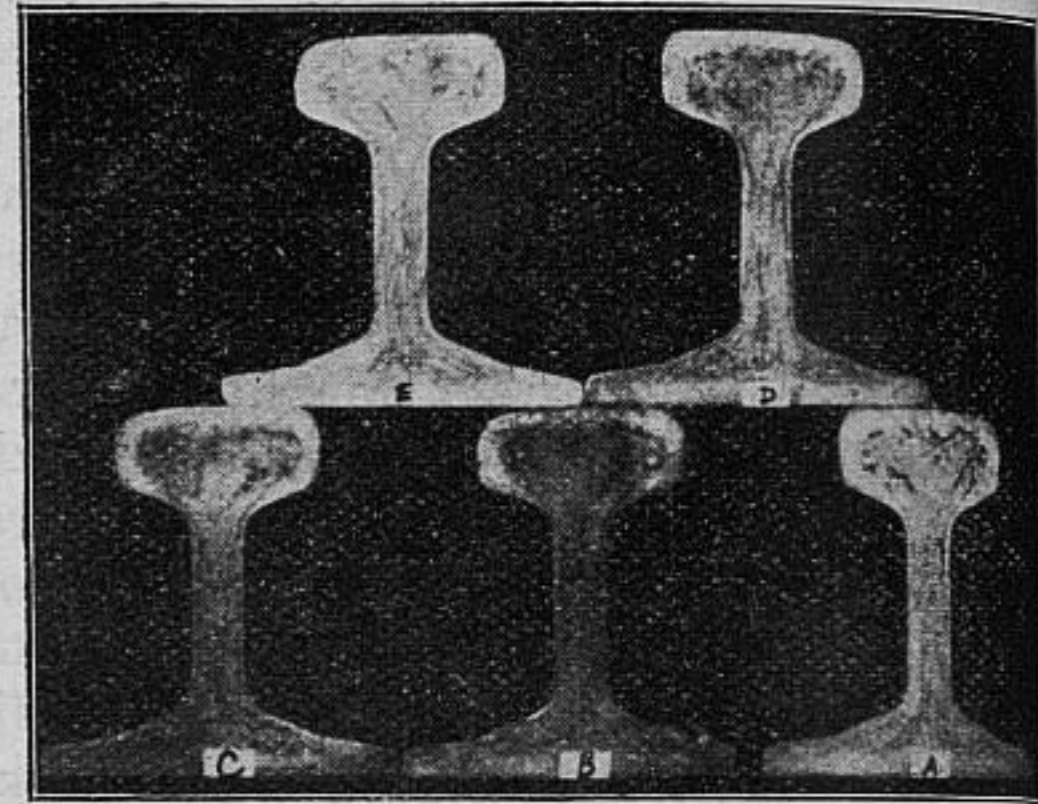


Fig. 9. — Comparaison, au point de vue de la teneur en soufre, d'une partie défectueuse (B) et d'une partie sans défaut (A) par attaque avec une solution alcoolique 5 % d'acide azotique (A).

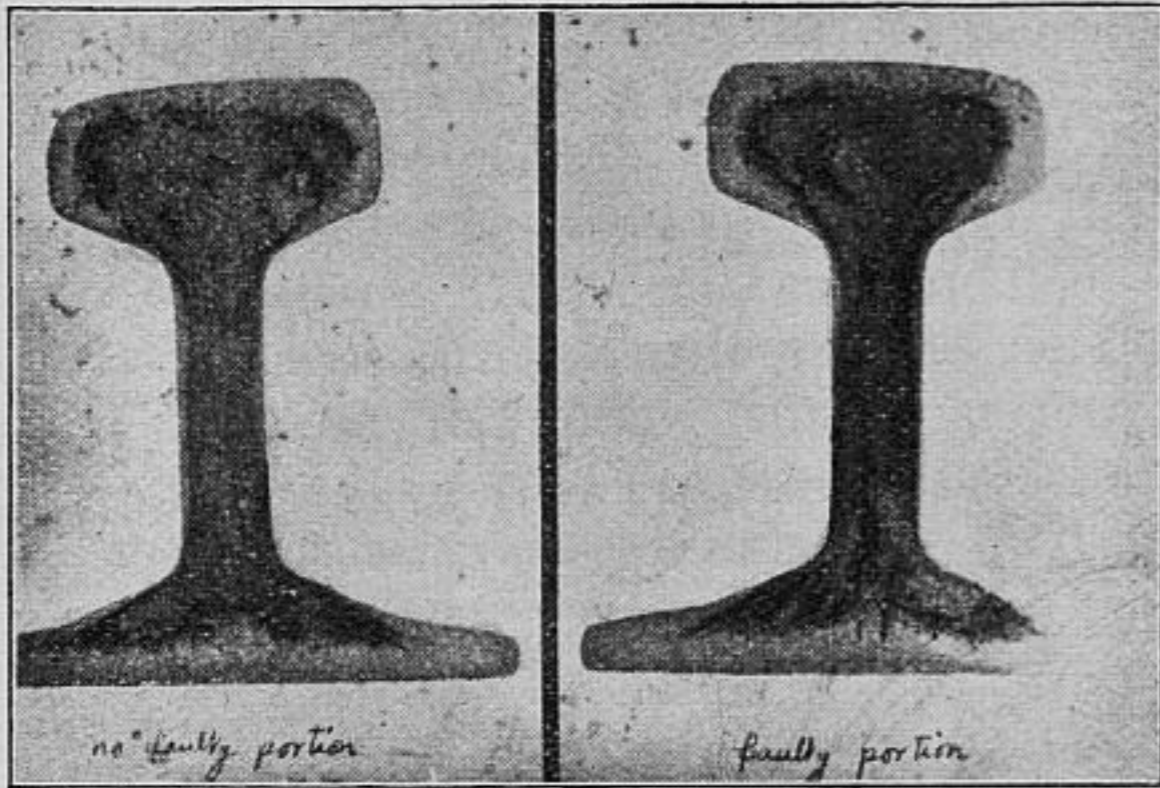


Fig. 10. — Comparaison d'empreintes à l'acide sulfurique.  
 A droite : partie défectueuse. — A gauche : partie sans défaut.

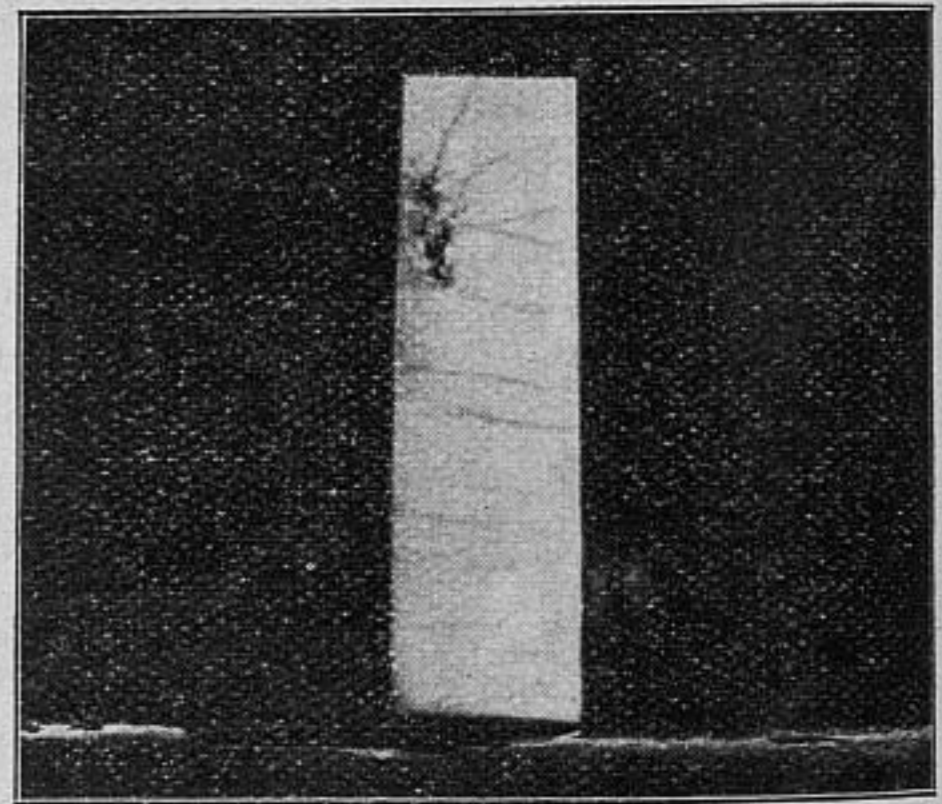


Fig. 11. — Cavité dans la partie défectueuse (B) de la figure 9.

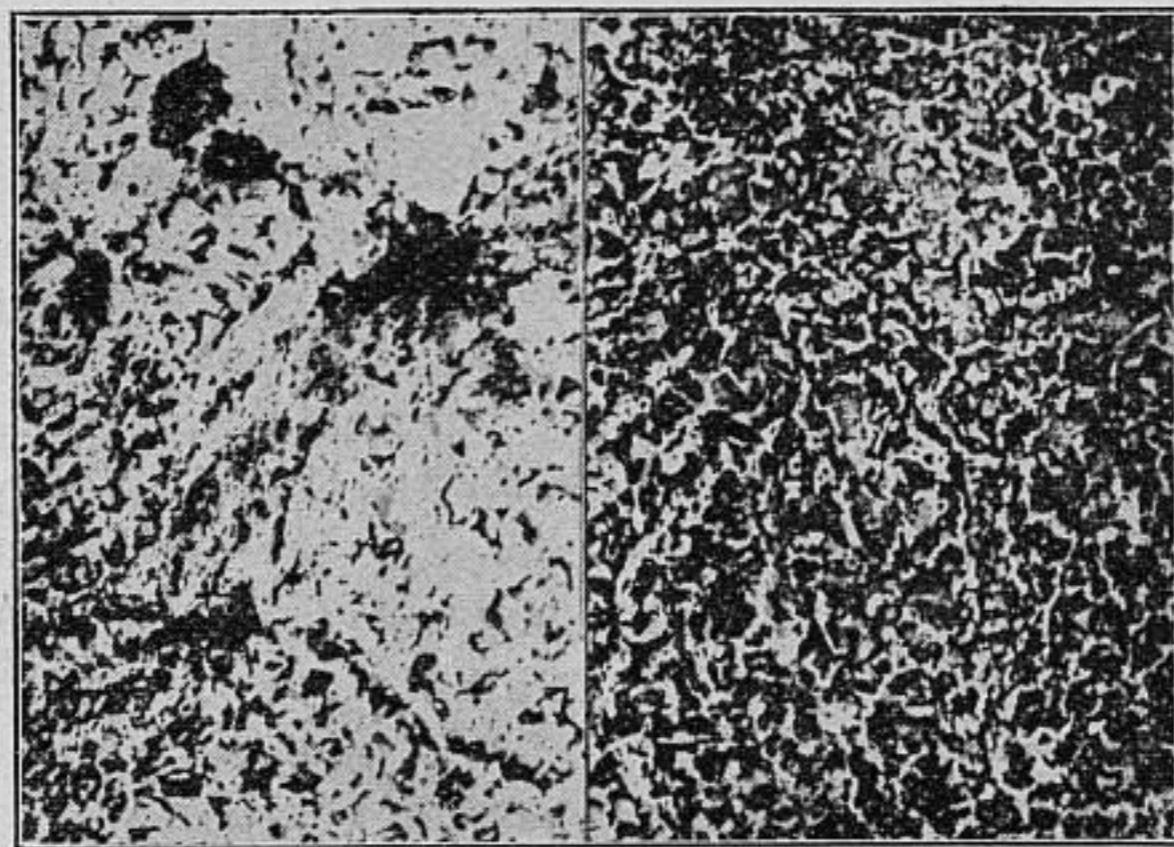


Fig. 12. — Structure microscopique de la partie défectueuse.  
 A droite : structure du champignon. — A gauche : soufflure et scories dans le patin.

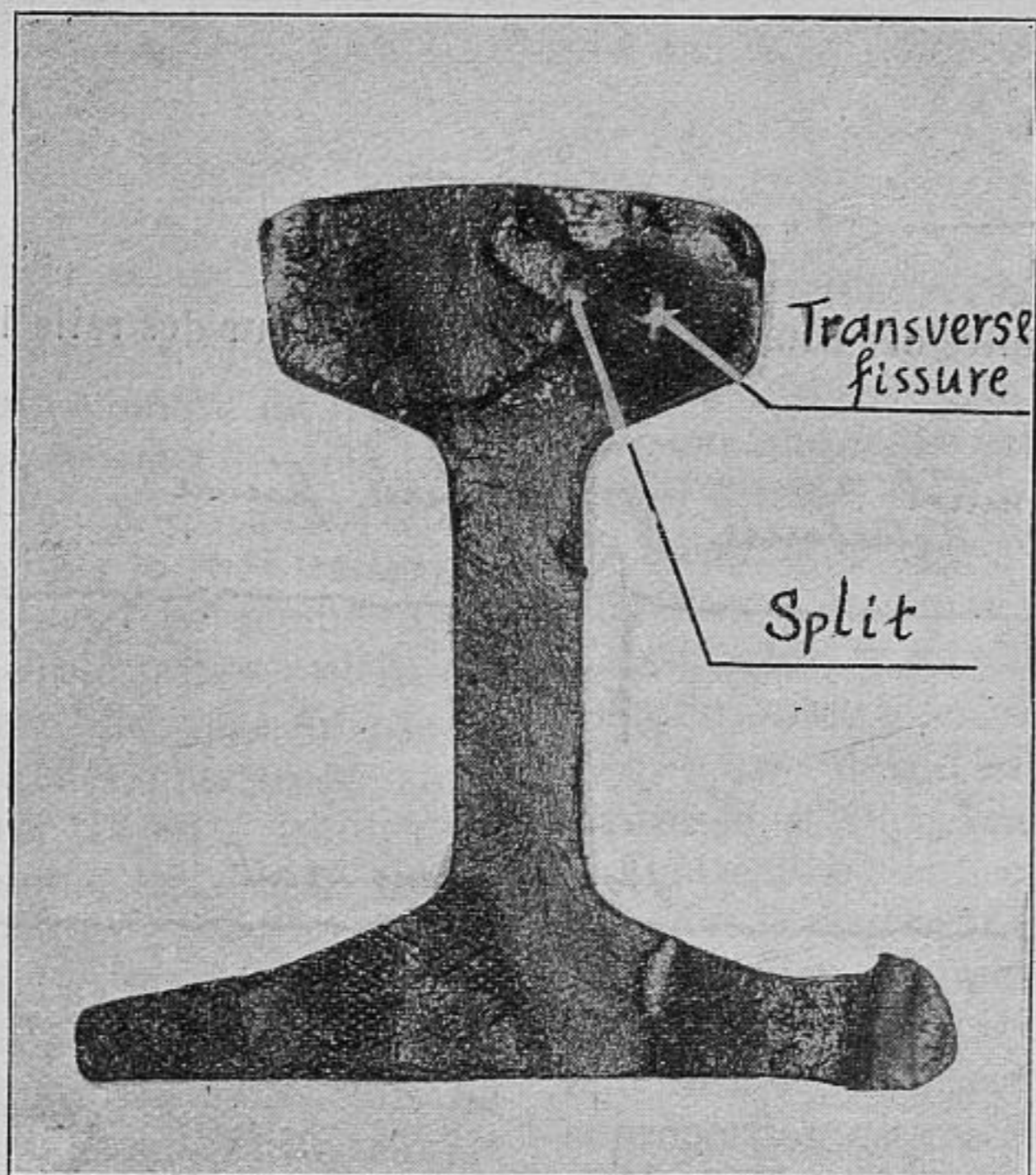


Fig. 13. — Fissure transversale découverte à l'aide du nouveau défectorscope pour rails dans une étude en campagne.

*Explication du terme anglais: Split = Fissure.*

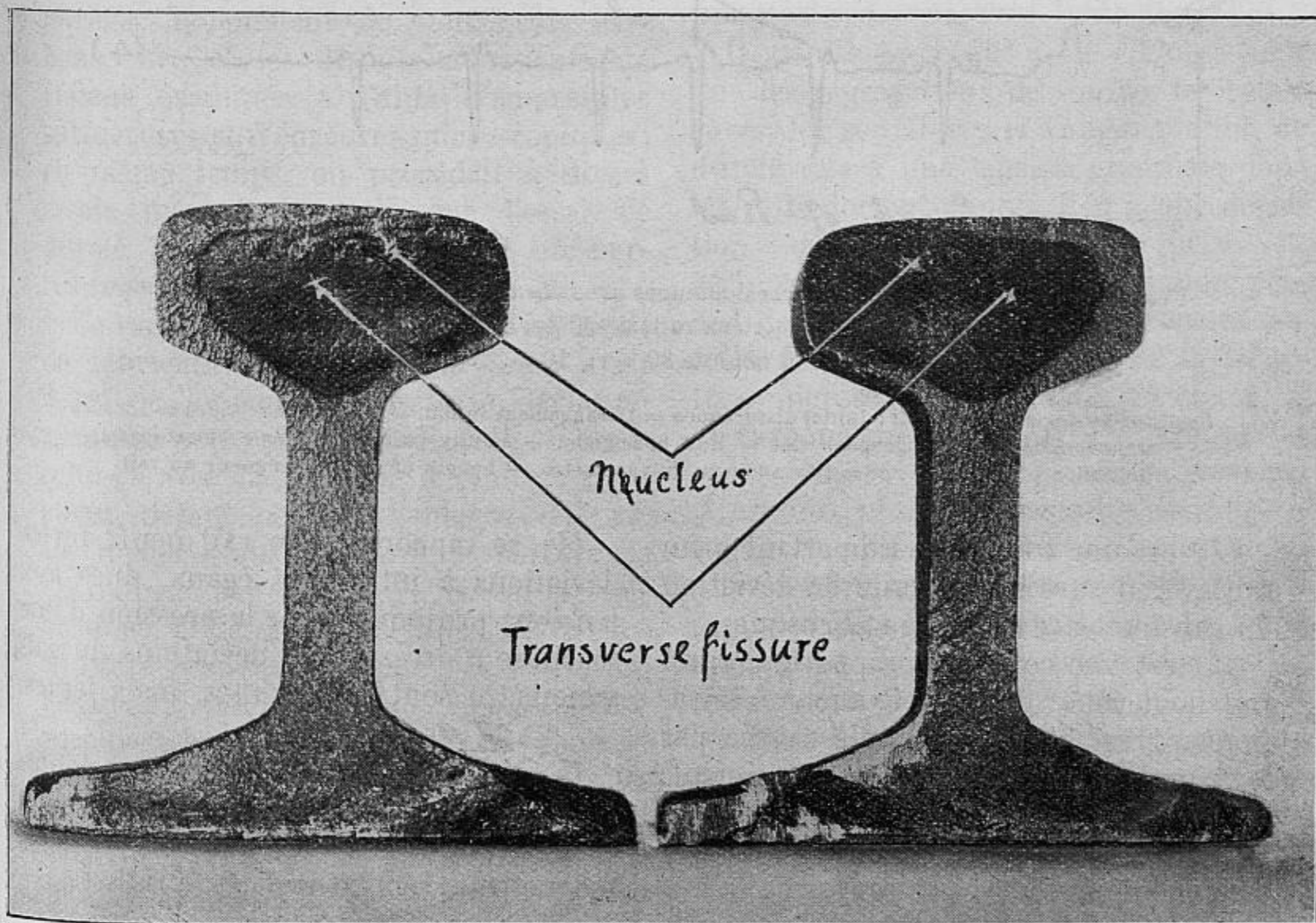


Fig. 14. — Fissure transversale découverte à l'aide du nouveau défectorscope pour rails dans une étude en campagne.

*Explication du terme anglais: Nucleus = Amorce.*

La figure 15 montre des courbes typiques obtenues sur des rails homogènes et non homogènes :

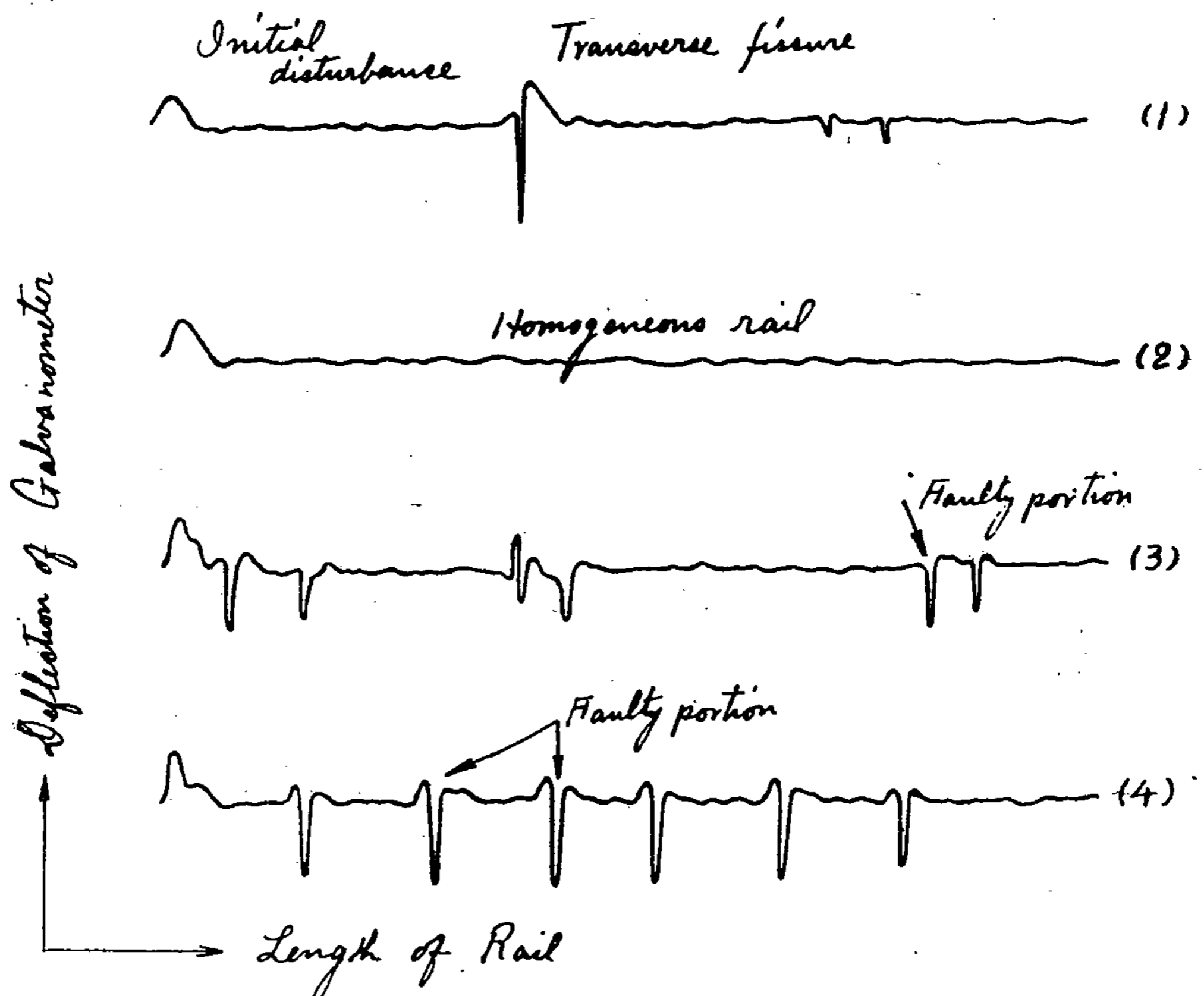


Fig. 15. — Comparaison des courbes obtenues avec des rails homogènes et non homogènes.  
 (1), (2) et (3) sont de vieux rails de 30 kgr., 10 m. de longueur.  
 (4) est un rail neuf de 30 kgr., 10 m. de longueur.

*Explication des termes anglais :* Initial disturbance = Dérangement initial. — Transverse fissure = Fissure transversale. — Homogeneous rail = Rail homogène. — Faulty portion = Partie défectueuse. — Deflection of galvanometer = Déviation du galvanomètre. — Length of rail = Longueur du rail.

(1) est une courbe se rapportant à un rail avec fissure transversale; la déviation du galvanomètre est forte et brusque;

(2) est une courbe se rapportant à un rail homogène; on ne voit aucune déviation appréciable, à part celle causée par le mouvement initial de l'électro-aimant;

(3) est une courbe se rapportant à un rail dont un défaut est décelé et dont la tension interne n'est pas uniforme;

(4) se rapporte à un rail neuf; fortes déviations à intervalles égaux, dues aux tensions provoquées par la pression d'une machine à dresser; ces déviations du galvanomètre sont importantes, mais lentes.

La déviation initiale commune à toutes les courbes est causée par le remous au moment du démarrage du chariot et le magnétisme rémanent dans le rail.



### III. — Résultats expérimentaux.

A titre d'expérience préliminaire, on donna à un certain nombre de rails des défauts artificiels par traits de scies, trous forés, etc., puis on releva les courbes reproduites dans les figures 16 et 17 (rails n<sup>os</sup> 1 et 2). Les déviations galvanométriques dues à un trait de scie transversal furent fortes et brusques. Elles ne sont pas de même nature que celles, plus progressives, dues à l'effet d'un travail à froid, d'un traitement thermique, etc., et on les en distingue facilement.

Environ 100 rails furent essayés de cette façon pendant la période de septembre 1921 à fin mars 1922. Puis on effectua des essais comparatifs sur la structure de tronçons de rail défectueux et sans défaut, auxquels correspondent des courbes à grandes et petites déviations tracées sur le papier enregistreur. Dans l'essai de rupture, les ségrégations d'impuretés, notamment de soufre, de carbone, etc., et les défauts d'homogénéité étaient examinés à l'aide d'empreintes sulfureuses et d'épreuves microscopiques; en même temps, on procédait à divers essais mécaniques, tels que l'essai de dureté, l'essai au choc et l'essai sur barreaux entaillés.

Le rail n<sup>o</sup> 3 (fig. 18) était un vieux rail de fabrication étrangère; la pièce avait 2 m. de longueur. Une forte déviation ayant été notée au milieu du rail, on cassa celui-ci avec la machine à cintrer, mais aucun défaut ne fut visible à l'œil nu. De même, dans l'empreinte sulfureuse reproduite par la figure 8, on ne vit aucune différence sensible entre les endroits avec et sans défaut. D'autre part, l'examen microscopique des mêmes éprouvettes ne révéla pas d'écarts dans la teneur en carbone. Enfin, l'essai au scléroscope de Shore accusa des valeurs moyennes de 24 et 19 aux endroits avec

et sans défaut, respectivement, la différence étant donc de 5. Cette grande différence de dureté fut attribuée à une pression anormale appliquée pendant le travail à froid.

Le rail n<sup>o</sup> 4 (fig. 19) avait été mis en voie il y a quelques années. Le coupon d'essai avait 1 m. 60 de longueur. La teneur respective en soufre aux endroits avec et sans défaut est montrée dans les figures 9 et 10. L'endroit marqué B de la figure 9 est la section correspondant à B dans la courbe tracée sur le rail n<sup>o</sup> 4, la proportion d'impuretés est beaucoup plus grande que dans la section sans défaut E. Les sections A, C et D montrent la proportion de soufre ainsi que d'autres éléments en différents points (chacun à environ 1 cm. de distance de B), où des impuretés se trouvaient ainsi ségréguées localement. En outre, un essai effectué sur le coupon correspondant à B révéla une poche de retassure (voir fig. 11).

Il résulte de ce qui a été dit plus haut que les ségrégations de soufre, les retassures, les soufflures et l'augmentation de dureté due à une tension anormale dans les rails doivent donner lieu à une déviation appréciable du galvanomètre et, réciproquement, que cette déviation permet de découvrir les défauts internes des rails. D'autre part, l'examen de la structure microscopique accusait 0.1 et 0.2 % de carbone près de la cavité et à la partie sans défaut (fig. 11), respectivement. Il est fort probable que cette cavité provenait d'une retassure dans le lingot en acier, une décarburation partielle s'étant produite dans le voisinage de ce point à une température élevée au moment de la coulée du lingot.

Quant à la raison de la différence de dureté entre les parties défectueuses et les parties sans défaut, il est à remarquer que les rails se courbent généralement

dans une certaine mesure pendant le laminage et qu'il faut les redresser à l'aide d'une machine spéciale. Dans l'essai dont il s'agit, il se produisait une forte déviation aux endroits qui avaient subi une pression de cette machine; en d'autres termes, les déviations peuvent être attribuées à une grande pression anormale locale et une dureté excessive en ces points peut être considérée comme l'effet du travail de redressement à froid. Cette conclusion a d'ailleurs été confirmée par l'expérience faite sur le rail n° 5.

Le rail n° 5 (fig. 20) était neuf, il avait 4 m. de longueur. De la courbe relevée on peut inférer qu'il existait deux défauts vers le milieu, sans parler des déviations notables aux bouts, dues à un chauffage local. Deux barreaux d'essai, de 1 m. 22 de longueur chacun, furent prélevés sur les parties défectueuses et sans défaut et désignés sous les n°s 3 A et 3 B. On les soumit à l'essai au choc avec un mouton de 1 000 kgr. tombant d'une hauteur de 4 m. 50. Les appuis étaient écartés de 1 m. Les flèches mesurées sont indiquées dans le tableau ci-après. Aucune des deux éprouvettes ne cassa. Les deux mêmes barreaux furent soumis à l'essai scléroskopique de Shore et à l'essai de dureté Brinell; les nombres moyens obtenus furent 32 et 244.5 à la partie défectueuse, 28 et 204.5 à la partie sans défaut, pour les épreuves de Shore et de Brinell respectivement. Comme la structure microscopique ne révélait aucune différence entre les parties défectueuses et sans défaut, la forte déviation enregistrée peut être regardée comme étant surtout due à la pression exercée par la machine à dresser.

En comparant les résultats de plusieurs essais de dureté, on a constaté que la partie sans défaut avait une dureté uniforme, tandis que, dans la partie défec-

tueuse, des zones très dures étaient souvent entremêlées d'autres moins dures, ce qui indiquait des efforts internes anormaux subis par le rail au cours de sa fabrication.

Le n° 6 (fig. 21) était un rail neuf de 4 m. de longueur. Les résultats de l'essai au choc de l'éprouvette n° 7 A prélevée sur la partie défectueuse et de l'éprouvette n° 7 B prélevée sur la partie sans défaut sont repris dans le tableau ci-après. Le n° 7 A cassa, tandis que le 7 B prit une flèche d'environ 70 mm. L'étude microscopique montra que la teneur en sulfure de carbone et de manganèse ou autres impuretés de l'une des éprouvettes était à peu près la même que celle de l'autre, mais en général une forte proportion de carbone et la présence de scories, visibles près de l'extrémité inférieure de la partie défectueuse (voir fig. 12), étaient regardées comme une des causes de la rupture; d'autre part, de grands efforts dus à l'application de la presse à dresser sont susceptibles de causer des criques dans la structure, notamment dans le cas de l'acier au carbone, et étaient considérés comme une cause de rupture.

Tandis que le lingot d'acier ayant servi à la fabrication de tous ces rails était un produit du convertisseur Bessemer, celui dans lequel fut pris le rail n° 7 (fig. 22) était de l'acier sur sole Siemens.

Le n° 7 était un rail neuf, qui n'avait pas passé par la presse à dresser. La courbe relative à ce rail n'accuse pratiquement aucune déviation dans toute la longueur de la barre et indique que celle-ci est, magnétiquement, presque homogène. Des essais au choc furent faits sur deux éprouvettes, n°s 2' et 2'', prélevées en deux points arbitrairement choisis du rail. Les résultats consignés dans le tableau ci-après montrent que le second essai au choc de chacune des deux

Résultats d'essais au choc.

NUMÉRO DU RAIL.	DATE.	HEURE.	MARQUE DE L'ÉPROUVETTE.	TENEUR EN CARBONE.	FLÈCHE APRÈS LE		INDICATIONS  FOURNIES PAR LE DÉFECTOSCOPE.
					1 <sup>er</sup> ESSAI.	2 <sup>e</sup> ESSAI.	
Rail n° 5.	8 mars.	3 h. ap.-m.	N° 3A.	0.35 ‰	77 mm. 7	...	Partie défectueuse (à forte déviation du galvanomètre).
	8 mars.	3 h. ap.-m.	N° 3B.	0.35 ‰	74 mm. 6	...	Partie sans défaut (à faibles déviations du galvanomètre).
Rail n° 6.	10 mars.	3 h. ap.-m.	N° 7A.	0.60 ‰	Rupture.	...	Partie défectueuse (à forte déviation du galvanomètre).
	10 mars.	3 h. ap.-m.	N° 7B.	0.60 ‰	70 mm. 0	...	Partie sans défaut (à faibles déviations du galvanomètre).
Rail n° 7.	18 mars.	3 h. ap.-m.	N° 2'	0.35 ‰	77 mm. 0	139 mm. 7	Partie sans défaut.
	18 mars.	3 h. ap.-m.	N° 2''	0.35 ‰	71 mm. 4	130 mm. 2	Partie sans défaut.
Rail n° 8.	19 mars.	3 h. ap.-m.	N° 4A.	0.40 ‰	70 mm. 0	Rupture.	Partie défectueuse (à forte déviation du galvanomètre).
	19 mars.	3 h. ap.-m.	N° 4B.	0.40 ‰	64 mm. 0	122 mm. 0	Partie sans défaut (à faibles déviations du galvanomètre).

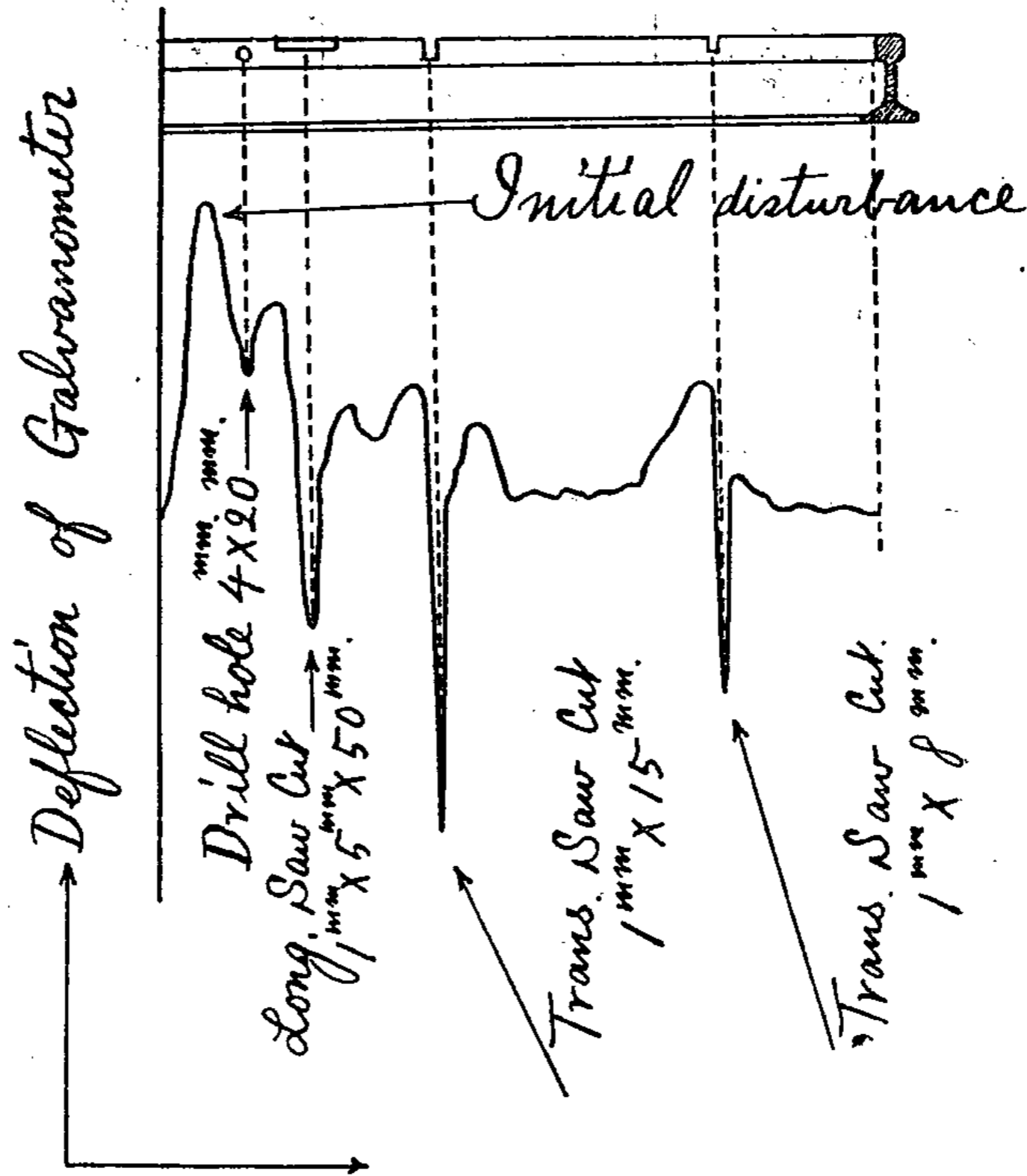


Fig. 16. — Rail n° 1 : Courbe relative à un rail neuf de 30 kgr., montrant l'effet de différents défauts artificiels.

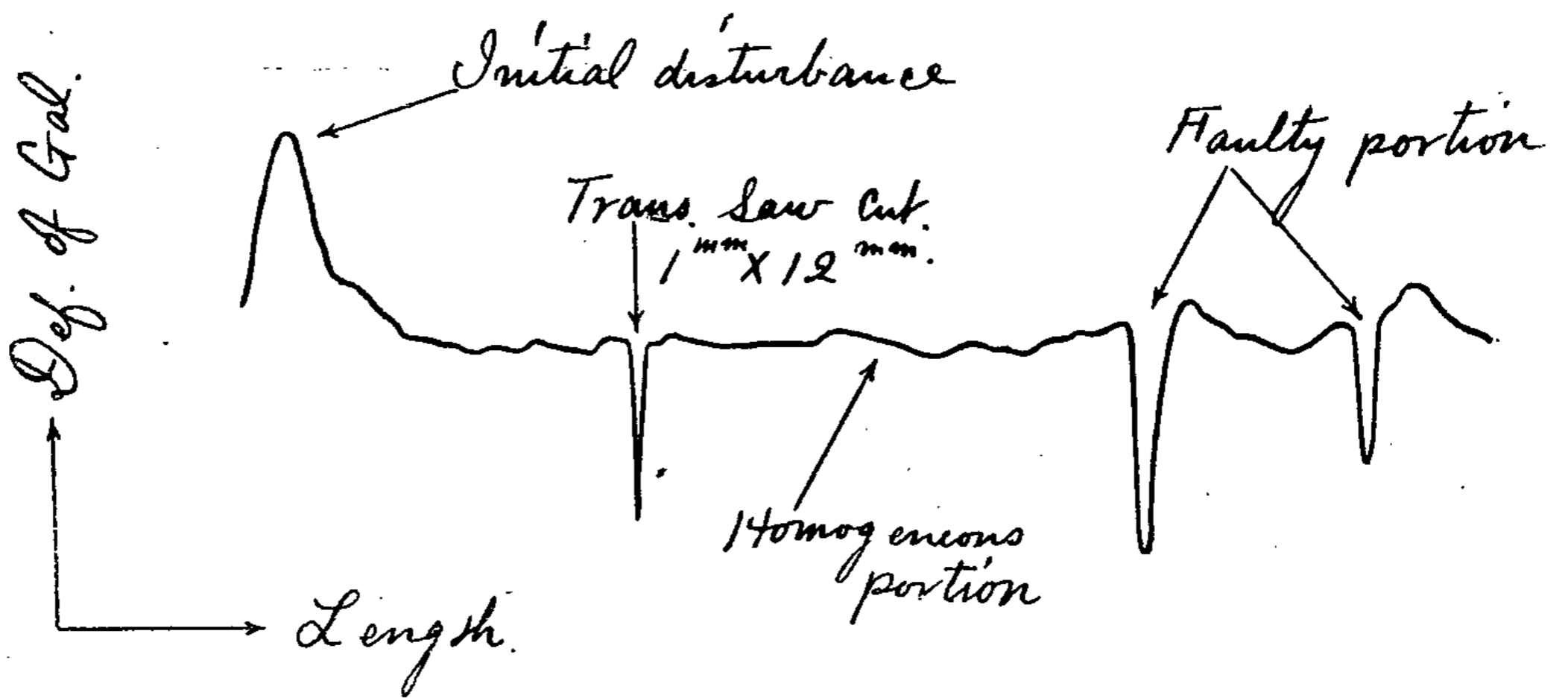


Fig. 17. — Rail n° 2 : Courbe relative à un vieux rail de 30 kgr., montrant l'effet d'un trait de scie et d'autres parties défectueuses.

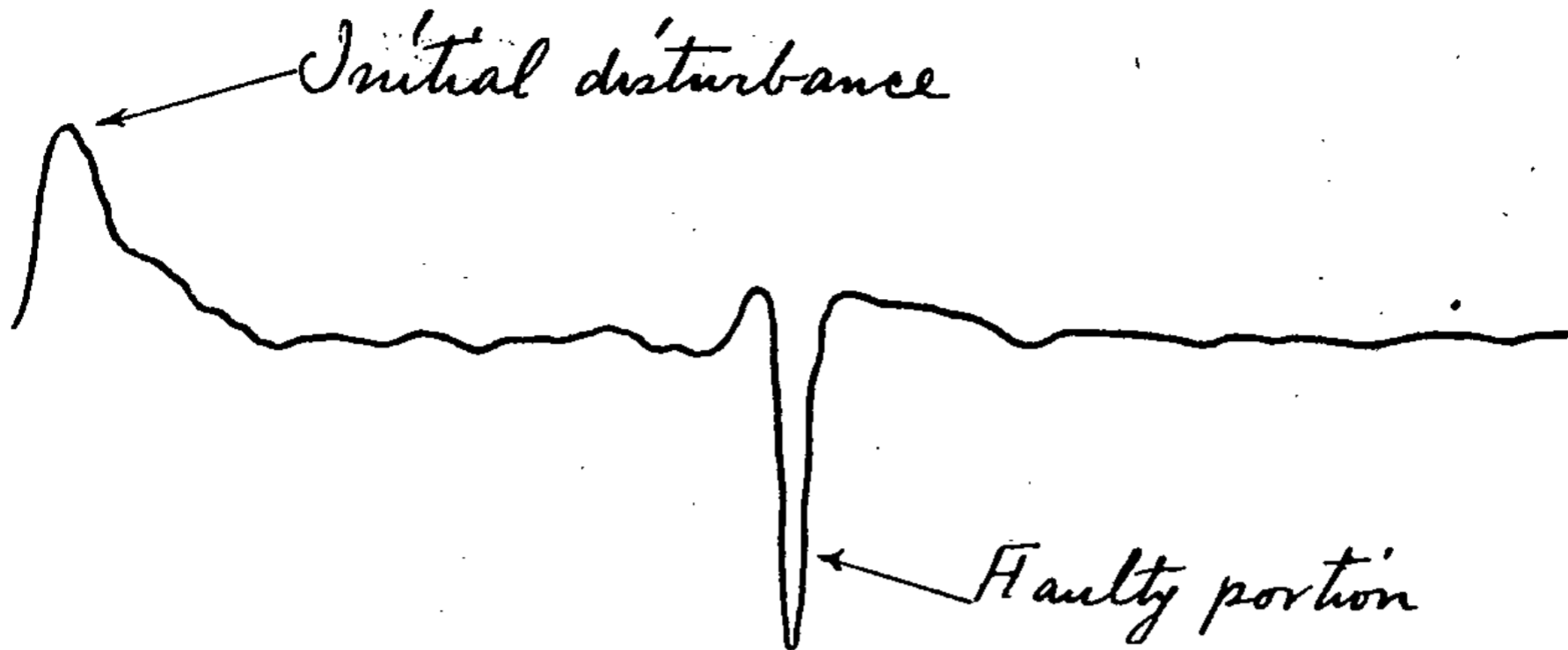


Fig. 18. — Rail n° 3 : Courbe relative à un vieux rail de 30 kgr., indiquant une partie défectueuse.

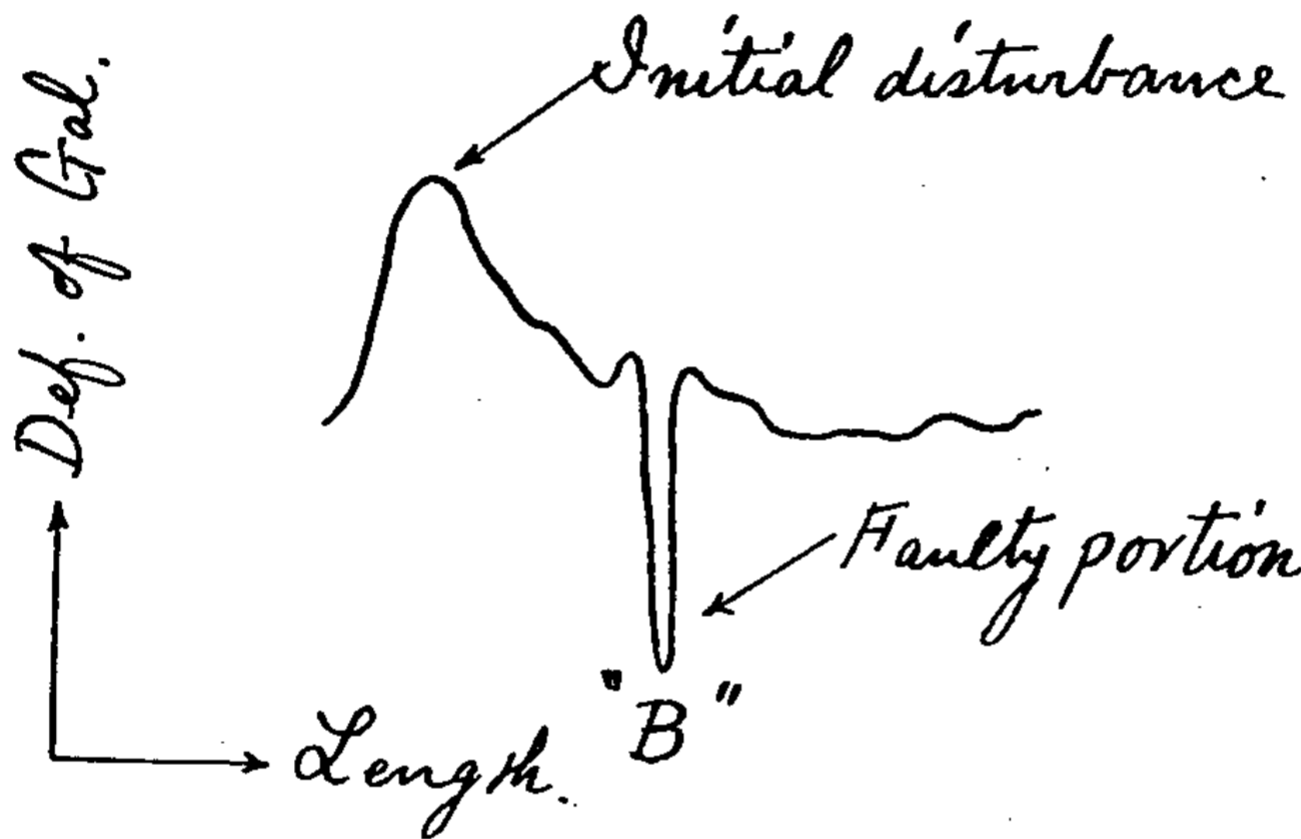


Fig. 19. — Rail n° 4 : Courbe relative à un vieux rail de 30 kgr., indiquant une partie défectueuse.

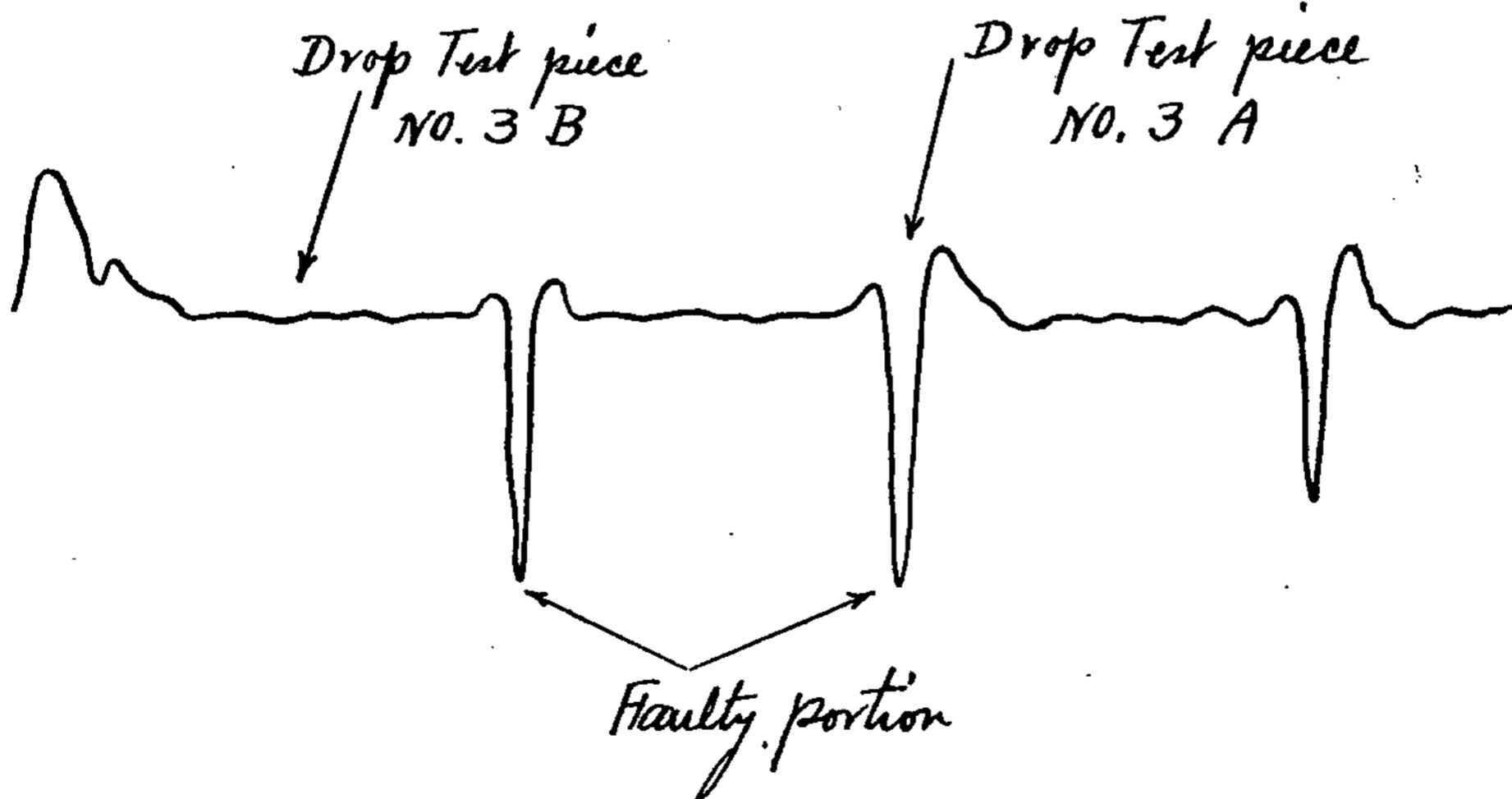


Fig. 20. — Rail n° 5 : Courbe relative à un rail neuf de 30 kgr., indiquant des défauts.

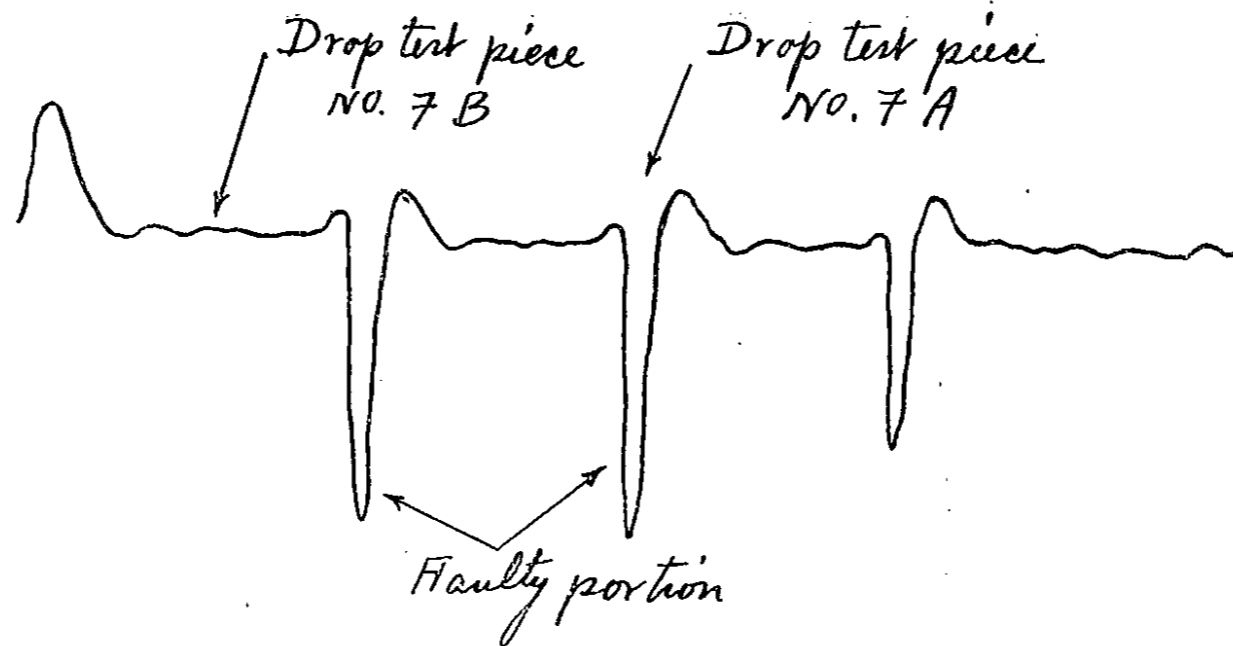


Fig. 21. — Rail n° 6 : courbe relative à un rail neuf de 30 kgr., indiquant des défauts.

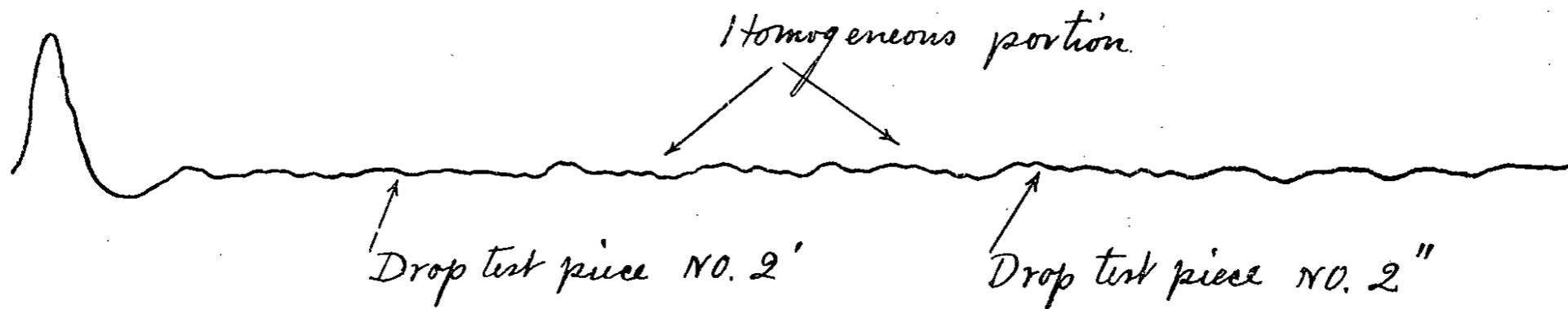


Fig. 22. — Rail n° 7 : courbe relative à un rail neuf de 30 kgr., indiquant l'homogénéité de la barre.

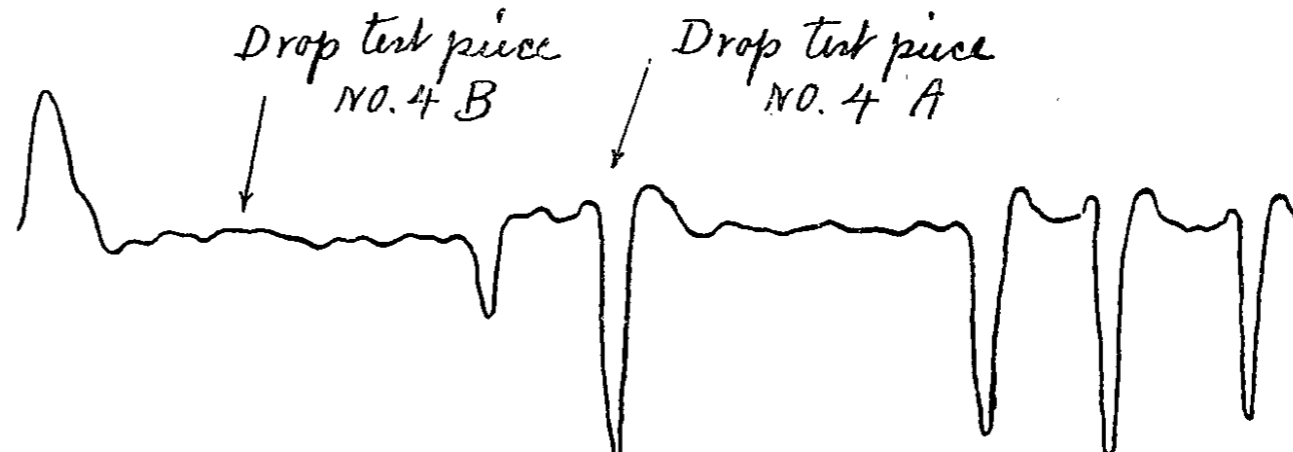


Fig. 23. — Rail n° 8 : courbe relative à un rail neuf de 30 kgr., indiquant des défauts.

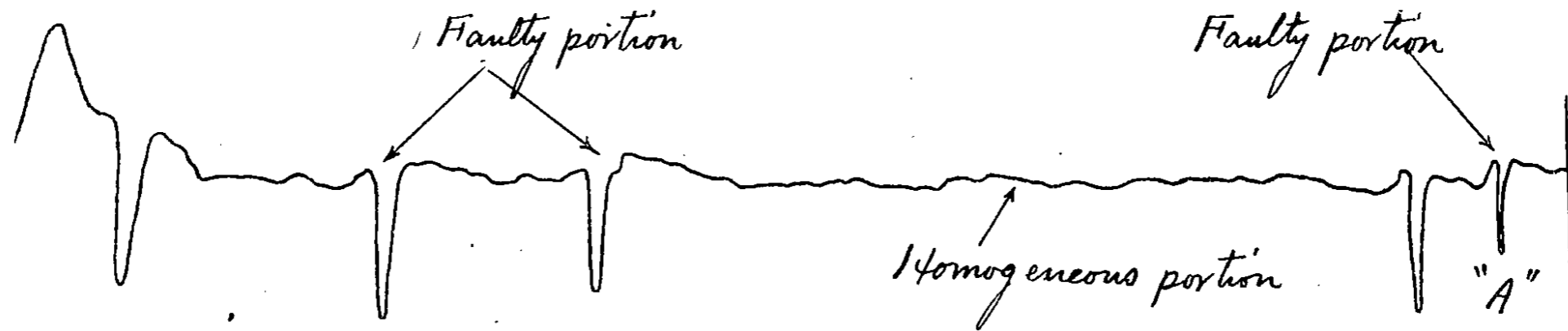


Fig. 24. — Rail n° 9 : courbe relative à un vieux rail de 30 kgr. en place dans la voie, indiquant des défauts.

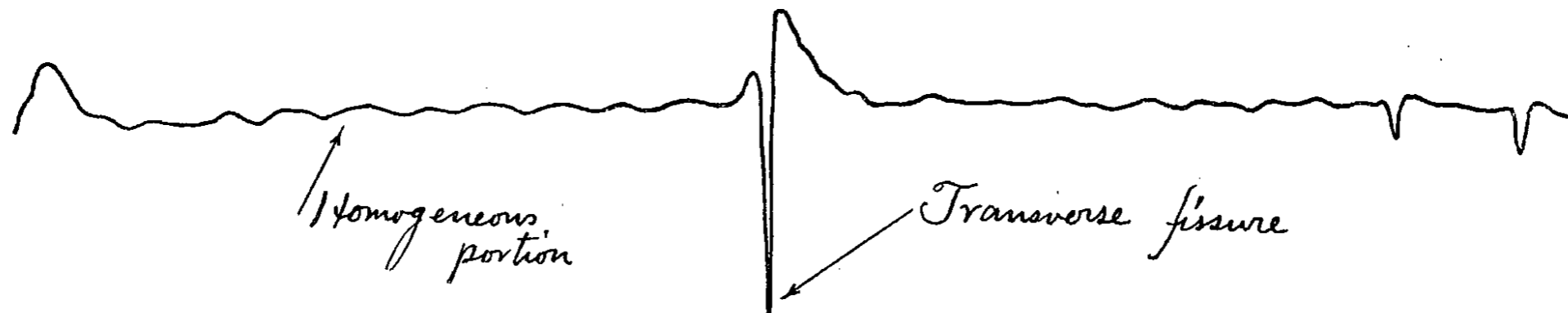


Fig. 25. — Rail n° 10 : courbe relative à un vieux rail de 30 kgr., présentant une déviation anormale due à une fissure transversale typique.

*Explication des termes anglais des figures 16 à 25 :* Deflection of galvanometer = Déviation du galvanomètre. — Drill hole = Trou percé au foret. — Drop test piece = Barreau d'essai au choc. — Faulty portion = Partie défectueuse. — Homogeneous portion = Partie homogène. — Initial disturbance = Déranagement initial. — Length = Longueur. — Long. saw cut = Trait de scie longitudinal. — Trans. saw cut = Trait de scie transversal. — Transverse fissure = Fissure transversale.

épreuves ne provoqua pas de rupture, mais que la flèche dépassait franchement 130 mm. La structure microscopique était bonne aussi, le sulfure de carbone et de manganèse ou d'autres impuretés étant distribués uniformément.

Le n° 8 (fig. 23) était un rail neuf, pris dans un lingot d'acier Bessemer. On trouvera dans le tableau ci-dessus les résultats d'essais au choc faits sur une éprouvette n° 4 A prélevée dans la partie défectueuse et une éprouvette n° 4 B prélevée dans la partie sans défaut. Aucune des éprouvettes ne cassa dans le premier essai au choc, mais le second amena la rupture du barreau défectueux.

On voit donc que si l'on ne peut pas dire qu'une tension anormale due à la presse à dresser est un défaut du rail, tout au moins en ce qui concerne le procédé de fabrication actuel, elle est néanmoins révélée comme un défaut par notre déflectoscope magnétique. Elle n'exerce d'ailleurs aucun effet nuisible sur les rails en acier à faible teneur en carbone, mais il est probable que sa présence est une cause de faiblesse pour ceux dont l'acier est relativement riche en carbone.

#### IV. — Résultats d'essais de rails mis en voie sur les chemins de fer du Gouvernement japonais dans le district de Tôhoku (district nord-est).

Les ruptures de rails de 30 kgr., de fabrication étrangère, posés en 1887 sur la section de Kôriyama, grande ligne de Tôhoku (nord-est), ont été moins fréquentes en été qu'au printemps et en automne. Leur nombre total fut de 12 en 1920, de 20 en 1921 et de 12 dans les six premiers mois de 1922. On les considérait comme dues principalement à la fissure transversale qui caractérise cer-

tains rails de provenance étrangère. Du 20 au 27 juillet 1921, un essai en campagne fut fait avec notre appareil sur les rails posés dans la voie entre Sasagawa et Kôriyama (km. 219 à 224 au départ d'Ueno). Les résultats montrèrent que la majorité des rails étaient sans défaut, mais que quelques-uns avaient des défauts provenant du laminage, sans doute par suite de la qualité médiocre du lingot. Dans certains cas, le défaut était visible de l'extérieur; dans d'autres, notre appareil décelait des fissures transversales et des fissures du champignon simultanément (voir fig. 13). La déviation rapide en A du rail n° 9 correspond au défaut montré dans la figure 13. On remarquera que la cassure présente une crique initiale nettement indiquée. Une autre inflexion de la courbe paraît principalement due, à en juger par son allure lente, à la pression subie par le rail pendant sa fabrication.

Le rail n° 10 a été retiré de la voie et mis en réserve sur les dépendances de l'entretien de Kôriyama. Un essai par flexion fait sur la partie du rail qui correspond à une forte déviation de la courbe tracée par l'appareil a mis très nettement en évidence une fissure transversale typique (voir fig. 14). En général, la fissure transversale interne, qui est une des principales causes de la rupture des rails posés depuis un temps plus ou moins long, peut aisément être distinguée des autres défauts par le déplacement rapide du faisceau lumineux. Pour les rails où la crique initiale n'a pas encore pris un assez grand développement, le déplacement du faisceau lumineux est rapide, mais il n'est pas important, de sorte qu'il faut naturellement apporter un soin scrupuleux dans l'observation.



V. — Application du principe de la nouvelle méthode à d'autres essais.

Nous avons relaté plus haut les résultats obtenus avec des rails en acier de 30 kgr. Mais le principe de cette méthode de recherche des défauts par la voie de l'induction magnétique est susceptible d'une application beaucoup plus large. On peut se servir de cette méthode pour examiner toutes les pièces en matériaux ferro-magnétiques d'un profil régulier, des sections les plus diverses, depuis les barres, arbres, tuyaux en acier, etc., jusqu'aux câbles employés pour la suspension des élévateurs ou dans les mines. Depuis plus de dix ans, des études dans ce sens se poursuivent au « Bureau of Standards » des Etats-Unis et un appareil nommé « Cable Analyzer » a récemment été mis sur le marché. Il est différent du nôtre, mais aucun rapport détaillé n'ayant été publié, nous ne saurions nous rendre compte dans quelle mesure il permet de découvrir les défauts. Nous présumons, d'après les résultats de notre examen des rails, que l'appareil américain sera utile pour l'étude des barres, câbles, etc., d'assez petite section.

VI. — Résumé.

Nous avons relaté dans cette note les résultats typiques de nombreuses expériences. Les rails reconnus défectueux à l'aide de notre appareil l'ont été également par des essais mécaniques. D'après les résultats obtenus jusqu'à présent, trois genres différents de défauts internes des rails peuvent être découverts avec notre appareil, savoir :

1° Criques internes et retassures ou soufflures;

2° Ségrégation d'impuretés;

3° Tensions internes anormales (causées le plus souvent par la pression de la machine à dresser les rails).

La déviation du galvanomètre due à la première de ces causes est relativement rapide et peut être distinguée des oscillations plus lentes dues aux deux autres.

Le second défaut, la ségrégation d'impuretés, n'est pas en lui-même assez grave pour rendre nécessairement impropres au service les rails qui en sont atteints.

Le dernier, c'est-à-dire les tensions internes, peut être insignifiant si la teneur en carbone est faible; si elle est élevée, des avaries sérieuses du rail sont à craindre.

Les avantages de notre appareil peuvent être énumérés comme suit :

1° Il est simple;

2° Il permet de découvrir différents défauts d'une façon nette et exacte; en d'autres termes, dans les courbes tracées, les parties défectueuses se distinguent nettement des parties sans défaut;

3° Il est facile à manier et portatif, de sorte qu'il peut être appliqué sur place aux rails déjà mis en voie, aussi bien qu'aux rails qu'on vient d'acheter et qui ne sont pas encore en service;

4° L'essai d'un rail est terminé en un temps assez court. Avec notre appareil, le temps nécessaire pour vérifier un rail est d'environ une à deux minutes. Lorsque les rails peuvent être facilement manipulés ou ont déjà été posés dans la voie, le nombre s'élève à environ 100 en une heure.

## Note sur le nouveau Cahier des charges des chemins de fer français pour la fourniture des rails en acier,

Par M. CAMBOURNAC,

INGÉNIEUR EN CHEF DES ÉTUDES, MATÉRIEL DES VOIES ET BATIMENTS  
A LA COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER DU NORD FRANÇAIS.

Fig. 1 à 3, p. 284 et 285.

(*Revue Générale des Chemins de fer.*)

Dès avant la guerre, les grands réseaux français avaient mis à l'étude un Cahier des charges unifié pour la fourniture des rails en acier.

Cette unification s'est imposée, depuis lors, comme une conséquence de l'unification des types de rails (1), et l'étude, interrompue par la guerre, a été reprise dès que les circonstances l'ont permis. Elle a abouti à la rédaction d'un nouveau Cahier des charges qui est entré officiellement en vigueur à partir de juillet 1923.

En fait, la plupart des grands réseaux avaient appliqué, avant la lettre, dans leurs marchés d'après-guerre, les principales prescriptions de ce nouveau Cahier des charges de telle sorte que, s'il n'est pas encore possible de le juger d'une manière définitive, les résultats obtenus permettent néanmoins, dès maintenant, d'affirmer qu'il constitue un progrès par rapport aux Cahiers des charges en usage, avant la guerre, sur les différents réseaux français, comme aussi de reconnaître les points sur lesquels il devra être perfectionné dans une étape ultérieure.

C'est dans ces conditions qu'il nous a paru utile de porter à la connaissance des ingénieurs de chemin de fer ce nouveau Cahier des charges dont le texte

complet figure à la fin du présent article.

Il convient d'ajouter que ce texte, avant d'être définitivement arrêté, a été communiqué aux aciéries françaises productrices de rails et qu'il tient compte, dans la plus large mesure, des observations qu'elles ont présentées. On peut donc dire que, dans l'état actuel de l'industrie sidérurgique française, il traduit le programme des conditions techniques auxquelles les réseaux de chemins de fer estiment nécessaire de soumettre la réception des rails, en vue de garantir au maximum la sécurité de la circulation.

Nous donnons ci-après un commentaire succinct des principales prescriptions du Cahier des charges unifié.

### ANALYSE DU CAHIER DES CHARGES.

#### ARTICLE PREMIER.

#### Dispositions générales

Le paragraphe 2 prévoit que les rails pourront être fabriqués suivant trois nuances d'acier différentes, dont la classification est basée sur les résultats de l'essai à la traction. Ces trois nuances correspondent à des résistances minimums respectives de 65 kgr., 70 kgr. et 80 kgr. par millimètre carré.

(1) Voir dans la *Revue Générale* de novembre 1920, article de M. Froëbé, ingénieur principal du matériel fixe aux Chemins de fer de l'Etat français.

On sait que le réseau du Midi commandait, avant-guerre, ses rails de voie courante, suivant la nuance 80 kgr., nuance qu'adoptaient également certains autres réseaux pour leurs rails d'appareils de voie seulement, leurs rails courants étant d'une nuance comprise entre 65 kgr. et 70 kgr.

Dans l'état actuel de notre documentation, il n'a pas été trouvé de motif déterminant d'exclure, *a priori*, l'une des nuances d'acier couramment employées jusque-là, et il a paru préférable de maintenir en usage courant les nuances 65 kgr., 70 kgr. et 80 kgr.; une étude plus attentive et mieux coordonnée permettra, sans doute, de faire un jour entre elles un choix éclairé.

Le paragraphe 3b réserve aux réseaux la faculté d'imposer ou d'exclure, dans leurs commandes, certains procédés de fabrication de l'acier. Ici, encore, l'opinion est loin d'être unanime sur la valeur relative des différents procédés de fabrication de l'acier à rails, tant en ce qui concerne la fragilité que la résistance à l'usure, et il a paru convenable de ménager la possibilité de faire des emplois comparés de rails fabriqués suivant ces différents procédés.

Ajoutons que, malgré la réserve introduite à la demande des métallurgistes au sujet de la nuance 80 kgr. (dernier alinéa), plusieurs aciéries Thomas ont fourni des rails de cette nuance; nous aurons l'occasion d'en reparler plus loin (voir art. 7).

## ARTICLE 2.

### Fabrication.

§ 1. *Fabrication de l'acier.* — L'élaboration de l'acier à rails est essentiellement de la compétence du métallurgiste et il y a lieu de laisser, à son sujet, aux aciéries toute la liberté que l'ingénieur de chemin de fer juge compatible avec la sécurité.

L'ingénieur de chemin de fer est, d'autre part, seul bien placé pour connaître

la manière dont les rails se comportent en service; il lui appartient d'analyser les ruptures et avaries des rails, de les rapprocher des circonstances de leur fabrication et d'appeler l'attention du métallurgiste sur la répercussion que paraît avoir, sur la qualité des rails, l'emploi de telle ou telle méthode d'élaboration de l'acier.

L'amélioration de la qualité des rails ne peut donc résulter que de la collaboration éclairée et confiante du métallurgiste et de l'ingénieur de chemin de fer. Elle suppose, à la base, une documentation aussi complète que possible touchant aussi bien les circonstances de la fabrication que les conditions d'emploi des rails. C'est pourquoi l'article 2, § 1, du nouveau Cahier des charges précise que le métallurgiste fera connaître au chemin de fer les principales caractéristiques de la méthode qu'il suit pour l'élaboration de l'acier à rails et notamment la nature des additions qui sont faites pendant et après l'affinage pour amener le métal à sa composition définitive.

Dans l'état actuel de nos connaissances, il n'a paru possible d'édicter aucune prohibition formelle contre tel procédé ou telle pratique de fabrication. Des recherches sont poursuivies en ce qui concerne deux pratiques qui ont donné lieu à discussion, savoir la recarburation totale ou partielle à l'anhracite et les additions d'aluminium dans les lingotières.

§ 2. *Régularité de la composition chimique.* — C'est dans le même désir de constituer une documentation complète qu'a été rédigé le texte du § 2; c'est aussi dans le but d'obtenir des fabrications suivies et régulières, cette régularité étant, par elle-même, un indice de bonne qualité du métal.

A l'encontre de la plupart des Cahiers des charges en vigueur antérieurement, le texte nouveau n'énonce aucune limitation de la teneur en certains métalloïdes : phosphore, manganèse, soufre, dont on sait cependant qu'à dose trop élevée ils rendent le métal fragile.

Il y a lieu de remarquer, tout d'abord, que cette limitation est fort délicate, car les teneurs considérées ne constituent pas un critérium invariable. Telle teneur en phosphore, qui serait à prohiber pour une composition déterminée du métal en carbone, silicium, manganèse, paraît admissible pour une autre composition. On risque ainsi, ou d'être trop rigoureux et d'éliminer des rails qui auraient fait un excellent service, ou de ne l'être pas assez et d'accepter des rails douteux.

Il a paru, au surplus, que beaucoup plus sûrement que des analyses chimiques (souvent entachées d'inexactitudes, malgré le soin avec lequel elles sont faites), l'essai de choc, dont il sera parlé plus loin, décèlerait la fragilité pouvant résulter de la constitution chimique du métal.

La confrontation des analyses chimiques, recueillies à titre de renseignement, et des résultats des essais de choc se poursuit d'ailleurs au fur et à mesure des fabrications et n'a pas révélé jusqu'ici la nécessité d'en revenir à l'énonciation de teneurs limite en certains métalloïdes.

§ 3. *Corroyage et laminage.* — On remarquera que le présent Cahier des charges n'énonce aucune prescription relativement au mode de coulée dans les lingotières.

Il paraît établi que la température du métal à ce moment, comme aussi le mode de coulée, exercent une influence directe sur la formation de la retassure et de la ségrégation qui, lorsqu'elles existent, constituent un vice grave pour les rails. Dans l'état actuel de la technique, il n'a pas paru possible d'imposer des conditions et un mode de coulée absolument déterminés; cette question reste au premier plan des préoccupations tant des métallurgistes que des ingénieurs de chemin de fer.

La température finale du laminage est également un facteur à ne pas négliger. Il est désirable qu'elle soit aussi basse que possible. Il ne paraît pas impossible

de fixer un maximum pour cette température et de vérifier par des moyens simples qu'il est respecté. Le Cahier des charges pourra être utilement complété sur ce point dans une étape ultérieure.

§ 5. *Chutes.* — Ce paragraphe stipule que le poids de la chute de tête du lingot ne sera jamais inférieur à 12 % du poids du lingot.

Alors qu'il s'en est défendu jusqu'ici pour ce qui est de la fabrication de l'acier, de la composition chimique, du mode de coulée, l'ingénieur de chemin de fer pénètre ici dans le domaine du métallurgiste : il ne se borne pas à dire que la chute de tête devra être telle que la barre, après chutage, remplisse les conditions nécessaires pour être acceptée, il fixe un minimum pour cette chute et semble, par là même, tracer une limite aux progrès que le métallurgiste est susceptible d'apporter à ses fabrications.

Disons de suite que le minimum de chutage imposé (12 %) est assez sensiblement inférieur aux chutages actuellement pratiqués par les usines françaises (18 % en moyenne) « pour que la barre, après chutage, remplisse les conditions nécessaires pour être acceptée ». Il laisse donc au métallurgiste une marge de progrès qui n'est nullement négligeable.

L'énonciation d'un minimum s'impose pour la raison suivante. En règle générale, la barre laminée présente, immédiatement après le bout écriu, une zone de métal relativement sain, qui peut aller jusqu'à 8 % de la longueur de la barre; cette zone est suivie d'une partie retassée et ségrégée qui s'étend au moins jusqu'à 15 % de la longueur de la barre et quelquefois beaucoup plus loin. En ne fixant pas de minimum de chutage, on s'exposerait à faire, avec succès, les essais de choc sur un barreau d'essai prélevé en tête, dans la zone saine, et à accepter ainsi, comme bonne, la partie malsaine de la barre; en fixant le minimum à 12 %, on élimine ce risque; les essais de choc sont faits sur un barreau dont on

peut dire qu'en règle presque absolue il ne contient pas moins de défauts de structure ou de composition qu'aucun des rails présentés en réception.

§ 7. *Dressage à froid.* — Certaines ruptures de rails paraissent devoir être imputées à l'altération du métal produite par le dressage à froid, soit à la presse, soit à la machine à rouleaux et cela n'a rien d'étonnant vu l'importance des efforts localisés que subit le rail au cours de ce dressage.

Le présent Cahier des charges ne prémunit les réseaux contre les altérations que lorsqu'elles se traduisent par des défauts superficiels et apparents (art. 4, § 1). Il n'a pas paru possible, pour le moment, de préciser davantage mais il y aura lieu, dans l'avenir, de pousser plus avant l'étude de cette question, de manière, soit à permettre de déceler les altérations internes ou invisibles des barres, soit à préciser les conditions dans lesquelles le dressage doit être effectué et peut-être même à prohiber l'emploi de certains procédés ou de certaines machines.

Les autres paragraphes de l'article 2, dont certains diffèrent assez sensiblement des clauses des Cahiers des charges antérieurs, n'appellent aucun commentaire spécial. Disons cependant, à titre documentaire, que le chiffre de 7.84, indiqué pour la densité de l'acier à rails au paragraphe 11, résulte de la moyenne des mesures de densité faites simultanément sur plusieurs réseaux.

### ARTICLE 3.

#### Présentation des produits.

On verra plus loin que le Cahier des charges — et c'est là une de ses principales novations — prévoit un essai de choc, non par nombre ou tonnage déterminé de rails provenant de plusieurs coulées, non même par coulée, mais par *lingot*. Vu le grand nombre de chutes à conserver pour procéder aux essais, il

est indispensable, afin de se prémunir contre les erreurs, d'adopter la plus grande méthode dans le marquage et le classement des rails et des chutes.

Tel est le but des prescriptions de l'article 3 qui fait, en outre, remonter au personnel supérieur de l'usine la responsabilité de la présentation en recette.

Les usines ont le plus grand intérêt, aussi bien que les réseaux, à éviter toute inexactitude, voire même toute incertitude, dans ces opérations. Certaines d'entre elles ont installé dans ce but des composteurs mécaniques pour le marquage des rails à chaud au sortir du laminoir. Il est à souhaiter que des installations de ce genre se multiplient. Il n'est d'ailleurs pas impossible que, dans une étape ultérieure, le Cahier des charges les rende obligatoires.

La réserve introduite, à la demande des aciéries, au dernier alinéa du § 1 a eu rarement l'occasion de jouer, la plupart des usines disposant d'emplacements suffisants pour tenir, à la disposition de l'agent de chemin de fer, les chutes d'une fabrication étagée sur plusieurs jours.

### ARTICLE 4.

#### Vérification extérieure des surfaces.

§ 1. *Examen des surfaces.* — Le texte du Cahier des charges résume en quelques mots les défauts superficiels les plus caractéristiques qu'ont à rechercher les agents de chemin de fer au cours de leurs réceptions. Mais certains de ces défauts ne sont pas toujours aisément perceptibles; nous citerons, en particulier, les fentes de retassure ou de ségrégation dans la tranche d'about des rails et les fentes longitudinales filiformes du patin que provoque, dans certains cas, l'emploi de la machine à rouleaux pour le dressage à froid des rails.

Il semble désirable, en conséquence, de donner, aux agents de chemin de fer, des moyens d'investigation plus perfectionnés que ceux dont ils disposent actuelle-

ment, et des recherches sont poursuivies dans cette voie.

Les autres paragraphes de cet article n'appellent pas de commentaire spécial. Les tolérances sur les dimensions, suffisantes pour le chemin de fer, sont faciles à observer par les fournisseurs.

#### ARTICLE 5.

##### Définition des essais à effectuer avant réception.

Les seuls essais ayant valeur éliminatoire, prévus au Cahier des charges, sont l'essai au choc et l'essai de traction.

L'essai au choc comporte l'emploi d'un mouton de 300 kgr. et d'une chabotte sans ressorts de 10 000 kgr. L'essai de traction est conforme aux prescriptions contenues dans le *Recueil des Méthodes d'essais mécaniques usuelles unifiées*.

Nous avons dit plus haut que la composition chimique n'est demandée qu'à titre documentaire et n'est pas susceptible, en principe, d'entraîner le rebut d'une fourniture, à l'inverse de ce que prévoient certains règlements étrangers.

Le Cahier des charges prévoit, également, à titre documentaire, un essai de dureté à la bille.

L'article 7, § 2, indique comment ces essais, qui permettent de s'assurer de la régularité de la fabrication, peuvent guider l'agent de chemin de fer dans ses réceptions.

Bien que la ségrégation et les anomalies qui l'accompagnent, soufflures, inclusions non métalliques... soient considérées par les ingénieurs de chemin de fer comme des causes éventuelles d'avarie et de rupture des rails en service, le présent Cahier des charges ne prévoit aucun essai destiné à révéler la ségrégation.

Dans l'état actuel de la technique, la macrographie donne des renseignements intéressants, mais purement qualificatifs; elle décele la ségrégation, parfois même des fentes dans la partie ségrégée, mais elle n'indique pas dans quelle mesure

cette ségrégation rend le métal fragile. On peut en dire autant, à notre avis, des analyses chimiques différentielles, d'ailleurs fort délicates, prévues dans certains règlements étrangers. Ce n'est pas, à proprement parler, la ségrégation qu'il faut proscrire et donc déceler, voire doser, c'est la fragilité qu'une ségrégation excessive procure au métal et c'est contre cette fragilité qu'on s'est proposé de se prémunir par l'essai au choc sur bout de rail *fraisé* qui constitue la deuxième et principale novation du présent Cahier des charges et dont nous allons maintenant nous occuper.

#### ARTICLE 6.

##### Prélèvement des éprouvettes.

Tandis qu'il n'est prélevé qu'une barre *par coulée* pour l'essai de traction, il est prélevé une barre sur *chaque lingot* pour l'essai au choc (art. 6, § 1).

Au surplus, cet essai au choc, qui se faisait autrefois sur la barre à section entière, est prévu ici sur rail *fraisé* (art. 6, § 2).

Autrement dit, si les rédacteurs du Cahier des charges n'ont pas cru devoir se garantir, mieux qu'auparavant, contre l'éventualité d'admettre des rails de nuance un peu plus douce qu'il n'est prévu à la commande, ils ont pensé qu'il convenait de multiplier et de perfectionner les essais au choc destinés à déceler la fragilité du métal parce que cette fragilité conditionne, d'une manière directe, la sécurité de la circulation ferroviaire.

Dans la voie, les rails travaillent isolément et la rupture d'une barre peut, à elle seule, provoquer un accident. De la même manière qu'on le fait pour certaines pièces de tabliers métalliques ou certains organes de machines travaillant isolément, on concevrait donc qu'on essayât les rails *un par un*.

De tels essais seraient difficiles à réaliser et ils ne paraissent d'ailleurs pas indispensables, si l'on fait porter les es-

sais sur des barreaux dont on soit sûr qu'ils ne contiennent pas moins de défauts de structure ou de composition qu'aucun des rails présentés en réception.

C'est ce résultat qui est obtenu, d'une part, en imposant un minimum de chutage en tête (art. 2, § 5) ainsi que nous l'avons exposé plus haut, d'autre part, en faisant un essai en tête *par lingot*.

Il n'a pas paru suffisant, à ce point de vue, de s'en tenir à un essai par coulée. Les différents lingots provenant d'une même coulée ne peuvent être tenus pour identiques : la température de la coulée, les conditions de refroidissement, ne sont pas les mêmes et on sait qu'elles influent directement sur la formation de la ségrégation; la dissemblance est encore plus accusée si l'on fait des additions, notamment d'aluminium, dans les lingotières.

Chaque lingot est donc essayé au choc,

Au surplus, le barreau essayé au choc est fraisé au milieu de sa longueur, sur le champignon, dans les conditions indiquées au § 2. La section qui supporte l'effort maximum lors de la chute du mouton d'essai est la section la plus faible de l'éprouvette; c'est, en outre, une section dans laquelle les fibres qui travaillent au maximum à l'arrachement au lieu d'être du métal de bord, toujours plus homogène et plus tenace, sont du métal de pleine section, comportant éventuellement toutes les imperfections caractéristiques d'une mauvaise élaboration du métal ou d'un chutage insuffisant des lingots : ségrégation, soufflures, inclusions non métalliques, etc.

L'essai au choc sur rail fraisé doit donc non seulement déceler, comme le ferait l'essai sur barreau à section entière, la fragilité du métal due à sa composition chimique, il doit, en outre, mettre en évidence *l'hétérogénéité interne* du métal, qui est une des causes principales d'avarie et de rupture des rails en service.

L'essai au choc *par lingot*, l'essai au

choc *sur barreau fraisé* : telles sont les idées essentiellement nouvelles qui caractérisent le Cahier des charges unifié et il n'est que juste d'en faire remonter la paternité à M. Ch. Fremont dont les belles études sur la pathologie des rails (1) ont été un guide précieux pour les rédacteurs du Cahier des charges.

#### ARTICLE 7.

##### Résultats à obtenir dans les essais

La hauteur de chute prévue au § 1 pour les rails de la nuance 65 kgr., de même que les autres conditions de l'essai au choc (poids du mouton, espacement des appuis, longueur de l'éprouvette, profondeur de la partie fraisée), ont été déterminées à la suite de nombreux essais effectués par les réseaux dans diverses aciéries et, notamment, par la Compagnie de l'Est aux usines de la Providence à Rehon (Meurthe-et-Moselle).

L'essai au choc ainsi déterminé est nettement plus sévère que ceux des Cahiers des charges antérieurs.

Nous avons eu l'occasion de vérifier, à plusieurs reprises, qu'il accuse nettement le manque d'homogénéité du métal; en découpant, dans une tranche de rail, de petits barreaux contigus et en soumettant ces barreaux à des essais de résilience, nous avons pu constater que l'essai au choc sur le rail fraisé ne réussissait qu'autant qu'il n'y avait pas, dans la section de ce rail, de barreaux à résilience faible enclavés au milieu de barreaux à résilience ordinaire.

Il est bien évident, cependant, que les conditions actuelles de l'essai au choc ne sont pas obligatoirement définitives. Il sera d'ailleurs très facile d'agir sur une ou plusieurs d'entre elles au cas où l'ap-

---

(1) 39<sup>e</sup> Mémoire : Nouvelles méthodes d'essai des rails, 1911. — 58<sup>e</sup> Mémoire : Causes d'usure prématurée des rails, 1921. — 61<sup>e</sup> Mémoire : Causes de ruptures accidentelles des rails, 1922. — 69<sup>e</sup> Mémoire : Usure et défauts des rails, 1924.

plication prolongée du Cahier des charges en révélerait la nécessité.

On remarquera que les essais au choc prévus pour les rails des nuances 70 kgr. et 80 kgr. sont légèrement moins sévères (réduction de la hauteur de chute du mouton) que pour les rails de la nuance 65 kgr. Cela paraît logique *a priori* puisque la résistance au choc des aciers au carbone diminue au fur et à mesure qu'augmente leur résistance à la traction; mais, d'autre part, les rails sont appelés à supporter les mêmes fatigues, quelle que soit la nuance de l'acier qui les constitue, et il paraît désirable qu'ils subissent tous le même essai au choc. Des essais entrepris sur des rails Bessemer, Martin et même sur des rails Thomas fabriqués dans les conditions courantes ont montré qu'il n'était nullement impossible d'imposer, pour la nuance la plus dure (80 kgr.) la même hauteur de chute que pour la nuance la plus douce (65 kgr.).

Il est donc à présumer que, dans une étape ultérieure, le Cahier des charges prévoiera un essai au choc identique pour toutes les nuances d'acier.

En vue de limiter le nombre des essais au choc, et à la demande des métallurgistes, le § 1 prévoit qu'il pourra être dérogé au principe de l'essai par lingot lorsque tous les lingots de cinq coulées successives auront satisfait à l'essai du choc. Jusqu'à ce jour, les réseaux n'ont cru devoir user que très exceptionnellement de cette stipulation, parce qu'elle constitue une dérogation grave au principe de l'essai par lingot dont les raisons ont été précédemment exposées, dérogation qu'une expérience prolongée peut seule justifier.

Il semble d'ailleurs qu'on pourrait limiter également le nombre des essais en n'essayant pas les derniers lingots d'une coulée et refusant toute la coulée lorsque les premiers lingots, les deux tiers par exemple, n'auraient pas satisfait à l'essai au choc; cette stipulation, qui ne figure pas dans la présente rédaction,

pourrait être édictée ultérieurement.

L'essai de traction (§ 2) n'appelle aucun commentaire spécial. On remarquera toutefois que l'éprouvette de traction est prélevée toujours dans une chute de pied et non, comme le prévoient certains Cahiers des charges, au choix de l'agent réceptionnaire.

La possibilité d'un tel choix, tantôt en tête ou tantôt en pied, a été signalée par les métallurgistes comme une gêne pour la régularité de la fabrication et il n'a pas paru indispensable de la maintenir.

L'essai de traction, tout en n'étant pas parfait, exige une longue préparation, et il serait hautement désirable que les progrès de la technique permettent d'y substituer un essai plus simple et plus rapide caractérisant suffisamment la nuance de l'acier.

#### ARTICLE 8.

##### Marques à apposer sur les rails.

Ces marques ne comportent aucune indication propre au réseau qui a passé la commande. Les mêmes cylindres peuvent donc, sans aucune retouche, travailler successivement pour plusieurs réseaux. Ainsi se trouve confirmé, par ce détail, l'un des bénéfices que doivent procurer la standardisation des profils et l'unification des Cahiers des charges pour la fourniture des rails.

#### ARTICLE 9.

##### Garantie.

##### Responsabilité du fournisseur.

Le présent Cahier des charges n'a apporté aucune novation en ce qui concerne le principe et l'étendue de la responsabilité des fournisseurs de rails; c'est le droit commun qui constitue la loi des parties.

Les rails avariés ou cassés doivent être remplacés, non en nature, mais en argent, pendant un délai de garantie dont la durée a été portée à dix ans.



## RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.

La courte analyse à laquelle nous venons de procéder montre le soin avec lequel les rédacteurs du Cahier des charges ont éliminé du texte toutes les clauses de style, toutes les prescriptions qui ne leur ont pas paru rigoureusement indispensables pour ne retenir, comme éliminatoires, que deux essais simples et ne prêtant pas à difficultés d'interprétation, l'essai au choc et l'essai de traction.

Ils se sont attachés à multiplier le nombre des essais au choc, en y soumettant individuellement tous les lingots, et à en perfectionner la technique en substituant, à l'essai sur barre entière, l'essai sur barreau fraisé.

Une application prolongée du Cahier des charges montrera s'il est nécessaire de rétablir certains des essais abandonnés ou de modifier les conditions des essais conservés. Nous avons indiqué les points sur lesquels des perfectionnements nous paraissent devoir être recherchés. C'est aux ingénieurs de chemin de fer qu'il appartient de poursuivre cette œuvre de perfectionnement, car eux seuls connaissent la manière dont les rails se comportent dans ce vaste laboratoire d'expérimentation que constitue l'ensemble des réseaux français. C'est en examinant méthodiquement les ruptures et avaries qui se produiront dans les premières années d'application du Cahier des charges, c'est en analysant les formes de ces ruptures et avaries, c'est en les rapprochant des circonstances de la fabrication et de la réception, que ce progrès doit être recherché et nous ne saurions, en terminant, appeler d'une manière trop instante, sur l'intérêt capital de cette étude, l'attention des ingénieurs qui ont la préoccupation de mettre le matériel fixe de la voie à même de résister aux efforts croissants que lui impose une circulation chaque jour plus lourde, plus rapide et plus intense.

## CAHIER DES CHARGES POUR LA FOURNITURE DES RAILS EN ACIER.

### ARTICLE PREMIER. — Dispositions générales.

§ 1. *Objet du Cahier des charges.* — Le présent cahier des charges définit les conditions de réception des rails en acier de tous types.

§ 2. *Classification des aciers.* — La classification par nuance des aciers est basée sur l'essai à la traction défini à l'article 7, § 2.

Dans cette classification, la résistance minimum est prise comme caractéristique principale et sert à désigner la nuance.

Il y a trois nuances : 65 kgr., 70 kgr. et 80 kgr.

§ 3. *Rédaction des commandes.* — a) Après avoir indiqué les types et les longueurs des rails demandés, ainsi que le nombre de barres ou le tonnage à fournir sur chacun de ces types et longueurs, les commandes indiqueront :

1° Le Cahier des charges à appliquer en mentionnant son numéro d'ordre et la date de son édition ;

2° La résistance minimum imposée par l'acier (65 kgr., 70 kgr. ou 80 kgr., art. 1, § 2) ;

3° Les tolérances pour l'emplacement, dans le sens longitudinal, des trous autres que les trous d'éclissage (art. 4, § 2d) ;

4° La profondeur P de la partie fraisée pour les rails autres que les rails Standard et les rails actuels des Grands Réseaux français (art. 6, § 2).

b) Les commandes pourront imposer ou exclure certains procédés de fabrication de l'acier (Thomas, Bessemer, Martin ou autre) étant entendu qu'on ne pourra pas imposer le procédé Thomas pour l'acier de la nuance 80 kgr.

### ART. 2. — Fabrication.

§ 1. *Procédé de fabrication de l'acier.* — Le procédé de fabrication de l'acier pour rails (Thomas, Bessemer, Martin ou autre) sera défini dans la commande.

Le fournisseur fera connaître au chemin de fer les principales caractéristiques de la méthode qu'il suit dans l'application du dit procédé.

Il indiquera notamment la nature des additions qui sont faites pendant et après l'affinage pour amener le métal à sa composition définitive.

Le fournisseur ne devra pas modifier sa méthode de fabrication sans en prévenir l'agent du chemin de fer.

§ 2. *Régularité de la composition chimique.* — Le métal employé pour la fabrication des rails devra avoir une composition chimique régulière.

L'usine devra fournir au chemin de fer les renseignements nécessaires pour lui permettre de se rendre compte de la fabrication à ce point de vue.

A cet effet, chaque coulée sera analysée dans le laboratoire du fournisseur, les résultats des analyses effectuées seront consignés au fur et à mesure sur un registre qui sera communiqué sur place à l'agent du chemin de fer, chaque fois qu'il le demandera.

Ces analyses comprendront au moins, pour chaque coulée, les dosages du carbone, du manganèse et du phosphore.

Lorsque le chemin de fer le demandera, le fournisseur devra faire effectuer dans son laboratoire, par les méthodes les plus précises, des analyses complètes des coulées qui lui seront désignées, avec dosage du carbone, du manganèse, du silicium, du soufre et du phosphore. Il sera fait, au maximum une analyse complète par 100 t. de rails à fournir.

§ 3. *Corroyage et laminage.* — En aucun cas, le lingot générateur ne devra avoir une section inférieure à vingt fois (20) celle du rail laminé; il ne devra jamais être couché avant solidification complète.

Le laminage sera conduit de manière à obtenir des surfaces lisses et unies.

La température finale du laminage devra être aussi basse que possible.

§ 4. *Exactitude du profil.* — Le profil des rails sera conforme aux dessins ou gabarits poinçonnés remis aux usines par le chemin de fer. (Voir « Tolérances », art. 4, § 2b.)

§ 5. *Chutes.* — La chute de tête de chaque lingot laminé devra être telle que la barre après chutage remplisse les conditions nécessaires pour être acceptée; cette chute sera

suffisante pour qu'on puisse y prélever une longueur de 0 m. 700 capable de satisfaire à l'essai de choc (art. 7, § 1).

Son poids ne sera jamais inférieur à 12 % du poids du lingot.

A l'autre extrémité de la barre laminée, la chute sera suffisante pour qu'on puisse y trouver une longueur de 0 m. 300 capable de satisfaire à l'essai de traction (art. 7, § 2).

§ 6. *Dressage à chaud.* — Les rails devront être abandonnés au refroidissement dans une position telle que les déformations provenant du refroidissement les amènent autant que possible à être sensiblement rectilignes.

Pendant toute la durée de leur refroidissement jusqu'à la température ambiante, les rails seront abrités de la pluie, de la neige et préservés de tout contact fortuit avec l'eau.

§ 7. *Dressage à froid.* — Le dressage à froid sera effectué par actions graduées et sans choc, de manière à éviter toute altération du métal.

§ 8. *Mise à longueur.* — La mise à longueur s'effectuera à froid, à la fraise, ou par tout autre moyen donnant même résultat. Les bavures résultant du fraisage seront enlevées à la lime; il est interdit de parer au marteau.

Les abouts seront bien plans et bien d'équerre sur les génératrices du rail. (Voir « Tolérances », art. 4, § 2c.)

§ 9. *Perçage.* — Les rails seront percés dans l'âme de trous ronds ou oblongs suivant l'indication des dessins. (Voir « Tolérances », art. 4, § 2d.)

On emploiera pour le perçage un outillage donnant des trous à parois lisses, en évitant tout échauffement capable d'altérer le métal. Les bavures seront enlevées à la lime ou à la fraise.

§ 10. *Réparations.* — Toute opération, soit à froid, soit à chaud, qui aurait pour effet de dissimuler un défaut est formellement interdite.

§ 11. *Poids des rails.* — Le poids normal à admettre, par mètre courant, pour chaque profil de rail, sera déterminé par le calcul en adoptant comme densité du métal 7.840.

Pour chaque fabrication, l'évaluation du poids des rails livrés se fera en multipliant

la longueur de ces rails par le poids moyen au mètre courant, résultant du pesage de vingt (20) longues barres désignées, moitié par l'agent du chemin de fer, moitié par l'agent de l'usine.

Le poids, ainsi évalué, ne devra pas s'écarter de plus de 2 % en plus ou en moins du poids normal; au-dessous, les rails seront rebutés; au-dessus, l'excédent de poids ne sera pas payé au fournisseur.

Sous cette réserve, les rails de chaque livraison seront payés d'après leur poids évalué comme il est dit au deuxième alinéa ci-dessus; mais si, en fin de commande, le poids représentant l'ensemble des livraisons dépasse de plus de 1 % le poids normal calculé, l'excédent au delà de 1 % ne sera pas payé.

§ 12. *Surveillance.* — L'agent du chemin de fer aura le droit de suivre de jour et de nuit la fabrication dans tous ses détails, d'assister à tous les essais et analyses de l'usine se rapportant aux coulées qui lui sont destinées ou de prendre connaissance de leur résultat, de se livrer enfin à toutes les vérifications nécessaires pour s'assurer que les conditions de fabrication prévues au Cahier des charges sont exactement remplies.

L'agent du chemin de fer devra adresser ses observations au directeur de l'usine ou à son représentant et non aux ouvriers et contre-maîtres.

### ART. 3. — Présentation des produits.

§ 1. *Formation des lots.* — Les rails seront, autant que possible, présentés à la réception groupés par coulée.

Les chutes de tête et de pied des lingots seront classées par coulée, les numéros des coulées et des lingots étant bien apparents.

Ce classement sera conservé jusqu'au prélèvement, par l'agent du chemin de fer, des barres nécessaires aux essais.

Si ce prélèvement n'est pas fait dans un délai de vingt-quatre heures après laminage de la coulée, l'usine pourra, si elle le juge indispensable, détruire ce classement après avoir prélevé elle-même les barres nécessaires aux essais.

§ 2. *Présentation en recette.* — La présen-

tation en recette sera faite par notre remise à l'agent du chemin de fer.

Cette note, dûment signée et établie sous la responsabilité du directeur de l'usine productrice, reproduira les indications de la commande et constituera un certificat attestant que les conditions de fabrication et de marquage prévues aux §§ 1, 3, 5, 7 et 10 de l'article 2 et à l'article 8 ont bien été observées.

En outre, elle confirmera que les rails n'ont pas fait l'objet d'une présentation antérieure.

Le fournisseur s'organisera pour la manutention des rails, de façon à permettre à l'agent du chemin de fer de les examiner sur les quatre faces et les deux abouts pour reconnaître ceux qui seraient défectueux.

### ART. 4. — Vérification extérieure des rails.

§ 1. *Examen des surfaces.* — a) Les quatre faces et les abouts des rails devront être exempts de solutions de continuité, reprises, fissures, criques, pailles ou tout autre défaut.

b) Les défauts superficiels seront sondés par burinage jusqu'à complète disparition. Si le manque de métal résultant de cette opération dépasse les tolérances prévues pour les dimensions, l'agent du chemin de fer pourra autoriser la livraison s'il juge la défectuosité sans importance pour un bon service du rail sondé.

§ 2. *Tolérances sur les dimensions.* — a) **LONGUEUR.** — Les longueurs spécifiées sont celles des barres à 15° C.; elles sont mesurées sur l'âme.

La tolérance accordée sur les longueurs sera en plus ou moins:

— de deux millimètres (0 m. 002) sur les longueurs égales ou inférieures à 18 m.

— de trois millimètres (0 m. 003) sur les longueurs supérieures à 18 m. jusqu'à 24 m. inclus.

b) **DIMENSIONS TRANSVERSALES.** — On accordera une tolérance d'un demi-millimètre (0 m. 0005) en plus ou en moins sur les dimensions du profil, mais à condition que le poids réel du rail ne s'écarte pas de plus de 2 % en plus ou en moins du poids normal tel qu'il est défini à l'article 2, § 11.

Pour les rails Vignoles, la tolérance en plus

ou en moins sur la largeur du patin pourra atteindre un millimètre (0 m. 001).

c) EQUERRAGE DES ABOUTS. — Il sera accordé une tolérance d'un demi-millimètre (0 m. 0005) sur l'équerrage des abouts.

d) PERÇAGE. — Il sera toléré une différence d'un demi-millimètre (0 m. 0005) en plus ou en moins sur le diamètre des trous.

Il sera toléré une différence d'un millimètre (0 m. 001) en plus ou en moins sur la position des trous par rapport aux portées d'éclissage.

La distance des trous d'éclissage à l'about du rail sera vérifiée à l'aide d'un gabarit comprenant une butée destinée à prendre contact avec l'about et des tétons cylindriques destinés à pénétrer dans les trous.

Les diamètres de tétons seront inférieurs de un millimètre (0 m. 001) aux diamètres correspondants des trous. Les distances des axes des tétons à la butée seront exactement égales aux cotes de distance des axes des trous à l'about.

Les tétons du gabarit devront pouvoir pénétrer en même temps dans les trous, la butée étant au contact avec l'about du rail.

Les commandes indiqueront les tolérances admises pour l'emplacement, dans le sens longitudinal, des trous autres que les trous d'éclissage.

§ 3. *Gabarits de vérification.* — Les gabarits de vérification du profil, du perçage, etc., seront établis par le fournisseur et à ses frais.

Les gabarits de précision que possède le chemin de fer ne dispensent pas le fournisseur d'en établir d'autres, les premiers sont, en effet, destinés à la vérification des seconds et non à celle du matériel fabriqué.

#### ART. 5. — Définition des essais à effectuer avant réception.

§ 1. *Énumération des essais.* — Les rails présentés en recette seront soumis aux essais suivants:

- a) ESSAI AU CHOC SUR BOUT DE RAIL FRAISÉ;
- b) ESSAI DE TRACTION;
- c) ESSAI DE DURETÉ (à titre de renseignement).

§ 2. *Méthodes d'essais.* — a) ESSAI AU CHOC SUR BOUT DE RAIL FRAISÉ.

L'essai au choc sur bout de rail fraisé sera fait avec un mouton guidé du poids de trois cents kilogrammes.

Le guidage sera absolument rigide, plan et vertical, et disposé de telle sorte que le frottement pendant la chute du mouton soit réduit au minimum.

Le mouton doit être de masse et de forme symétriques par rapport au plan du guidage. Le centre de gravité du mouton doit être placé le plus bas possible dans le plan de guidage et sur la verticale équidistante des deux guides.

La hauteur de la partie guidée du mouton doit être notablement plus grande que l'intervalle entre les guides.

L'appareil à déclivité ne doit produire aucun mouvement latéral du mouton lors de sa mise en jeu.

La panne sera terminée par une partie cylindrique dont l'axe sera horizontal et dans le plan du guidage.

Cette partie aura la forme indiquée par la figure 1.

Le poids de la chabotte métallique ne devra pas être inférieur à 10 000 kgr.

Les appuis destinés à recevoir les rails seront espacés de 0 m. 500 d'axe en axe; ils seront fixés sur la chabotte d'une façon inébranlable; ils auront la forme indiquée par la figure 2.

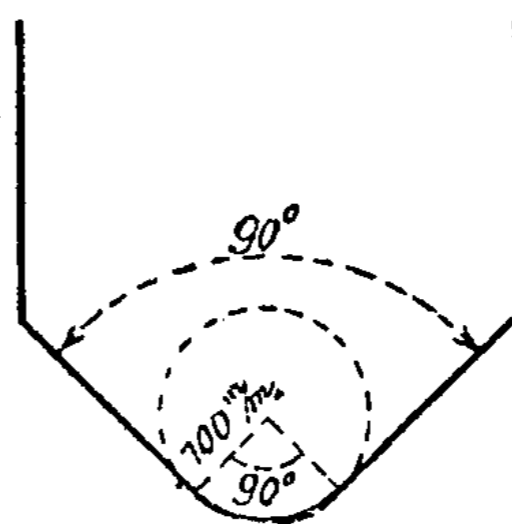


Fig. 1.

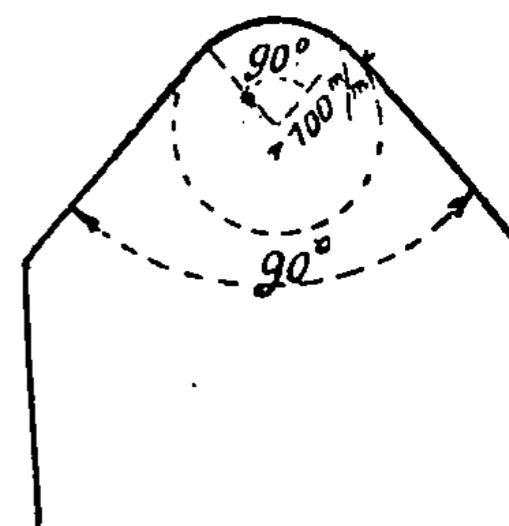


Fig. 2.

La panne du mouton et la partie supérieure des appuis devront être rectifiées ou remplacées lorsqu'elles seront déformées.

- b) ESSAI DE TRACTION.
- c) ESSAI DE DURETÉ (à titre de renseignement).

Les essais b) et c) seront effectués conformément aux prescriptions contenues dans le *Recueil des Méthodes d'essais mécaniques usuelles unifiées*.

**ART. 6. — Prélèvement des éprouvettes.**

§ 1. *Mode de prélèvement.* — L'agent du chemin de fer prélèvera chaque jour dans les chutes de tête et de pied de chaque coulée, du côté opposé au bout écriu:

1° En tête: 1 barre de 0 m. 700 par lingot, pour essai de choc;

2° En pied: 1 barre de 0 m. 300 par coulée, pour essai de traction.

Les éprouvettes de traction seront découpées à froid et auront leur centre aux  $\frac{2}{5}$  supérieurs de la hauteur du champignon du rail, cette hauteur étant la distance entre la surface de roulement et le plan parallèle joignant les lignes d'intersection des portées supérieures d'éclissage avec les faces latérales du champignon.

§ 2. *Dimensions des éprouvettes.* — a) Le bout du rail de 0 m. 700 de longueur destiné à l'essai a) sera, comme il est indiqué à la figure 3, fraisé au milieu de la longueur du champignon de roulement, avec une fraise cylindrique de 0 m. 100 de diamètre.

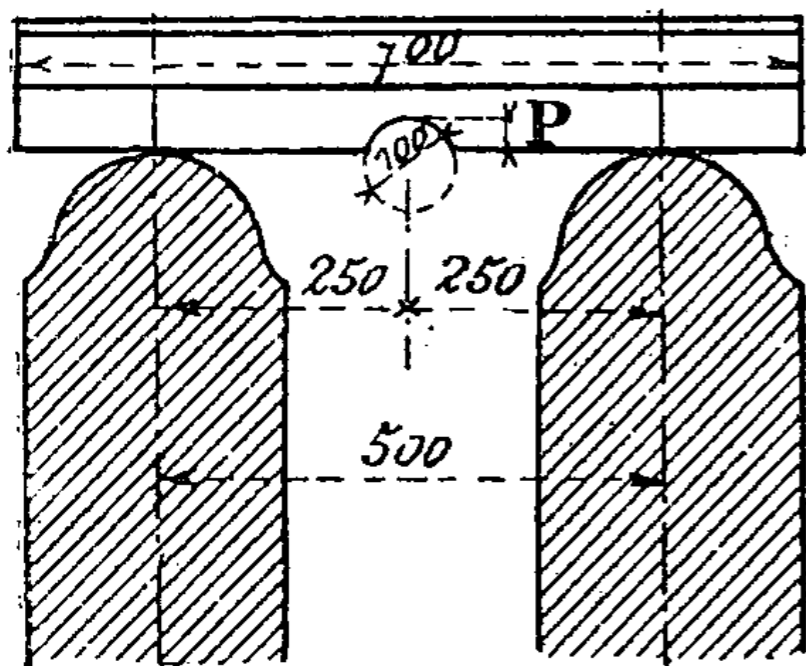


Fig. 3.

La profondeur P de la partie fraisée sera égale aux deux cinquièmes ( $\frac{2}{5}$ ) de la hauteur du champignon, cette hauteur étant la distance entre la surface de roulement et le plan parallèle joignant les lignes d'intersection des deux portées supérieures d'éclissage avec les faces latérales du champignon.

La formule ci-dessus s'applique aux profils des rails Standard et aux profils actuels des rails des Grands Réseaux français.

Pour les rails d'autres profils la profondeur P sera indiquée dans les commandes.

b) Les dimensions des éprouvettes à employer dans les essais de traction sont définies dans le *Recueil des Méthodes d'essais mécaniques usuelles unifiées*.

§ 3. *Marquage des éprouvettes.* — Les témoins prélevés pour la préparation des éprouvettes seront tracés, repérés et poinçonnés sous le contrôle de l'agent du chemin de fer.

Au cours de la préparation des éprouvettes, les repères et poinçons ne pourront être détruits, puis reportés qu'en présence de cet agent.

Après préparation, les éprouvettes de traction devront conserver à chaque tête, les poinçons du chemin de fer.

§ 4. *Traitement des éprouvettes.* — Les éprouvettes d'essais seront découpées à froid et ne subiront aucune opération de martelage, déformation à froid, trempe, ni recuit.

**ART. 7. — Résultats à obtenir dans les essais.**

§ 1. *Essai au choc sur bout de rail fraisé.* — Le bout de rail fraisé préparé comme il est indiqué à l'article 6, § 2a, et ayant une température supérieure à 0° reposera sur les appuis par le champignon de roulement; il ne devra pas se rompre au choc du mouton de 300 kgr. tombant, au droit du milieu de la partie fraisée, d'une hauteur, exprimée en mètres, égale au poids du rail par mètre courant, exprimé en kilogrammes, multiplié par l'un des coefficients:

- 0.10 pour les rails de la nuance 65 kgr.;
- 0.095 pour les rails de la nuance 70 kgr.;
- 0.090 pour les rails de la nuance 80 kgr.

On fera en principe un essai par lingot. Toutefois, lorsque tous les lingots de cinq (5) coulées successives de la même fabrication auront satisfait à l'essai au choc, le réseau pourra réduire le nombre des essais sans descendre au-dessous de deux essais par coulée, mais on essaiera tous les lingots des coulées dont un lingot n'aura pas satisfait à l'essai au choc.

Si l'essai sur la chute de tête d'un lingot n'est pas satisfaisant, la barre H de ce lingot sera rebutée et on fera un nouvel essai au pied de cette barre.

Si celui-ci est satisfaisant, le reste du lingot sera accepté (sous réserve de satisfaire aux

autres conditions du cahier des charges); dans le cas contraire tout le lingot sera refusé.

§ 2. *Essai de traction.* — Les éprouvettes de traction préparées comme il est indiqué à l'article 6, § 2b, devront donner les résultats suivants:

CATÉGORIE.	Résistance minimum par millimètre carré de la section primitive.	Allongement pour cent minimum mesuré sur la longueur entre repères de 100 mm.	Observations.
65 kgr.	65 kgr.	10 %	Toutefois la résistance R et l'allongement A devront satisfaire à la formule $R + 2A \geq 92$ .
70 kgr.	70 kgr.	9 %	Toutefois la résistance R et l'allongement A devront satisfaire à la formule $R + 2A \geq 94$ .
80 kgr.	80 kgr.	7 %	Toutefois la résistance R et l'allongement A devront satisfaire à la formule $R + 2A \geq 98$ .

Pour les trois catégories, on considérera, dans l'ordre de laminage, des lots comprenant les lingots qui proviennent de trois coulées et qui ont satisfait à l'essai de choc. Pour chacun de ces lots, il sera fait un essai de traction.

L'éprouvette sera prélevée, au choix de l'agent du chemin de fer, d'après les renseignements fournis par l'essai de dureté, les résultats des analyses, etc., dans la chute de pied qu'il aura désignée.

Si cet essai est satisfaisant, le lot sera accepté.

S'il n'est pas satisfaisant, on fera, dans les mêmes conditions, un essai de traction sur chacune des deux autres coulées du même lot.

Pour chaque coulée n'ayant pas satisfait à cet essai, les barres P seront refusées.

On procédera alors pour chacune de ces coulées à un nouvel essai de traction sur un bout de 0 m. 300 prélevé en tête de l'une des barres P rebutées.

Les coulées pour lesquelles cet essai ne sera pas satisfaisant seront refusées définitivement.

§ 3. *Essai de dureté.* — Aucune dimension du diamètre des empreintes n'est imposée, cet essai n'étant fait qu'à titre de renseignement.

Les essais de dureté porteront au maximum sur trois échantillons par coulée.

**ART. 8. — Marques à apposer sur les rails.**

Les rails porteront, sur une face de l'âme, en caractères en relief venus de laminage et reproduits par conséquent à chaque tour de cylindres:

1° La marque de l'usine;

2° Le numéro du mois et les deux derniers chiffres du millésime de l'année de fabrication; les marques du mois pourront être faites au moyen de points, de barres ou de chiffres romains;

3° L'indication du mode de fabrication (Thomas, Bessemer ou Martin) au moyen des lettres T. B. M.;

4° Les indices (lettres ou chiffres) caractérisant le type de rail;

5° Une flèche dont la pointe sera dirigée vers l'extrémité du rail correspondant à la tête du lingot;

6° Le nombre correspondant à la résistance minimum imposée. (Toutefois ce dernier nombre pourra être poinçonné à chaud au choix de l'usine.)

On lira par exemple: 65 — Usine IIII — 19 — T — S. 12 → pour un rail d'acier Thomas, de la catégorie 65 kgr. du type Standard 46 kgr. caractérisé par les indices S.12, fabriqué en avril 1919.

En outre, pour chaque rail, on poinçonnera à chaud sur la face de l'âme portant les marques de laminage, à un mètre environ de l'extrémité correspondant à la tête du lingot, le numéro de la coulée et celui du lingot. A côté de ces numéros on ajoutera la lettre H lorsqu'il s'agira d'un rail faisant immédiatement suite à la chute de tête d'un lingot, la lettre P pour un rail provenant du pied du lingot, enfin, le cas échéant, le nombre correspondant à la résistance minimum imposée.

Les rails de longueur normale qui ne porteront pas ces indications appliquées à chaud seront refusés.

Après finissage du rail, les marques, numéros de coulée et de lingot et les lettres H ou P seront reportés, poinçonnés à froid, sur l'about voisin de façon à être toujours visible lorsque les rails seront en tas sur le parc.

Chaque chute de tête et de pied sera, comme les rails, marquée à chaud du numéro de la coulée et de celui du lingot.

Les rails acceptés seront poinçonnés aux deux extrémités de la marque de l'agent du chemin de fer.

Les rails rebutés seront marqués sur le champignon au droit des numéros de coulée, de signes conventionnels, indélébiles, afin qu'ils ne puissent plus être présentés à la réception.

#### ARTICLE 9.

##### **Garantie. — Responsabilité du fournisseur.**

§ 1. *Garantie.* — Le fournisseur garantit les rails pendant dix ans (10 ans) à partir de leur date de fabrication. Toutefois la retenue de garantie sera remboursée au bout de six ans (6 ans).

Tout rail qui, pendant ce délai, soit au cours du transport et des manutentions, soit après la pose, viendrait à se casser ou à se détériorer autrement que par l'usure normale, ou sur

lequel on constaterait des défauts ayant échappé lors de la réception à l'usine, donnera lieu au paiement par le fournisseur d'une indemnité égale à la valeur du dit rail calculée en appliquant le prix de la dernière commande passée par le réseau avant la rupture, pour des rails d'un type analogue et une fourniture d'au moins 1 000 t.

Le chemin de fer pourra, si la commande le mentionne, déterminer, au moyen de sections d'épreuves qu'il notifiera au fournisseur, la proportion des rails donnant lieu au jeu de la garantie.

Les rails qui, par leur destination spéciale, auront, hors de l'usine de fabrication, subi des façons à chaud ou à froid, dans les zones où s'est produite une rupture ou une avarie, ne donneront lieu au paiement de cette indemnité que si l'on constate des défauts de fabrication.

Les rails avariés ou cassés resteront la propriété du chemin de fer.

Lorsque les rails seront destinés à des lignes en construction, les commandes pourront contenir des stipulations spéciales en ce qui concerne l'origine et la durée de garantie.

§ 2. *Droits de brevets.* — Les droits de brevets, s'il y a lieu d'en payer à des inventeurs, restent entièrement à la charge du fournisseur qui garantit le chemin de fer contre toute réclamation à cet égard.

§ 3. *Frais d'épreuves, de réception et autres faux-frais.* — L'installation des appareils d'essai, leur entretien en bon état d'exactitude de fonctionnement, ainsi que les mains-d'œuvre et autres faux-frais relatifs à la réception, aux épreuves et aux analyses indiquées précédemment, seront à la charge exclusive du fournisseur.

§ 4. *Responsabilité du fournisseur.* — La surveillance exercée par l'agent du chemin de fer à l'usine du fournisseur, les vérifications ou épreuves, les réceptions partielles des rails fabriqués, n'auront, dans aucun cas, pour effet de diminuer la responsabilité du fournisseur, laquelle restera pleine et entière jusqu'à l'expiration du délai de garantie.

## Le tunnel Moffat (États-Unis) : Historique et description des travaux de percement.

Fig. 1 à 6, p. 289 à 295.

(*Railway Age.*)

Dans les douze premiers mois de construction proprement dite, les deux puits du tunnel Moffat ont été percés sur un peu moins du tiers de la longueur totale de 6.1 milles (9 km. 8) de sorte qu'il est raisonnablement permis d'espérer que ce remarquable ouvrage d'art sera terminé dans le délai prévu. De ce fait, le projet, conçu par feu David H. Moffat, d'une communication directe par rail entre Denver et l'intérieur de la région nord-ouest du Colorado, avec prolongement ultérieur jusqu'à Salt Lake City, constituant un chaînon important d'un nouveau chemin de fer transcontinental, est plus près de sa réalisation qu'à aucun autre moment depuis que son auteur entreprit la construction de la ligne qui porte maintenant le nom de « Denver & Salt Lake Railway ».

Dès le début, Moffat s'était nettement rendu compte que le tunnel traversant la ligne de partage continentale serait la clef du succès de cette voie ferrée, mais il mourut en 1911 pendant qu'il faisait d'inutiles efforts en vue de réunir les fonds nécessaires pour l'exécution de cette partie essentielle de son plan, et pendant dix-sept ans le chemin de fer a vainement lutté pour assurer un bon service de transports en dépit d'obstacles physiques comme il ne s'en dresse devant aucun autre chemin de fer des États-Unis. Le profil en long comporte des déclivités maximums de 20 mm. par mètre, sauf sur la ligne « temporaire » de 48 km. qui, franchissant le col Rollins, fut construite en remplacement du tunnel. Cette dernière section n'est pas

seulement remarquable par des rampes de 40 mm., un tracé excessivement sinueux et une cote d'altitude de 11 660 pieds (3 554 m.), soit 2 420 pieds (738 m.) de plus que le point culminant du tunnel, mais encore, pendant environ huit mois de l'année, il y règne un temps d'hiver, avec des températures extrêmement basses, de fortes chutes de neige et de fréquents « blizzards » (violentes tempêtes de neige et de grésil). Par conséquent, aux frais considérables de traction des trains sur une rampe qui exige quatre locomotives pour 22 wagons, vient s'ajouter l'énorme dépense occasionnée par la lutte contre la neige, qui, avec les autres frais d'entretien, représente environ 40 % de la dépense totale d'exploitation du chemin de fer. Dans ces conditions, il n'est pas étonnant que la compagnie ait été aux prises avec des difficultés financières et que la construction du tunnel, qui aurait remédié à beaucoup d'inconvénients et entraîné une forte réduction des frais d'exploitation, ait été absolument impossible à cette compagnie dont le crédit était épuisé.

### Difficultés d'ordre financier.

On n'a pu entreprendre la construction du souterrain qu'après des années d'efforts tentés pour mettre sur pied un plan pratique pour réunir les capitaux nécessaires. Les démarches faites auprès des capitalistes privés n'ayant pas donné de résultat, on songea à solliciter le crédit public, d'abord celui de la ville de Denver et plus tard celui de l'État de Colorado, mais les négociations engagées



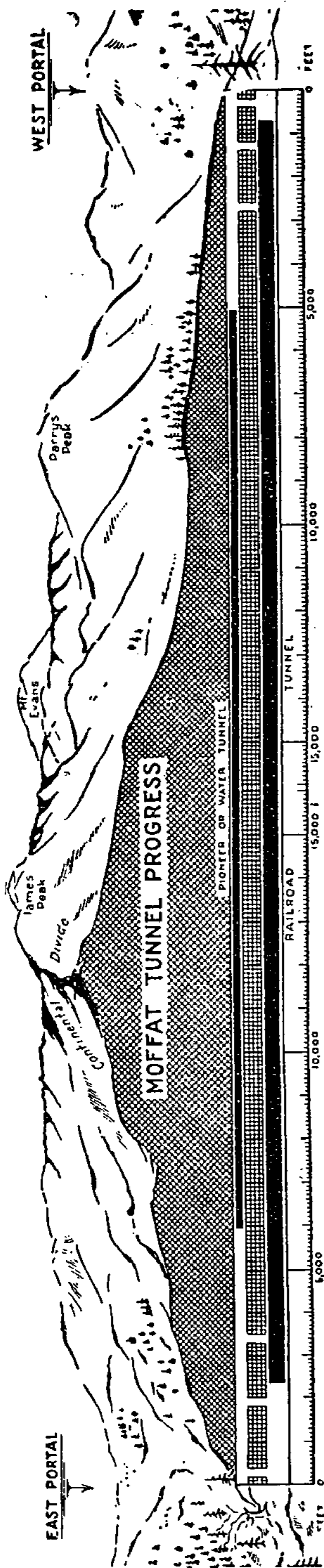


Fig. 1. — Coupe transversale, montrant l'état d'avancement des travaux en novembre 1924.

Explication des termes anglais : East portal = Tête est. — Pioneer or water tunnel = Galerie de recherche et d'adduction d'eau. Railroad tunnel = Tunnel du chemin de fer. — West portal = Tête ouest.

dans ce but ne furent pas couronnées de succès. Les restrictions constitutionnelles d'un côté, le manque d'intérêt général de l'autre, furent les pierres d'achoppement. On fut enfin plus heureux en ayant recours à un moyen fréquemment employé pour financer des travaux d'amélioration publics. Il consistait à créer un « tunnel district » comprenant la partie de l'Etat qui était présumée retirer des avantages du percement d'un souterrain, avec une commission investie des pouvoirs nécessaires pour émettre des obligations, construire un tunnel et percevoir des taxes sur la voie ferrée du *district*, destinées à garantir le service des intérêts des obligations et à constituer un fonds d'amortissement pour leur remboursement.

Bien qu'il soit hors de doute que le plus grand bénéfice économique du tunnel sera dérivé de son utilisation comme tunnel du chemin de fer, on a entrepris les travaux de construction sans aucune spécification précise de cette utilisation, qui devra prendre la forme d'une location et faire l'objet de négociations ultérieures. Aux termes de la loi, le tunnel ne pourra pas être affermé à l'usage exclusif du chemin de fer. Il faudra prévoir le transport des véhicules routiers, du courant électrique et de l'eau; cette dernière sera conduite par une galerie particulière parallèle au tunnel du chemin de fer.

Le tunnel aura 6.1 milles (9 km. 8) de longueur; c'est la plus petite distance possible sur laquelle le faite puisse être traversé au point le plus voisin des cañons de la rivière South Boulder et du fleuve Fraser, sur les versants est et ouest respectivement, sans que les déclivités dépassent 20 mm. par mètre sur l'accès est. Les jonctions avec la ligne actuelle du « Denver & Salt Lake Railway » nécessiteront la construction d'une section d'approche d'un mille (1 600 m.) en rampe de 20 mm. à l'extrémité est et d'une autre de 2 milles (3 km. 2), avec des déclivités de 20 et 9 mm., à l'extré-

mité ouest. Le radier de la tête ouest est à la cote d'altitude 9 085 pieds (2 769 m.), soit environ 113 pieds (34 m.) plus bas que celui de la tête est. Pour racheter cette différence, la rampe d'approche de

9 mm. se prolonge dans le tunnel au delà de la tête ouest, tandis qu'à l'intérieur de la tête est on a ménagé une pente de 3 mm. pour assurer l'écoulement des eaux pendant la construction.

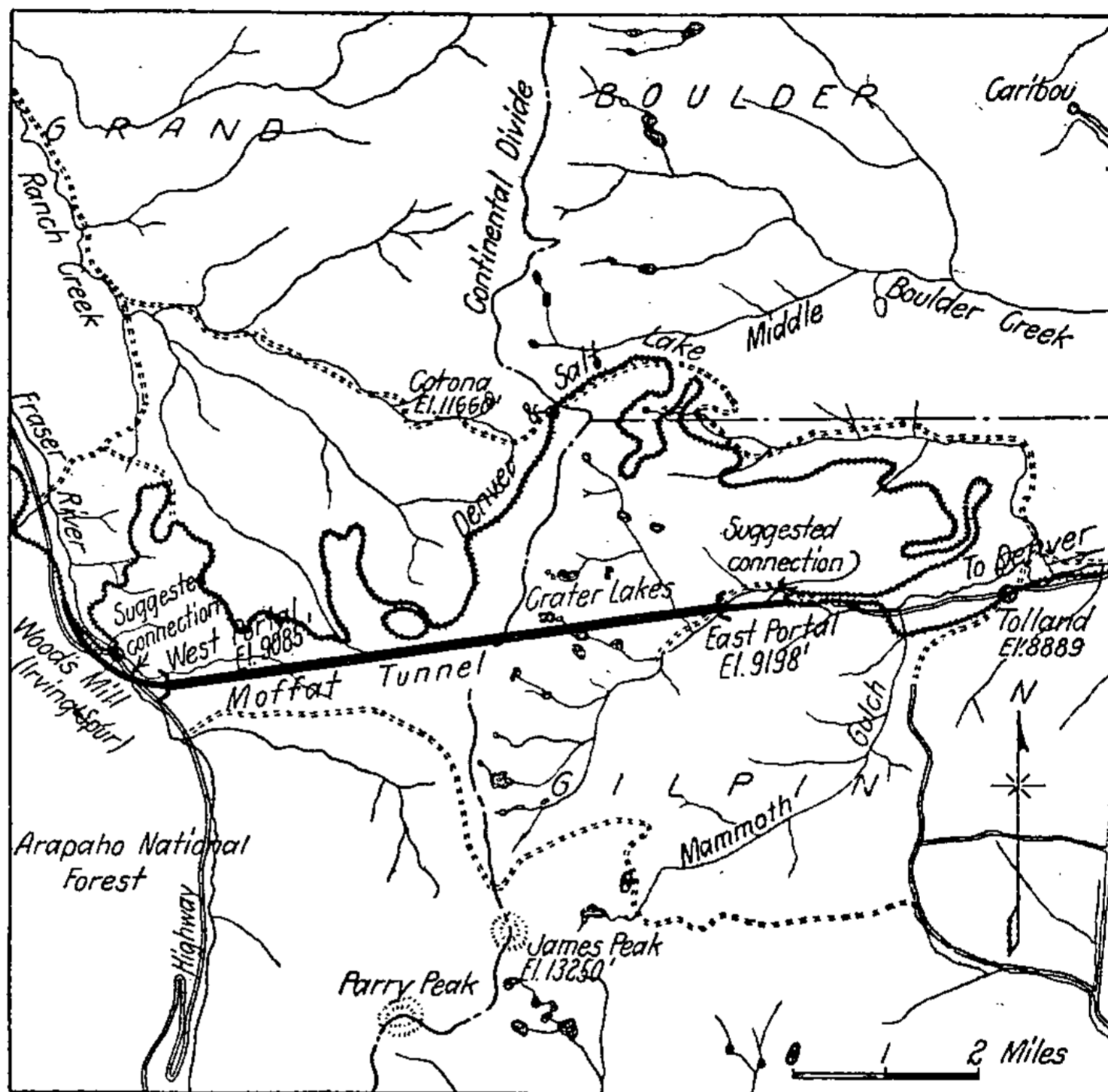


Fig. 2. — Raccourci de 24 milles (39 km.) par le tunnel.

Explication des termes anglais : Suggested connection = Jonction proposée.

### Ligne à voie unique,

Le tunnel pour le chemin de fer aura une largeur dans œuvre de 16 pieds (4 m. 88) et une hauteur des pénétrants de 4 m. 88 au-dessus de la plate-forme, avec voûte en demi-cercle de 8 pieds (2 m. 44) de rayon, de sorte que la hauteur libre dans l'axe sera de 24 pieds (7 m. 32) au-dessus du radier. La galerie de conduite d'eau aura 2 m. 44 × 2 m. 44 ou d'autres dimensions représentant une section transversale équivalente. La distance d'axe en axe entre les deux galeries est de 75 pieds (23 m.).

Les entrepreneurs sont MM. Hitchcock & Tinkler, de Denver, Colo., et le contrat stipule une allocation fixe, avec partage des économies si la dépense est inférieure à un coût forfaitaire d'environ \$5 250 000; le montant exact dépendra du cube des déblais.

La distance entre les têtes du souterrain n'atteindra pas 10 km., mais pour aller de l'une à l'autre, il faut actuellement faire le trajet de 50 km. par le chemin de fer franchissant le point culminant ou parcourir 120 km. par la grande route la plus courte. C'est pourquoi il a fallu créer des organisations de chan-

tiers complètes et entièrement indépendantes pour la conduite des travaux aux deux extrémités du souterrain.

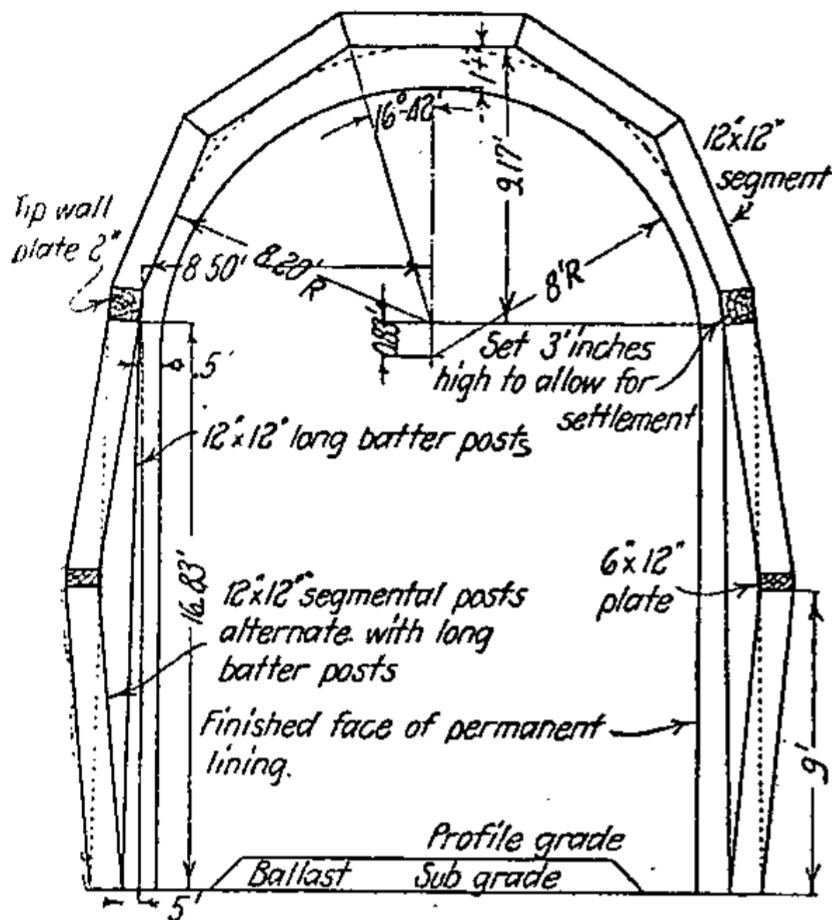


Fig. 3. — Boisage employé avec la méthode d'excavation par sous-strosses.

*Explication des termes anglais :* Finished face of permanent lining = Surface finie du revêtement définitif. — Long batter posts = Montants de longueur entière. — Profile grade = Niveau de la voie. — Segmental posts alternate with long batter posts = Montants assemblés alternant avec les montants de longueur entière. — Set 3' inches high to allow for settlement = Exhaussée de 76 mm. pour tenir compte du tassement. — Sub grade = plate-forme. — Tip wall plate = Plaque d'appui supérieure.

La caractéristique de la méthode employée par l'entreprise est le percement simultané de deux galeries parallèles, écartées de 23 m. d'axe en axe, dont l'une sera agrandie par la suite pour former le tunnel du chemin de fer et dont l'autre servira plus tard de galerie d'adduction d'eau. Les communications nécessaires entre les deux galeries seront établies par des couloirs transversaux se suivant à des distances d'environ 460 m. Le principal avantage de la méthode des galeries jumelles consiste en ce qu'elle permet de mener les opérations, et notamment d'enlever les déblais, sans gêner en rien les travaux d'agrandissement du tunnel du chemin de fer; par suite, les deux opérations peuvent être conduites plus rapidement et plus économiquement.

Un second avantage est qu'en terrain difficile, où la nécessité de boiser a pour conséquence le ralentissement des travaux d'élargissement, on peut exécuter ces travaux en plusieurs points à la fois en évacuant les déblais à travers les passages transversaux pour les sortir ensuite par l'aqueduc. Un autre avantage encore, qui s'est révélé dans les galeries est du tunnel Moffat est le percement économique des galeries elles-mêmes. En employant une seule équipe complète pour chaque poste dans les deux galeries, on a pu occuper continuellement les mineurs et les déblayeurs. Les premiers percent les trous dans une galerie, tandis que les seconds enlèvent les déblais dans l'autre, les deux équipes changeant de place pour répéter les opérations à mesure qu'ils ont fini leur travail.

#### Différence des conditions aux deux extrémités.

Le tunnel Moffat fournit une excellente occasion de soumettre la méthode des galeries jumelles à un essai complet; en effet, les conditions que l'on a rencontrées en creusant les galeries sur une longueur de 5 800 pieds (1 770 m.) à partir de la tête est et de 4 000 pieds (1 220 m.) à partir de la tête ouest sont radicalement différentes. A l'extrémité est, le terrain est solide et, sauf aux points où il se trouve des veines de roche écrasée dans des failles, on n'a pas eu de difficultés dues à des terrains inconsistants et il n'a fallu faire que très peu de boisage. Par contre, à l'extrémité ouest, la roche, tout en présentant les mêmes caractères géologiques : biotite, granit, gneiss, a été tellement écrasée et disloquée par des actions géologiques qu'un boisage robuste a été nécessaire sur presque toute la distance à laquelle les galeries ont été creusées jusqu'à présent. Aussi les méthodes appliquées aux deux extrémités sont-elles tout à fait différentes, mais dans l'un et l'autre cas, la preuve a été nettement faite que les tra-

vaux sont notablement accélérés par la présence d'une plus petite galerie indépendante à côté du souterrain principal.

Le seul point commun dans les opérations aux deux extrémités est l'utilisation de la seconde galerie (second pertuis) pour les transports entre les têtes de tunnel et les chantiers. Une voie de 60 cm., posée dans cette galerie et de laquelle se détache une voie de manœuvre qui va rejoindre l'autre galerie en passant par le dernier couloir transversal, constitue un moyen efficace d'enlever les déblais dans des wagonnets Koppel de 1 m<sup>3</sup> 4 de capacité. Le percement des galeries est suivi, jusqu'au dernier passage transversal creusé, de la pose d'un fil à trolley dans lequel circule un courant continu de 250 volts servant à actionner des locomotives de 4 t. de la « General Electric Company »; au delà de l'extrémité du fil à trolley, les wagonnets à déblais sont remorqués par des locomotives à accumulateurs, également de 4 t., du même fournisseur. A l'extrémité ouest du tunnel, où l'agrandissement est effectué d'une façon discontinue, une grande partie des déblais provenant de cette opération est enlevée à l'aide du même matériel et emmenée à travers le second pertuis.

En raison de la différence des méthodes suivies aux deux extrémités du souterrain nous allons les examiner séparément, et comme celles adoptées à l'extrémité est sont beaucoup plus simples, nous les décrirons d'abord.

#### Mode de percement des galeries est.

L'équipe, pour chacun des trois postes de huit heures, se compose de 15 hommes: un chef de poste, 4 foreurs, 2 aides et un piqueur font les travaux de perforation et les tirages de mines, tandis qu'un conducteur de déblayeuse, 3 déblayeurs, un conducteur-électricien, un garde-frein et un basculeur enlèvent les déblais dans l'autre galerie. Pour la perforation, on se sert uniquement d'un véhicule qui consiste en une plate-forme à peu près hori-

zontale montée sur un truck qui la transporte rapidement d'une galerie à l'autre. Sur cette plate-forme est monté un chariot qui supporte une barre transversale de 114 mm. de diamètre, à laquelle, à son tour, on peut attacher en un point quelconque de sa longueur quatre bras servant d'appui à quatre perforatrices Ingersoll-Rand d'un type spécial. A l'arrière du véhicule se trouve un graisseur de 7 1/2 litres de capacité, qui alimente d'huile les perforatrices au moyen d'un tuyau flexible.

Chaque avance de la galerie nécessite le forage de 26 trous de 8 1/2 pieds (2 m. 59) de longueur, disposés comme l'indique la figure 5. Pour forer chaque trou, il faut employer quatre fleurets dans l'ordre suivant: 63 mm. de diamètre, 0 m. 91 de longueur; 54 mm. de diamètre, 1 m. 52 de longueur; 51 mm. de diamètre, 2 m. 13 de longueur, et 48 mm. de diamètre, 9 pieds (2 m. 74) de longueur. En général, on ne se sert de chaque fleuret qu'une seule fois avant de le renvoyer à l'atelier pour réaffûtage.

La charge normale pour une volée est de 70 à 80 kgr. de dynamite à 60 % de nitroglycérine; parfois, dans la roche plus friable, on emploie aussi un explosif à 40 %. Pour obtenir de bons résultats dans le tirage de mine d'une galerie où le massif de terre qu'il s'agit d'enlever est enfermé de tous les côtés, sauf un, il faut d'abord détacher au milieu un noyau en forme de coin dans toute la profondeur de la taille avant de pouvoir ébranler les terres du dessus, du bas et des côtés. A cet effet, on perce huit trous (fourneaux de mine) dirigés obliquement de façon à délimiter un coin de roche au milieu du front d'attaque et on charge ces huit trous pour le tirage direct; pour les autres trous on emploie des explosifs à retardement, de sorte que la déflagration des charges se produit dans un ordre prédéterminé. Par suite de fréquents changements dans la nature de la roche, les charges, l'ordre de tirage et la disposition des trous sont sujets à des variations considérables.

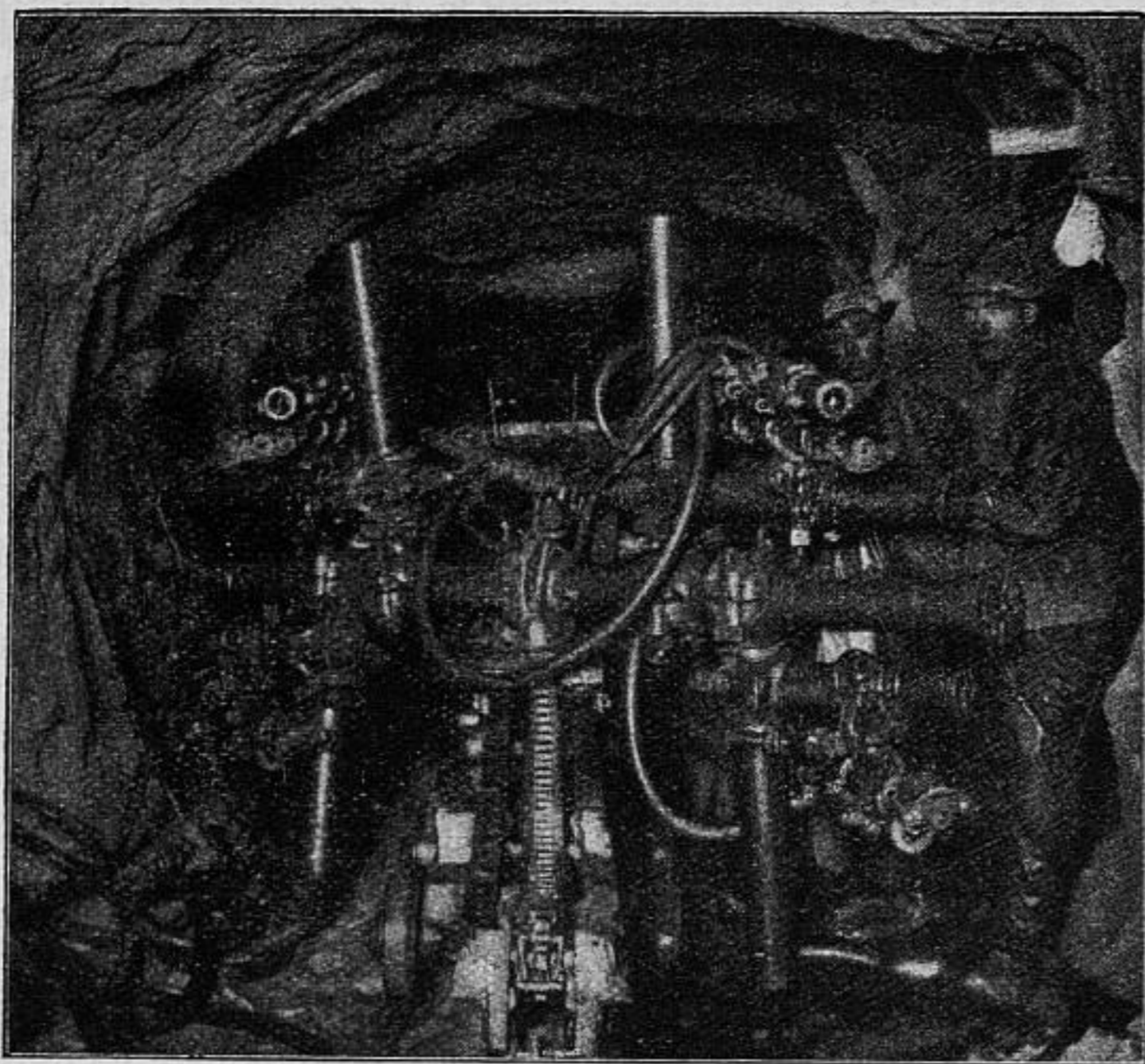


Fig. 4. — Véhicule avec quatre perforatrices prêtes à être mises en position dans la galerie principale.

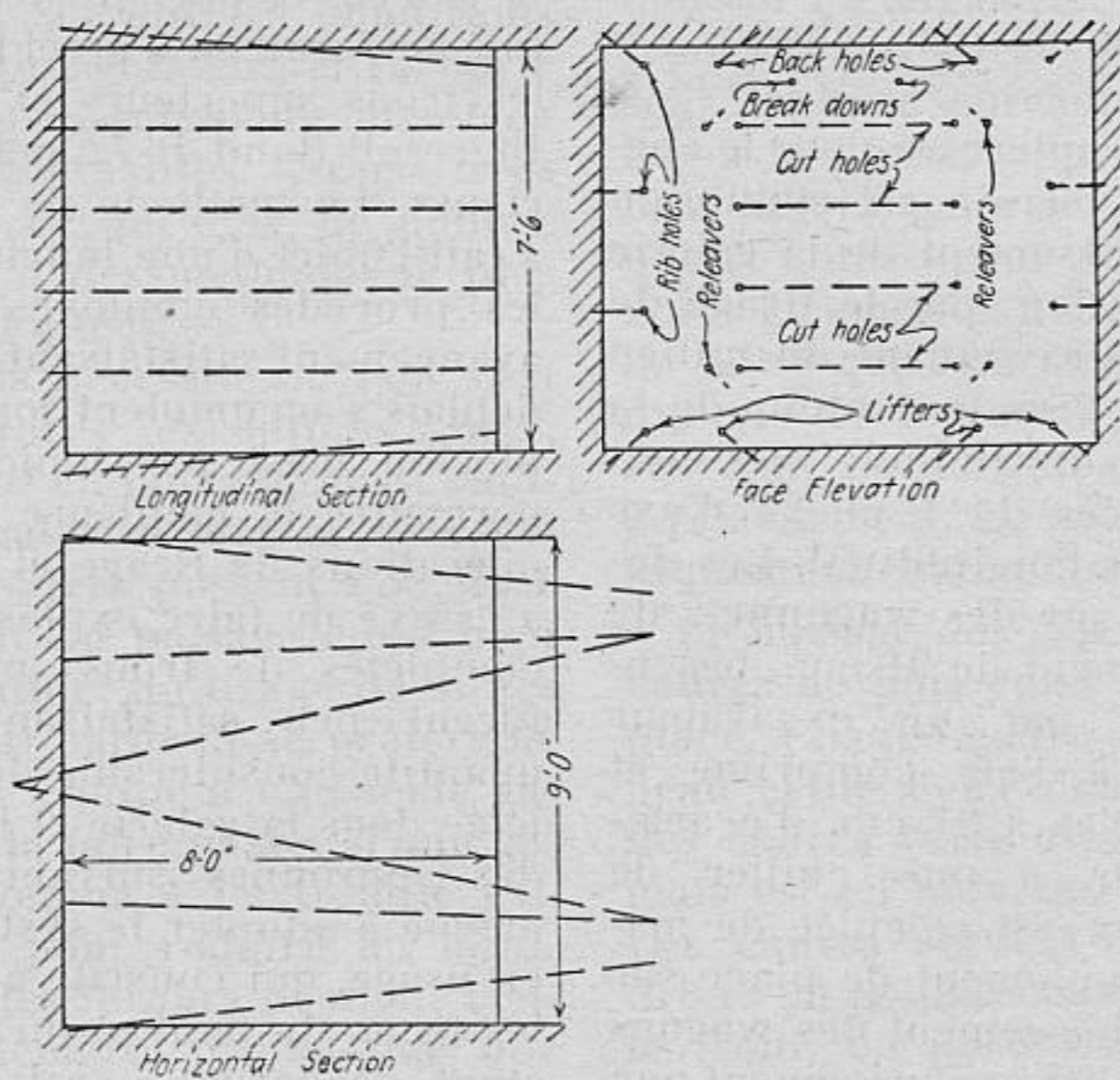


Fig. 5. — Disposition typique des trous de mine dans la tête Est.

Explication des termes anglais : Longitudinal section = Coupe longitudinale. — Face elevation = Élévation de face.

### Enlèvement mécanique des déblais.

Un des facteurs les plus importants contribuant à l'économie et à la progression rapide dans le percement des galeries est l'emploi d'une ingénieuse déblayeuse mécanique construite par la « Conveying-Weighing Company », de Saint-Louis, Mo. Elle consiste en un lourd véhicule automobile, muni à l'avant d'un tablier, ou écope, qui s'enfonce dans le tas de déblais lorsque le véhicule avance sur la voie. Le tablier peut pivoter autour d'un axe vertical et, par suite, atteindre les deux côtés de la galerie. Les déblais ramassés par le tablier sont déchargés sur une courroie transporteuse qui règne au-dessus de la déblayeuse et qui se vide dans un wagon placé à l'arrière. Ces engins ont donné d'excellents résultats et résistent bien au service dur qu'ils ont à assurer. Dans des circonstances favorables, il est fait deux tirages de mine complets par chaque poste, soit six tirages pour les trois postes dans les 24 heures, ce qui représente un avancement d'environ 14 m. 60 pour les deux galeries ou de 7 m. 30 pour chaque galerie.

A l'entrée est du souterrain pour le chemin de fer, où le terrain est stable, on procède à l'agrandissement de la galerie en une seule opération, par le tirage de couronnes de trous rayonnant du milieu du front d'attaque vers le contour de la section définitive du tunnel; ces couronnes sont espacées de 1 m. 22 d'axe en axe dans le sens longitudinal. Les déblais sont chargés sur des wagonnets de 3 m. 65, à l'écartement de 91 cm., basculant latéralement, par un excavateur Osgood actionné à l'air comprimé et monté sur des bogies à 91 cm. d'écartement. L'excavateur a une cuiller de 91 cm. et sa largeur est calculée de manière qu'il reste amplement de place sur les côtés pour le chargement des wagons qui sont ici remorqués exclusivement par des locomotives électriques à trolley.

Dans les conditions normales, les wagons vides sont amenés sur la voie de

l'excavateur, directement derrière celui-ci et sous une grue à air comprimé montée sur l'extrémité arrière de l'excavateur. La grue prend les wagons vides un à un, au fur et à mesure qu'on en a besoin, sur la voie de l'excavateur pour les déposer sur la voie de chargement. Une seconde locomotive circulant sur cette dernière voie, emmène les wagons chargés. Après avoir reçu son chargement au droit de l'extrémité avant de l'excavateur, chaque wagon est conduit assez loin pour qu'un wagon vide, pris sur la voie de l'excavateur, puisse être porté sur la voie de chargement, où il est amené à sa place par la seconde locomotive. Les wagons chargés sont formés et emmenés en rames de 7 à 15 unités. Deux postes de huit heures chacun enlèvent facilement les déblais de 8 m. 50 de tunnel, soit à une vitesse qui assure une progression égale à celle des fronts d'attaque.

Les trous en couronne pour l'agrandissement sont percés à l'aide d'une barre horizontale disposée à environ mi-hauteur de la galerie et portant deux perforatrices : une perforatrice à arrêt Denver 74-W pour les trous supérieurs et une perforatrice Ingersoll-Rand R-72 pour les trous inférieurs. La méthode de tirage des mines a fait l'objet d'une longue étude. Bien que les procédés employés aient donné un avancement satisfaisant, la façon dont les déblais s'accumulent sous l'action de l'explosion n'est pas toujours de nature à permettre la meilleure coordination des opérations de tirage et de marinage. On a essayé de faire exploser des couronnes complètes de trous, mais les résultats furent peu satisfaisants parce qu'une quantité considérable de déblais était rejetée dans la galerie et bouchait les trous des couronnes suivantes. On fut donc amené à adopter le système actuellement en usage, qui consiste à tirer séparément les trous du haut et du bas, ces derniers étant déchargés à raison de quatre ou cinq couronnes en avance sur les trous supérieurs. On obtient ainsi une accumulation beaucoup plus satisfaisante des dé-

blais, se rapprochant davantage de la disposition idéale dans laquelle le tas de roche remplit presque complètement la section entière du tunnel à tout moment

et protège l'excavateur contre les éclats des explosions ultérieures. La charge normale pour chaque couronne de trous est d'environ 48 kgr. d'explosif.

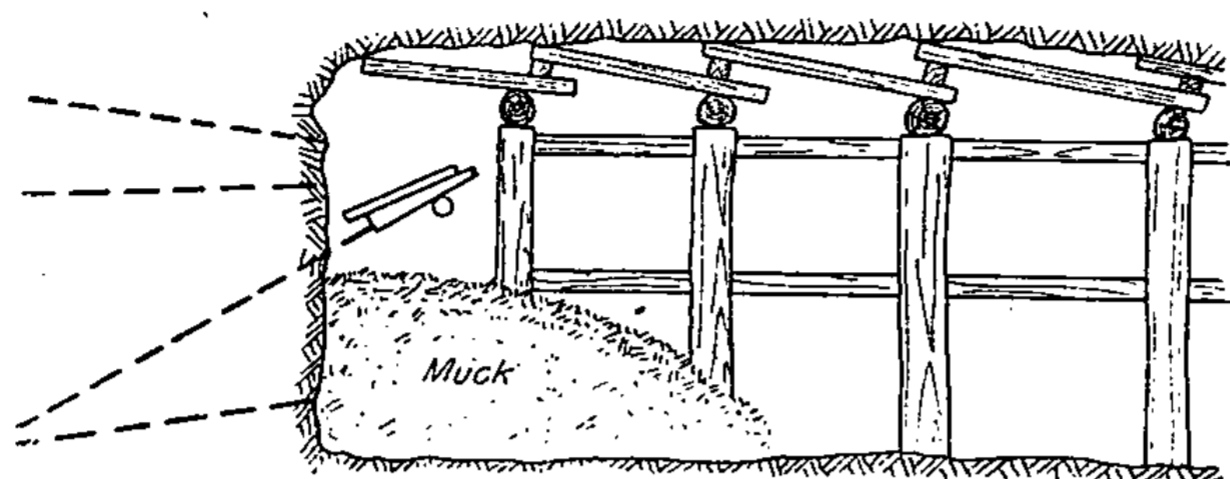


Fig. 6. — Croquis montrant comment les trous sont percés avant enlèvement des déblais dans les galeries boisées.

*Explication du terme anglais : Muck = Déblais.*

### Percement des galeries ouest

Ainsi que nous l'avons brièvement mentionné plus haut, la nature instable des terrains rencontrés à l'extrémité ouest du tunnel a conduit à y employer des méthodes entièrement différentes de celles appliquées à l'extrémité est. De plus, il a fallu modifier les procédés de temps en temps, suivant les conditions variables qui se présentaient, et recourir à de multiples expédients pour faire face à différentes éventualités. Nous nous contentons, dans ce qui suit, de donner un aperçu général des méthodes le plus ordinairement adoptées.

En raison de la nécessité où l'on s'est trouvé, à de rares exceptions près, d'étayer le terrain en boisant, aussi rapidement que les galeries sont creusées, il fallut que les ouvriers pussent s'occuper de l'établissement du boisage aussi bien que de la perforation, du tirage de mines et du marinage. Il parut donc préférable d'affecter chaque équipe à une seule galerie, au lieu de la faire passer d'une galerie à l'autre comme à l'extrémité est. Par conséquent, pour réduire au minimum l'inaction des foreurs pendant l'enlèvement des déblais, on adopta une disposition des trous de mines qui permet aux foreurs de percer tous les trous, sauf quatre, en se tenant sur le haut du tas

de déblais quand celui-ci a été abaissé à environ mi-hauteur de la galerie.

Comme la roche plus friable n'exige que 14 à 16 trous, dont 10 à 12 sont percés avant l'enlèvement des déblais, on n'emploie que deux perforatrices, qui sont commandées par une barre horizontale disposée aux deux tiers environ de la hauteur de la galerie. Les quatre derniers trous du bas percés dans ces conditions sont inclinés suivant un angle aigu de façon à aboutir approximativement à la base de la galerie et constituent, avec quatre autres trous percés près de la base après évacuation du déblai, les fourneaux de mine qui sont tirés directement, tandis que les trous qui se trouvent au-dessus sont déchargés avec des explosifs à retardement. Le marinage se fait mécaniquement comme dans les galeries est.

Le boisage des galeries consiste en des cadres de bois rond que l'on trouve sur place. Chaque cadre est formé d'un chapeau et de deux poteaux. L'espacement des cadres varie avec les circonstances, mais est en moyenne d'environ 1 m. 20. Les cadres servent d'appui à des mardriers ou palplanches qui s'avancent vers le front, en porte-à-faux sur le dernier cadre, pour supporter le toit en attendant que le chapeau du premier cadre suivant puisse être mis en place. Ce chapeau est

soutenu par des poutres fixées en porte-à-faux sous les chapeaux des cadres déjà posés, jusqu'à ce qu'on ait enlevé assez de déblais pour pouvoir placer les montants. Des contrefiches longitudinales réunissant les montants des cadres ajoutent à la stabilité de l'ensemble et s'opposent au déplacement du boisage pendant les tirages de mines.

Pour résoudre le problème de l'agrandissement du tunnel pour le chemin de fer dans les conditions qui se présentaient, la galerie centrale monte à partir de chaque couloir transversal pour devenir une galerie de calotte, avec le toit à une hauteur suffisante pour rester au-dessus des cintres définitifs du tunnel terminé. L'agrandissement a été exécuté d'après différentes méthodes et des études sont en cours pour l'adoption d'autres procédés. Toutefois, l'opération initiale, celle de l'élargissement de la galerie pour la mise en place des cintres, a été effectuée de la même manière générale dans tous les travaux d'agrandissement. On commence par abattre la roche dans toute la largeur, des deux côtés de la galerie. Parfois il faut, à cet effet, fixer des cintres temporaires ou faux cintres dans une position inclinée contre les extrémités des chapeaux. Dans d'autres cas, la roche offre une résistance suffisante sur les côtés, en attendant la mise en place des cintres définitifs.

Quand l'excavation est terminée dans toute la largeur, on dresse exactement les plaques d'appui des cintres, en alignement et en plan, de chaque côté, et on les assujettit sur des cales de faible hauteur. Les cintres sont formés de trois ou cinq segments de bois de 12 pouces  $\times$  12 pouces (305  $\times$  305 mm.), écartés de 0 m. 60 à 1 m. 20 d'axe en axe. Ils sont coincés à l'aide de madriers de 10 cm., et le vide entre ces derniers et la roche est bourré avec du bois ou de la pieraille. Les montants du boisage de la galerie sont coupés et enlevés à mesure que les cintres sont installés, mais le boisage du plafond reste en place, et l'on a soin de chasser des cales entre les

cintres définitifs et les chapeaux des cadres de la galerie.

#### Revision des plans d'agrandissement.

Le plan initial, qui a d'ailleurs été appliqué sur une longueur de quelques centaines de pieds pour l'agrandissement, consistait à enlever tout le déblai en une seule opération, en employant l'excavateur à air comprimé pour le marinage, exactement de même qu'à l'extrémité est du tunnel. Cette méthode nécessitait l'emploi d'un ingénieux appareil servant à supporter les plaques d'appui pendant qu'on creusait en dessous pour ériger les montants. Mais lorsqu'on rencontra du terrain plus compact, il fallut abandonner ce procédé parce que la pression latérale devenait si grande, que les poteaux de 305  $\times$  305 mm. pliaient, même ceux qui n'étaient espacés que de 60 cm. d'axe en axe.

On décida alors d'enlever le strosse en deux tranches d'environ 2 m. 40 chacune et d'adopter un système de boisage qui ne se prête pas seulement à l'enlèvement du déblai en deux étapes, mais constitue aussi une construction beaucoup plus robuste pour résister à la pression latérale. Ainsi que le montre la figure 3, la construction des piédroits consiste en des poteaux de longueur entière alternant avec des étais formés par deux montants de demi-longueur inclinés du haut et du bas vers l'extérieur, avec une plaque d'appui de 6  $\times$  12 pouces (15  $\times$  30 cm.) intercalée à mi-hauteur. Lorsque le sous-strosse supérieur est excavé et la plaque d'appui du cintre soutenue par un boisage provisoire, la série supérieure de montants assemblés est mise en place sur la plaque d'appui inférieure de 15  $\times$  30 cm. : un de ces montants est inséré sous un cintre sur deux, tandis que le cintre intermédiaire est porté par une chandelle temporaire. Après enlèvement du second sous-strosse, ces poteaux temporaires seront remplacés par les montants définitifs de longueur entière, et la série inférieure de montants assem-



blés sera insérée entre eux. Les piédroits sont revêtus et bourrés à mesure que le travail avance, et il en résulte un système de boisage d'un profil sensiblement elliptique, beaucoup plus apte à résister aux poussées latérales qu'un piédroit n'ayant que des montants verticaux de longueur entière.

Ce mode d'opérer est incompatible avec l'emploi de l'excavateur mécanique pour le marinage, sauf pour le second sous-strosse, et jusqu'à présent tous les déblais provenant de la voûte et du sous-strosse supérieur ont été chargés à la main dans les wagons, puis emmenés à travers les galeries transversales et l'aqueduc, ou conduits au bout du strosse et basculés dans des wagons placés en contre-bas.

Le travail d'agrandissement est nécessairement lent, mais en l'attaquant de plusieurs galeries transversales, à la fois, on espère que la progression sera proportionnelle à celle qui est obtenue dans les galeries du tunnel.

#### Usines génératrices.

Les usines génératrices et autres installations de service sont les mêmes aux deux têtes du souterrain. Elles sont desservies presque uniquement par le courant d'une ligne de transmission à 44 000 volts, construite spécialement dans le but de fournir l'énergie pour les opérations de percement du tunnel. La tension est abaissée à 2 300 volts pour les grandes machines et le courant est converti par un groupe moteur-générateur en continu à 250 volts pour alimenter les lignes à trolley, les circuits d'éclairage, la charge des batteries, etc. Il n'y a pas d'appareil à vapeur dans l'usine; le chauffage des bâtiments est assuré par des calorifères à air chaud ou des poêles, avec radiateurs à eau chaude pour les dortoirs, les cuisines, la buanderie, etc.

Parmi le matériel mécanique, il convient de citer surtout les compresseurs, au nombre de quatre dans chaque usine. Ainsi l'usine de la tête est renferme trois compresseurs de la « Chicago Pneumatic

Tool Company », ayant des cylindres de 508 × 305 × 356 mm. et une capacité nominale de 32 m<sup>3</sup> 3 d'air libre chacun, et un compresseur Ingersoll-Rand ayant des cylindres de 178 × 330 × 254 mm. et une capacité nominale de 11 m<sup>3</sup> 9. L'équipement de la tête ouest est le même, sauf que les grands compresseurs proviennent de la Compagnie Ingersoll-Rand.

L'eau est dérivée par gravité des rivières de la montagne sous une pression suffisante pour tous les services; en cas de nécessité, des pompes actionnées par des moteurs électriques et des moteurs à gaz pourvoient à l'alimentation en eau. La protection contre les incendies est assurée par des canalisations de 10 cm., avec des prises d'eau convenablement distribuées; les boyaux sont en place et prêts pour l'usage immédiat.

#### L'atelier de réparation des perforatrices

Une autre partie importante de chaque usine est un atelier bien outillé de réparation des perforatrices. Celui de la tête est comprend deux affûteuses Sharp, trois fours à pétrole distillé, un bassin de trempe et une forge pour travaux divers. Dans cet atelier, environ 2 000 fleurets sont affûtés et trempés chaque jour par deux équipes de six ouvriers chacune.

Parmi les autres installations nous citerons un atelier de machines-outils, un magasin d'approvisionnements, une salle pour la charge des batteries et un atelier de réparation des moteurs, une réserve d'explosifs pouvant recevoir un chargement de wagon, placée à une distance considérable du campement, avec de plus petites poudrières à l'usine pour l'emmagasinage des munitions d'une journée et la préparation des charges.

La question de la ventilation du souterrain a été examinée avec beaucoup d'attention. Ici encore, les galeries jumelles se sont montrées fort avantageuses, car en disposant des cloisons étanches dans les passages transversaux on a pu

se servir d'une galerie pour l'aspiration et de l'autre pour le refoulement. Pour évacuer les gaz des tirages de mines, deux machines soufflantes rotatives Root, d'une capacité de 109 m<sup>3</sup> par minute, et un ventilateur conoïde Buffalo sont installés à l'extérieur d'une cloison étanche dans l'aqueduc, à quelque distance en arrière du dernier couloir transversal. Les machines soufflantes sont reliées à des conduits de 305 mm. de diamètre menant aux extrémités des deux galeries, tandis que le ventilateur se décharge dans le tunnel, un peu au delà de la cloison étanche. Il résulte de cette disposition que l'air des galeries est refoulé au dehors à travers le tunnel principal, celui du second puits sortant par le couloir transversal d'avant et de là par le souterrain principal.

#### Aménagement des campements.

Le contrat de construction contient des stipulations exceptionnellement explicites concernant la nature du campement et les mesures à prendre pour en assurer l'entretien. L'observation rigoureuse de ces prescriptions s'est traduite par la création d'un campement où le

personnel jouit d'un rare confort. Outre les dortoirs et un réfectoire exceptionnellement bien aménagés, il y a dans chaque campement une buanderie, un vestiaire avec lavabos, un séchoir, un hôpital, un bureau de poste, une école pour les enfants des employés et ouvriers, une salle de récréation et de jeux et une salle de cinématographe et de danse.

Dès que le travail dans les galeries est put être organisé sur des bases méthodiques, on a établi un système de primes pour stimuler l'avancement. Deux surveillants adjoints et tous les ouvriers des trois équipes participent à des primes payées pour la production dépassant un chiffre de base de 510 pieds (155 m. 4) tous les quinze jours dans les deux galeries, soit en moyenne 17 pieds (5 m. 18) dans chaque galerie. Pour chacun des trois groupes d'ouvriers, les primes sont calculées à un taux qui diffère avec l'influence relative de leur activité sur la progression des travaux; de plus, on applique une échelle mobile de majorations des primes pour les progressions plus rapides, comme le montre le tableau ci-après :

Prime par pied d'avancement  
des deux galeries.

	Groupe I.	Groupe II.	Groupe III.
Plus de 510 à 600 pieds (155 m. 4 à 182 m. 9) . .	15 cents	10 cents	5 cents.
Plus de 600 à 675 pieds (182 m. 9 à 205 m. 7) . .	20 —	12 —	7 —
Plus de 675 pieds (205 m. 7) . . . . .	30 —	18 —	10 —

Une vitesse maximum de progression de 25 pieds (7 m. 60) en moyenne par jour n'a pas été maintenue pendant une période tant soit peu prolongée, mais il a été fait des avancements suffisants pour donner lieu au paiement de primes de \$30 à \$40 aux foreurs et autres ouvriers du groupe I pour la quinzaine. Les travaux occupent environ 600 ouvriers, dont 250 à la tête est et 350 à la tête ouest.

Les opérations de percement sont dirigées par les entrepreneurs, MM. F. C.

Hitchcock et C. C. Tinkler. MM. D. S. O'Rourke et William Fowler surveillent les travaux aux têtes est et ouest respectivement. La commission du tunnel Moffat, dont M. W. T. Robinson est le président, exerce un contrôle rigoureux sur la marche des travaux par l'organe de l'ingénieur en chef, M. R. H. Keays, secondé par M. C. A. Betts, ingénieur des études, MM. Burgis G. Coy et V. A. Kauffman, ingénieurs résidents, et un nombreux personnel technique.

## La locomotive à turbines Zoelly, <sup>(1)</sup>

Par M. H. ZOELLY, Zurich.

Fig. 1 à 6, p 300 à 336.

(D'après *Mechanical Engineering et Railway Age.*)

Une locomotive à pistons du type *Mogul* appartenant aux Chemins de fer fédéraux suisses a été transformée avec succès en locomotive à turbines à condensation par la firme Escher Wyss & C<sup>ie</sup> de Zurich, avec le concours des ateliers de locomotives suisses de Winterthur. Le principal changement dans l'apparence générale de l'ancienne locomotive à pistons a été la substitution d'une turbine aux cylindres moteurs. A l'ancienne chaudière, munie d'un surchauffeur Schmidt, on a ajouté un ventilateur à turbine disposé dans la partie avant de la boîte à fumée, pour remplacer le tirage produit par la vapeur d'échappement de la locomotive à pistons.

### Turbines principales

La nouvelle locomotive étant destinée à faire le même service que l'ancienne, la turbine d'action Zoelly, à six étages, servant à la marche avant, a été étudiée pour développer 1 000 ch. au tourillon de manivelle. La turbine de marche arrière consiste en une simple roue compound et est logée dans la même enveloppe que la turbine de marche avant. Le rotor, comprenant les roues de marche avant et de marche arrière, est fait d'un seul bloc massif; les aubes sont insérées dans

des encoches des jantes. La turbine actionne par un double engrenage réducteur (première réduction 1 : 7, deuxième réduction 1 : 4.1) un faux essieu portant les tourillons de manivelle; les roues sont entraînées par des bielles.

L'enveloppe des turbines, avec le réducteur, l'arbre intermédiaire, le faux essieu et tous les paliers sont montés sur un support en acier d'une seule pièce rivé au châssis de la locomotive (fig. 2). La turbine est placée en avant de la chaudière, avec son axe parallèle aux essieux de la locomotive (fig. 3).

L'admission de la vapeur aux turbines de marche avant ou de marche arrière est commandée par des soupapes actionnées de l'abri du mécanicien. Pour la marche avant, la première roue directrice est munie de deux groupes de tuyères, dont l'un peut laisser passer environ 5 000 kgr. de vapeur et l'autre 2 000 kgr. Suivant la charge on ouvre en grand l'une ou l'autre des soupapes ou les deux. On obtient des valeurs intermédiaires en laminant la vapeur avec le régulateur principal. Pour la marche arrière il n'y a qu'une seule soupape, laissant passer un poids total de 7 000 kgr. de vapeur et on peut également réduire cette quantité par le même moyen, c'est-à-dire en étranglant la prise de vapeur. La puis-

(<sup>1</sup>) Résumé d'un mémoire préparé par le Dr Zoelly pour être présenté à la réunion annuelle de la section : « Chemins de fer de l'American Society of Mechanical Engineers ».

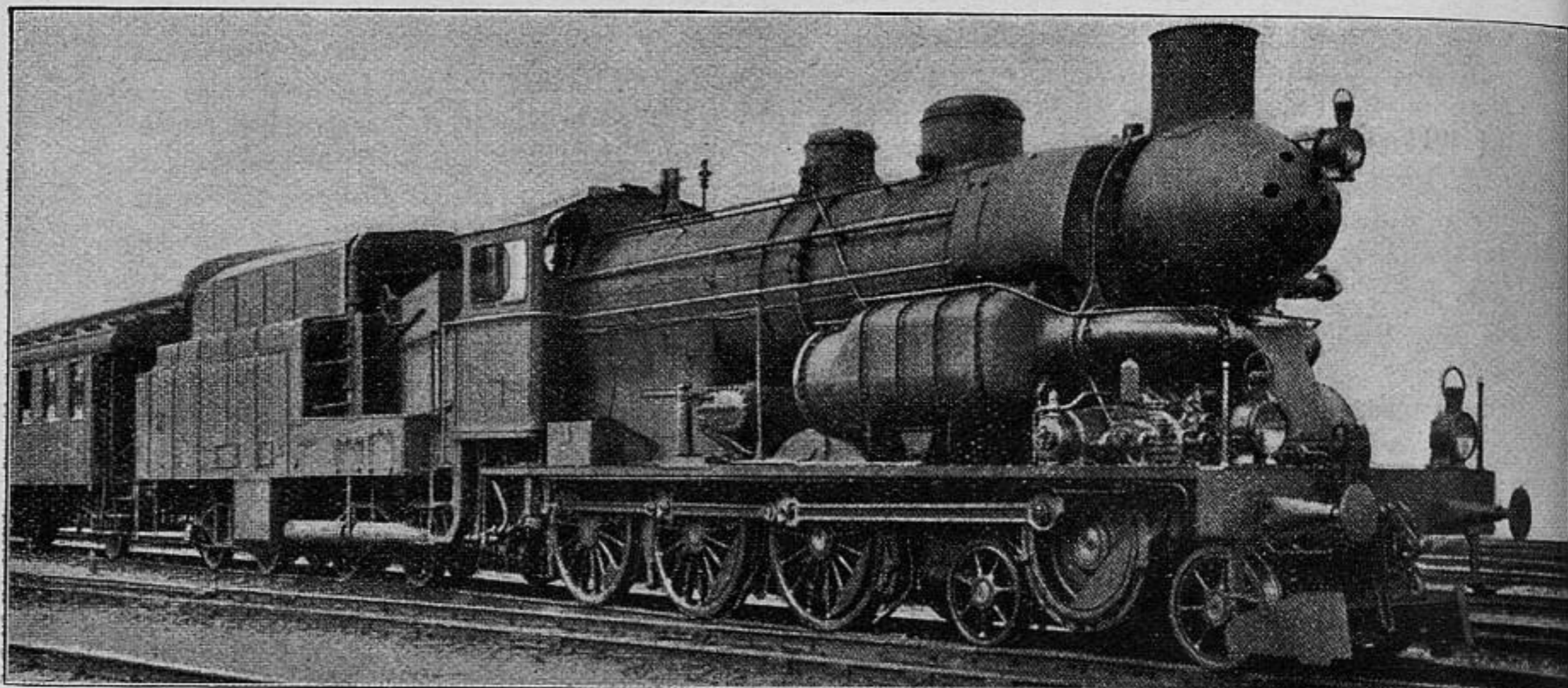


Fig. 1. — Locomotive à pistons du type normal 2-6-0, transformée en locomotive à turbines à condensation par Escher Wyss & Cie et les Ateliers de locomotives suisses.

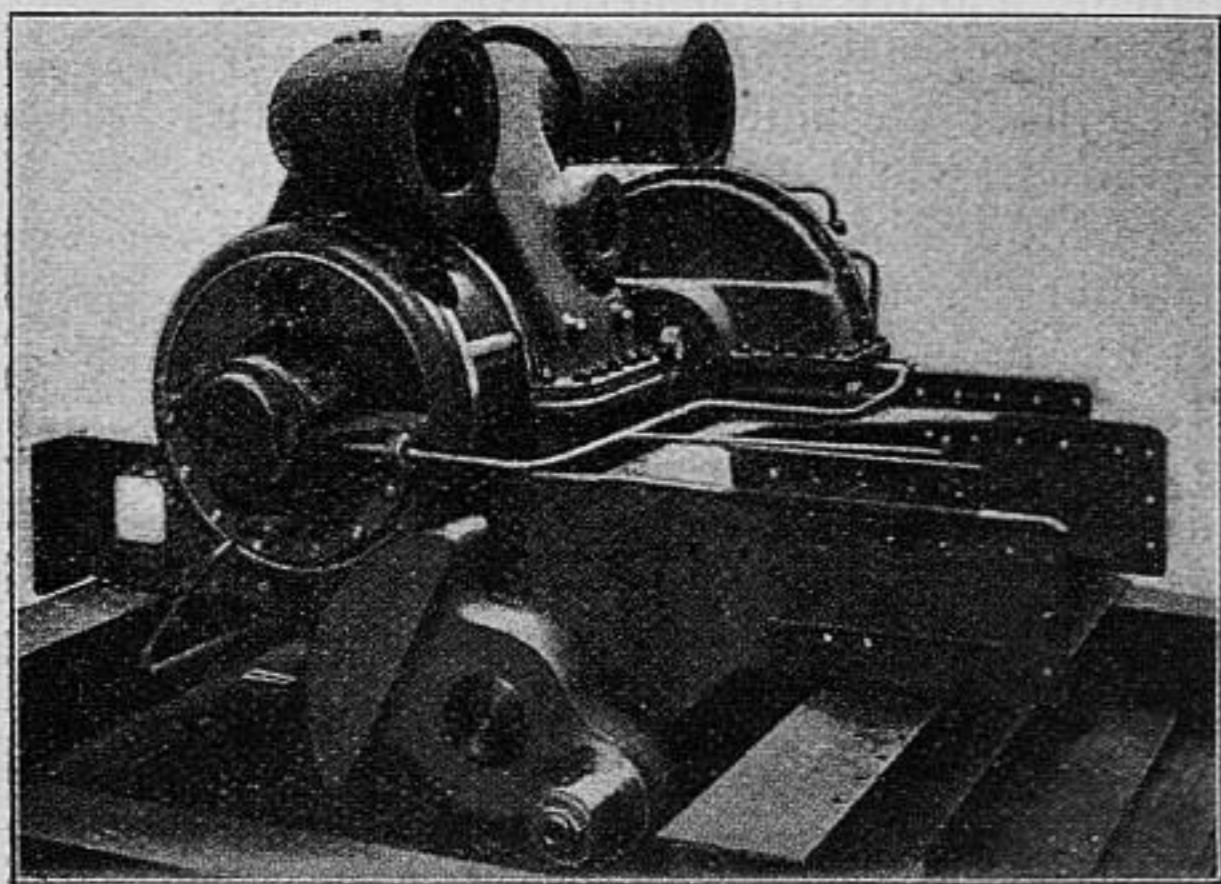


Fig. 2. — Enveloppe des turbines et manivelle équilibrée.

sance de la turbine de marche arrière est moins grande que celle de la turbine de marche avant. En effet, la locomotive ne marche en arrière que pour les manœuvres de gare ou en cas d'incidents imprévus, et la puissance nécessaire est alors moindre.

La vitesse maximum de cette machine est de 75 km. à l'heure; elle est limitée par le type de locomotive. Les roues

motrices ont un diamètre de 1 m. 524. A 75 km. à l'heure, la turbine fait 7 500 tours par minute. La vitesse de la turbine est, bien entendu, proportionnelle à la vitesse de marche de la locomotive. Pendant la marche en avant, la roue de marche arrière tourne dans le vide, suivant la pratique adoptée dans la marine. Le frottement de cette roue est faible et par suite les pertes sont insignifiantes.

#### Condenseurs et appareils auxiliaires.

La vapeur d'échappement des turbines de marche avant et de marche arrière passe en quantités à peu près égales dans deux condenseurs placés de part et d'autre de la chaudière. Ces condenseurs, du type à surface, sont refroidis par une circulation d'eau.

Tous les appareils auxiliaires de la condensation sont entraînés par une seule petite turbine qui tourne à la vitesse de 9 000 tours par minute. Cette vitesse est réduite à 1 200 tours par minute par un engrenage réducteur conique qui mène un arbre vertical portant les tiges de la pompe de circulation de l'eau

de la pompe à air et de la pompe d'eau de condensation. La pompe de circulation prend l'eau dans le tender et la refoule à travers les condenseurs, d'où elle retourne au réfrigérant. La pompe à air décharge sous une pression d'environ 5 kgr. 27 par  $\text{cm}^2$  dans un éjecteur d'air à jet d'eau qui communique avec les deux condenseurs. Il est combiné de manière que l'air qui se trouve dans le séparateur d'air puisse s'échapper dans l'atmosphère et l'eau retourner dans la chambre d'aspiration de la pompe de circulation.

L'eau sortant des condenseurs est conduite à la pompe d'eau de condensation qui la décharge sous une pression à peu près atmosphérique dans la pompe d'alimentation. Cette dernière, placée sur le côté du tablier de la locomotive, est une pompe à mouvement alternatif, marchant à la vitesse de 59 tours par minute et recevant son impulsion de la turbine auxiliaire par l'intermédiaire d'un second réducteur. La pompe d'alimentation refoule à travers un réchauffeur dans la chaudière.

La turbine auxiliaire est une turbine d'action Zoelly à trois étages, reliée au condenseur; elle reçoit la vapeur sous une pression effective de 0 kgr. 77 par  $\text{cm}^2$ . Cette turbine est alimentée en vapeur par l'échappement d'une turbine à réaction qui conduit le ventilateur du réfrigérant.

#### Ventilateur de tirage forcé.

Il fallait assurer le tirage dans le foyer à l'aide d'un moyen spécial puisqu'on ne pouvait plus utiliser la vapeur d'échappement à cet effet. La locomotive fut d'abord munie d'un tirage forcé produisant une pression sous la grille. Mais après une longue série d'essais on reconnut qu'il était nécessaire d'avoir recours au principe de l'aspiration.

Le ventilateur employé est du type centrifuge, avec enveloppe hélicoïdale, et peut produire dans la boîte à fumée un vide de 208 mm. d'eau. En tournant à

la vitesse de 1500 tours par minute, il débite par seconde un volume maximum de 7 m<sup>3</sup> 900 de gaz de la combustion. Le ventilateur est conduit par une petite turbine au moyen d'un engrenage dont le rapport de transmission est de 1 : 6. La turbine reçoit de la vapeur vive et envoie sa vapeur d'échappement sous une contre-pression d'environ 0 kgr. 49 par  $\text{cm}^2$  dans le réchauffeur d'eau d'alimentation. L'admission de vapeur dans la turbine est réglée par une soupape dont la commande se trouve dans l'abri du mécanicien. La vapeur d'échappement de la turbine qui conduit le ventilateur est envoyée dans le réchauffeur et il y a un certain rapport entre la quantité d'eau d'alimentation et la vapeur d'échappement de la dite turbine. Si, pour une raison quelconque, il n'y a pas d'eau dans le réchauffeur et que la vapeur ne puisse pas se condenser, une soupape de sûreté ouvre une communication entre le réchauffeur et le condenseur. L'eau de condensation fournie par la vapeur du réchauffeur s'échappe toujours directement dans le condenseur et par conséquent est dirigée vers la chaudière avec l'eau de condensation du circuit principal.

Cette disposition ne réalise pas l'avantage que possède l'appareil de tirage ordinaire de proportionner l'appel d'air à la quantité de vapeur nécessaire dans la turbine principale. On peut cependant obtenir le même résultat sur les locomotives à condensation en pratiquant une dérivation de vapeur sur la turbine principale.

#### Compresseur

##### pour le frein à air automatique.

La disposition du compresseur d'air Westinghouse ne convient pas tout à fait pour les conditions de fonctionnement différentes de la locomotive à turbines, attendu que la vapeur d'échappement est perdue et ne pourrait d'ailleurs pas être utilisée à cause de l'huile qu'elle contient. Dans les combinaisons futures, la solu-

tion naturelle consistera à employer une pompe rotative qui puisse être actionnée par la même turbine auxiliaire qui entraîne les appareils auxiliaires des con-

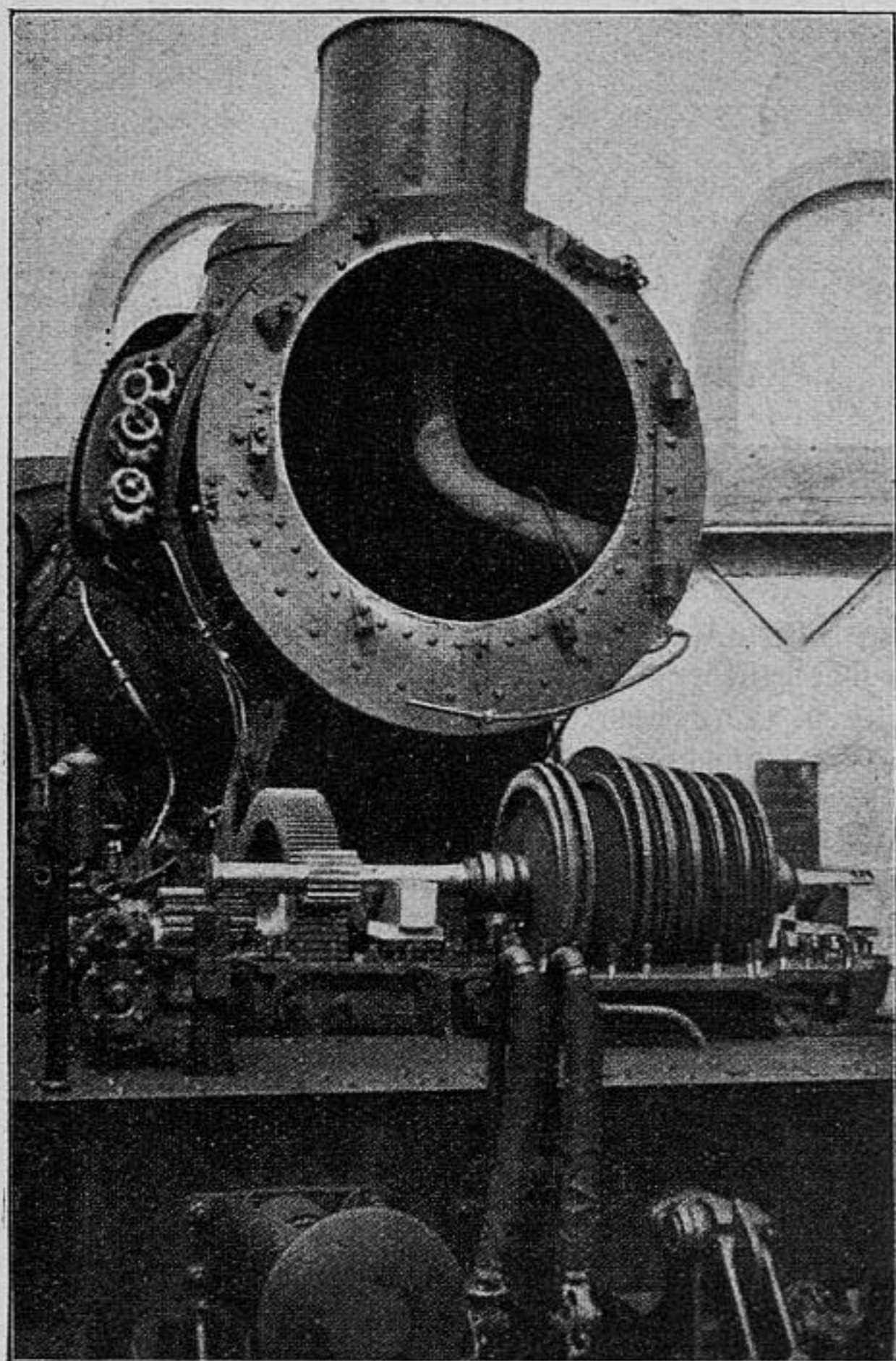


Fig. 3. — Rotor et premier réducteur de la locomotive Zoelly.

denseurs : de cette façon toute la vapeur retournera à la chaudière.

#### Eau d'alimentation de la chaudière

Théoriquement, la locomotive à condensation peut se passer d'eau nouvelle pour l'alimentation de la chaudière, puisque l'eau contenue dans la chaudière accomplit un circuit fermé. Mais en pra-

tique il est impossible d'éliminer les pertes dues aux fuites, la perte par le sifflet à vapeur, enfin et surtout, la perte que représente le chauffage du train. Pour tirer le meilleur parti de la locomotive, il est essentiel qu'il n'entre dans la chaudière que de l'eau propre et pure. Ce but peut être atteint de deux manières. On peut munir le tender d'une caisse spéciale pour l'eau d'alimentation et assurer l'alimentation de la chaudière par un injecteur comme pour une locomotive ordinaire, ou bien on peut employer l'eau venant du réservoir d'eau de refroidissement, qu'il faut alors épurer avant de l'envoyer dans la chaudière. La Société Krupp d'Essen, qui a acheté une licence Zoelly, épure l'eau de complément en la faisant passer par un petit bouilleur. L'eau d'alimentation vaporisée dans le bouilleur s'échappe dans le condenseur où elle se condense et est ensuite envoyée dans la chaudière avec l'eau de condensation du circuit principal. Au lieu de conduire directement la vapeur du bouilleur dans le condenseur, on peut aussi la diriger vers une turbine à basse pression ou vers un étage de la machine, où elle fait ainsi un travail utile.

Aucune de ces deux solutions n'a été appliquée sur la locomotive expérimentale. L'eau de refroidissement est employée directement à l'alimentation de la chaudière et introduite au besoin dans celle-ci à l'aide de l'injecteur à vapeur.

#### Système de graissage et réfrigération.

Chaque turbine a son système de graissage séparé, comprenant un réservoir d'huile et une pompe engrenant avec un arbre du réducteur. Les engrenages et les paliers sont munis du graissage forcé. L'huile pour les turbines principales passe par un réfrigérant qui communique avec le circuit d'eau de refroidissement des condenseurs.

L'organe le plus vital de la locomotive à condensation, où l'eau sert à assurer le refroidissement de la vapeur dans le condenseur, est le réfrigérant. Toutes les

calories cédées par la vapeur qui se trouve dans le condenseur sont absorbées par l'eau de réfrigération qu'il faut, bien entendu, refroidir de nouveau pour qu'elle puisse être employée dans un cycle d'opérations. Le réfrigérant (fig. 4) est logé sur un véhicule indépendant, qui prend la place du tender habituel et transporte du charbon et l'eau de complément pour l'alimentation de la chaudière. Il fonctionne sur le principe de l'évaporation : l'air est amené au contact intime de l'eau qu'il s'agit de refroidir; celle-ci le chauffe et le sature de vapeur d'eau. La quantité de chaleur qui doit être absorbée de cette manière est énorme; pour la locomotive expérimentale de 1 000 ch., elle s'élève à environ 3 200 000 calories par heure et augmente en proportion pour de plus grandes locomotives.

Le réfrigérant comprend un certain nombre d'éléments d'eau et d'air fonctionnant en parallèle. Chaque élément consiste en un conduit en fer forgé de section transversale rectangulaire. Ce conduit est divisé diagonalement en deux moitiés dans le sens de la longueur par des augets perforés renfermant des anneaux Raschig, c'est-à-dire de petits tubes ayant tous à peu près la même longueur et le même diamètre. L'eau qu'il s'agit de refroidir est amenée à ces augets par des tubes qui la répandent en pluie et l'air passe en contre-courant. Les éléments réfrigérants sont disposés de manière que le courant d'air naturel produit par le train en marche puisse entrer directement dans chacun de ces éléments. Un ventilateur crée un courant d'air suffisant lorsque le train stationne ou marche très lentement et renforce le courant normal pendant la marche aux vitesses ordinaires. Il est actionné à l'aide d'un engrenage par une turbine à réaction, comme nous l'avons mentionné plus haut. L'admission de vapeur à cette turbine est réglée au moyen d'une soupape commandée de l'abri du mécanicien.

L'eau refroidie s'écoule de l'élément réfrigérant dans une caisse d'où elle est aspirée de nouveau dans la pompe de circulation. Comme il s'évapore une certaine quantité d'eau pendant l'opération, il devient nécessaire d'ajouter une quantité correspondante afin de maintenir constant le volume en circulation. A cet effet, le tender est muni d'une grande bêche qui communique avec la caisse d'aspiration au moyen de flotteurs. L'eau du tender ne doit pas nécessairement être pure, puisqu'elle n'entre pas dans la chaudière ni ne vient en contact avec des pièces dont l'entartrement pourrait gêner sérieusement le fonctionnement de l'ensemble.

Le tender peut charger 10 t. de charbon et 5 m<sup>3</sup> 450 d'eau.

L'attelage entre locomotive et tender est du type habituel. Les accouplements des tuyaux d'aspiration et de décharge du système de réfrigération de l'eau se font à l'aide de rotules à glissement. Avec ces joints on peut détacher le tender de la locomotive en retirant les boulons de l'attelage. Les accouplements pour la vapeur vive et la vapeur d'échappement de la turbine qui conduit le ventilateur du réfrigérant ont de petites dimensions et sont formés de tuyaux flexibles.

#### Considérations théoriques.

*Réfrigérant.* — Nous parlerons d'abord du réfrigérant, parce que du vide réalisable dépend le calcul des turbines et des machines auxiliaires. Plus le vide est parfait, plus est grande la quantité de chaleur susceptible d'être convertie en travail utile. On sait par les installations fixes qu'avec des condenseurs à surface le vide dépend directement de la température de l'eau de refroidissement. Dans le cas de la locomotive à condensation, le vide dépend donc de la température à laquelle l'eau de refroidissement peut être abaissée dans le réfrigérant.

La température maximum que l'air passant par le réfrigérant peut atteindre est celle de l'eau de refroidissement

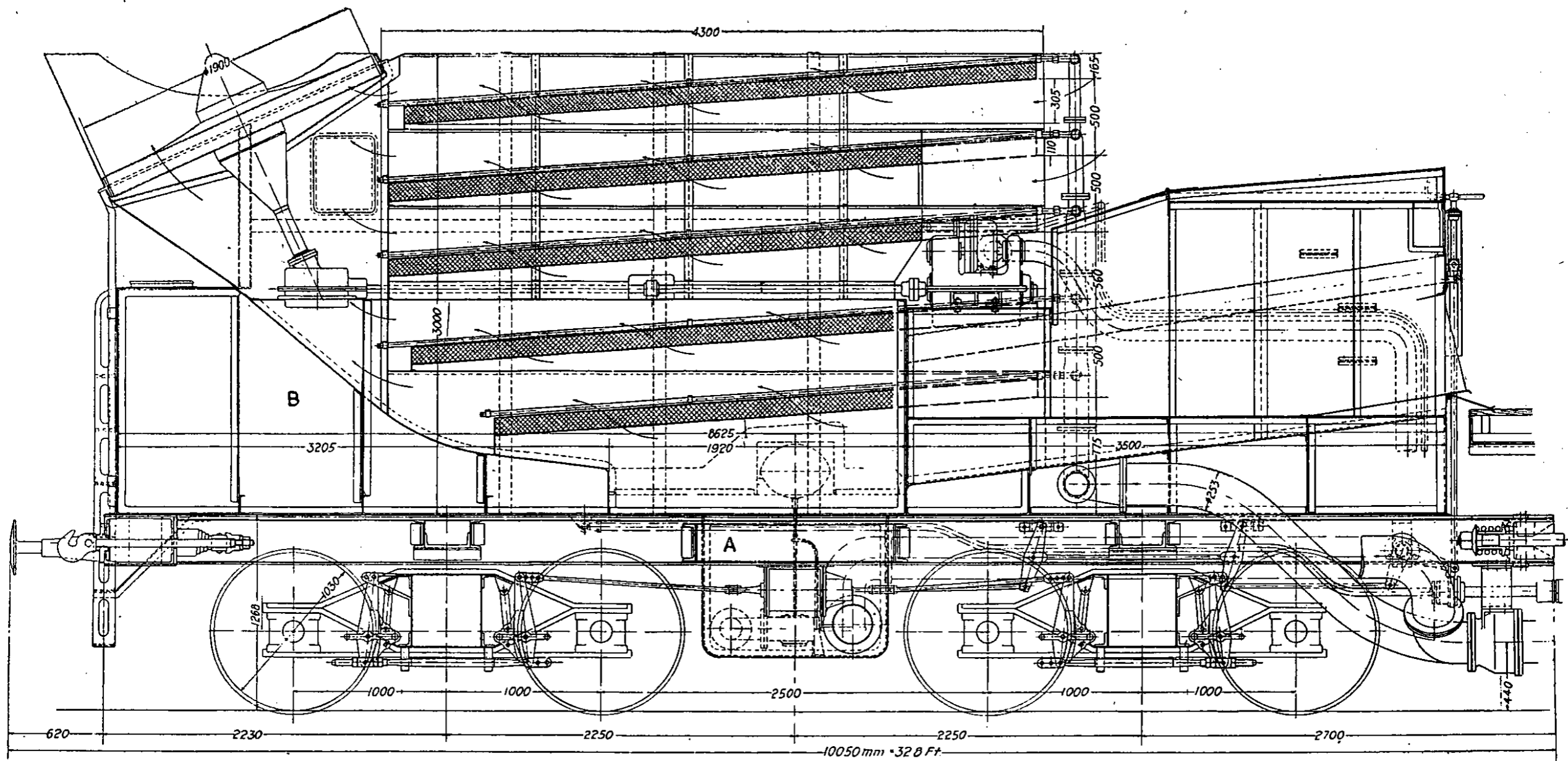


Fig. 4. — Réfrigérant de la turbo-locomotive Zoelly de 1 000 ch. (Dimensions en millimètres).



chaude. Si l'on suppose que l'air à cette température maximum est complètement saturé de vapeur d'eau, la différence de chaleur totale entre l'air qui entre dans le réfrigérant et celui qui le quitte est identique à la quantité de chaleur extraite de l'eau. Lorsqu'une turbine travaille contre différents vides, on peut, en admettant des conditions de vapeur initiales définies et un rendement constant de la turbine, calculer la quantité de chaleur extraite de la vapeur dans le condenseur ou, ce qui revient au même, de l'eau de refroidissement dans le réfrigérant. Si l'on suppose en outre que le vide dans l'échappement de la turbine correspond à la tension de la vapeur dégagée par l'eau à une température qui est de 41° F. (23° C.) plus élevée que celle de l'eau de refroidissement quittant le condenseur, on peut calculer la quantité d'air nécessaire pour obtenir un certain vide pour une quantité donnée de vapeur. On a fait ce calcul et dans la figure 5 la courbe I en montre le résultat pour l'air de refroidissement à 59° F. (15° C.), saturé à 70 %. L'air nécessaire pour le refroidissement est fourni par un ventilateur. En admettant une aire superficielle constante du réfrigérant pour les différents vides, la résistance à travers le réfrigérant augmenterait naturellement avec la quantité d'air, et la puissance nécessaire pour actionner le ventilateur augmenterait avec une rapidité extrême pour les vides plus parfaits. Ces conditions sont représentées par la courbe II; le nombre de ch. est la puissance nécessaire pour chaque livre de vapeur par seconde. Une longue série d'essais a montré qu'à pleine charge le vide est dans les environs de 90 %; ceci ne s'applique, bien entendu, qu'aux charges maximums. Sous des charges partielles, le vide augmenterait, le poids de vapeur envoyé au condenseur étant plus faible.

La courbe III donne la consommation d'eau du réfrigérant en kgr. par kgr. de vapeur.

Les courbes I' et II' donnent des ré-

sultats d'essais (quantité d'air et énergie absorbées par le ventilateur) qui montrent que la situation réelle ne diffère pas sensiblement des conditions théoriques.

Pour montrer l'efficacité du système de réfrigération Zoelly, comparée avec celle qu'on obtient en employant un condenseur à circulation d'air, la courbe IV de la figure 5 indique la quantité d'air nécessaire dans l'hypothèse que l'air pourrait s'échauffer à 122° F. (50° C.), et la courbe V la puissance nécessaire pour le ventilateur par livre de vapeur et par seconde. La différence, par comparaison avec le réfrigérant à évaporation, est énorme. Le système de refroidissement Zoelly entraîne la nécessité d'employer un condenseur et un réfrigérant, mais il procure des avantages importants. Le coefficient de transmission de chaleur de la vapeur à l'eau dans un condenseur à surface est d'environ 2 400 calories par degré centigrade par mètre carré par heure, tandis que pour les condenseurs à circulation d'air il atteint à peine 40 calories (1). Il faut donc que la surface du condenseur à air soit soixante fois celle d'un condenseur refroidi par l'eau. Cet avantage permet de placer les condenseurs et les turbines de la locomotive Zoelly sur le même châssis que la chaudière, ce qui supprime toutes les difficultés que présentent les accouplements à vide entre le tender et la locomotive. L'espace relativement petit pour le vide est facile à maintenir étanche; de plus, avec ce système, la locomotive est le véritable moteur et à ce point de vue on reste fidèle à l'ancien type conventionnel.

Il a naturellement été impossible de calculer le réfrigérant, et des essais très étendus ont été nécessaires pour élucider les relations très compliquées qui entrent en jeu et réunir les données servant de base à l'étude. La nature compliquée de

---

(1) R. P. WAGNER, *Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens*, 15 janvier 1924, p. 3.

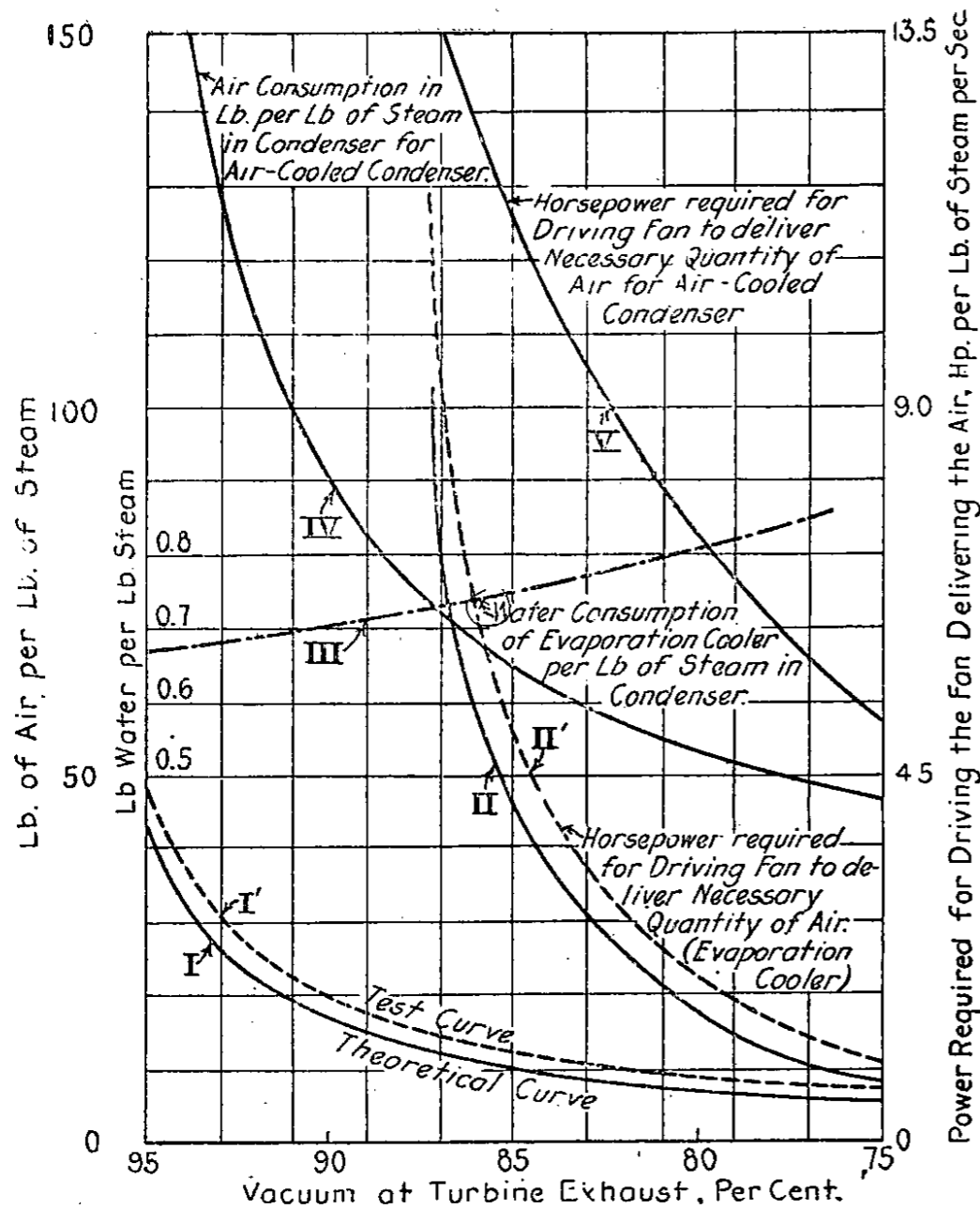


Fig. 5. — Consommation d'air des réfrigérants à évaporation et à surface.

Explication des termes anglais de la figure 5 : Lb. of air per lb. of steam = Livres d'air par livre de vapeur. — Power required for driving the fan delivering the air, Hp. per lb. of steam per sec. = Puissance nécessaire pour actionner le ventilateur débitant l'air, par livre de vapeur par seconde. — Vacuum of turbine exhaust, per cent = Vide à l'échappement de la turbine, en pour cent. — (I) Theoretical curve = (I) Courbe théorique. — (I') Test curve = (I') Courbe expérimentale. — (II') Horsepower required for driving fan to deliver necessary quantity of air (evaporation cooler) = (II') Puissance nécessaire pour actionner le ventilateur débitant la quantité voulue d'air réfrigérant à évaporation. — (III) Water consumption of evaporation cooler per lb. of steam in condenser = (III) Consommation d'eau du réfrigérant à évaporation par livre de vapeur dans le condenseur. — (IV) Air consumption in lb. per lb. of steam in condenser for air-cooled condenser = Consommation d'air en livres par livre de vapeur dans le condenseur, pour le condenseur à circulation d'air. — (V) Horsepower required for driving fan to deliver necessary quantity of air for air-cooled condenser = Puissance nécessaire pour actionner le ventilateur débitant la quantité voulue d'air (condenseur à circulation d'air).

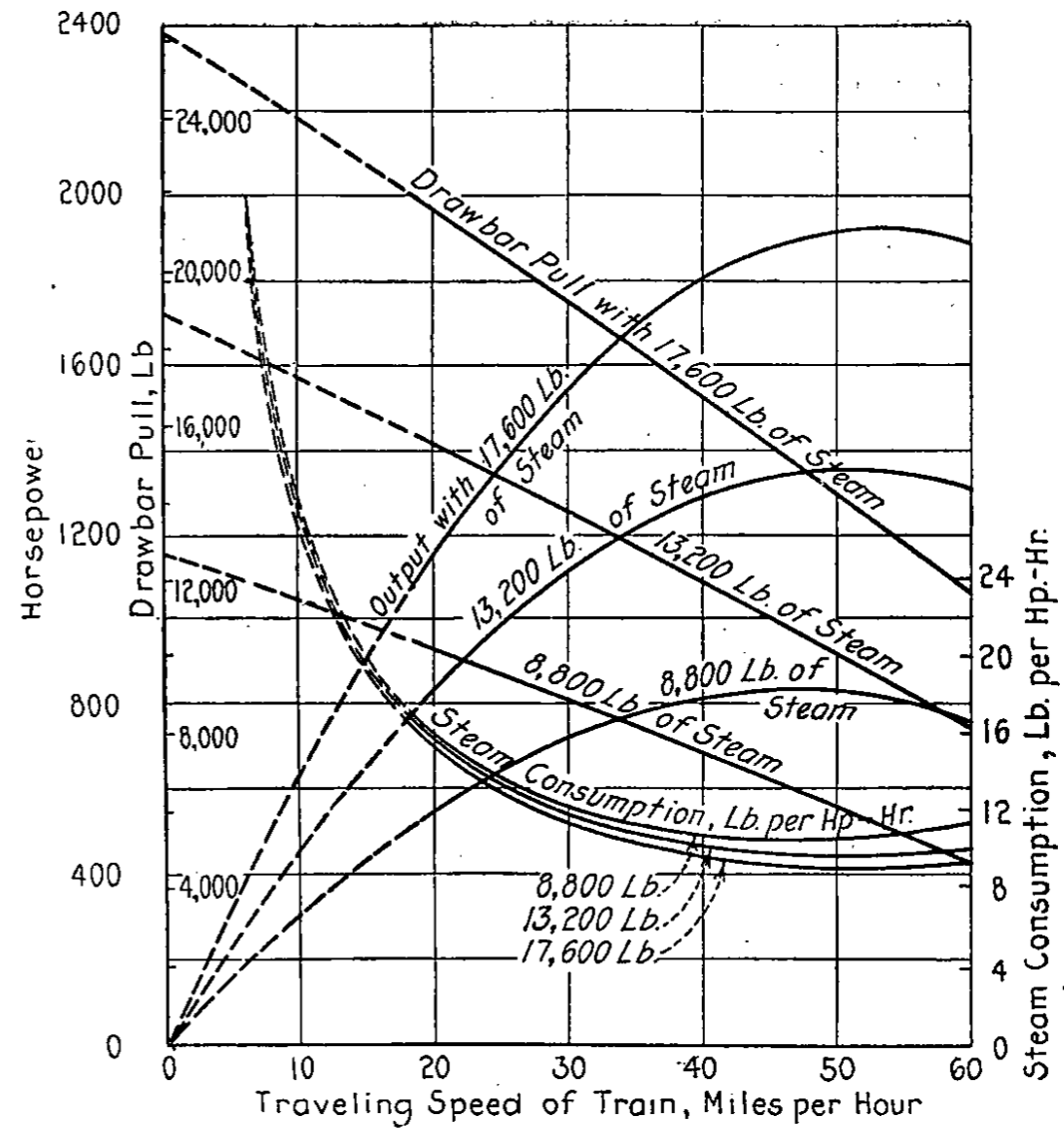


Fig. 6. — Puissance développée, effort de traction au crochet et consommation de vapeur d'une turbo-locomotive Zoelly de 2 000 ch. pour différentes vitesses et quantités de vapeur.

Explication des termes anglais de la figure 6 : Horsepower = Puissance en chevaux. — Drawbar pull, lb. = Effort sur la barre d'attelage en livres. — Steam consumption, lb. per hp.-hour = Consommation de vapeur en livres par cheval-heure. — Traveling speed of train, miles per hour = Vitesse du train en milles à l'heure. — Output with 17,600 Lb. of steam = Puissance développée avec 17,600 livres de vapeur. — Drawbar pull with 17,600 Lb. of steam = Effort au crochet avec 17,600 livres de vapeur.

la tâche consistant à trouver la disposition la plus économique, c'est-à-dire à obtenir le maximum de l'effet réfrigérant pour une surface donnée avec le minimum de poids et de puissance motrice, est indiquée par les nombreux facteurs variables : matériaux de construction des récipients, hauteur et volume de l'eau; vitesse de l'air, distribution de l'eau, températures de l'eau et de l'air, etc. Comme résultat de tous les essais, on a constaté que, dans les conditions moyennes : air à 59° F. (15° C.), eau de refroidissement à 122° F. (50° C.), correspondant à un vide d'environ 85 %, on obtient un effet réfrigérant de 120 000 calories par mètre carré en une heure.

Il reste encore beaucoup de détails intéressants relatifs à ce réfrigérant, mais leur discussion mènerait trop loin et sortirait du cadre de ce mémoire, qui n'a pour but que de donner une idée générale de la turbo-locomotive Zoelly.

*Turbine principale.* — Pour les locomotives à turbines on se sert de vapeur surchauffée dans tous les cas, parce qu'elle donne le meilleur rendement. Tant qu'il faudra employer le type conventionnel de chaudière, il ne sera guère possible d'admettre d'autres conditions de vapeur que celles qui existent pour les locomotives ordinaires, soit 15 kgr. de pression et une température de 350° C. Le vide a été fixé dans le paragraphe précédent; quant à la puissance à développer, elle est donnée, de sorte que, comme facteurs variables entrant dans le calcul des turbines, on a la vitesse de la turbine, les diamètres des roues et le nombre d'étages. Ces éléments doivent être choisis de manière que le rendement soit aussi élevé que possible. Sur la locomotive, on est limité pour les diamètres des roues de turbine aussi bien que pour le nombre d'étages. Ceux-ci étant déterminés, la vitesse s'en déduit : tout écart se traduirait par une certaine perte de rendement, ce qui, entre des limites assez étendues, n'a pas une importance capi-

tale. La vitesse de la turbine détermine les rapports de réduction et les dimensions des engrenages. Dans des conditions normales, la vitesse des turbines varie de 6 000 à 8 000 tours par minute, mais elle dépend aussi de la vitesse maximum que le train peut atteindre et qui, à son tour, est limitée par la résistance des matériaux.

Une turbine de locomotive doit être calculée, non seulement pour une vitesse particulière et une seule charge, comme on fait habituellement pour les installations fixes, mais pour différentes quantités de vapeur qui s'écoulent et pour différentes vitesses de chaque courant de vapeur, de façon à obtenir des renseignements complets sur le travail que la locomotive peut fournir. Les courbes tracées d'après les calculs pour une locomotive Zoelly de 2 000 ch. construite par Krupp montrant la puissance développée et l'effort sur le crochet d'attelage pour différentes vitesses et quantités de vapeur, sont données dans la figure 6. Pour la marche arrière, on a admis un sacrifice de rendement, à cause de l'extrême limitation de place. Le seul point à considérer est qu'il faut un couple initial suffisant pour accélérer les trains les plus lourds

*Turbines auxiliaires.* — Les limitations de dimensions et de poids sont très importantes, mais le rendement est extrêmement important aussi. De petits diamètres de roues demandent des étages multiples et alors la turbine serait trop longue. Pour lever cette difficulté, on a monté plusieurs turbines en série. Cette solution, concurremment avec des vitesses de marche élevées (9 000 à 10 000 tours par minute) satisfait à la condition d'un grand rendement combiné avec de petites dimensions.

*Réchauffage de l'eau d'alimentation.* — La chaleur contenue dans les gaz de la combustion est utilisée depuis longtemps dans les installations fixes, où l'économiseur est un appareil bien connu. On a

essayé, mais sans succès, plusieurs réchauffeurs d'eau d'alimentation de ce type pour les locomotives. Le tirage qui existe dans les locomotives ordinaires n'est pas suffisant pour vaincre la résistance supplémentaire due à un tel réchauffeur. Dans les locomotives à turbines, au contraire, où il faut produire le tirage artificiellement, cette difficulté ne se présente pas et c'est pourquoi les réchauffeurs d'eau d'alimentation à gaz chauds peuvent y être employés avantageusement. Les gaz quittent la cheminée à une température d'environ 400° C. et peuvent être refroidis à environ 175° C., abandonnant 53 calories par kilogramme, correspondant à environ 1 kgr. d'eau d'alimentation. Si l'eau de condensation quitte le condenseur à une température de 50° C., on pourra donc chauffer l'eau d'alimentation à 103° C. La chaleur totale de la vapeur dans la chaudière étant de 750 calories, l'économie obtenue en réchauffant l'eau d'alimentation s'élève donc à 7.5 %. Il reste à voir en pratique quelle proportion de cette chaleur peut réellement être utilisée.

On peut aussi réchauffer l'eau d'alimentation soit avec la vapeur d'échappement des turbines auxiliaires, soit avec de la vapeur prise sur la turbine principale ou sur une turbine auxiliaire. La vapeur qui s'échappe à la pression atmosphérique d'une turbine à réaction, comme dans le cas de la turbine actionnant le ventilateur de la turbine expérimentale, a une chaleur totale d'environ 640 calories. Si cette vapeur était employée dans une turbine à basse pression débitant sur le condenseur, il est probable que 40 calories pourraient être converties en travail utile, et la vapeur entrerait dans le condenseur avec 600 calories dont 550 seraient absorbées par l'eau de refroidissement et, par suite, perdues. En employant la vapeur dans le réchauffeur, on peut utiliser la totalité des 640 calories. Dans des conditions normales, l'eau d'alimentation peut être chauffée à environ 150° C. L'eau de

condensation ayant une température de 50° C., on peut donc employer 100 calories par kilogramme d'eau d'alimentation. La quantité maximum de vapeur d'échappement qui peut être utilisée est, par conséquent, le cinquième de la quantité d'eau de condensation. Pour réchauffer à cette température élevée, il faut, bien entendu, employer de la vapeur à une pression supérieure à celle de l'atmosphère.

La plus grande économie serait réalisée en réchauffant l'air de la combustion avec des gaz chauds et l'eau d'alimentation avec de la vapeur dans une série de réchauffeurs, tous chauffés par la vapeur à différentes pressions prise sur la turbine principale ou par la vapeur d'échappement à une pression convenable. La vapeur prise sur la turbine principale ou la vapeur prise sur la turbine du ventilateur du foyer conviendra toujours le mieux, parce que la proportion de la vapeur à l'eau d'alimentation est réglée automatiquement.

#### **Économies accusées par les essais.**

On a fait des essais avec cette locomotive expérimentale, mais seulement sur une ligne de 56 km. qui avait un profil accidenté. De ce fait, il a été impossible de procéder à des essais de consommation de combustible. On n'a pu déterminer que la consommation de vapeur, qui pourra être comparée avec celle d'une locomotive à pistons correspondante, faisant le même parcours avec la même charge. Le réchauffage était employé sur la turbo-locomotive et les machines auxiliaires n'étaient alimentées que de vapeur saturée. La consommation de chaleur de la turbo-locomotive ne fut que 1 066 000 calories. Une locomotive ordinaire, remorquant le même train dans des conditions d'exploitation identiques, consomme 1 488 000 calories, calculées d'après la différence des niveaux de l'eau dans le tender avant et après le parcours et d'après les conditions initiales de la vapeur. Ces essais furent

TABLEAU I. — Consommations comparatives de vapeur et de combustible de différents types de locomotives.

	Locomotives à pistons, sans condensation				Locomotives à pistons, à condensation, à surchauffeur.		Sans réchauffeur.	Turbo-locomotive avec réchauffage de l'eau d'alimentation		
	à surchauffeur à simple expansion à 2 cylindres.		à surchauffeur compound à 4 cylindres.		A simple expansion, sans réchauffeur.	Compound, avec réchauffeur.		par la vapeur.	par les gaz de la combustion.	par réchauffage de l'eau d'alimentation et de l'air de la combustion.
	Sans réchauffeur.	Avec réchauffeur.	Sans réchauffeur.	Avec réchauffeur.						
Timbre de la chaudière, en kilogrammes par centimètre carré, pression absolue. . . . .	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98
Pression (absolue) dans la boîte à vapeur, en kilogrammes par centimètre carré . . . . .	13.99	13.99	13.99	13.99	13.99	13.99	13.99	13.99	13.99	13.99
Température dans la boîte à vapeur, en degrés centigrades . . . . .	300	300	300	300	300	300	350	350	350	350
Pression à l'échappement, en kilogrammes par centimètre carré, pression absolue . . . . .	0.99	0.99	0.99	0.99	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Consommation de vapeur (toutes les machines auxiliaires comprises), en kilogrammes par cheval-heure indiqué . . . . .	7.59-7.28	7.59-7.28	7.38-6.98	7.38-6.98	6.19	5.17	4.74	4.96	4.96	4.96
Economie de vapeur par rapport à la locomotive à simple expansion à surchauffe, sans condensation, en kilogrammes . . . . .	0	0	0.21-0.30	0.21-0.30	1.42-1.11	2.46-2.15	2.89-2.58	2.67-2.36	2.67-2.36	2.67-2.36
La même, en pour cent . . . . .	0	0	2.76-4.1	2.76-4.1	18.5-15.1	31.9-29.0	37.6-35.0	34.7-31.9	34.7-31.9	34.7-31.9
Chaleur totale employée dans la chaudière par cheval-heure, en calories .	11 300-10 500	8 525-8 180	9 290-8 790	8 290-7 850	7 665	6 430	5 070	4 920	4 530	4 135
Consommation de charbon (pouvoir calorifique 6 500 calories par kilogramme), en kilogrammes par cheval-heure . . . . .	1.45-1.39	1.29-1.24	1.40-1.33	1.26-1.13	1.16	0.98	0.77	0.75	0.69	0.63
Économie de combustible par rapport à la locomotive à simple expansion avec surchauffeur et réchauffeur, en kilogrammes . . . . .	-0.16 à -0.15	0	-0.12 à -0.09	0.03-0.11	0.13-0.08	0.32-0.27	0.53-0.48	0.55-0.50	0.61-0.56	0.67-0.62
La même, en pour cent . . . . .	-12.1 à -12.1	0	-9.3 à -8.9	2.43-8.9	9.5-5.65	24.1-21.0	40.0-38.0	41.8-39.5	46.5-44.4	51.1-49.2

répétés quatre fois; les résultats moyens sont donnés dans le tableau I. La consommation d'eau du réfrigérant fut d'environ 5 m<sup>3</sup> 300. Une grande partie de cette eau représentait des pertes mécaniques dues à des fuites.

TABLEAU II. — Dimensions principales.

Chemin de fer . . . . .	Chemins de fer fédéraux suisses.
Constructeurs. . . . .	Escher Wyss & Cie, Zurich. Ateliers de locomotives suisses, Winterthur.
Service. . . . .	Expérimental.
Turbine . . . . .	Zoelly, à action, à 6 étages.
Vitesse maximum en marche avant. . . . .	7 500 tours par minute.
Première réduction . . . . .	1 : 7
Seconde réduction. . . . .	1 : 4.1
Vitesse maximum de la locomotive . . . . .	75 km. à l'heure.
Poids en ordre de marche :	
Total (machine) . . . . .	59 t. (métr.).
Adhérent . . . . .	41 t. 4
Empattements :	
Roues motrices . . . . .	3 m. 750
Total (machine) . . . . .	7 m. 620
Total (machine et tender) . . . . .	17 m. 800
Roues, diamètre au contact :	
Motrices . . . . .	1 m. 524
Bissel d'avant . . . . .	0 m. 838
Chaudière :	
Type . . . . .	Conique.
Timbre . . . . .	14 kgr. 06 par centimètre carré.
Surchauffe . . . . .	350° C.
Combustible. . . . .	Houille bitumineuse.
Surface de la grille . . . . .	2 m <sup>2</sup> 32
Surfaces de chauffe :	
Foyer et chambre de combustion . . . . .	12 m <sup>2</sup> 31
Petits et gros tubes . . . . .	86 m <sup>2</sup> 16
Surface totale de vaporisation. . . . .	98 m <sup>2</sup> 47
Surchauffe . . . . .	35 m <sup>2</sup> 30
Vaporisation et surchauffe combinées . . . . .	133 m <sup>2</sup> 77
Donnée estimative :	
Puissance de la turbine. . . . .	1 000 ch.

**Simplicité relative de la conduite et de l'entretien.**

Malgré le grand nombre d'organes que comporte la turbo-locomotive, sa con-

duite est simple et demande moins d'attention de la part du personnel que la locomotive ordinaire à pistons.

Avant le démarrage de la locomotive, le mécanicien met en marche la turbine

actionnant le ventilateur du réfrigérant. Cette turbine est montée en série avec la turbine qui conduit les machines auxiliaires des condenseurs et la condensation s'amorce automatiquement. Quand le vide de régime est atteint, ce qui demande quelques minutes, on ouvre en grand la soupape d'admission de la vapeur à la turbine principale et il ne reste plus alors qu'à ouvrir ou fermer le régulateur pour démarrer ou arrêter le train. Il faut aussi que le ventilateur de tirage soit mis en marche dès que le mécanicien s'apprête à faire partir la locomotive. L'ouverture du régulateur est réglée de façon que la pression dans la chaudière reste constante. L'alimentation de la chaudière n'impose au personnel de la machine que le soin de s'assurer que la pompe fonctionne bien. Pour que la locomotive continue à marcher à une certaine vitesse, il suffit que le mécanicien étrangle l'admission de vapeur dans la mesure voulue. Si, pour une raison quelconque, la production de vapeur est insuffisante avec le régulateur ouvert en grand, la soupape de surcharge permet de l'augmenter. Il ne faut arrêter les machines auxiliaires que pour un stationnement prolongé.

Lorsque la locomotive doit marcher en arrière, on ferme la soupape de marche avant et l'on ouvre celle de marche arrière. Puis le mécanicien manœuvre le régulateur comme il est dit plus haut.

La locomotive démarre aisément, contrairement à l'opinion exprimée par beaucoup d'ingénieurs qu'une loco-

tive à turbines n'aura pas un couple initial suffisant pour le démarrage d'un train. Le roulement est plus doux que celui d'une locomotive à pistons. Des essais dynamométriques effectués sur les Chemins de fer fédéraux suisses ont montré que l'effort sur la barre d'attelage était exempt de fluctuations.

Un nouveau perfectionnement de la locomotive à turbines, actuellement à l'étude, comporte l'emploi de très hautes pressions. Mais son application pratique dépend de la possibilité de trouver une chaudière appropriée. En ce qui concerne la turbine elle-même, les plans sont prêts.

Les avantages de la turbo-locomotive sont nombreux. Nous citerons les suivants : Une grande économie de combustible, s'élevant à près de 50 %; une faible consommation d'eau et le fait que l'eau employée n'est pas nécessairement une bonne eau d'alimentation; la chaudière peut être tenue propre; enfin, grâce à l'absence de masses à mouvement alternatif, le roulement est doux et stable. On prédit que la locomotive à turbines entrera bientôt avec succès en concurrence non seulement avec la locomotive à pistons, mais aussi avec la traction électrique, par laquelle on se promet d'obtenir de meilleurs résultats au point de vue de l'utilisation du charbon. Son économie étant plus grande, elle donne une plus grande puissance avec la même chaudière et ouvre ainsi une nouvelle ère à la traction par locomotives à vapeur.

---

## Composition et caractère des dépenses dans les exploitations de chemins de fer,

Par M. ALFRED WALTHER,  
INGÉNIEUR DIPLÔMÉ, ZÜRICH.

Fig. 1 à 7, p. 315 à 325.

(*Schweizerische Bauzeitung.*)

Par « caractère de dépenses » nous entendons la relation qui les lie à un degré d'activité variable. Dans l'article publié sous le titre : « Principes de la science des frais industriels » dans la *Schweizerische Bauzeitung* d'avril-mai 1923, nous avons essayé de préciser le problème de l'action exercée par le degré d'activité sur certaines dépenses et d'en énoncer les données fondamentales, en évitant à dessein l'étude de tout cas spécial parce que nous voulions donner un aperçu général du domaine complexe, et bien peu exploré jusqu'à présent, de la science des frais industriels, afin de frayer le chemin pour de nouvelles recherches. Nous constatons avec plaisir que notre initiative a rencontré dans beaucoup de milieux, du moins à l'étranger, un accueil qui montre qu'elle a été comprise. On a reconnu que la solution actuelle du problème des dépenses, qui se borne à la répartition exacte des frais de production entre les différents produits d'une exploitation industrielle, ne suffit pas pour résoudre les questions importantes, notamment celles qui se rattachent à la politique des prix. « Le discernement de cette insuffisance », écrit le directeur général Herbert Peiser (1),

« conduit à une nouvelle méthode qui s'attache à calculer les frais de production en fonction du degré d'activité variable, en partant de la conviction que ce n'est que par l'étude attentive de ces relations que l'on peut arriver à une politique de prix et de transactions avantageuse à la fois pour l'entreprise individuelle et pour la collectivité. Tout examen approfondi montre que cette méthode ouvre des horizons nouveaux, singulièrement intéressants, qui sont peut-être aptes à embrasser progressivement tout le problème des frais industriels. » Nous ne sommes encore qu'au début de cette évolution et il faudra maintenant, avant tout, des recherches spéciales intensives dans les branches les plus diverses de l'industrie, afin de réunir les matériaux nécessaires au développement ultérieur de la théorie générale, qui n'est pas sortie, jusqu'à présent, de la phase initiale.

Dans son livre précité, Peiser a analysé la composition et le caractère des dépenses d'une usine génératrice à vapeur; dans un récent article (1), il aborde le problème de la relation des frais avec le degré d'activité au point de vue éco-

(1) H. PEISER : *Der Einfluss des Beschäftigungsgrades auf die industrielle Kostenentwicklung* (L'influence du degré d'activité sur l'élévation des frais industriels). — Julius Springer, Berlin 1924.

(1) H. PEISER : *Fragen zur Produktionssteigerung im Lichte Ford'scher Ziffern* (Questions d'accroissement de la production examinées à la lumière de chiffres fournis par Ford) (*Technik und Wirtschaft*, février 1925).



nomique, en s'inspirant de l'ouvrage de Ford.

Nous allons à notre tour vérifier la théorie générale sur un cas spécial, celui des prix de revient des chemins de fer, et, en signalant certaines propriétés intéressantes des dépenses qui constituent ces prix de revient, montrer comment on peut appliquer la théorie.

### I. — Influence de l'électrification sur le caractère des frais de traction des Chemins de fer fédéraux suisses.

La Direction générale des Chemins de fer fédéraux suisses a présenté le 30 juin 1924 à son Conseil d'administration un rapport sur « l'économie comparée de la traction électrique et de la traction à vapeur » qui contient des données numériques extrêmement intéressantes et instructives concernant la relation entre les dépenses des chemins de fer et le degré d'activité. Ce document a été publié dans la *Schweizerische Bauzeitung* et le professeur Dr W. Kummer l'a analysé dans le numéro du 25 octobre 1924 de cette revue, en se plaçant, il est vrai, à un tout autre point de vue. Nous pouvons donc renvoyer à son article et nous dispenser de reproduire et de commenter ici les bases numériques de notre étude.

Les chiffres figurant dans le rapport précité, qui ne servent, à vrai dire, qu'à déterminer le « prix paritaire du charbon », nous permettent, avec le concours de quelques hypothèses complémentaires, de représenter graphiquement l'ensemble des frais de traction, instructif à plus d'un point de vue, et de nous faire ainsi une idée de la composition et de l'accroissement des frais de traction à vapeur et de traction électrique.

Considérons d'abord les *charges fixes, indépendantes du degré d'activité*. Sous cette rubrique, les intérêts et la conservation (amortissement et renouvellement) du capital tiennent une place très considérable dans le cas de la traction électrique, où  $g_E = 42\,720\,000$  fr. par an,

tandis que pour la traction à vapeur la dépense correspondante, y compris la légère différence en plus des frais d'entretien de la voie, n'atteint que la valeur  $g_D = 4\,875\,000$ . La conduite et l'entretien de toutes les installations électriques coûtent  $a_E = 4\,376\,000$  fr. Ces frais également peuvent être considérés comme étant en majeure partie indépendants du degré d'activité de l'entreprise de transports. Il n'existe pas de chapitre analogue pour la traction à vapeur.

Les dépenses relatives à la conduite et à l'entretien des véhicules moteurs,  $c_E$  et  $c_D$ , de même que les autres frais qu'il nous reste à mentionner, sont *fonction du degré d'activité*, exprimé dans le rapport de la Direction générale en tonnes-kilomètres brutes et en trains-kilomètres. Malheureusement le rapport ne fournit aucun renseignement direct sur l'allure de la courbe des frais correspondant à une activité croissante; il ne considère qu'un seul degré d'activité nettement déterminé représenté par 9.2 milliards de tonnes-kilomètres brutes (trafic de l'exercice 1913). Nous sommes donc obligé de procéder nous-même à une évaluation de ces frais et ne croyons pas nous tromper en admettant qu'ils ne partent pas non plus de zéro, mais se composent d'une partie fixe et d'une partie proportionnellement croissante, car si faible que soit l'activité, les dépenses sont importantes, ne serait-ce que parce qu'une grande partie des trains doivent toujours être mis en marche, qu'ils soient occupés ou non. Supposons d'une façon tout à fait approximative qu'environ 70 % des frais en question existent toujours et que 30 % seulement dépendent directement du nombre de tonnes-kilomètres; nous obtiendrons alors, pour la traction électrique, deux valeurs qui déterminent notre courbe des frais : 15 500 000 fr. correspondant au degré d'activité 0 et 22 594 000 fr. correspondant au degré d'activité 9.2 (c'est-à-dire 9.2 milliards de tonnes-kilomètres brutes). De même, pour la traction à

vapeur, nous trouverons 21 millions et 28 983 000 fr.

Il convient de mentionner encore, en ce qui concerne la traction électrique, les dépenses en courant acheté, diminuées des recettes provenant de la vente d'énergie produite dans les usines du chemin de fer, soit  $b_e = 1\,270\,000$  fr. Nous admettons ici une progression croissant proportionnellement à partir de 0, bien que cela ne soit pas tout à fait exact. Mais l'influence de ces frais est si légère que nous pouvons nous permettre cette petite irrégularité.

Dans le cas de la traction à vapeur, les dépenses pour l'eau d'alimentation et le transport du charbon,  $d_v$ , se montent à 5 350 000 fr. Elles dépendent directement de la quantité de charbon consommée. De son côté, d'après le rapport de la Direction générale, la consommation de combustible est directement proportionnelle au tonnage kilométrique et s'élève, pour 9.2 milliards de tonnes-kilomètres brutes, à 500 000 t.

Pour la traction électrique, il faut encore tenir compte de l'économie de 3 022 000 fr. réalisée sur les intérêts et l'amortissement grâce à la subvention fédérale de 60 millions.

Nous sommes maintenant en mesure de tracer (fig. 1) les *courbes des dépenses totales*  $E$  (traction électrique) et  $D$  (traction à vapeur). On remarquera immédiatement la grande différence entre le caractère de ces deux courbes. En ce qui concerne la traction à vapeur, en admettant un degré d'activité 9 et un prix de charbon de 57 fr. 50 la tonne, les éléments de dépense indépendants du degré d'activité, représentés par une droite parallèle à l'axe des abscisses, constituent 38 % de l'ensemble des frais de traction et, par conséquent, la proportion des éléments croissants est de 62 %. Avec la traction électrique, la proportion des charges fixes, indépendantes du degré d'activité, s'élève à 88 % et l'emporte donc de loin sur les frais variables. Nous ferons remarquer que le graphique des dépenses

ne se présenterait pas dans la réalité sous forme d'une ligne droite continue comme celle que nous avons été forcé de tracer, faute de données numériques plus précises: il se produira des rebroussements, des progressions et des pointes. Mais on peut admettre que l'allure des deux courbes de dépenses pour la traction à vapeur et la traction électrique est, en somme, figurée assez exactement. La ligne  $E$ , à faible inclinaison, accuse le caractère permanent des frais de traction électrique, tandis que la ligne  $D$ , qui monte plus ou moins rapidement suivant le prix du charbon, mais dans tous les cas beaucoup plus rapidement que la ligne  $E$ , montre bien le caractère croissant des mêmes dépenses pour la traction à vapeur. Pour un faible degré d'activité, la traction électrique coûte cher et atteint même le double de la traction à vapeur, mais à mesure que le trafic augmente, elle devient de moins en moins onéreuse. C'est ce que mettent clairement en évidence les courbes des frais de traction par tonne-kilomètre brute (fig. 2). Les frais unitaires de la traction à vapeur diminuent également, mais beaucoup moins rapidement, à mesure que le trafic augmente. Dans la figure 3, nous avons représenté, à une échelle plus lisible, les frais unitaires dans l'intervalle particulièrement intéressant situé entre les degrés d'activité 7 et 14. Ce diagramme nous montre d'une façon frappante, mieux sans doute que ne peuvent le faire tous les tableaux numériques, que par suite de l'adoption de la traction électrique, le rendement financier des Chemins de fer fédéraux suisses est devenu, dans une bien plus grande mesure qu'autrefois, dépendant du degré d'activité, en d'autres termes, du trafic.

Le rapport de la Direction générale souligne à plusieurs reprises la propriété de la traction électrique que nous venons de mettre en relief dans les considérations qui précèdent, à savoir la forte diminution des frais unitaires

quand le degré d'activité s'élève, et en fait une arme contre les adversaires de l'électrification accélérée qui, sans se rendre suffisamment compte du caractè-

rière des frais d'électrification, n'envisagent que la grosse dépense d'établissement et ne remarquent pas la modification du caractère des dépenses.

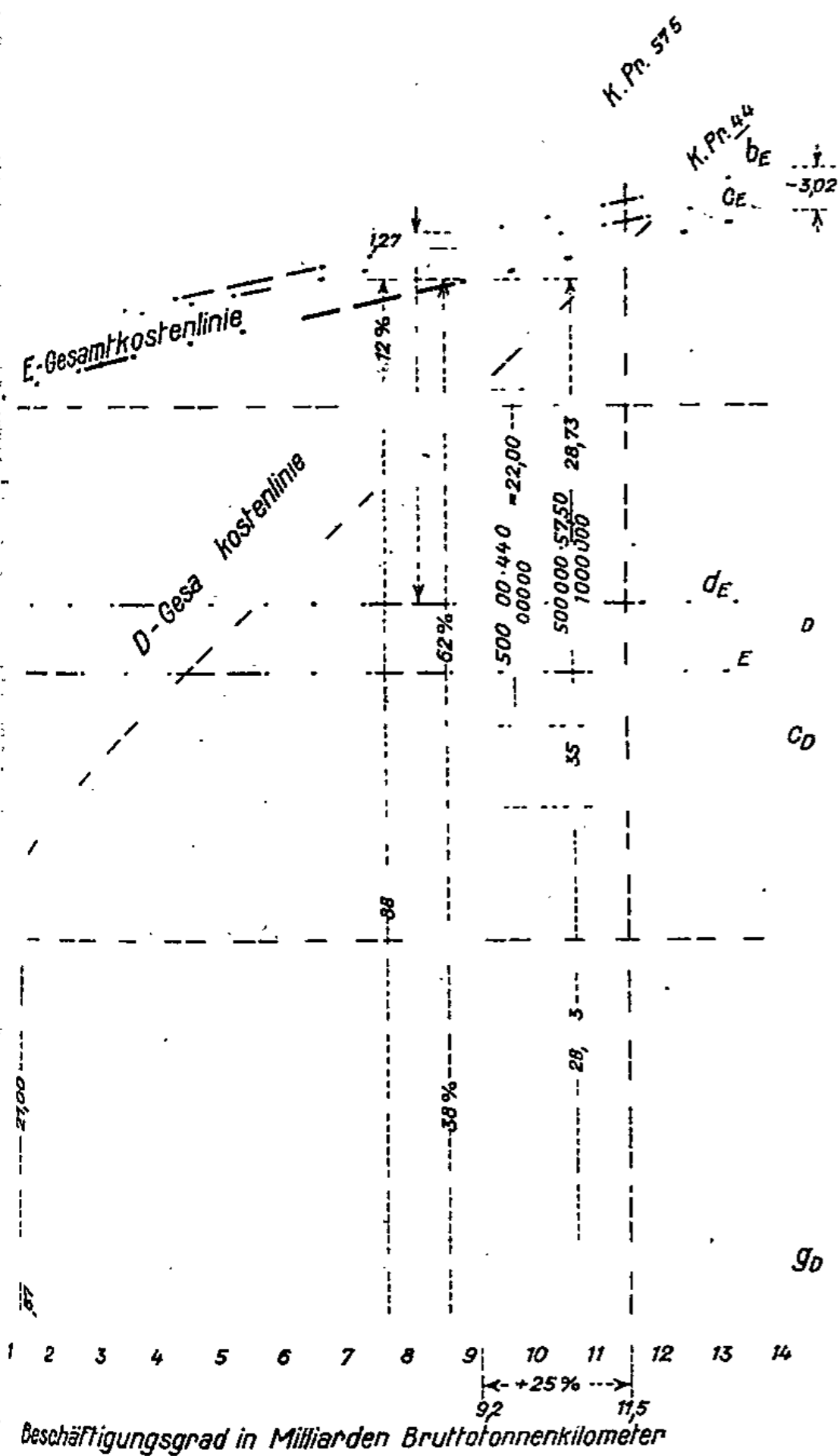


Fig. 1.

On pourrait objecter, il est vrai, qu'il n'est pas dans le pouvoir d'une Direction de chemin de fer d'augmenter le trafic à volonté pour atteindre le degré d'activité le plus avantageux pour l'entreprise, puisque, pour des raisons extérieures échappant à toute influence, le trafic est limité à un certain volume. Mais cela

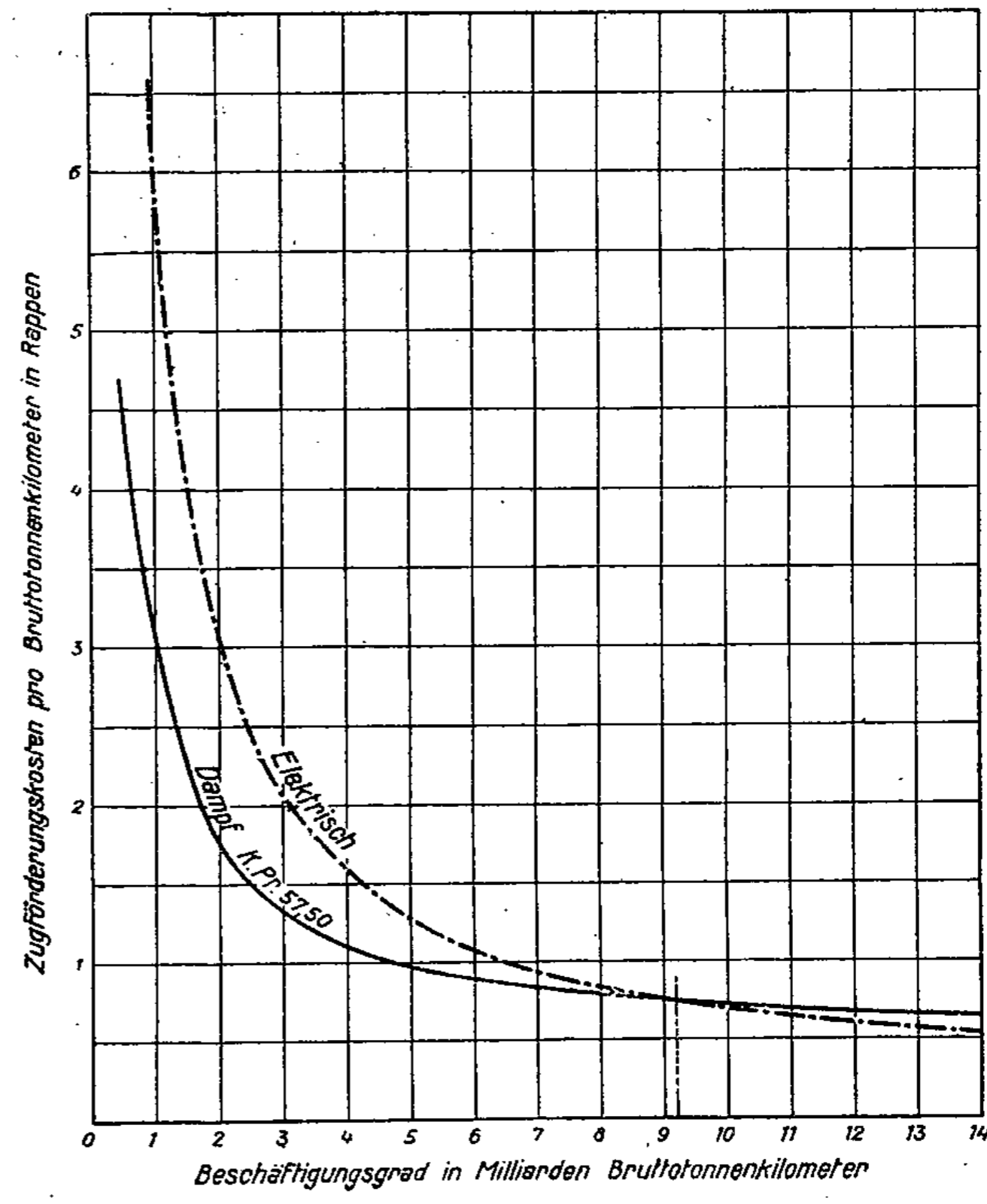


Fig. 2.

Explication des termes allemands des figures 1 et 2 : Beschäftigungsgrad in Milliarden Bruttotonnenkilometer = Degré d'activité en milliards de tonnes-kilomètres brutes. — Dampf = Traction à vapeur. — Elektrisch = Traction électrique. — Gesamtkostenlinie = Courbe des dépenses totales. — Gesamtkosten in Millionen Franken = Dépenses totales en millions de francs. — K. Pr. = Prix du charbon. — Zugförderungskosten pro Bruttotonnenkilometer in Rappen = Frais de traction par tonne-kilomètre brute, en centimes.

n'est que relativement exact, car il existe incontestablement de très grandes réserves de trafic que des tarifs avantageux peuvent amorcer et amener au réseau des Chemins de fer fédéraux. Il ne faut pas oublier, d'autre part, que les transports par automobiles sont devenus pour tous les chemins de fer une concurrence

redoutable avec laquelle un chemin de fer électrifié peut, grâce à la forte diminution de ses frais unitaires pour un degré d'activité croissant, soutenir la lutte bien plus qu'un chemin de fer à vapeur. La base d'une politique des tarifs améliorant le rendement et permettant de réduire les taxes doit être fournie par une analyse très poussée de la composition et du caractère des dépenses et cette analyse devra être faite en prenant pour point de départ les résultats de notre théorie exposée précédemment.

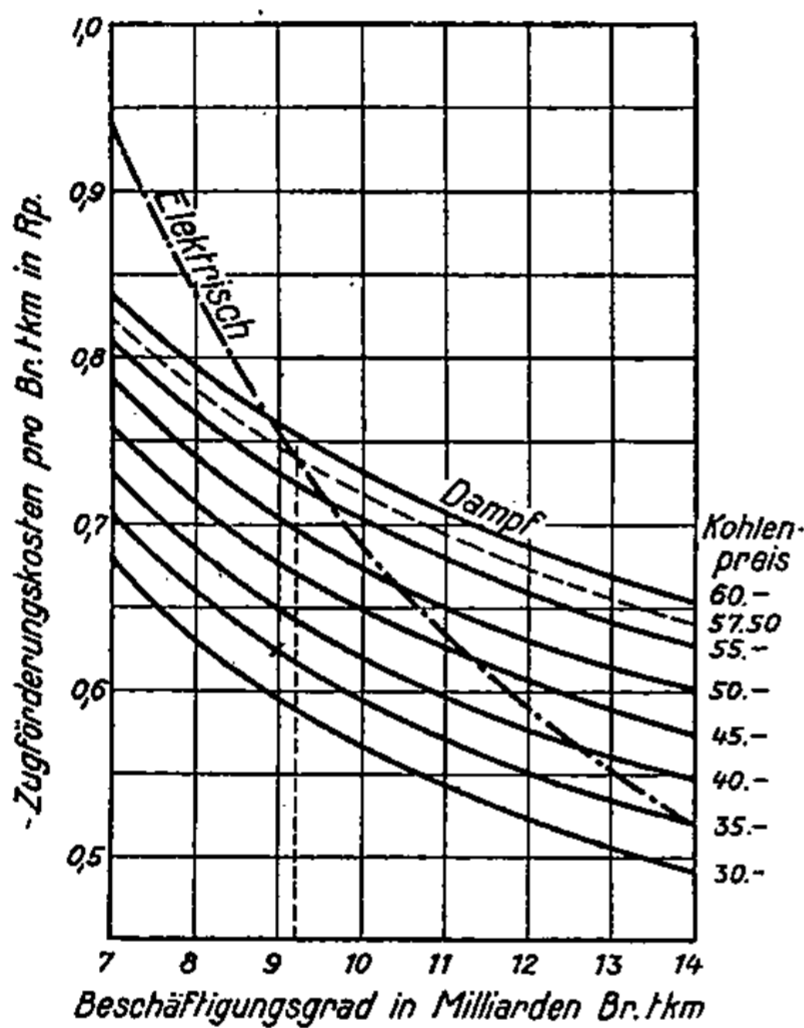


Fig. 3.

Explication du terme allemand :  
Kohlenpreis = Prix du charbon.

Nos graphiques des dépenses (fig. 1, 2 et 3) ne montrent pas seulement pour quel prix du charbon, pour un certain degré d'activité, la traction électrique est plus avantageuse (prix paritaire); ils nous apprennent aussi quel est le degré d'activité qu'il faut atteindre pour obtenir de bons résultats financiers avec une possibilité de recette fixée par des tarifs.

Tandis que la première de ces deux considérations, qui se résume dans la détermination du prix paritaire du charbon, ne trouve son application que quand il s'agit de décider si la traction à va-

peur ou la traction électrique est plus avantageuse, et n'a plus aujourd'hui qu'une valeur historique, la seconde nous conduit au cœur du problème qui, comme dans toute exploitation industrielle, doit aussi dominer la gestion de nos Chemins de fer fédéraux : amélioration des résultats financiers par l'augmentation de l'activité ou, ce qui est plutôt le cas ici, réduction des tarifs de transport sans porter atteinte au rendement. Puisque les Chemins de fer fédéraux suisses n'ont heureusement besoin de faire aucune politique de dividendes, nous entendons simplement ici par rendement le produit net nécessaire pour le service normal des intérêts et l'amortissement du capital d'établissement, après prélèvement de toutes les autres dépenses. Nous reprendrons plus loin ce problème des dépenses des chemins de fer en y rattachant d'autres considérations. Mais tout d'abord nous allons un peu élargir et approfondir notre base théorique.

## II. — Limites d'application de la courbe des dépenses totales.

Il ne faut jamais perdre de vue que la courbe des dépenses totales est d'une application limitée : c'est ce que l'exemple ci-dessus des frais de traction électrique permet de voir aisément.

Il n'est pas possible, dans ce cas, d'augmenter le trafic à volonté sans renforcer l'effectif des locomotives. Tandis qu'une plus forte consommation de courant ou un plus grand effort demandé au personnel se manifeste immédiatement dans les frais croissants et ne modifie pas en principe la courbe des dépenses totales, le renforcement de l'effectif des locomotives entraîne une augmentation des charges fixes à partir du degré d'activité zéro. Il en résulte une nouvelle courbe des dépenses totales.

Dans nos « Principes de la science des frais industriels », nous avons appelé l'attention sur la différence importante

qui existe entre les frais de *production* et les frais de *préparation*. Ainsi que nous le montrons dans la figure 4, on peut diviser les dépenses totales de production en deux parties : d'un côté, les charges fixes de la préparation (ces frais sont toujours fixes); de l'autre, les charges fixes et les frais croissants de la production proprement dite. Or, une *courbe des dépenses totales n'est valable que tant que les frais de préparation ne se modifient pas*. Par contre, les frais de production peuvent changer de composition et de caractère sans que la courbe des dépenses totales cesse d'être valable.

Supposons maintenant, à titre d'exemple, que dans un chemin de fer à traction électrique les locomotives dont on dispose permettent d'intensifier le trafic jusqu'au degré d'activité 8. Les frais sont représentés par la courbe des dépenses totales *a* et la courbe correspondante des frais unitaires *a'*. Si l'on veut augmenter le trafic au delà du degré d'activité 8 et si l'on n'est pas en mesure d'acquérir de nouvelles locomotives, il ne reste que la ressource d'en louer. Les frais de préparation ne se modifient pas de ce fait, car la location de ces locomotives ne se manifestera que par un relèvement, par gradins, des charges fixes de la production (ou plutôt, dans le cas qui nous occupe, « de l'exploitation ») correspondant au degré d'activité 8. Nous apprenons ainsi à connaître une nouvelle propriété des frais : le *relèvement par gradins des charges fixes*, qui n'est toutefois concevable que pour les frais de production. En outre, il est à prévoir que le caractère des frais croissants se modifiera aussi, puisque, l'exploitation étant supposée établie et conduite harmonieusement, les usines génératrices ne suffisent plus à leur tour et qu'il faut avoir recours à la fourniture de courant coûteux par l'industrie privée. Enfin il y a lieu de compter avec une plus forte augmentation des frais de personnel, de sorte que les dépenses variables s'élèveront plus rapidement à partir de 8. Tout

ceci est représenté graphiquement dans la figure 4; on remarquera le relèvement par gradins de la courbe des dépenses totales au degré d'activité 8 et son ascension ultérieure plus rapide (courbe des dépenses totales *a*, courbe des frais unitaires *a'*).

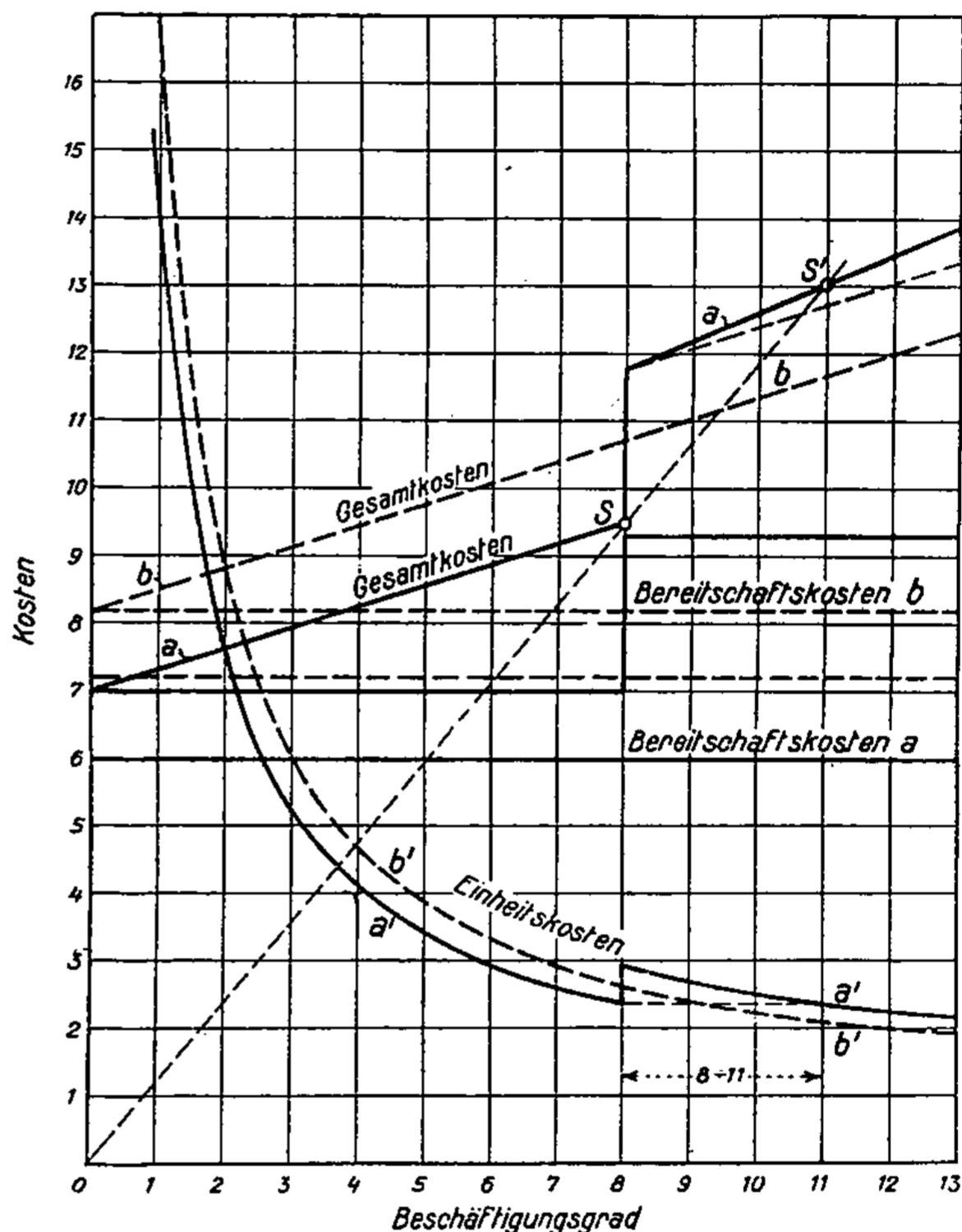


Fig. 4.

Explicitation des termes allemands : Kosten = Dépenses. — Gesamtkosten = Dépenses totales. — Bereitschaftskosten = Frais de préparation. — Einheitskosten = Frais unitaires.

Si, au contraire, le chemin de fer renforce son effectif de locomotives et agrandit ses usines génératrices de manière à faire face à l'augmentation de trafic, en d'autres termes, *s'il investit de nouveaux capitaux, les frais de préparation augmentent* et nous obtenons une nouvelle courbe des dépenses totales *b* qui se place pour commencer au-dessus de la courbe *a* mais ne présente aucun ressaut ni aucun changement d'inclinaison.

son, et qui, passé le degré d'activité critique 8, est de nouveau située plus bas, c'est-à-dire devient plus avantageuse. Par la courbe correspondante  $b'$  des frais unitaires, on voit encore plus nettement que si le renforcement des moyens d'action appartenant au chemin de fer, par voie d'un nouvel investissement, entraîne une augmentation des frais unitaires pour un faible degré d'activité, il donne lieu à une réduction des frais unitaires et est, par conséquent, économique, lorsque l'activité augmente. On peut exprimer le même fait en disant que la courbe des dépenses totales  $a$  correspond à une exploitation harmonieusement organisée jusqu'au degré d'activité 8 et la courbe des dépenses totales  $b$  à une exploitation qui satisfait à tous les besoins et est économique même au delà de 8.

Il n'est peut-être pas inutile de faire remarquer qu'un relèvement du degré d'activité qui a pour effet une augmentation progressive des dépenses totales ne tend à diminuer les frais que s'il est important. Dans notre exemple, figure 4, les frais unitaires ne descendent qu'à partir de 11 au-dessous de ceux correspondant à 8. Dans la représentation graphique des dépenses totales on trouve ce degré d'activité qui doit être atteint pour amener une nouvelle réduction des frais unitaires en traçant une droite partant de l'origine zéro et passant par le point  $S$  des dépenses totales où commence le ressaut. La droite  $oS$  coupe alors de nouveau la courbe des dépenses totales  $a$  au point  $S'$ ; à partir d'ici, les frais unitaires redeviennent plus petits.

Cette discussion purement théorique nous a fait sortir un peu du cadre de notre étude. C'est que, plus on s'occupe de la *dynamique* des frais de production, plus le besoin devient impérieux d'arriver à un éclaircissement des bases théoriques qui est encore bien loin d'être réalisé dans une mesure suffisante. Mais on constate avec plaisir que les recherches individuelles sur ce terrain de la

science des frais se multiplient <sup>(1)</sup> et par suite aussi les possibilités d'approfondir et de compléter la théorie. De ces travaux scientifiques l'industrie retirera d'abondants bénéfices; elle a toutes les raisons de prêter la main aux recherches de ce genre et de les faciliter.

### III. — Bases théoriques de la tarification.

La valeur du transport d'un lieu à un autre constitue la limite supérieure et le prix de revient la limite inférieure que les tarifs ne doivent pas franchir. C'est ainsi ou d'une façon analogue que la plupart de ceux qui s'occupent des tarifs de chemins de fer ont énoncé les bases de la tarification. Par là ils ont posé un principe directement applicable dans son esprit au problème général des prix industriels et qui revient à dire qu'on *ne peut pas, à la longue, vendre un produit au-dessous de son prix de revient*. La loi du 30 août 1924 sur la compagnie des chemins de fer de l'Empire allemand s'exprime comme suit, dans son § 2, sur la même question : « La Compagnie est tenue de conduire son exploitation *sur des principes commerciaux*, tout en sauvegardant les intérêts de la collectivité allemande. »

On est obligé de reconnaître la justesse de cette idée directrice pour toute entreprise de transports par voie ferrée qui ne sert pas à des usages exclusivement privés et d'admettre en même temps la nécessité d'un calcul exact du prix de revient. Une foule d'écrits nous montrent combien le problème du prix de revient préoccupe les spécialistes des chemins de fer, sans qu'il puisse, à l'heure actuelle, être considéré comme complètement résolu. Notre modeste contribution, nous l'avons déjà mentionné au commencement de cette note, n'a pas d'autre but

(1) Voir dans *Technik und Wirtschaft*, 3<sup>e</sup> fasc., 1925, l'article de l'ingénieur diplômé Hubert Drausfeld : *Aus der Dynamik der Preise* (Note sur la dynamique des prix).

que de vérifier sur ce cas spécial les résultats de la science générale des frais et de signaler certaines propriétés du prix de revient des chemins de fer qui nous paraissent particulièrement intéressantes. Peut-être réussirons-nous à provoquer de nouvelles études et à gagner de nouvelles sympathies à cette doctrine générale employant des méthodes scientifiques.

Jusqu'à présent nous n'avons eu à nous occuper que d'une partie relativement petite des dépenses totales, les frais de traction. Or il est évident que si l'on veut réellement approfondir le problème du prix de revient des chemins de fer, il faut considérer l'ensemble des dépenses.

La première question qui se pose alors est celle-ci : A combien nous revient une tonne-kilomètre de marchandises, à combien un voyageur-kilomètre? Voilà les deux *coefficients de dépenses*, et une des principales tâches, dans l'établissement des prix de revient des chemins de fer, consiste à compiler tous les frais et à les répartir entre ces deux groupes. Or, les prix de revient des chemins de fer ont une propriété très importante: ils ne consistent qu'en frais communs; autrement dit, parmi tous les éléments des dépenses totales, on n'en trouve pas un seul dont on sache au moment de sa naissance à quel groupe de dépenses il appartient. Une erreur commise dans la répartition des frais communs se venge ici au plus haut degré attendu que ces frais représentent 100 % des dépenses totales, tandis que dans beaucoup d'industries les dépenses telles que le coût des matériaux de construction, les salaires de fabrication, qui peuvent être déterminées et réparties avec certitude forment la grande majorité, de sorte que les chances d'erreurs deviennent plus petites.

Il faudra donc que l'on étudie très attentivement la composition et le caractère des dépenses d'un chemin de fer, en constatant par anticipation que le montant des différents frais individuels

dépend de facteurs qui ne sont plus guère discernables dans la tonne-kilomètre de marchandises ou le voyageur-kilomètre. Lorsqu'il s'agit de construction de machines, par exemple, on peut librement supposer exacte, une certaine dépendance des frais communs vis-à-vis de la somme des salaires par laquelle on exprime souvent le degré d'activité et l'on retrouve ce facteur dans le coefficient des dépenses sous forme de salaires directs, de sorte que la répartition des frais communs sur cette base est relativement facile.

La formule servant à calculer les frais unitaires, formule qui s'applique bien aux constructions mécaniques et dans beaucoup d'autres industries, est, sous sa forme la plus simple, la suivante :

*Matériaux de construction + salaires directs + majoration pour frais généraux en pour cent des salaires directs = prix de revient.*

Pour un service de chemins de fer, où les salaires directs et la dépense directement déterminable en matériaux font défaut, la formule du calcul est encore plus simple :

*Part du groupe de tarifs aux dépenses totales (ou communes) divisée par les unités tarifaires = prix de revient.*

Les dépenses totales et le nombre d'unités tarifaires sont fonction du degré d'activité; leur détermination par avance repose sur des estimations qui ont pour bases des relevés statistiques et des considérations théoriques sur les frais et renferment nécessairement une certaine part d'incertitude. La difficulté du problème des prix de revient d'un chemin de fer réside avant tout dans la bonne compréhension de la dépendance entre les dépenses totales et le degré d'activité.

Avant d'aller plus loin, il sera utile d'examiner rapidement la composition des *dépenses totales d'une exploitation de chemins de fer*. Outre les *frais d'exploitation* proprement dits, que les dis-

positions de la « loi fédérale sur la comptabilité des chemins de fer suisses » divisent comme suit :

1. Administration générale;
2. Entretien et surveillance de la voie;
3. Service des gares et des trains;
4. Service de la traction et ateliers de dépôts;
5. Dépenses diverses,

les dépenses totales comprennent nécessairement aussi les *charges de capital* que nous extrayons du compte de profits et pertes et qui peuvent être énoncées comme suit :

6. Intérêts des emprunts fermes et des

dettes flottantes, sous déduction du montant du capital non utilisé et sous déduction des recettes provenant de services accessoires ne se rattachant pas directement à l'exploitation du chemin de fer;

7. Rachats, amortissements, excédent des versements au fonds de renouvellements sur les prélèvements.

Dans le tableau I ci-après nous avons consigné, à titre d'exemple, ces éléments de dépenses puisés dans les rapports du Chemin de fer Rhétique pour les exercices 1921 à 1923. A noter qu'il ne figure pas d'intérêts du capital-actions dans ces différents chapitres.

TABLEAU I.

**Dépenses totales du Chemin de fer Rhétique dans les années 1921 à 1923.**

DÉSIGNATION.	1921		1922		1923	
	Francs.	%	Francs.	%	Francs.	%
Administration générale . . . . .	280 000	2.5	282 823	2.4	278 337	2.4
Entretien et surveillance. . . . .	1 551 817	13.6	1 513 513	12.6	1 321 908	11.4
Service des gares et des trains . . .	1 728 947	15.2	1 765 618	14.8	1 657 153	14.2
Service de la traction et ateliers de dépôts . . . . .	3 361 646	29.6	3 140 934	26.4	2 880 558	24.8
Dépenses diverses . . . . .	627 145	5.5	706 444	5.9	648 929	5.6
Intérêts des emprunts fermes . . .	3 006 761	26.5	3 667 199	30.7	3 930 761	33.7
Rachats et amortissements . . . . .	811 033	7.1	860 669	7.2	920 000	7.9
<b>Dépenses totales . . . . .</b>	<b>11 367 571</b>	<b>100.0</b>	<b>11 937 200</b>	<b>100.0</b>	<b>11 637 646</b>	<b>100.0</b>
Rapport des dépenses totales . . .	1.00	...	1.05	..	1.02	...
Tonnes-kilomètres fournies . . . . .	132 672 000	...	158 617 399	...	178 363 483	...
Trains-kilomètres fournis . . . . .	1 107 488	...	1 309 562	...	1 446 745	...
Recettes d'exploitation . . . . .	10 124 894	...	9 470 428	...	10 390 544	...

Le chapitre « Rachats et amortissements » n'a pas pu être reproduit tel qu'il existe dans le compte de profits et pertes parce que les conséquences du passage de la traction à vapeur à la traction

électrique et de la crise s'y font encore sentir très nettement par des chiffres qui se modifient par sauts brusques et qui ne dépendent pas des diminutions effectives de valeur. Il serait d'ailleurs trop



long de motiver ici en détail nos hypothèses qui se rapprochent autant que possible de la réalité.

Ce tableau et le diagramme figure 5,

montrent tout d'abord que les dépenses totales sont remarquablement constantes dans les trois exercices en question, tandis que le trafic, en tonnes-kilomètres

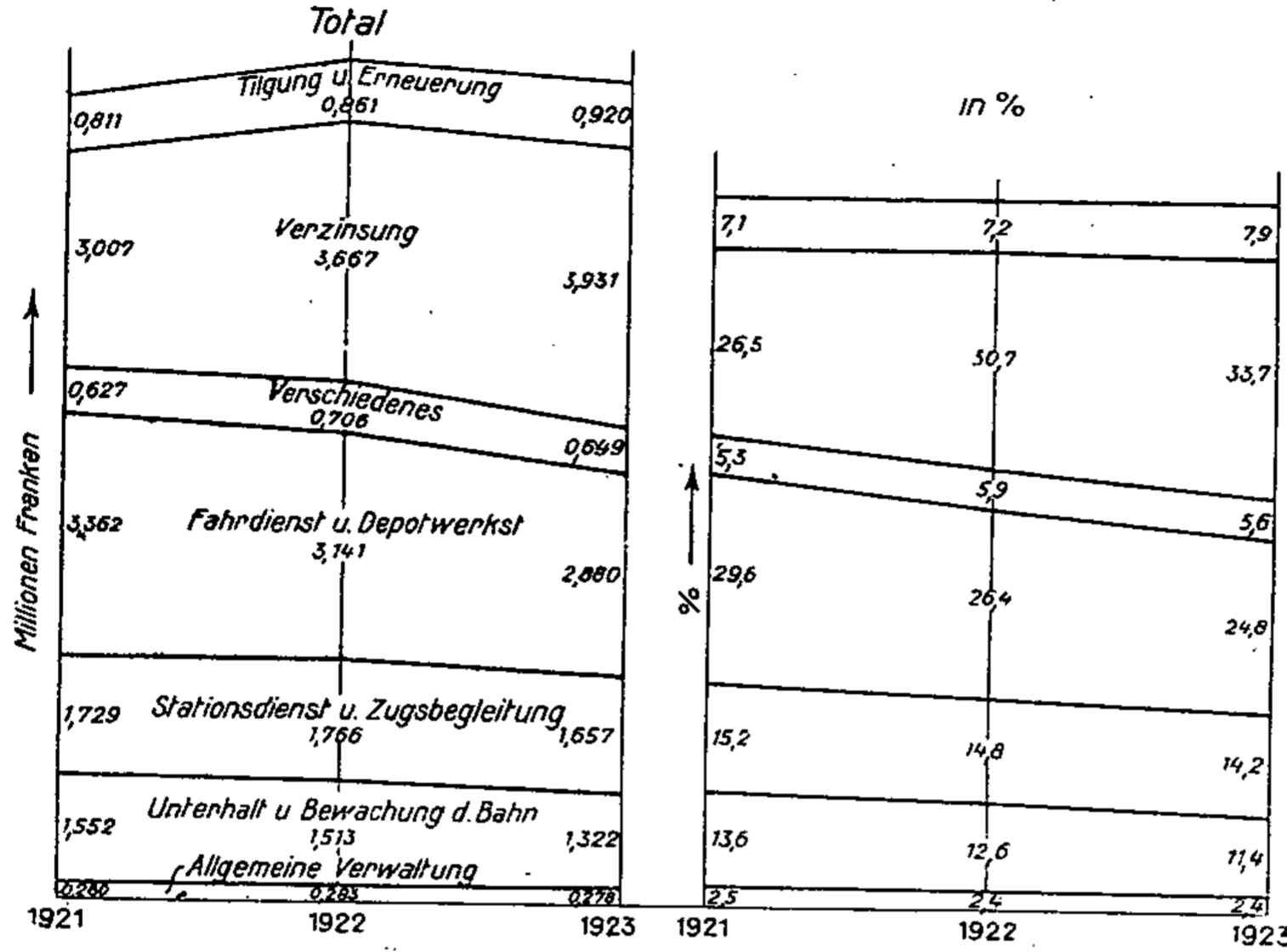


Fig. 5. — Représentation graphique des dépenses d'après le tableau I.

Explication des termes allemands : Allgemeine Verwaltung = Administration générale. — Fahrdienst u. Depotwerkst. = Service de la traction et ateliers de dépôts. — Stationsdienst u. Zugsbegleitung = Service des gares et des trains. — Tilgung u. Erneuerung = Rachats et amortissements. — Unterhalt u. Bewachung d. Bahn = Entretien et surveillance de la voie. — Verzinsung = Intérêts. — Verschiedenes = Divers.

et en trains-kilomètres, a subi de plus fortes variations. On voit en outre qu'en pour cent la composition des dépenses totales ne s'est pas modifiée excessivement non plus. Cependant nous remarquons un certain chassé-croisé : les frais de traction et de dépôts diminuent, les dépenses en intérêts augmentent d'année en année. Ces différences révèlent, comme conséquence de l'électrification progressive, une réduction des frais d'exploitation et, d'autre part, de plus fortes charges de capital dues aux installations électriques. Si, grâce à un investissement considérable, on réalise des économies d'exploitation et que, par contre, on néglige l'augmentation des

dépenses pour intérêts et renouvellement du capital, on obtient un résultat inexact, beaucoup trop favorable.

Ce serait donc une erreur de procéder à des recherches théoriques sur les dépenses en prenant pour unique base les frais d'exploitation; de même, la comparaison habituelle des coefficients d'exploitation n'a pas beaucoup de valeur, mais peut, au contraire, aboutir à des conclusions très fausses. Ainsi, par exemple, en utilisant les chiffres du tableau I, on trouve le rapport ci-après des dépenses totales aux recettes d'exploitation, avec les coefficients d'exploitation :

	1921	1922	1923
Dépenses totales, en pour cent, des recettes d'exploitation. . . . .	112.27	126.05	112.00
Frais d'exploitation, en pour cent, des recettes d'exploitation = coefficient d'exploitation. . . . .	74.56	78.24	65.32

Le rapport des Chemins de fer fédéraux suisses pour l'exercice 1924 a d'ailleurs signalé indirectement ce défaut inhérent au coefficient d'exploitation. En 1924, le coefficient d'exploitation de ce réseau s'est sensiblement rapproché de celui de 1913. Il a été de 67.25 %, contre 66.94 % en 1913. Mais, d'autre part, la charge des intérêts a augmenté de 47 700 000 fr., de sorte que le rapport réel entre les dépenses et les recettes est encore loin d'avoir atteint en 1924 le niveau favorable de 1913.

L'uniformité frappante des dépenses totales du Chemin de fer Rhétique dans trois exercices consécutifs ne peut cependant pas être invoquée comme un argument probant en faveur de la dépense évidemment très faible des dépenses totales vis-à-vis du degré d'activité. Il pourrait se faire que d'autres facteurs, comme par exemple de grands changements dans les salaires ou les prix des matériaux, eussent opéré la remarquable compensation et faussé le résultat. Il faudrait donc, pour faire la preuve exacte, ramener toutes les dépenses des trois années considérées à une base commune. Mais nous pouvons aussi procéder autrement pour nous rendre compte du caractère de ces dépenses totales. Un premier coup d'œil sur les dépenses consignées d'une manière très détaillée dans les rapports du Chemin de fer Rhétique nous permet de faire les constatations générales suivantes :

I. Les dépenses de l'*Administration générale* sont fixes, c'est-à-dire indépendantes du degré d'activité.

II. Les frais *d'entretien et de surveillance de la voie* sont également fixes en grande partie, mais peuvent augmenter légèrement quand le trafic devient plus intense.

III. Les dépenses pour le *service des gares* sont à peu près fixes, celles afférentes au *service des trains* varient dans une certaine mesure avec le trafic.

IV. Les éléments de dépenses qui augmentent le plus avec le trafic se trouvent dans le *service de la traction* et, à un degré moindre, dans les *ateliers de dépôts*.

V, VI, VII. Les chapitres *Dépenses diverses, Intérêts* et *Amortissement* ne contiennent en majeure partie que des éléments fixes; il est cependant à noter que ces chiffres ne sont pas empruntés directement aux comptes, mais que nous les avons obtenus en partie par voie estimative.

Pour faciliter l'intelligence de ce qui précède, nous allons essayer d'appuyer ces considérations de données numériques, en prenant pour point de départ l'exercice 1922 dont nous estimons le caractère des frais comme l'indique le tableau II.

Bien que cette division en dépenses fixes et dépenses croissantes ne repose pas sur une analyse détaillée des frais, analyse que pourrait seul faire un fonctionnaire du chemin de fer, mais sur une simple estimation, le raisonnement est néanmoins suffisamment exact pour permettre d'affirmer que dans l'exploitation du Chemin de fer Rhétique les dépenses fixes représentent au moins 90 % des dépenses totales; et ceci vient à l'appui de notre hypothèse que, *dans une exploitation de chemin de fer, les dépenses totales sont en majeure partie indépendantes du degré d'activité*, constatation très importante pour la politique des tarifs.

Nous allons maintenant représenter ce résultat sous forme graphique et indiquer en même temps aussi les frais unitaires correspondant à différents degrés d'activité (fig. 6). Comme mesure de l'activité, nous avons choisi pour le moment la « tonne-kilomètre taxée », unité qui exprime le rendement avec une exactitude suffisante. Les éléments des dépenses totales qui dépendent du degré d'activité sont représentés en progression proportionnelle; c'est également une hypothèse qu'il y aurait lieu de préciser

TABLEAU II.

**Dépenses totales du Chemin de fer Rhétique en 1922.**

DÉSIGNATION.	Total.	Frais indépendants du degré d'activité.	Frais dépendant du degré d'activité.
	Francs.	Francs.	Francs.
<b>I. Administration générale</b> . . . . .	282 823	282 823	...
<b>II. Entretien et surveillance de la voie :</b>			
A. <i>Frais de personnel, y compris la surveillance</i> . . . . .	771 267	771 267	...
B. <i>Frais accessoires</i> . . . . .	55 965	55 965	...
C. <i>Entretien :</i>			
1. Infrastructure . . . . .	211 780	211 780	...
2. Superstructure . . . . .	223 217	200 000	23 217
3. Ouvrages d'art et installations mécaniques . . . . .	66 472	66 472	...
4. Télégraphes et signaux . . . . .	49 932	49 932	...
5. Enlèvement des neiges et glaces . . . . .	134 880	134 880	...
<b>III. Service des gares et des trains :</b>			
A. <i>Frais de personnel :</i>			
1. Service du mouvement . . . . .	62 525	50 000	12 525
2. Personnel des gares . . . . .	1 223 388	1 200 000	23 388
3. Personnel des trains . . . . .	369 952	300 000	69 952
B. <i>Frais accessoires</i> . . . . .	109 753	100 000	9 753
<b>IV. Service de la traction et ateliers de dépôts :</b>			
A. <i>Frais de personnel :</i>			
1. Personnel supérieur du service de la traction . . . . .	60 838	60 838	...
2. Personnel roulant . . . . .	847 027	800 000	47 027
3. Equipement et nettoyage . . . . .	203 102	160 000	43 102
B. <i>Frais accessoires</i> . . . . .	75 209	75 209	...
C. <i>Consommation de matières et d'énergie :</i>			
1. Combustible . . . . .	96 116	60 000	36 116
2. Énergie électrique . . . . .	843 159	500 000	343 159
3. Graissage et éclairage . . . . .	41 709	30 000	11 709
D. <i>Entretien et renouvellement des installations mécaniques et électriques</i> . . . . .	59 060	59 060	...
E. <i>Entretien et renouvellement du matériel roulant :</i>			
1. Locomotives à vapeur . . . . .	57 505	40 000	17 505
2. Locomotives électriques . . . . .	388 939	300 000	88 939
3. Voitures à voyageurs . . . . .	238 305	180 000	58 305
4. Fourgons à bagages et wagons à marchandises . . . . .	225 542	180 000	45 542
5. Véhicules de service intérieur . . . . .	4 423	4 423	...
<b>V. Dépenses diverses :</b>			
A. <i>Fermages et loyers</i> . . . . .	14 084	14 084	...
B. <i>Autres dépenses</i> . . . . .	692 360	692 360	...
Dépenses totales d'exploitation . . . . .	7 409 332	6 579 093	830 239
Rapport . . . . . %.	100	89	11
<b>VI et VII. Intérêts et amortissement</b> . . . . .	4 527 868	4 527 868	...
Total des frais . . . . .	11 937 200	11 106 961	830 239
Rapport . . . . . %.	100	93	7

encore par une analyse détaillée des frais.

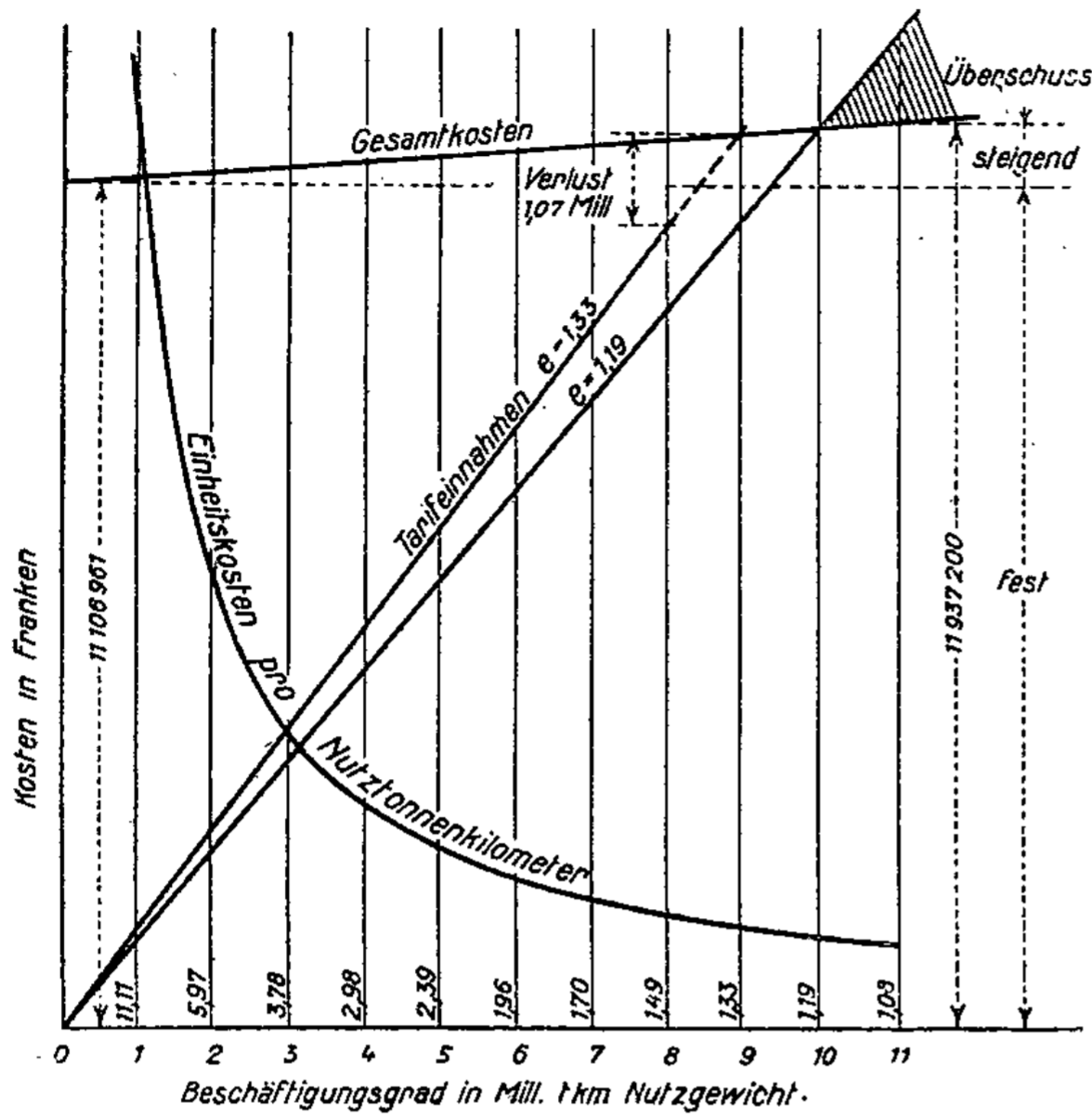


Fig. 6. — Représentation graphique des dépenses du Chemin de fer Rhétique en 1922, d'après le tableau II.

*Explication des termes allemands :* Beschäftigungsgrad in Mill. t.-km. Nutzgewicht = Degré d'activité en millions de tonnes-kilomètres utiles. — Einheitskosten pro Nutztonnenkilometer = Frais unitaires par tonne-kilomètre utile. — Fest = Fixe. — Kosten in Franken = Dépenses en francs. — Steigend = Croissant. — Tarifeinnahmen = Recettes tarifaires. — Ueberschuss = Excédent. — Verlust = Déficit.

L'allure hyperbolique de la courbe des frais unitaires montre avec netteté dans quelle mesure importante ces frais dépendent du degré d'activité et indique la possibilité d'améliorer ce dernier par l'abaissement des tarifs et de couvrir ainsi les dépenses totales plutôt qu'avec des tarifs élevés et un faible trafic. A l'appui de cette thèse, prenons un exemple : Les tarifs correspondent au degré d'activité 9 et par conséquent, ce degré étant atteint, suffiraient tout juste pour faire face aux dépenses totales. Mais par suite de l'élévation excessive des tarifs, le trafic se ralentit et l'on n'atteint qu'un degré d'activité 8. La perte est alors, en nombre rond, de 1 070 000 fr. En réduisant

les tarifs d'environ 10 %, on réussit à améliorer sensiblement le degré d'activité; quand le degré 9 est atteint, la perte est encore la même qu'auparavant pour le degré 8. Mais comme, grâce au meilleur marché des transports, le trafic continue à augmenter, on atteint aussi le degré 10, de sorte que les deux objets du tarif : récupération du prix de revient et sauvegarde des intérêts de la collectivité, se trouvent réalisés. L'allure de la courbe montre d'autre part combien un déficit est à craindre avec un mauvais degré d'activité.

Si, maintenant, on réfléchit qu'un nombre déterminé de tonnes-kilomètres taxées peut se composer d'une infinité de variations de kilomètres de voyageurs, kilomètres de bagages et tonnes-kilomètres de marchandises et si l'on considère en outre que l'importance des éléments de frais qui sont fonction du degré d'activité dépend de plusieurs facteurs tout à fait différents entre eux : trains-kilomètres, locomotives-kilomètres, essieux-kilomètres, tonnes-kilomètres brutes, etc., etc., on se rend compte de la grande difficulté de trouver un étalon commun servant à mesurer le trafic et déterminant en même temps le montant des dépenses totales. Nous nous trouvons ici devant le problème essentiel de la théorie des dépenses d'un chemin de fer, dont la solution devient peut-être plus aisée par la constatation qu'une seule donnée, toute naturelle d'ailleurs, suffit pour éliminer la plupart de ces inconnues : nous voulons parler de l'horaire.

Etabli à l'avance pour chaque année, l'horaire permet de connaître, tout au moins pour un temps d'activité normale, les kilomètres de locomotives, de trains et de transports taxés, ainsi que le nombre d'essieux-kilomètres, donné par la composition habituelle des trains. Le poids mort correspondant, en tonnes-kilomètres, est alors déterminé aussi, une fois pour toutes, tandis que le poids utile peut monter depuis 0 jusqu'à une

valeur maximum possible  $a$ . On pourra assurer le trafic croissant au delà de  $a$  sans augmenter le nombre de trains et leur parcours kilométrique, en modifiant simplement la composition des trains, c'est-à-dire en augmentant le nombre

d'essieux par train et, par là, le nombre d'essieux-kilomètres; soit  $b$ , en tonnes-kilomètres, la limite. Une nouvelle augmentation du trafic, de  $b$  à  $c$  tonnes-kilomètres, nécessite alors un plus grand nombre de trains.

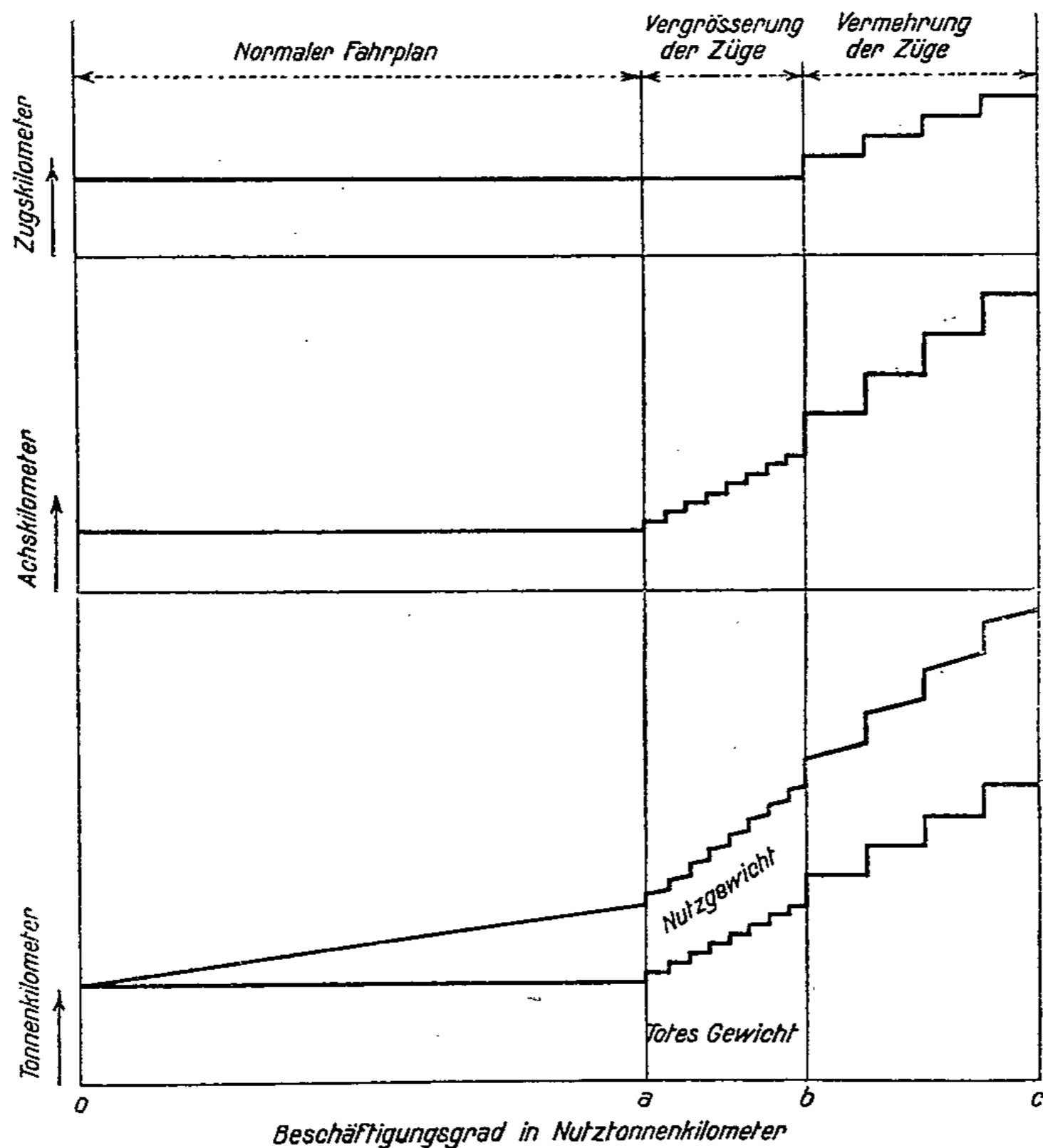


Fig. 7.

Explication des termes allemands : Achskilometer = Essieux-kilomètres. — Normaler Fahrplan = Horaire normal. — Nutzgewicht = Poids utile. — Totes Gewicht = Poids mort. — Vergrößerung der Züge = Allongement des trains. — Vermehrung der Züge = Augmentation du nombre des trains. — Zugkilometer = Trains-kilomètres.

Nous avons essayé de représenter graphiquement ces considérations sous une forme toute schématique dans la figure 7, et nous y voyons ceci : Les trains-kilomètres restent les mêmes jusqu'en  $b$  et progressent ensuite par gradins; les essieux-kilomètres restent les mêmes de 0 à  $a$  et progressent ensuite par gradins; le poids mort (en tonnes-kilomètres) est constant jusqu'à  $a$  et augmente ensuite

par sauts successifs avec les essieux-kilomètres. Le poids total ou poids brut, qui est la somme du poids mort et du poids utile, sert à mesurer le degré d'activité  $a$ ,  $b$  et  $c$ .

Il convient de remarquer que les tonnes-kilomètres de poids utile servant à mesurer l'activité ne sont pas identiques, mais inférieures aux tonnes-kilomètres utiles théoriquement possibles, que

L'on obtiendrait en multipliant la capacité par essieu par les essieux-kilomètres. En effet, toute notre étude a pour objet la prédétermination du prix de revient, en vue de fixer les taxes tarifaires, et ne doit donc pas envisager des tonnages transportés aussi grands que possible, mais ceux qu'il y a lieu de prévoir. Dès lors, on ne peut pas songer à l'utilisation complète de la capacité de transport sur l'ensemble des trains-kilomètres prévus par l'horaire.

Le tracé des graphiques représentant les trains-kilomètres, les essieux-kilomètres et les tonnes-kilomètres indique que les dépenses variables que nous avons encore supposées proportionnelles dans la figure 6, auront selon toutes les prévisions un caractère progressif. Dans les limites de l'horaire normal, de 0 à  $a$ , les dépenses ne croîtront presque pas, c'est-à-dire ne croîtront que sous l'influence du poids utile croissant; c'est dans l'échelon  $a-b$  qui, d'ailleurs sera beaucoup plus petit par rapport à  $0-a$  que nous ne l'avons tracé dans notre schéma, que commence la progression, qui se continue au delà de  $b$ . D'une manière générale, l'influence des éléments de frais variables sur les dépenses totales n'est pas très grande, puisqu'ils ne constituent qu'un faible pourcentage. *Sur les chemins de fer électriques ayant leurs propres usines génératrices, la dépense en courant prend aussi un caractère presque fixe, de sorte que ces entreprises sont extrêmement sensibles aux fluctuations du trafic.*

La division absolument indispensable des dépenses totales en frais de transport des voyageurs d'une part, des marchandises de l'autre, ne peut pas être effectuée par la seule analyse exacte de la composition des frais. Pour un grand nombre d'éléments de dépense, on peut, il est vrai, déterminer d'une façon incontestable dans quelle catégorie il faut les ranger; d'autres, au contraire, tels que, par exemple, les dépenses d'administration générale et diverses, doivent être

réparties arbitrairement, tandis que la part pour laquelle la construction du chemin de fer entre dans les dépenses d'établissement, ainsi que les frais d'entretien et de surveillance de la voie, pourraient être séparés assez légitimement dans le rapport des essieux-kilomètres de marchandises aux essieux-kilomètres de voyageurs. Ici d'autres raisons, peut-être d'ordre économique, feront pencher la balance en faveur de l'un ou de l'autre groupe. Il va sans dire que l'on ne devra pas conclure de cette constatation à un défaut de la méthode, car la théorie des dépenses ne doit jamais être regardée que comme un adjuvant pour les considérations économiques.

Une fois la répartition des frais entre le trafic-voyageurs et le trafic-marchandises opérée, il n'est évidemment plus guère possible d'adopter pour le trafic-voyageurs le nombre de tonnes-kilomètres utiles comme mesure du degré d'activité; il faudra les remplacer par des voyageurs-kilomètres, auxquels toutefois le poids utile nécessaire pour la détermination des dépenses totales sera proportionnel.

Le montant des recettes tarifaires probables s'obtient pour un degré d'activité déterminé par voie d'estimation à l'aide de relevés statistiques concernant la proportion des voyageurs de 1<sup>re</sup>, 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> classe et la longueur de leur parcours ou bien, d'une façon analogue, celle des différentes classes de marchandises. Ici le théoricien cédera la place au statisticien.

Les tarifs ne sont nécessairement pas établis pour une période d'horaire, mais pour un temps aussi long que possible. Pendant leur durée d'application, des changements radicaux peuvent survenir, non seulement dans les horaires, mais surtout aussi dans les éléments constitutifs des dépenses.

Malgré l'impossibilité de modifier les principaux articles du tarif, on devra

recalculer les dépenses totales pour chaque nouvel horaire par voie analytique, en s'appuyant sur les résultats de la statistique, et procéder à l'évaluation des recettes tarifaires probables, afin de disposer des moyens d'information nécessaires pour éviter dans la mesure du possible, par des tarifs d'exception, les pertes à craindre; de cette façon aussi on sera mieux à même de satisfaire aux nécessités économiques générales sans porter atteinte à la bonne gestion économique de l'entreprise.

On peut dire par conséquent pour les chemins de fer comme pour toute autre industrie que : *Le problème des dépenses est de nature dynamique, et non statistique, car les frais unitaires de production sont fonction du degré d'activité.* Il faut donc connaître le caractère des frais afin de pouvoir parer par une politique des prix à larges vues aux influences des variations du trafic et de conserver à l'entreprise le degré d'activité qui en garantit, aux prix réalisables, la marche économique.

---

# RENSEIGNEMENTS DIVERS

[ 625 .143.3 (.73) ]

## 1. — Usure relative des rails dans les courbes avec et sans contre-rails,

Par M. JAMES F. BURNS,

INGÉNIEUR ADJOINT DE LA VOIE DU « LOUISVILLE & NASHVILLE RAILROAD ».

Fig. 1 et 2, p. 329.

(*Railway Review.*)

Dans son numéro du 30 août 1924, la *Railway Review* a publié une description du contre-rail Maney, dont l'emploi est très répandu sur le « Louisville & Nashville » et d'autres chemins de fer. Cet article était accompagné de deux diagrammes montrant le degré d'usure des rails dans une courbe de 10° (175 m.) de rayon, dépourvue de contre-rails, d'une part, et, d'autre part, dans une courbe du même rayon, munie de contre-rails, dans l'un et l'autre cas après sept mois d'un service dur, sous une circulation variant de 30 000 à 75 000 t. américaines (27 000 à 68 000 t. mét.) par jour.

Les diagrammes ci-après montrent l'usure comparative du rail R. E. de 100 livres (49 kgr. 61 par mètre) après dix mois de service, avec et sans contre-rail. Les mesurages qui ont servi à tracer ces contours furent effectués le 6 août 1924. Peu de temps après, le rail extérieur de la courbe sans contre-rails fut retiré de la voie pour usure excessive.

En septembre 1924, les conditions du trafic subirent une modification radicale. Jusqu'alors la ligne était à voie unique et le rail sur lequel on a fait les mesurages portait en même temps le gros tonnage direction nord, dont le volume est indiqué ci-avant, et, en outre, le matériel retournant à vide vers le sud. Lorsque la seconde voie fut mise en service, en septembre, la voie initiale devint la voie principale direction sud, qui est maintenant parcourue par les wagons vides; aussi

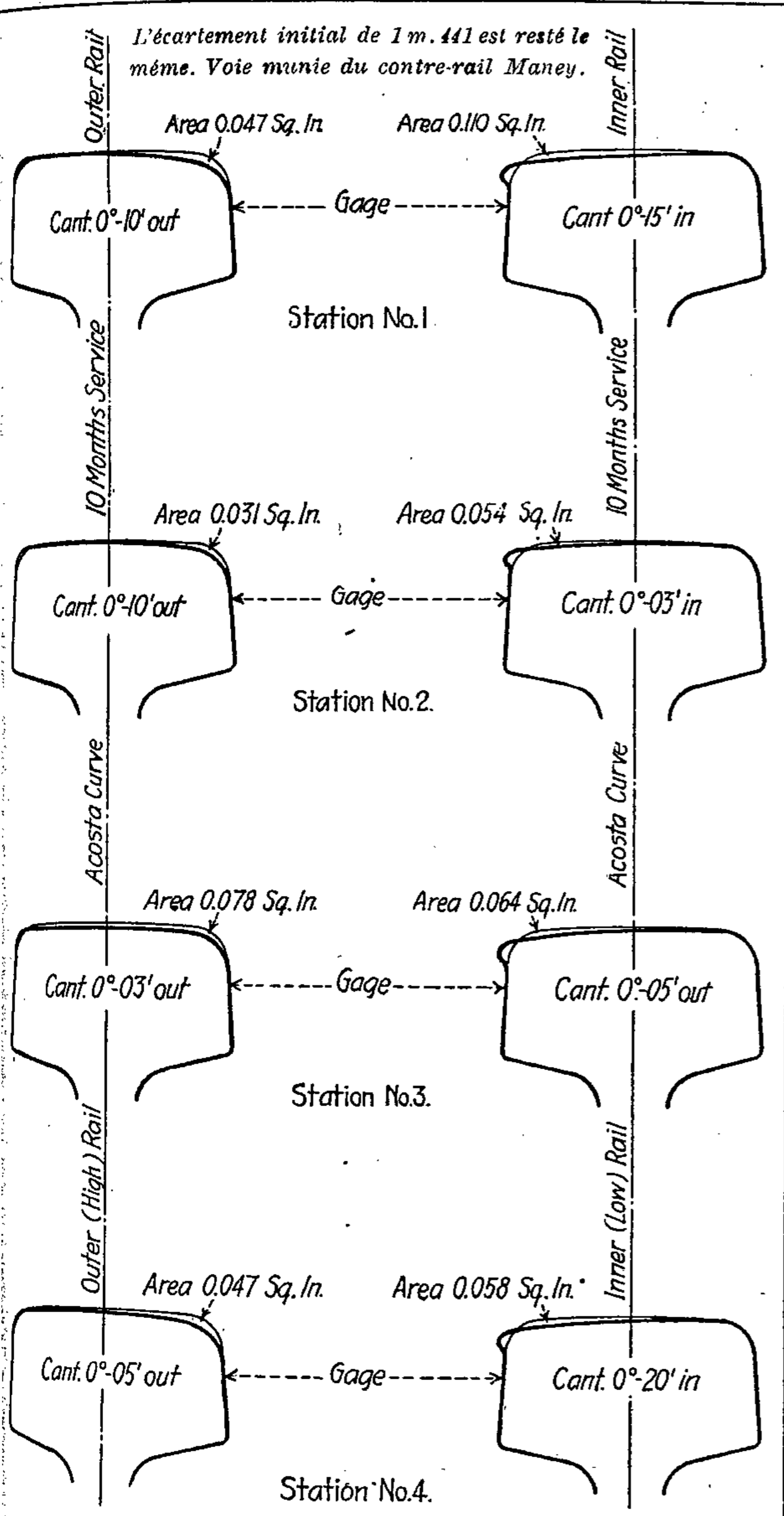
le trafic est-il beaucoup moins intense que par le passé.

Le 6 février 1925, on a procédé à une nouvelle série de mesurages sur la courbe munie du contre-rail, avec les résultats suivants :

A la station n° 1 du diagramme, aucune usure nouvelle ne put être découverte sur le rail extérieur ni sur le rail intérieur. Aux stations 2 et 3, il n'y avait pas d'augmentation d'usure du rail extérieur; sur le rail intérieur, on releva une usure nouvelle de 1/64 à 1/32 de pouce (0 mm. 4 à 0 mm. 8). Les mêmes remarques s'appliquent à la station 4, avec cette différence que le rail intérieur présentait un surcroît d'usure de 1/64 de pouce (0 mm. 4) seulement.

Depuis la pose initiale du rail dans cette courbe jusqu'au moment où l'on mesura les contours reproduits dans le diagramme, la circulation journalière comprenait 800 à 1 000 chargements de charbon acheminés vers le nord et un nombre égal de wagons vides revenant vers le sud. Le diagramme montre l'usure produite en dix mois par ce trafic. Mais, comme il est dit plus haut, depuis la mise en service de la seconde voie, le mouvement sur les mêmes rails ne consiste plus qu'en 1 000 wagons vides par jour, approximativement. Ce trafic n'a produit aucune usure nouvelle perceptible du rail extérieur de la courbe; quant au rail intérieur, on a constaté que son augmentation d'usure atteignait, au maximum, 0 mm. 8.

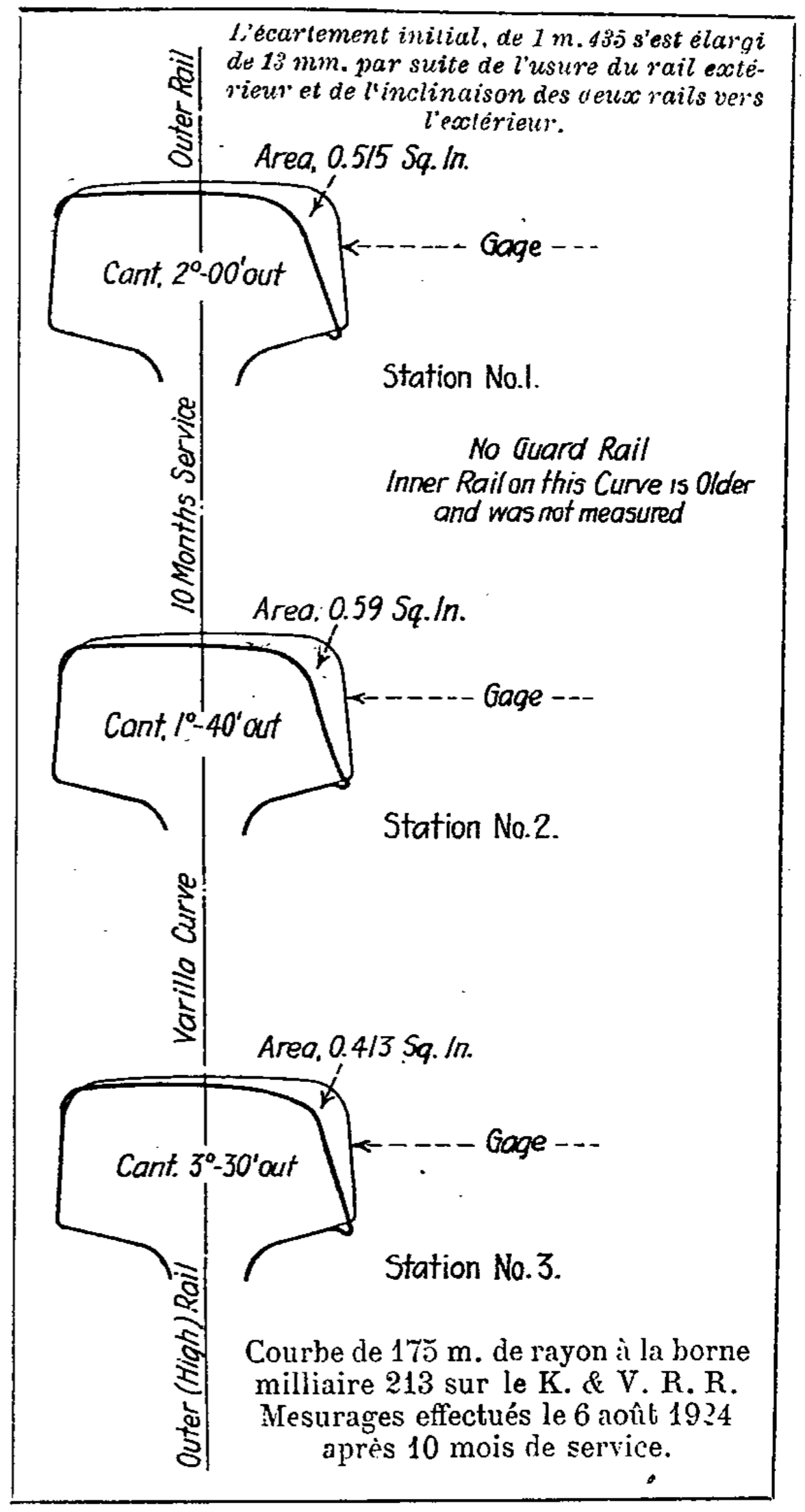




Courbe de 175 m. de rayon à la borne milliaire 208 sur le K. & V. R. R. Mesurages effectués le 6 août 1924 après 10 mois de service.

Fig. 1. — Usure du rail après 10 mois de service dans une courbe munie du contre-rail Maney.

Explication des termes anglais: Area = Section. — Cant... out = Inclinaison de... vers l'extérieur. — Cant... in = Inclinaison de... vers l'intérieur. — Outer (high) rail = Rail extérieur (ou rail haut). — Inner (low) rail = Rail intérieur (ou rail bas). — Curve = Courbe. — 10 months' service = 10 mois de service.



Courbe de 175 m. de rayon à la borne milliaire 213 sur le K. & V. R. R. Mesurages effectués le 6 août 1924 après 10 mois de service.

Fig. 2. — Usure du rail après 10 mois de service dans une courbe sans contre-rails.

Explication des termes anglais: No guard rail, etc. = Pas de contre-rail. Le rail intérieur de cette courbe est plus vieux et n'a pas été mesuré.

[ 625 .143.1 (.75)

2. — Résultats obtenus avec des rails de 130 livres (64 kgr. 5) sur le « Bessemer & Lake Erie Railroad ».

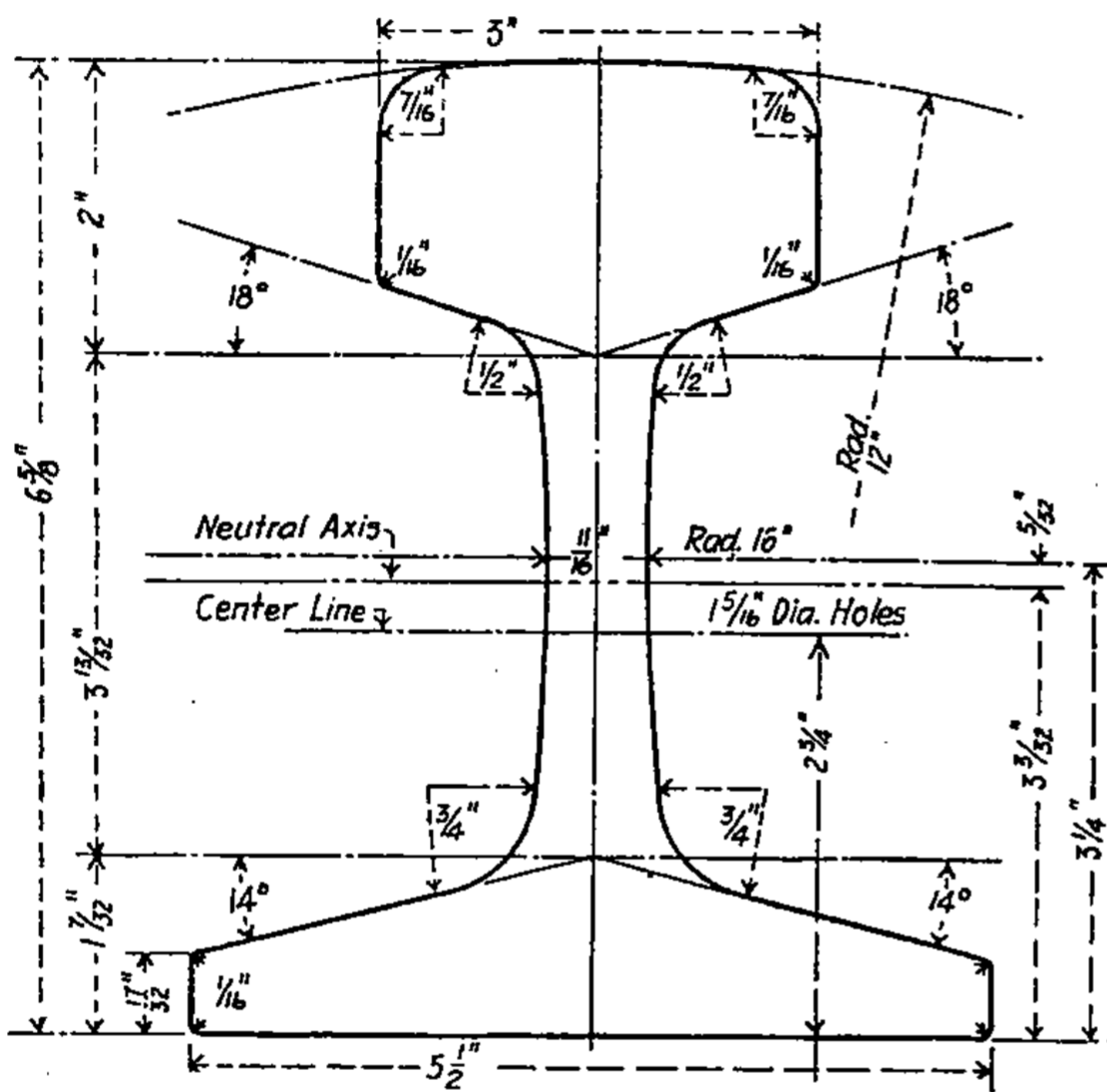
Fig. 3 et 4, p. 330 et 331.

(*Railway Review.*)

Depuis plus de huit ans, des rails pesant 130 livres par yard (64 kgr. 5 par mètre) sont en service sur le « Bessemer & Lake Erie Railroad ». Ils sont du profil normal du réseau du Pennsylvania (profil « P. S. », fig. 3) et ont

est relativement lourd. Ce chemin de fer transportant un très gros tonnage de marchandises et ayant un tracé très sinueux, les résultats obtenus avec ces rails d'un profil lourd peuvent être considérés comme un bon criterium de leur utilisation pratique, par comparaison avec l'usure des rails d'un profil plus léger employés antérieurement.

Les premiers rails du profil de 130 livres furent posés par ce chemin de fer en 1916 sur une longueur de voie de 6.9 milles (11 km. 1) et depuis cette époque on a renouvelé tous les ans environ 30 milles (48 km.) de voie, en moyenne avec ce profil, en remplacement du profil type « B » de l'« American Railway Association », pesant 100 livres par yard (49 kgr. 6 par mètre). Aujourd'hui, 242.6 milles (390 km. 4) de voie sont équipés en rails de 130 livres. Ces rails ont été répartis à peu près également entre les voies direction nord et direction sud, depuis North Bessemer au sud jusqu'au port de Conneaut, à l'extrémité nord, sur le lac Erie. Nous donnons ci-après un relevé officiel du tonnage taxé transporté chaque année. Il est à noter que ce dernier ne comprend pas le tonnage représenté par le poids du matériel.



Section : 12.76 pouces carrés (82 cm<sup>2</sup> 32).

Poids : 129.9 livres par yard (64 kgr. 44 par mètre).

Moment d'inertie. . . . . 72.8 pouces<sup>4</sup> (3 029 cm<sup>4</sup> 95)

Module de flexion, champignon. . . 20.5 pouces<sup>3</sup> (337 cm<sup>3</sup> 57)

Module de flexion, patin. . . . . 23.5 pouces<sup>3</sup> (385 cm<sup>3</sup> 09)

L'aire de la section se décompose comme suit : Champignon, 5 pouces carrés (32 cm<sup>2</sup> 26). — Ame, 2.8 pouces carrés (18 cm<sup>2</sup> 06). — Patin, 4.9 pouces carrés (31 cm<sup>2</sup> 61).

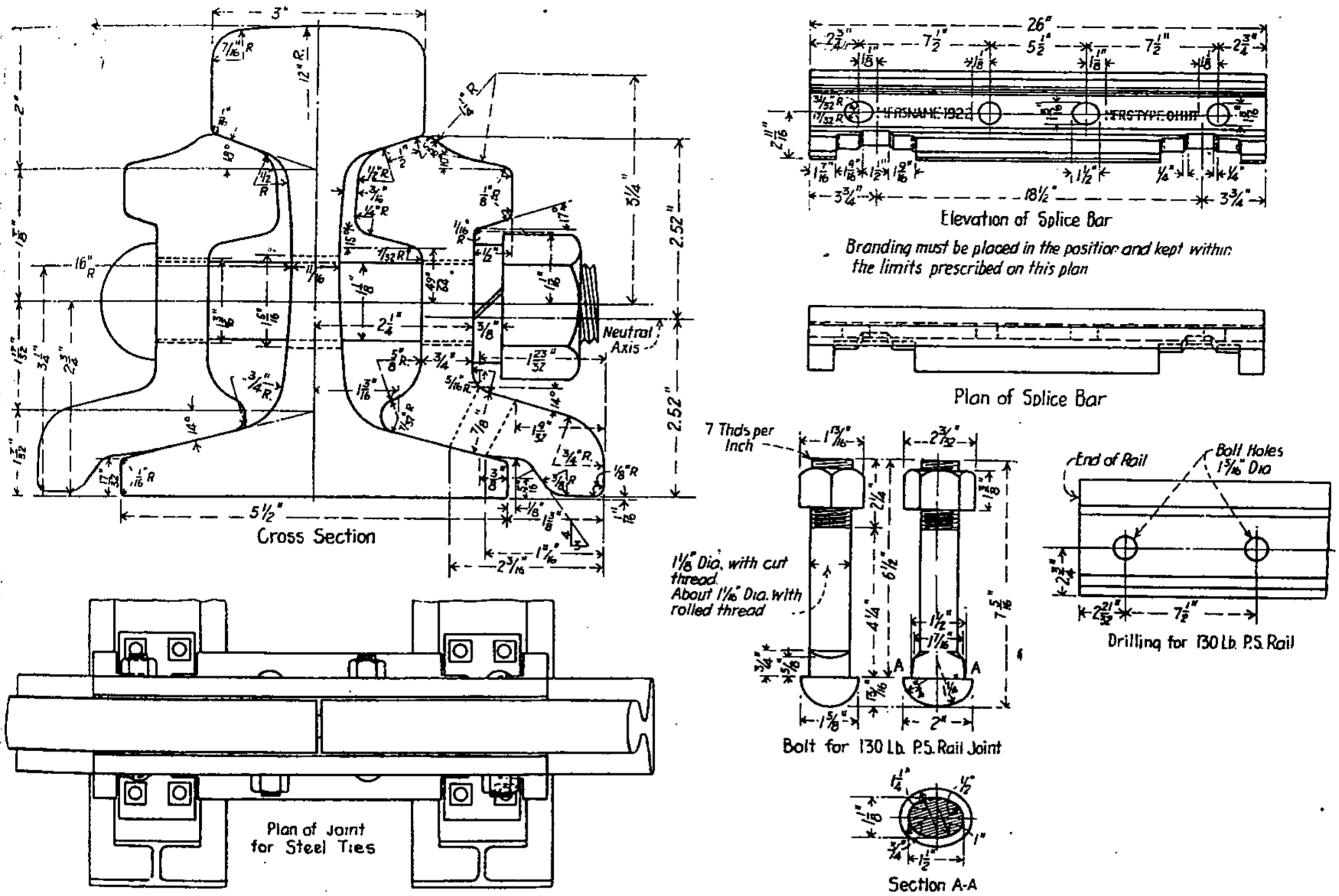
Fig 3. — Profil de rail normal du réseau du « Pennsylvania », 130 livres par yard (64 kgr. 5 par m.), employé sur le « Bessemer & Lake Erie Railroad ».

Explication des termes anglais : Neutral axis = Axe neutre. — Rad. = Rayon. — Center line 15/16" dia. holes = Axe des trous de boulons de 33 mm. 3.

6 1/2 pouces (165 mm.) de hauteur sur 5 1/2 pouces (140 mm.) de largeur du patin. L'aire de la section se décompose comme suit : champignon, 5 pouces carrés (32 cm<sup>2</sup> 26) ; âme, 2.8 pouces carrés (18 cm<sup>2</sup> 06) ; patin, 4.9 pouces carrés (31 cm<sup>2</sup> 61). On remarquera que le patin

Tonnage annuel transporté sur le « Bessemer & Lake Erie Railroad ».

Année.	Tonnage direction nord.	Tonnage direction sud.	Total.
1916	7 012 062	13 255 427	20 267 489
1917	8 437 997	12 892 427	21 330 424
1918	9 044 857	10 384 983	19 429 840
1919	7 034 788	10 171 182	17 205 970
1920	9 144 599	9 515 815	18 660 414
1921	6 023 188	8 134 529	14 157 717
1922	6 868 392	9 609 542	16 477 934
1923	10 367 387	13 265 174	23 632 561



LÉGENDE :

Moment d'inertie . . . . .	33.06 pouces <sup>4</sup> (1 375 cm <sup>4</sup> 96)
Module de flexion au-dessus de l'axe neutre . . . . .	13.12 pouces <sup>3</sup> (215 cm <sup>3</sup> 00)
Module de flexion au-dessous de l'axe neutre . . . . .	13.15 pouces <sup>3</sup> (215 cm <sup>3</sup> 49)
Poids d'une paire d'éclisses . . . . .	3.88 livres par pouce (0.692 kgr. par centimètre)
Raideur du joint . . . . .	45.4 %.
Section . . . . .	13.68 pouces carrés (88 cm <sup>2</sup> 25)
Poids estimatif d'une paire d'éclisses . . . . .	91 1/4 livres (41 kgr. 4)

Fig. 4. — Éclisse à quatre trous pour le rail type " P. S. " de 130 livres (64 kgr. 5) du " Bessemer & Lake Erie Railroad " .

Explication des termes anglais: Cross section = Coupe transversale. — Plan of joint for steel ties = Plan du joint pour traverses métalliques. — Mfrs. name = Nom du fournisseur. — Elevation of splice bar = Élévation de l'éclisse. — Branding must be placed..., etc. = Les marques doivent être apposées aux endroits et dans les limites indiqués sur ce plan. — Bolt for 130 lb. P. S. rail joint = Boulon pour joint de rails P. S. de 64 kgr. 5. — 7 thds. per inch = Pas de 3 mm. 63 (7 par pouce). — 1 1/8" dia. with cut thread = Diamètre de 28 mm. 6 au sommet du filet. — About 1 1/16" dia. with rolled thread = Diamètre de la partie délardée, environ 27 mm. — End of rail = About du rail. — Bolt holes 1 5/16" dia. = Trous pour boulons, 33 mm. 3 de diamètre. — Drilling for 130 lb. P. S. rail = Perçage du rail P. S. de 64 kgr. 5.

Sur les voies posées avec des rails du profil 130 livres, on a pu constater une amélioration sensible du dressage en alignement et en plan, notamment aux joints. Ce qui a sans doute contribué beaucoup à ce résultat, c'est le fait

que le nouveau rail, étant plus haut, nécessite une éclisse d'une plus grande hauteur et rigidité, ce qui donne au joint une résistance qu'il ne pouvait pas avoir avec les rails du profil 100 livres. La figure 4 montre les détails de

construction de l'éclisse type normal. Les éclisses sont en acier à haute teneur en carbone, trempé à l'huile.

Le cheminement des rails est combattu par six attaches anticheminantes Vaughan par longueur de rail. Les éclisses sont mortaisées, mais ne sont pas fixées aux traverses de joint par des crampons passant par les mortaises. Les anticheminants sont placés au milieu des rails, en regard des joints, qui sont alternés.

L'amélioration de la voie au point de vue des avaries de rails est remarquable. Depuis le début de l'emploi du profil 130 livres, il n'y a eu que deux ruptures de rails; encore s'agissait-il de petites fissures aux abouts, s'étendant sur environ 3 pouces (75 mm.) dans la table de roulement du champignon et se prolongeant en dessous par une cassure angulaire à travers le premier trou de boulon. Aucune rupture ne s'est produite intéressant toute la section. Les ingénieurs de la voie de ce chemin de fer sont d'avis que l'adoption du profil plus lourd a pratiquement mis fin aux bris de rails et aux fissures de champignons.

On estime officiellement que, dans l'entretien de la voie, les frais de dressage en plan ont été réduits d'un bon tiers et l'on remarque surtout que le travail nécessaire pour maintenir l'écartement dans les courbes est moindre. Le rail lourd fléchissant moins sous les charges roulantes, les traverses sont moins écrasées aux appuis par le patin du rail et font un plus long service. Cette réduction de la flexion du rail a aussi pour conséquence de répartir la charge sur une plus grande distance à partir du point de contact de la roue, d'où diminution de la fatigue des traverses, du ballast et de la plate-forme; c'est l'explication du fait, mentionné plus haut, que le travail d'entretien de la voie est devenu moindre.

On sait que sur toutes les voies quelles que soient les conditions du trafic, l'usure du rail est surtout rapide dans les courbes. Le « Bessemer & Lake Erie », qui transporte un gros tonnage, apporte un soin attentif au retournement des rails dans les courbes, de manière à obtenir une durée maximum de service avant que les rails soient arrivés à la limite extrême d'usure. Il a pris pour règle de reporter le

rail extérieur dans la file intérieure avant que le rail de cette dernière ait son champignon fortement usé; mais entretemps on juge parfois utile ou nécessaire de retourner les rails extérieurs, bout pour bout, afin d'empêcher l'usure excessive d'une face latérale. Cette dernière opération se fait sans cintrage; les rails sont simplement forcés en place au moment de la pose, même dans les courbes n'ayant que 220 m. de rayon.

A part l'usure en courbe, le premier rail de 130 livres arrivé à la limite d'usure dans les conditions normales fut retiré de la voie en 1924, après un service de huit ans. Pour qu'on puisse se faire une idée plus nette de la durée du rail dans les conditions les plus rigoureuses, nous citons ci-après quelques exemples s'appliquant au service dans des courbes de faible rayon.

*Exemple n° I.* — Courbe de 7° (250 m. de rayon) au sud de Butler, voie direction sud, surhaussement de 4 1/2 pouces (114 mm.).

Rail type « B » de l'« American Railway Association », pesant 100 livres par yard (49 kgr. 6). La durée moyenne des rails dans cette courbe a été de deux ans; pendant ce temps, le rail extérieur a été reporté dans la file intérieure et le rail intérieur dans la file extérieure.

Rail de 130 livres (64 kgr. 5). Posé en juillet 1917. En mai 1920, permutation des deux files. La courbe resta dans cette situation jusqu'en octobre 1921. Temps total écoulé: quatre ans et trois mois. En octobre 1921, renouvellement des rails de la file intérieure. En octobre 1922, pose de nouveaux rails dans la file extérieure et remise en bon état de la courbe. On prévoit que la file intérieure fera son service jusqu'à l'automne 1925: à ce moment, il est probable que le rail extérieur actuel sera reporté dans la file intérieure et remplacé sur le côté haut par un nouveau rail.

*Exemple n° II.* — Courbe de 8° (220 m. de rayon) au sud de Butler, voie direction sud, surhaussement de 4 1/2 pouces (114 mm.).

Dans cette courbe, la durée moyenne des rails « B » de 100 livres était de douze mois avant qu'aucun changement fût nécessaire; puis les rails des deux files, extérieure et inté-

rière étaient substitués réciproquement, après quoi ils faisaient neuf mois de service, ce qui donnait une durée totale d'un an et neuf mois.

En mai 1918 on posa des rails de 130 livres dans cette courbe et en octobre 1919, soit au bout d'un an et quatre mois, on remplaça les rails du côté haut par ceux du côté bas, et réciproquement. En avril 1920, la file intérieure fut renouvelée avec des rails de 130 livres. En novembre 1922, les deux files furent renouvelées avec des rails de 130 livres.

*Exemple n° III.* — Courbe de 8° au sud de Butler, voie direction nord, surhaussement 4 1/2 pouces. Courbe n° 64.

La vie moyenne du rail « B » de 100 livres dans cette courbe était de deux ans et demi.

Posée en juillet 1921 avec des rails de 130 livres, qui sont encore dans la voie; on prévoit qu'aucun changement ne sera nécessaire avant l'automne 1925.

*Exemple n° IV.* — Courbe de 6°45' (260 m. de rayon) à Jamisonville, voie direction sud, pente de 75 pieds (23 m.), surhaussement 5 pouces (127 mm.).

Le rail « B » de 100 livres durait en moyenne trois ans.

Cette courbe fut posée avec des rails de 130 livres en octobre 1917, et en août 1922 chaque rail de la file extérieure fut retourné bout pour bout. Depuis cette époque on n'a pas touché à cette courbe et l'on prévoit maintenant que les deux files seront renouvelées en automne 1925.

*Exemple n° V.* — Courbe de 8° au Hogback, Conneaut, Ohio, en rampe non compensée d'environ 10 mm. par mètre, surhaussement 4 pouces (102 mm.), voie direction sud.

Dans cette courbe, le rail type « B » de l'« American Railway Association », de 100 livres, durait, en moyenne, dix-huit mois.

La courbe fut posée avec des rails de 130 livres en avril 1919. Aucun changement ne fut fait jusqu'en octobre 1924, époque où l'on renouvela les deux files.

Dans la voie direction nord de cette courbe, la durée moyenne du rail de 100 livres était d'environ quatre ans.

Cette courbe fut posée avec des rails de 130 livres en septembre 1919. On prévoit maintenant que le côté haut devra être renouvelé en automne 1925, avec emploi des rails de la file extérieure dans la file intérieure.

[ 625. 143.1 (.75) ]

### 3. — Nouveau profil de rail.

Fig. 5, p. 334.

(*Railway Age.*)

L'adoption du type « head-free » (champignon libre) de joint de rails, mis sur le marché par la « Rail Joint Company », de New-York, a conduit à créer un nouveau profil de rail qui constitue une véritable innovation sur la pratique courante. Dans le joint *head-free*, l'éclisse s'appuie en haut contre le rail par une surface courbe qui épouse la forme du congé de raccordement entre le champignon et l'âme. De cette façon la portée d'éclissage supérieure du rail n'est plus mise en jeu et c'est par un déplacement de la surface d'éclissage inférieure que s'opère tout l'ajustage de l'éclisse avec le rail.

Comme, avec ce type de joint, la portée d'éclissage supérieure ne joue donc aucun rôle

utile, on a pensé que le métal nécessaire dans les deux angles inférieurs du champignon pour former les surfaces d'éclissage pouvait très bien être mis dans une autre partie de la section où il serait mieux employé. C'est ainsi qu'on a été amené à la conception du profil représenté par la figure 5, dans lequel on a chanfreiné les arêtes inférieures du champignon pour ajouter à la table de roulement le métal économisé de cette façon.

Dans le profil étudié pour un rail de 130 livres (64 kgr. 5 par mètre), qui est celui reproduit figure 5, la surépaisseur du champignon est de 3/32 de pouce (2 mm. 4), et comme le reste de la section est exactement le même que dans le profil-type R. E. de

130 livres, la hauteur totale du rail a été augmentée d'autant. La « Reading Company » a récemment commandé 10 000 t. de rails de ce profil pour une installation d'essai. Les avan-

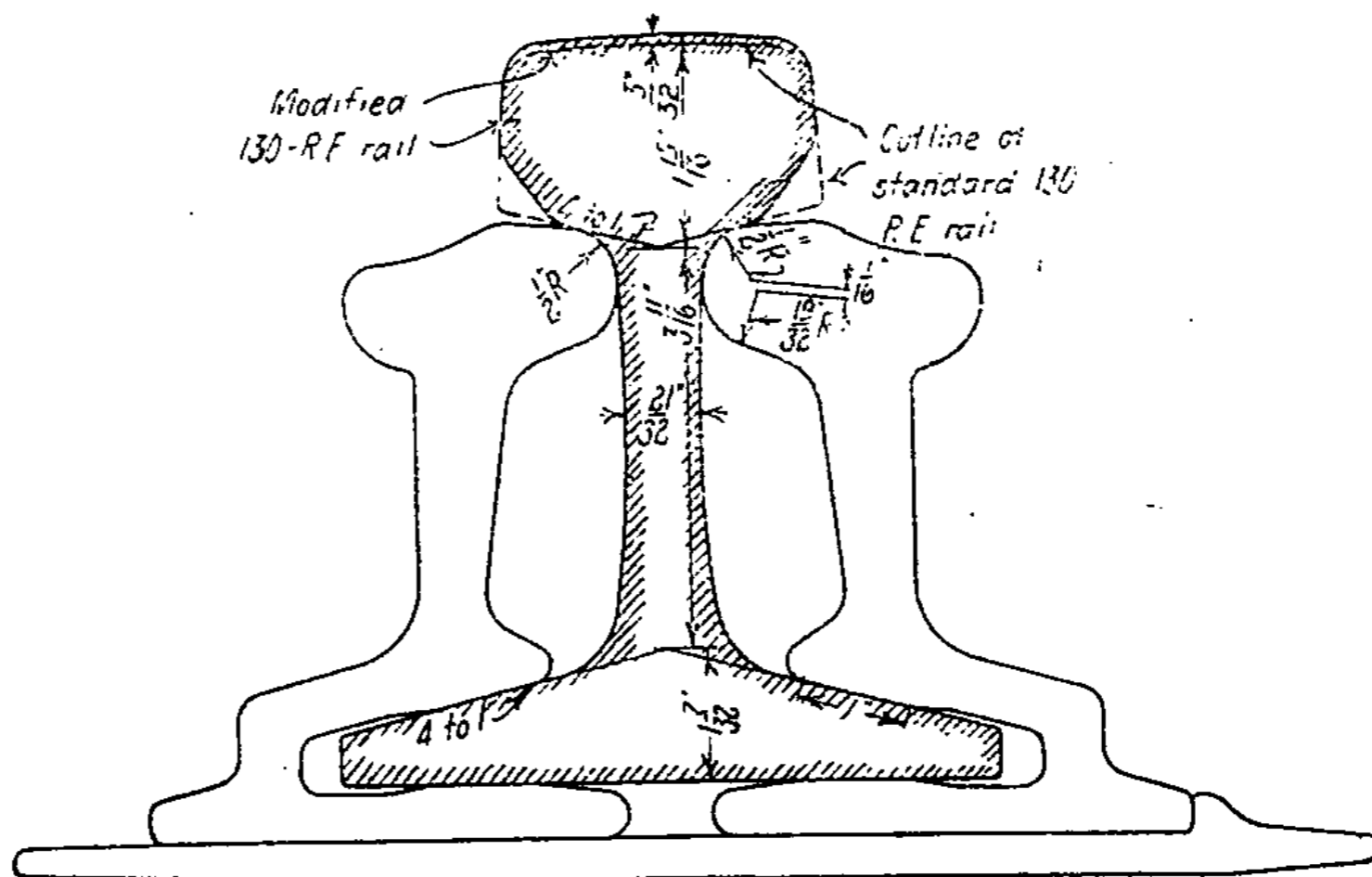


Fig. 5. — Le nouveau profil de rail, pour joint « head-free », comparé au profil normal R. E.

*Explication des termes anglais :* Outline of standard 130 R. E. rail = Profil du rail type R. E. 130.  
Modified 130-R. E. rail = Rail R. E. 130 modifié.

tages que l'on compte obtenir par l'emploi de ce rail sont une meilleure structure de l'acier, due à un laminage plus rationnel, une plus grande résistance du rail considéré comme

une poutre, des limites d'usure plus élevées et, par suite, une plus longue vie. [Ce nouveau profil a été étudié par la « Thompson Rail Corporation » de New-York.]

[ 625 .142.4 (.75) ]

#### 4. — Essais de traverses en béton armé.

Figs. 6 et 7, p. 335

(*Engineering News-Record.*)

Les résultats satisfaisants obtenus avec un lot de vingt-deux traverses en béton armé posées à titre d'essai en mai 1916 à Eagle Pass, Texas, ont déterminé le « Southern Pacific Railway » à commander cent traverses du même type, destinées au service des grandes lignes à trafic intense. M. H. M. Lull, ingénieur en chef de la voie, a fait la constatation suivante, citée dans le rapport de 1925 du Comité des traverses de l'« American Railway Engineering Association » et relative à une inspection faite en 1924: « Les traverses sont apparemment en aussi bon état que lors de leur pose dans la voie; rien n'indique qu'elles soient près de se détériorer. »

La section de voie à l'essai posée depuis neuf années est reproduite dans la figure 7. La voie est coupée pour un redressement rendu

nécessaire par l'exhaussement du pont voisin, situé un peu en arrière de l'endroit où un homme se tient sur la voie. Avec des traverses espacées de 46 à 66 cm., la voie est restée bien dressée en plan et en alignement et n'a exigé pour ainsi dire aucun bourrage pour son relevage. Le trafic régulier est faible, il ne passe qu'environ six trains par jour; mais il y a de fréquents mouvements de machines de manœuvre, avec arrêt et démarrage de lourdes charges. Un autre essai avec trente-sept traverses du même type a été fait sur la grande ligne à voie normale desservant les mines de la « New Sabinas Company », à Cloete, Coahuila, Mexique. On compte employer des traverses en béton dans tous les futurs renouvellements sur cette ligne.

Toutes ces traverses ont la forme indiquée dans la figure 6. Aux extrémités elles sont de section rectangulaire, de 8 × 12 pouces (20 × 30 cm.) avec des évidements pour recevoir des cales en bois de 8 × 6 × 14 pouces (20

× 15 × 35 cm.) sur lesquelles sont fixés les rails. Ces cales absorbent les vibrations et empêchent toute usure ou désagrégation du béton. Elles sont maintenues en place par des platebandes en fer et des boulons à clavettes

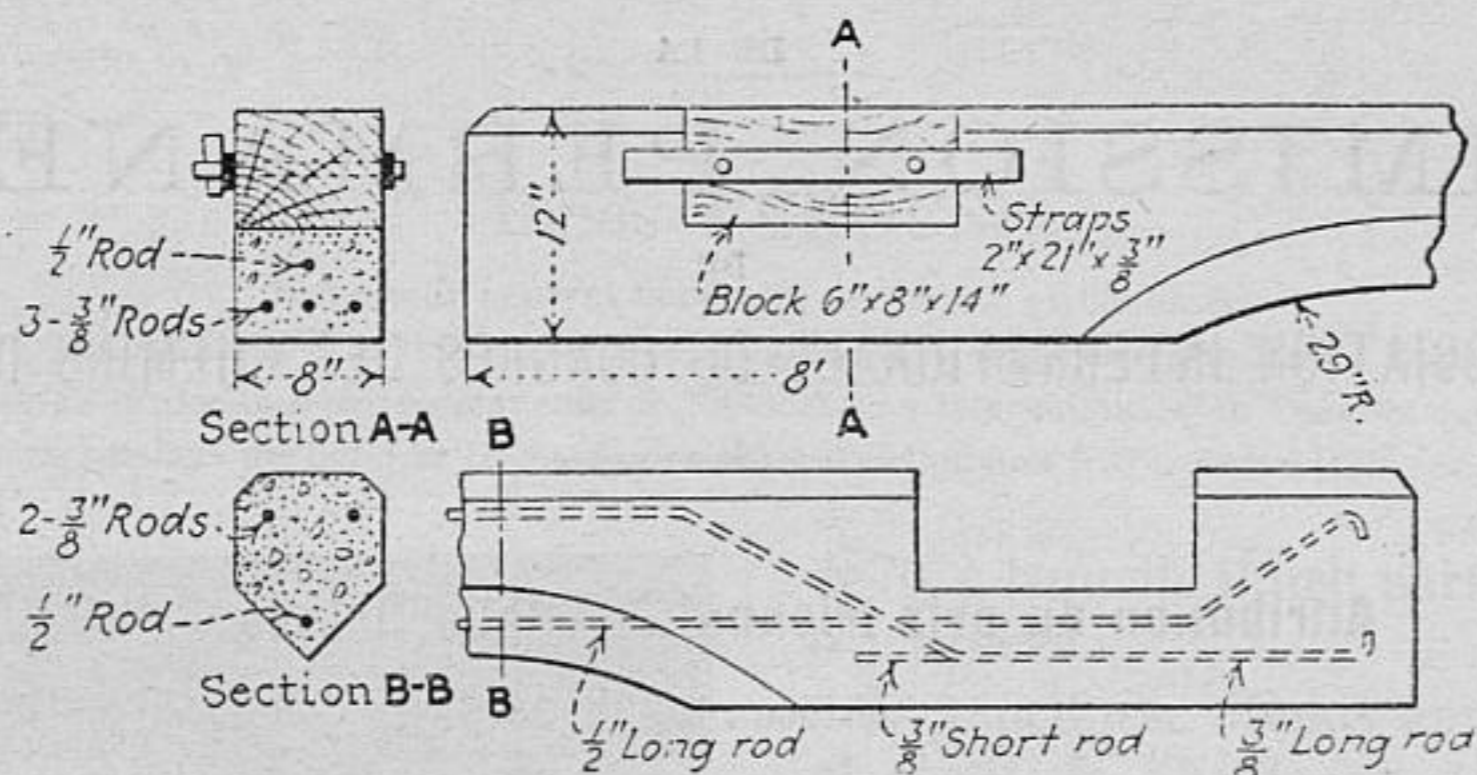


Fig. 6. — Traverse en béton « indestructible ».

Explication des termes anglais : Block = Cale. — Straps = Platebandes. — 3-3/8" rods = 3 tiges d'armature de 9 mm.

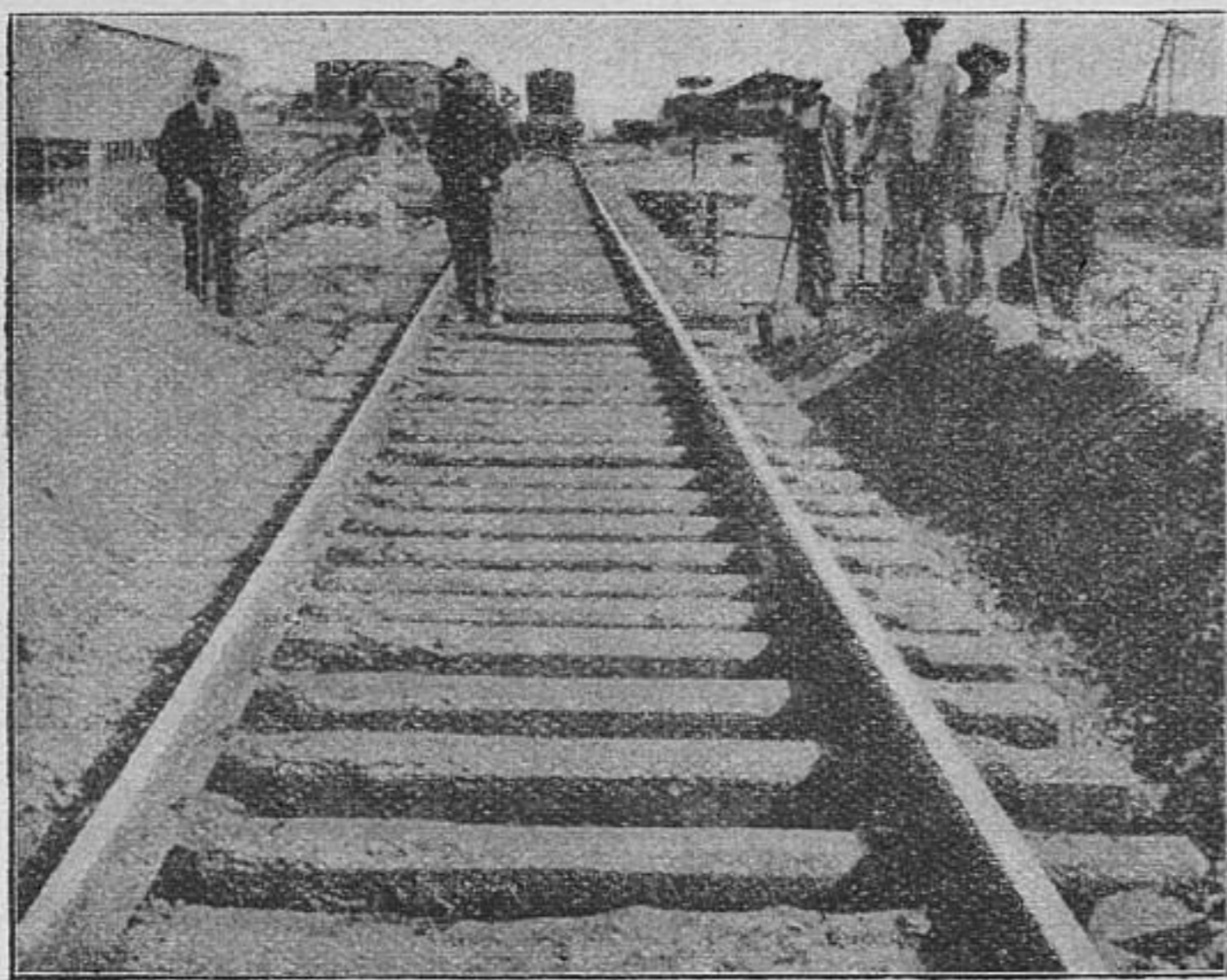


Fig. 7. — Traverses en béton à Eagle Pass, Texas.

verticales. La partie centrale de la traverse n'a que 25 cm. de hauteur et se termine par un profil en forme de coin, ce qui a pour effet que la voie n'a pas de tendance à s'agglomérer au milieu. Le béton de gravier est du dosage

1 : 2 : 4 et les tiges d'armature sont disposées comme l'indique la figure 6. Ces traverses ont été inventées et brevetées par M. F. C. Shearer, ingénieur de l' « U. S. Indestructible Tie Manufacturing Company », Eagle Pass, Texas.

**DOCUMENTS OFFICIELS**  
DE LA  
**COMMISSION PERMANENTE**  
DE  
L'ASSOCIATION INTERNATIONALE DU CONGRÈS DES CHEMINS DE FER.

---

**Attribution du prix triennal « Arthur Dubois » (1).**

(2<sup>e</sup> période : 1923-1925.)

---

La Commission spéciale nommée pour examiner les ouvrages se rapportant à l'exploitation ou à la construction des chemins de fer, présentés en vue de l'obtention du prix institué par la Commission permanente de l'Association pour perpétuer la mémoire de son ancien Président feu M. Arthur Dubois, a décerné, à l'unanimité, le prix pour la deuxième période triennale (1923-1925) à M. Albert Henrotte, ingénieur aux chemins de fer de l'Etat belge, pour son mémoire sur « Les turbolocomotives ».

Nous avons adressé, à cette occasion, toutes nos félicitations à M. Henrotte.

*Le Comité de Direction.*

---

(1) Le règlement pour l'attribution de ce prix a été publié dans le numéro d'avril 1920 (p. 267) du *Bulletin du Congrès des chemins de fer.*

---



# NÉCROLOGIE

## DENIS PÉROUSE,

Inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées

Président honoraire du Conseil d'administration de la Compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée ;  
Ancien membre de la Commission permanente de l'Association internationale du Congrès des chemins de fer ;  
Délégué aux sessions de Londres (1895), Paris (1900), Washington (1905), Berne (1910) et Rome (1922).



Nous avons été peiné d'apprendre la mort de notre ancien collègue de la Commission permanente M. Denis Pérouse, président honoraire du Conseil d'administration de la Compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

M. Pérouse nommé membre de la Commission permanente en 1900 a rempli ce mandat jusqu'à la session de Rome, en 1922.

Né en 1846, M. Pérouse est entré, en 1866, à l'École polytechnique, puis à celle des Ponts et Chaussées en 1868. Ses études furent interrompues par la guerre de

1870, à laquelle il prit part comme officier d'artillerie.

Il reprit ses études après la campagne et sortit de l'École, en 1871, avec le diplôme d'ingénieur des Ponts et Chaussées.

Dès le début de sa carrière, il fut chargé d'un service de chemin de fer à Valence. En 1876, il fut attaché au contrôle de l'Exploitation du chemin de fer du Nord à Paris.

Comme ingénieur en chef il retourna à Valence, puis fut rappelé à Paris en 1885 pour y exercer les fonctions d'ingénieur en chef du contrôle de l'Exploitation du réseau Paris-Lyon-Méditerranée. Il déploya de si brillantes qualités de technicien et d'administrateur qu'il fut appelé à la Direction des chemins de fer au Ministère des travaux publics, comme adjoint d'abord, comme directeur ensuite.

Dans l'entretemps, il avait été nommé secrétaire du Comité de l'exploitation technique des chemins de fer, délégué au Comité consultatif, membre et rapporteur de nombreuses commissions techniques, etc.

Il remplit ces importantes fonctions jusqu'en 1906, époque à laquelle il prit un repos mérité.

Mais une nouvelle période d'activité devait s'ouvrir pour lui.

D'importantes industries françaises se

rattachant à l'industrie des transports, allèrent le chercher dans sa retraite et lui demandèrent de mettre à leur service son expérience et son habileté.

C'est ainsi qu'en 1910, il devint administrateur et, en 1915, vice-président de la Compagnie des chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée. Il fut également nommé administrateur de la Compagnie des chemins de fer du Maroc, de la Compagnie Franco-Espagnole du chemin de fer de Tanger à Fez et président ou administrateur d'autres entreprises importantes.

Le 29 octobre 1925, ses collègues du Conseil d'administration de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, encore sous le coup de la perte récente qu'ils venaient d'éprouver en la personne de leur président Stéphane Dervillé, l'acclamaient avec une touchante unanimité comme successeur de ce dernier. Mais M. Pérouse, sentant déjà ses forces le trahir, déclina cet honneur : le Conseil lui conféra le titre

de président honoraire. Ce fut la dernière séance à laquelle il devait assister. Il s'éteignit paisiblement le 16 novembre.

C'est en qualité de directeur des chemins de fer au Ministère des travaux publics puis d'administrateur de la Compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, qu'il a fait partie de la Commission permanente de notre Association et qu'il fut délégué aux sessions du Congrès de Londres en 1895, de Paris en 1900, de Washington en 1905, de Berne en 1910 et de Rome en 1922.

Il a apporté à l'Association du Congrès, à laquelle il portait un grand intérêt, une collaboration très éclairée.

Nous avons exprimé nos sentiments de sincères condoléances à la famille de M. Denis Pérouse et nous avons fait part de nos vifs regrets à la Compagnie du Paris-Lyon-Méditerranée.

*Le Comité de Direction.*