

---

# LOCOMOTIVE A HAUTE PRESSION

AVEC APPAREIL ÉVAPORATOIRE SYSTÈME SCHMIDT

(TYPE 2-4-1)

de la Compagnie des Chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée

Par M. A. PARMANTIER,

INGÉNIEUR EN CHEF ADJOINT DU MATÉRIEL.

---

Pl. I, II et III.

---

## I. — PRÉAMBULE.

Dans le N° de Novembre 1930 <sup>(1)</sup>, la *Revue Générale* a signalé que la Compagnie des Chemins de fer P.-L.-M. venait de mettre en service une locomotive fonctionnant avec de la vapeur à la pression de 60 kg/cm<sup>2</sup> produite par une chaudière du système Schmidt.

La raison qui a conduit la Compagnie P.-L.-M. à faire construire cette unité est la suivante :

Les locomotives 241.A, étudiées pour la remorque des trains rapides lourds sur les lignes à profil difficile, ont dû être équipées d'une chaudière à grille de 5 m<sup>2</sup>. Si des locomotives encore plus puissantes devenaient un jour nécessaires, pourrait-on envisager de les construire en suivant les mêmes principes qu'actuellement, c'est-à-dire en augmentant, jusqu'à la limite compatible avec le gabarit, toutes les dimensions, et, en particulier, celles de la chaudière ? On en viendrait alors à des surfaces de grille telles que le chargement mécanique s'imposerait.

Or, le chargeur mécanique pour charbon ordinaire est un dispositif lourd et compliqué. D'autre part, il a contre lui d'entraîner une augmentation de la consommation de combustible. C'est au total un pis aller.

Il ne faudrait évidemment en passer par là que s'il était impossible d'arriver, grâce à une transformation du type actuel de la locomotive, à une amélioration de son rendement au crochet du tender.

Si, du fait d'une modification soit de l'appareil moteur, soit de l'appareil évaporatoire, modification dont le prix de revient devrait pouvoir être rémunéré par les économies de combustible qu'elle ferait réaliser, il devait devenir possible de recueillir au crochet du tender

---

(1) Page 427.

la même puissance qu'actuellement, mais en brûlant moins de charbon, le recours à l'emploi de grilles de plus de 5 m<sup>2</sup>, surface maximum présentement en usage en France, pourrait être ajourné, et partant le recours au chargeur mécanique.

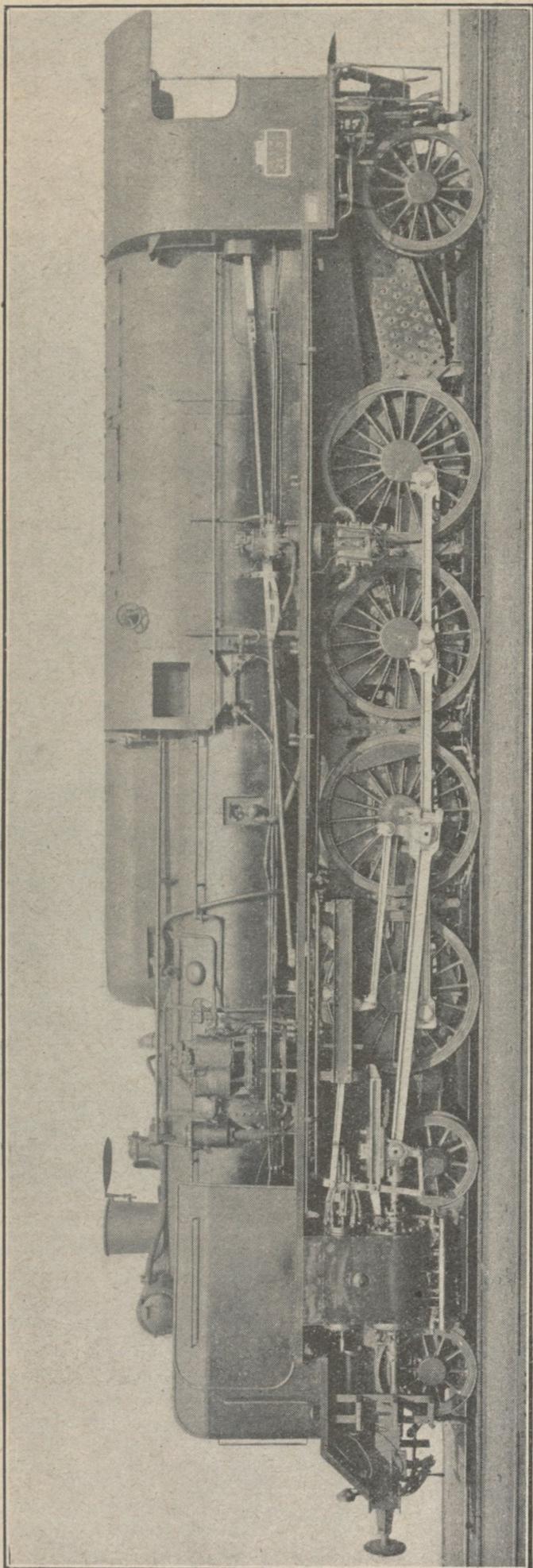
La Reichsbahn ayant fait construire par les Établissements Henschel, de Cassel, une locomotive équipée avec une chaudière système Schmidt produisant de la vapeur à 60 kg/cm<sup>2</sup> et cette unité ayant donné des résultats fort intéressants, la Compagnie P.-L.-M. décida de demander à ces Établissements de lui soumettre une proposition pour la construction d'une locomotive pourvue d'une chaudière conçue d'après les mêmes principes, qui aurait la même puissance qu'une locomotive 241.A, le même poids adhérent, le même diamètre de roues accouplées.

Les Établissements Henschel remirent un projet comportant une chaudière n'ayant que 3,89 m<sup>2</sup> de surface de grille, au lieu de 5 m<sup>2</sup>. Ils garantissaient qu'elle développerait au crochet de son tender, à vitesse égale, la même puissance qu'une 241.A, mais en consommant 20 % de charbon en moins.

Le projet était trop intéressant, les conclusions à tirer de l'essai d'une pareille unité devaient être trop instructives pour que la proposition des Établissements Henschel ne fût pas suivie d'effet. La Compagnie P.-L.-M. passa donc la commande.

La locomotive, désignée 241.B-1, est à quatre essieux accouplés à roues de 1,790 m, compris entre un bogie *N* et un bissel *R*. Bogie, essieux accouplés et bissel sont, à quelques détails près, identiques à ceux des locomotives 241.A dont la Compagnie a 145 exemplaires en service ou en construction; ils sont aussi disposés de la même façon.

Fig. 1. — LA LOCOMOTIVE 241.B-1 A HAUTE PRESSION DE LA COMPAGNIE P.-L.-M.



Le poids à vide de la machine est de 106 tonnes, alors que le poids à vide des 241.A est de 102,3 t.

La nouvelle locomotive ne diffère, en somme, des locomotives 241.A que par l'appareil évaporatoire et par les diamètres des cylindres HP et BP qui ne pouvaient être les mêmes, la vapeur étant utilisée à des pressions différentes, tant dans les cylindres HP que dans les cylindres BP.

## II. — DESCRIPTION DE LA LOCOMOTIVE 241.B-1.

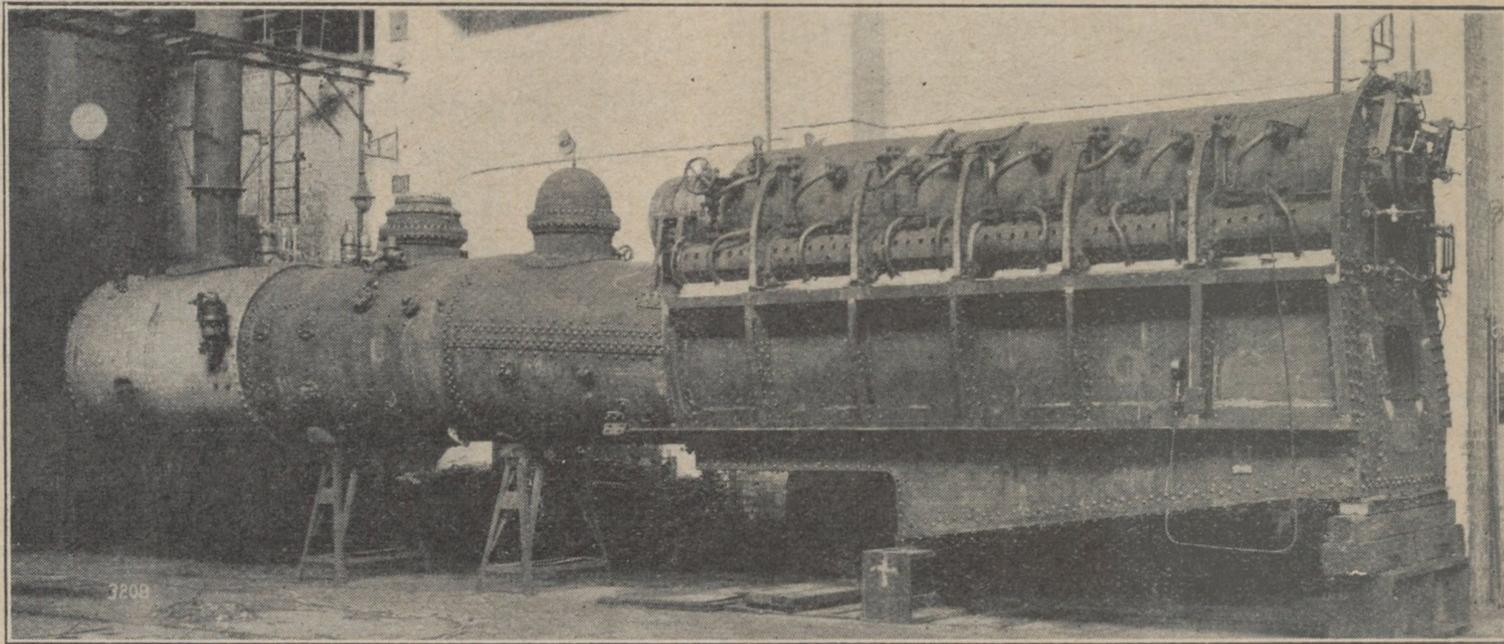
### 1° L'Appareil évaporatoire (Fig. 2.).

Semblable à celui de la locomotive allemande (1), l'appareil évaporatoire de la locomotive 241.B-1 comprend trois parties distinctes, à savoir :

- un *circuit primaire*, récipient clos ne débitant pas de vapeur et timbré à 110 kg/cm<sup>2</sup> ;
- une *chaudière HP* timbrée à 60 kg/cm<sup>2</sup> ;
- une *chaudière BP* timbrée à 14 kg/cm<sup>2</sup>.

Nous compléterons la description de ces trois parties par quelques indications sur le mode de liaison des parties entre elles et avec le châssis, ainsi que sur la disposition des surchauffeurs.

Fig. 2. — L'APPAREIL ÉVAPORATOIRE.



La figure 3 représente la partie haute pression de l'appareil ; la figure 4 en donne le schéma.

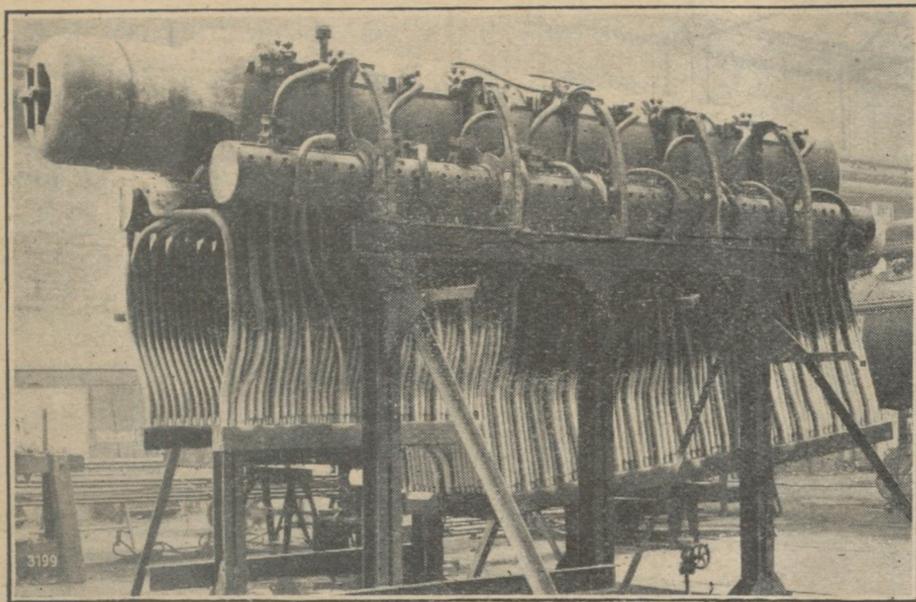
- a) *Circuit primaire*. — Le circuit primaire comprend :
- des collecteurs d'eau (inférieurs),
  - des collecteurs de vapeur (supérieurs),

---

(1) Une description détaillée de cette locomotive a paru dans le N° du 27 Octobre 1928 de la *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*.

- des tubes d'eau réunissant les collecteurs d'eau aux collecteurs de vapeur et aux éléments vaporisateurs,
- des éléments vaporisateurs placés à l'intérieur de la chaudière haute pression,
- des tuyaux d'équilibre de la pression de vapeur dans les collecteurs supérieurs.

Fig. 3. — LA PARTIE HAUTE PRESSION DE L'APPAREIL ÉVAPORATOIRE.



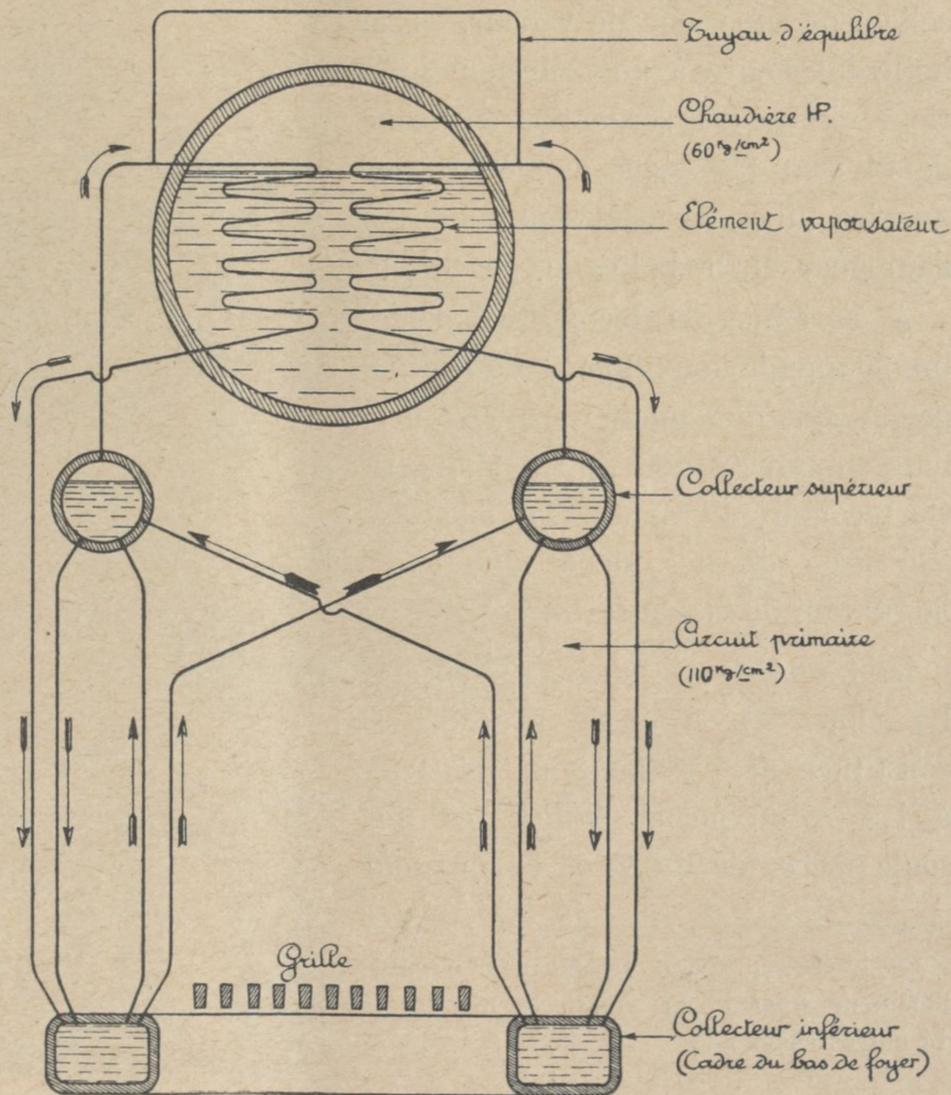
Les collecteurs d'eau sont en acier d'une résistance de 50 à 60 kg/mm<sup>2</sup>. Ils comprennent, d'une part, le cadre de foyer, d'autre part, deux collecteurs longitudinaux (un de chaque côté) placés dans la chambre de combustion. Ces deux collecteurs sont reliés au cadre de foyer par des tuyaux de communication aboutissant au milieu de la face *N* du cadre.

Les collecteurs de vapeur (longitudinaux) sont en acier au molybdène d'une résistance de 43

à 48 kg/mm<sup>2</sup>, avec un allongement minimum de 23 % (sur une longueur égale à 5 fois le diamètre) et une limite élastique de 20 kg/mm<sup>2</sup> à 300° C. Ils sont réunis à l'arrière par un tube de 65 mm de diamètre intérieur, dont les extrémités sont soudées sur la paroi des collecteurs et dans lequel débouchent les tubes à eau qui forment la paroi arrière du foyer.

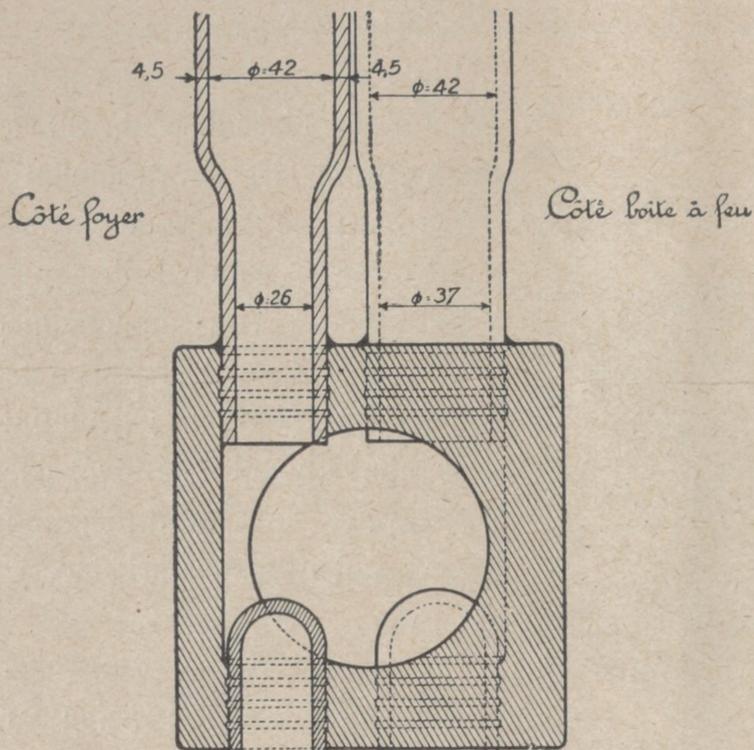
Les tubes à eau, d'un diamètre de 42/51 mm, sont en acier doux d'une résistance de 34 à 45 kg/mm<sup>2</sup> avec un allongement minimum de 20% (sur une longueur égale à 10 fois le diamètre). Ils sont dudgeonnés dans les collecteurs supérieurs et inférieurs, l'étanchéité étant assurée par des rainures ; en outre, ils sont soudés électriquement sur les collecteurs inférieurs. Pour exécuter le dudgeonnage, on introduit l'appareil à dudgeonner par des ouvertures

Fig. 4. — SCHÉMA DE L'APPAREIL ÉVAPORATOIRE SYSTÈME SCHMIDT.



placées en face des tubes intéressés ; ces ouvertures sont ensuite obturées par des bouchons dudgeonnés (Fig. 5).

Fig. 5. — MONTAGE DES TUBES A EAU SUR LE CADRE DE FOYER.



Les tubes qui partent de la face *A'* du cadre de foyer ne vont plus, comme sur la locomotive de la Reichsbahn, rejoindre un collecteur inférieur transversal en formant paroi horizontale de la chambre de combustion. Cette disposition, qui est défectueuse en raison de la mauvaise transmission de la chaleur à travers les tubes lorsqu'ils sont recouverts de cendre, a été abandonnée et, sur la locomotive P.-L.-M., les tubes gagnent directement les collecteurs supérieurs en formant une sorte d'écran qui protège la plaque tubulaire de la chaudière BP (Fig. 6).

La transmission de chaleur à la chaudière HP se fait au moyen d'*éléments vaporisateurs* (8 de chaque côté) constitués

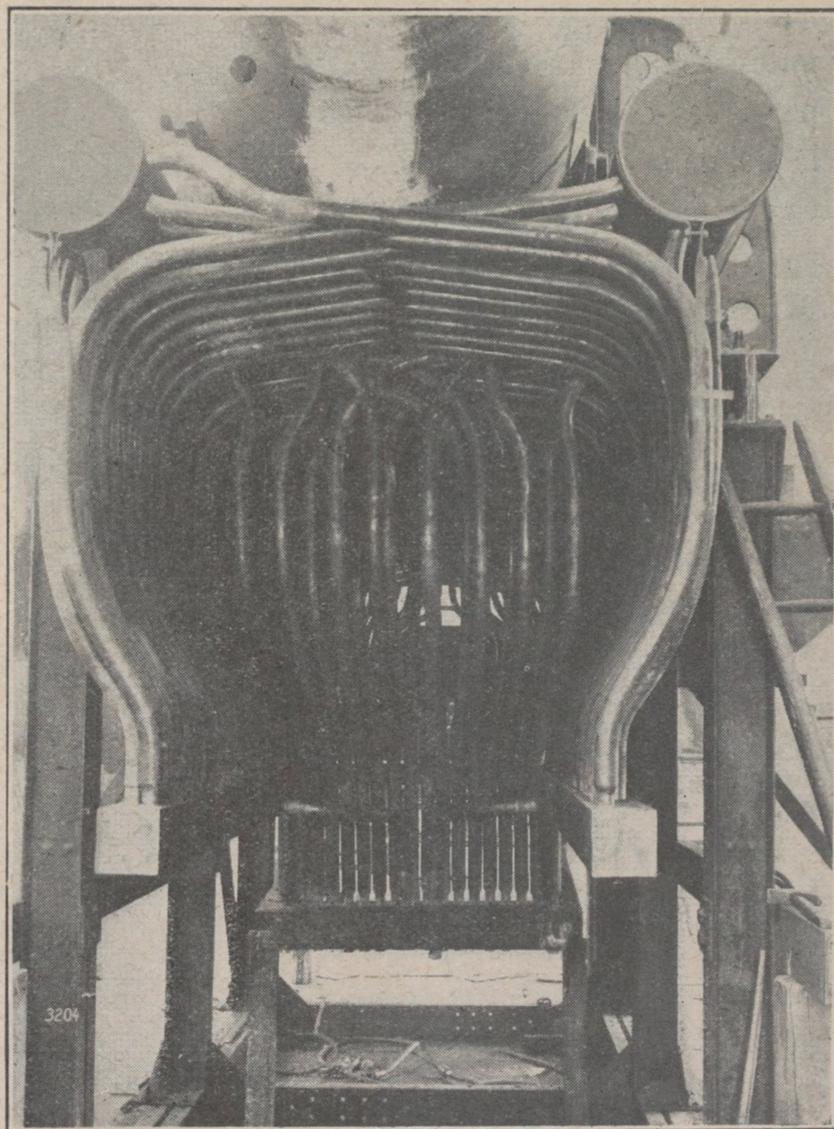
chacun par deux boîtes de répartition sur lesquelles viennent se raccorder un certain nombre de tuyaux recourbés en forme de W de 27/34 mm de diamètre <sup>(1)</sup> (Fig. 7).

La boîte supérieure de répartition de chaque élément est reliée à un collecteur supérieur de vapeur, et la boîte inférieure à un collecteur inférieur d'eau. Les serpentins en forme de W sont faits avec le même acier que les tubes d'eau et sont soudés à l'autogène sur les boîtes de répartition.

A l'origine, la locomotive n'était munie que de deux *tuyaux d'équilibre de pression* de vapeur dans les collecteurs supérieurs (diamètre : 23/30 mm). On reconnut ultérieurement la nécessité d'en ajouter deux autres de 30/38 mm de diamètre.

b) *Chaudière à haute pression.* — La chaudière à haute pression est constituée par un tambour en acier à 1,5 % de nickel, forgé, en une seule pièce, de 6,035 m de longueur

Fig. 6. — VUE PAR L'AVANT DU CIRCUIT PRIMAIRE.



(1) L'élément avant comporte 8 circuits, l'élément suivant en comporte 10 et les 14 autres chacun 12.

intérieure, 0,950 m de diamètre intérieur et 31 mm d'épaisseur, avec fonds refoulés. En raison de la hauteur maximum admissible pour la chaudière, la partie avant du tambour, soutenue par un support spécial fixé à la partie arrière de la chaudière BP, a dû être rétrécie à un diamètre intérieur de 0,650 m.

L'accès au réservoir HP est assuré, aux deux extrémités, par des trous d'homme fermés par des autoclaves en acier moulé BS.

Les tubulures de raccord des boîtes de répartition des éléments vaporisateurs traversent les parois du tambour, l'étanchéité étant assurée par des bagues de cuivre cannelées et disposées à l'intérieur. L'affaiblissement des parois du tambour résultant de ces ouvertures a été compensé par des surépaisseurs longitudinales.

Pour protéger le tambour HP contre l'action des gaz de la combustion, on a prévu, au-dessus du système tubulaire, une plaque isolante constituée par une tôle recouverte de carton d'amiante.

c) *Chaudière à basse pression.* — La chaudière BP est constituée par un corps cylindrique de 5,132 m de longueur, avec virole arrière conique.

Elle renferme 132 tubes à fumée de 76,5/83 mm de diamètre et 4,920 m de longueur.

d) *Liaison des chaudières entre elles et avec le châssis.* — La chaudière BP est fixée à l'avant, par la boîte à fumée, sur l'entretoise du châssis entre les cylindres extérieurs à basse pression; elle repose à l'arrière sur deux supports à dilatation (un de chaque côté).

Sur l'arrière de la chaudière BP, sont rivés :

— d'une part, le caisson (fig. 8) formant

à la fois boîte à feu et support de l'ensemble constitué par la chaudière HP et le circuit primaire,

— d'autre part, l'avant de la chaudière HP, par l'intermédiaire d'un support rigide en tôle soudée.

Fig. 7. — ÉLÉMENTS VAPORISATEURS DU CIRCUIT PRIMAIRE.

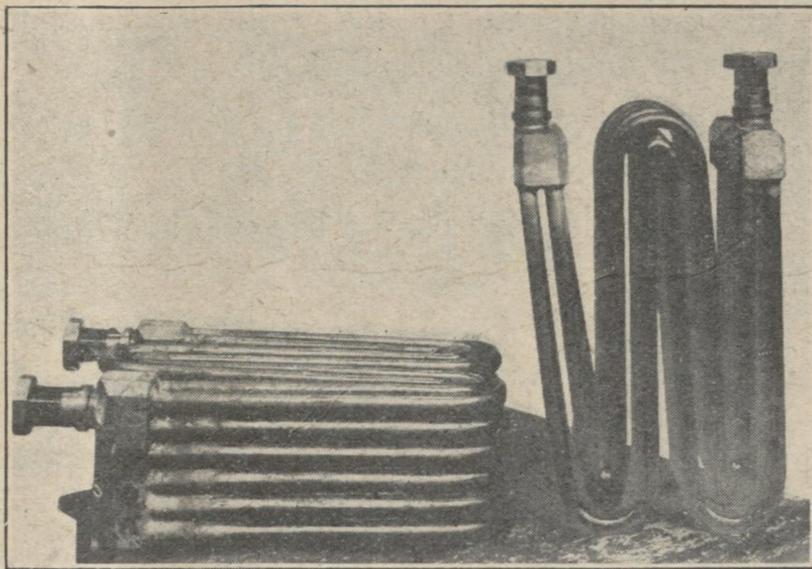
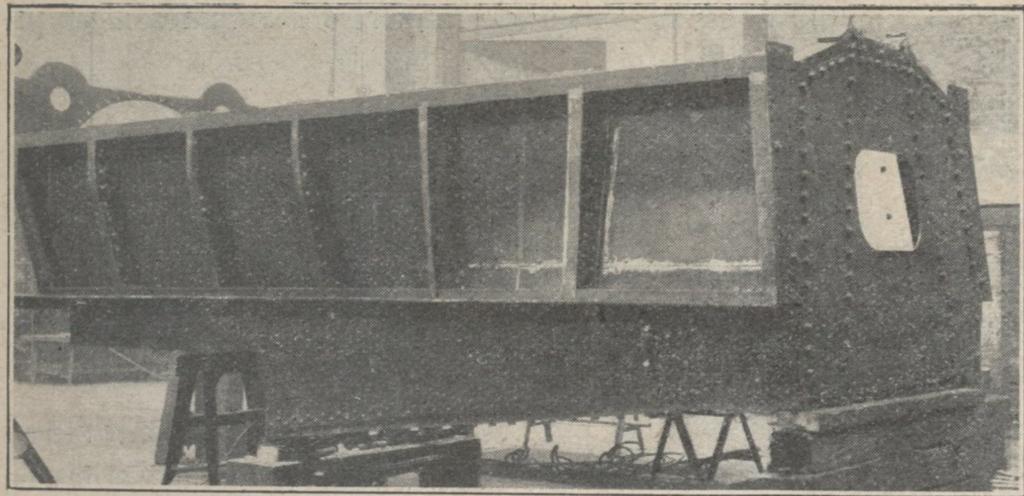


Fig. 8. — LE CAISSON.



L'ensemble chaudière HP et circuit primaire repose, avec un jeu suffisant <sup>(1)</sup>, sur la boîte à feu, laquelle, à son tour, peut se déplacer longitudinalement grâce à six repos (trois de chaque côté) dont quatre sont situés sur les longerons et les deux autres sur l'entretoise des longerons portant la rotule du bissel, et à une agrafe centrale à l'arrière. De cette façon, l'ensemble haute pression est suspendu et peut se dilater librement vers le bas et vers l'arrière.

e) *Surchauffeurs HP et BP.* — Les surchauffeurs HP et BP sont à petits tubes placés dans les tubes à fumée de la chaudière BP.

Le surchauffeur HP, placé à la partie supérieure de la chaudière BP comporte 32 éléments de 19/24 mm de diamètre.

Le surchauffeur BP, placé à la partie inférieure, comporte 66 éléments de 19/24 mm de diamètre.

### 2° Le châssis.

Le châssis est du type normal, avec longerons de 28 mm d'épaisseur, entretoisé par des entretoises verticales moulées formant, à l'*A* et à l'*R*, support des pivots de bogie et de bissel, par le caisson d'attelage *R* moulé et par trois entretoises intermédiaires en tôles et cornières. Le châssis a été, en outre, renforcé entre les cinquième et sixième essieux, par une entretoise horizontale entre les longerons.

### 3° Le mouvement.

Il y a quatre cylindres, deux cylindres HP et deux cylindres BP, dont les caractéristiques sont les suivantes :

	HP	BP
Diamètre.....	0,240 m	0,560 m
Course.....	0,650 m	0,700 m
	$\frac{\text{Volume BP}}{\text{Volume HP}} = 6,55$	

alors que, pour les locomotives 241.A timbrées à 16 kg/cm<sup>2</sup>, le rapport des volumes n'est que de 2,17.

Les cylindres HP ont été chemisés de construction.

Les pistons HP et BP sont munis de contre-tiges.

Chaque piston HP porte six segments de 15 mm de largeur et 8 mm de hauteur qui assurent l'étanchéité ; ces segments sont arrêtés par des vis qui empêchent leur rotation.

Chaque piston BP porte trois segments de 20 mm de largeur sur 15 mm de hauteur, arrêtés comme ceux des pistons HP.

Les tiges et contre-tiges des pistons HP, tiroirs HP et pistons BP sont munies de garnitures système Sack et Kiesselbach. Les tiges de tiroirs BP sont munies seulement de bagues en bronze à cannelures.

---

<sup>(1)</sup> La chaudière HP est supportée par cinq consoles en acier moulé reposant sur la boîte à feu, un jeu suffisant étant prévu dans la fixation de ces consoles sur la boîte pour que la dilatation soit possible.

Les consoles supportent en même temps, par des colliers articulés, les collecteurs supérieurs du circuit primaire.

Les quatre bielles motrices HP et BP attaquent le quatrième essieu. Les manivelles HP sont calées à 187 degrés 40 minutes par rapport à celles BP.

L'essieu moteur coudé est monobloc, en acier au nickel-chrome. Ses manivelles intérieures sont circulaires (épaisseur 115 mm) et frettées extérieurement. Les tourillons des bielles motrices HP sont traversés par un boulon de sécurité de 60 mm de diamètre.

Les boutons de manivelles\* extérieurs de l'essieu coudé sont également en acier au nickel-chrome.

Dans les roues motrices et accouplées, les contrepoids équilibrent la totalité des masses en rotation et 27 % des masses en mouvement alternatif HP et BP, réparties également sur tous les essieux.

Le mélange de la vapeur d'échappement des cylindres HP et de la vapeur issue du surchauffeur BP se fait dans deux mélangeurs (Fig. 9) dont chacun alimente un cylindre BP.

Les purgeurs sont tous montés sur les cylindres BP extérieurs, ce qui simplifie la commande.

#### 4° La distribution.

Les tiroirs de distribution admettent par les arêtes intérieures; ils sont du type allemand, composés de deux manchons fixés sur la tige de tiroir.

Le tiroir HP porte de chaque côté sept segments (quatre, côté admission, trois, côté échappement) de 6 mm de largeur sur 8 mm de hauteur.

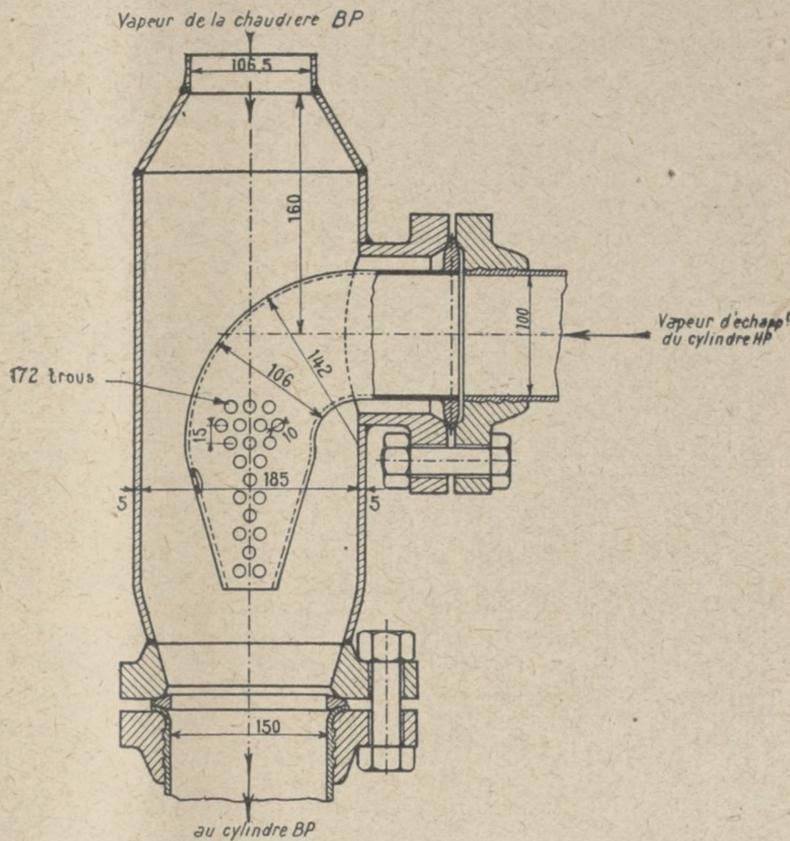
Ces segments peuvent être mis en place sans qu'il soit nécessaire de les ouvrir, par démontage des entretoises qui les séparent.

Le tiroir BP a quatre segments de chaque côté (deux à l'admission, deux à l'échappement) de 6 mm sur 9 mm de hauteur. Il faut ouvrir les segments pour leur mise en place, le corps du tiroir n'étant pas démontable.

De chaque côté de la locomotive, le tiroir basse pression est actionné par un mécanisme de distribution Walschaerts. Le tiroir HP est commandé par l'*A'*, au moyen d'un levier horizontal qui lui transmet, en l'amplifiant, le mouvement du tiroir BP.

Les recouvrements du tiroir BP sont égaux, ainsi que l'avance linéaire sur les deux faces. En raison de l'obliquité des cylindres, il a fallu, pour obtenir la même admission sur les deux faces du piston HP, donner aux recouvrements du tiroir HP des valeurs inégales (39 mm face *R*, 46 mm face *A'*). Cette inégalité se retrouve nécessairement dans les avances linéaires et a une influence marquée sur les diagrammes relevés.

Fig. 9. — UN MÉLANGEUR.



Les admissions aux cylindres HP et BP sont sensiblement égales, ainsi que le montre le tableau ci-dessous :

Cylindres BP	Cylindres HP
32	28,5
35	36
40	39
45	44,5
50	49
55	54
63	62

Les indications de la réglette du changement de marche se rapportent aux cylindres BP.

#### 5° Détails divers (Fig. 10).

a) *Soupapes de sûreté.* — Le circuit primaire a dû être muni d'une soupape de sûreté. Les deux soupapes de sûreté HP sont montées sur le collecteur de vapeur saturée HP.

b) *Niveaux d'eau.* — Il y a :

— sur le circuit primaire, un niveau d'eau (à glaces multiples) qui ne peut être consulté que lorsque la locomotive est froide,

— sur la chaudière HP, deux niveaux directs (à glaces multiples) et un niveau d'eau indirect,

— sur la chaudière BP, deux niveaux d'eau.

Ces différents niveaux sont analogues à ceux de la locomotive de la Reichsbahn.

Les niveaux d'eau à glaces multiples ne donnent pas entière satisfaction au point de vue visibilité et tenue en service ; des essais sont en cours en vue de rechercher une amélioration.

c) *Robinet de jauge pour le contrôle de l'eau du circuit primaire.* — En raison de la nécessité qu'il y a, au point de vue de la sécurité, de se rendre compte de l'étanchéité du circuit primaire, il a été prévu un robinet de jauge qui permet de mesurer, par écoulement, la quantité d'eau existant dans le circuit primaire, au-dessus du niveau de l'orifice du robinet. Si donc, à un contrôle précédent, on a introduit une quantité d'eau  $N$  au-dessus du niveau et si au contrôle suivant on ne trouve plus que  $n$ , c'est qu'il y a eu, dans l'intervalle, une perte d'eau égale à  $(N - n)$  <sup>(1)</sup>.

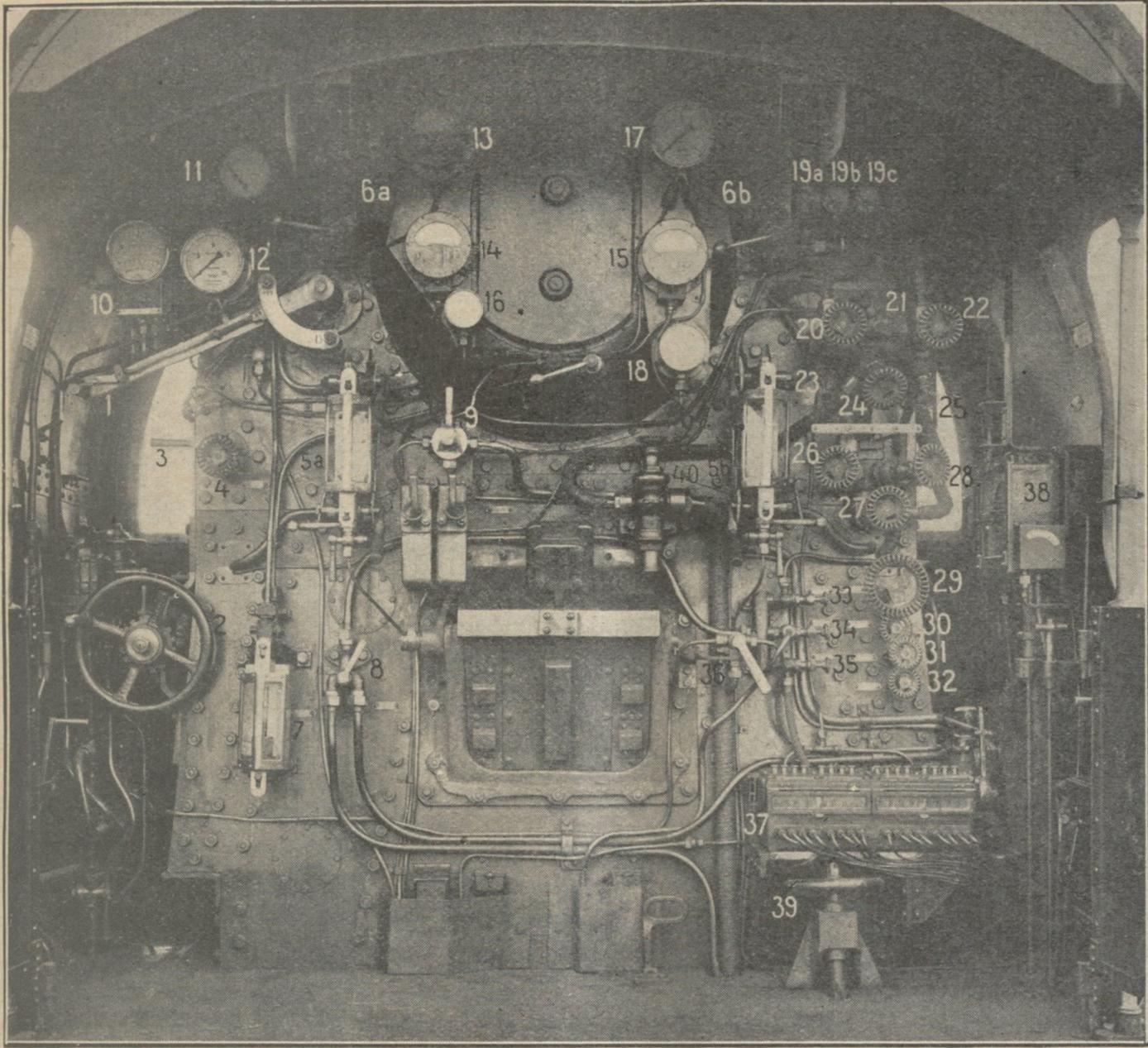
d) *Manomètres et pyromètres du circuit primaire.* — Le circuit primaire a été muni des appareils suivants :

- un manomètre double indicateur,
- un manomètre enregistreur,
- un pyromètre indicateur,
- un pyromètre enregistreur.

Le manomètre double indicateur a reçu, en face de sa graduation en kilogrammes, une graduation en degrés centigrades, de telle façon qu'on puisse lire, en même temps que la pression  $P$  au circuit primaire, la température  $t$  de la vapeur saturée à la pression  $P$ . Il suffit alors au mécanicien ou au chauffeur de rapprocher la température  $t$  lue sur le manomètre de celle  $T$  lue sur le pyromètre. L'égalité de ces indications prouve qu'il y a de l'eau en quantité

(1) La perte d'eau n'est rigoureusement égale à  $(N - n)$  que si la température de l'eau dans le circuit primaire s'est trouvée la même lors des deux contrôles.

Fig. 10. — LA FACADE ARRIÈRE.



LÉGENDE

- 1. — Levier de manœuvre des régulateurs HP et BP.
- 2. — Volant de manœuvre du changement de marche.
- 3. — Levier de manœuvre du sifflet.
- 4. — Robinet d'injection d'eau et de vapeur.
- 5a, 5b. — Indicateurs de niveau d'eau de la chaudière BP.
- 6a, 6b. — Indicateurs de niveau d'eau de la chaudière HP.
- 7. — Indicateur de niveau d'eau indirect de la chaudière HP.
- 8. — Robinet double de prise d'eau des arroseurs.
- 9. — Robinet de manœuvre des sablières.
- 10. — Manomètre triplex du frein (réservoir principal, conduite automatique, réservoir auxiliaire).
- 11. — Manomètre duplex du frein (réservoir secondaire et cylindre à frein).
- 12. — Manomètre des boîtes à vapeur HP et BP.
- 13. — Pyromètre surchauffeur HP.
- 14. — Pyromètre surchauffeur BP.
- 15. — Pyromètre circuit primaire.
- 16. — Manomètre du chauffage par la vapeur.
- 17. — Manomètre des chaudières HP et BP.
- 18. — Manomètre du circuit primaire.
- 19a, 19b, 19c. — Manomètres de pulsation des 3 pompes à eau.

Robinet de prise de vapeur :

- 20. — de la pompe à air.
- 21. — des sablières.
- 22. — du souffleur.
- 23. — du réchauffage du graisseur.
- 24. — du chauffage.
- 25. — du groupe turbo-dynamo.
- 26. — de la pompe d'alimentation HP.G.
- 27. — de la pompe d'alimentation BP.
- 28. — de la pompe d'alimentation HP.D.
- 29. — Robinet de communication des chaudières HP et BP.
- 30. — Robinet de prise de vapeur du souffleur.
- 31. — Robinet de prise de vapeur de la pompe d'alimentation HP.D.
- 32. — Robinet de prise de vapeur de la pompe d'alimentation HP.G.
- 33. — Robinet arroseur de la porte de boîte à fumée.
- 34. — Robinet arroseur du cendrier.
- 35. — Robinet arroseur du charbon.
- 36. — Robinet de prise d'eau de refroidissement des pompes d'alimentation HP.
- 37. — Graisseur mécanique Michalk.
- 38. — Indicateur-enregistreur de vitesse et de la pression du chauffage.
- 39. — Volant de manœuvre de la grille mobile.
- 40. — Robinet détendeur du chauffage par la vapeur.

vapeur saturée BP  
vapeur surchauffée BP  
vapeur surchauffée HP

suffisante dans le circuit primaire. Si, exceptionnellement,  $T$  devenait supérieur à  $t$ , c'est que la vapeur dans le circuit primaire serait surchauffée, indice certain d'une perte d'eau importante.

e) *Robinet de passage de vapeur de la chaudière HP à la chaudière BP.* — Ce robinet a été prévu :

— pour obvier à l'élévation trop lente de la pression dans la chaudière BP lors des préparations ;

— pour abaisser, en marche, la pression dans la chaudière HP, dès que cette pression atteint le timbre, et éviter ainsi de faire souffler les soupapes HP.

f) *Régulateurs.* — Les régulateurs, type Schmidt et Wagner, sont placés en aval des surchauffeurs correspondants.

Ils sont actionnés par le même levier.

g) *Alimentation.* — L'alimentation de la chaudière BP est assurée par un injecteur  $U_1$  (en charge) et par une pompe compound système Nielebock-Knorr.

L'alimentation de la chaudière HP est assurée par deux pompes compound système Knorr.

Les pompes HP et BP peuvent être actionnées soit par la vapeur surchauffée BP (ce qui doit se faire normalement), soit par la vapeur surchauffée HP (qu'on utilise pour faire marcher les pompes HP lors des préparations, quand la pression n'est pas suffisante dans la chaudière BP).

h) *Échappement.* — L'échappement est fixe et circulaire.

i) *Graissage.* — Le graissage est assuré par un graisseur mécanique Michalk à 16 départs, placé sous l'abri et commandé par la prise de mouvement de l'indicateur de vitesse Flaman. Ce graisseur est muni d'un réchauffage par circulation de vapeur.

Les tuyaux de graissage sont en cuivre, de 4/7 mm de diamètre ; ils aboutissent aux points suivants (avec soupape de retenue d'huile) :

4 sur les garnitures des tiges des tiroirs HP ;

4 au milieu des chemises des tiroirs HP ;

4 sur les garnitures  $N$  et  $R$  des tiges et contre-tiges des pistons HP ;

2 au milieu des cylindres HP ;

2 dans les tuyaux de prise de vapeur des cylindres BP.

j) *Souffleur.* — Il fonctionne normalement avec de la vapeur saturée BP, mais peut aussi fonctionner avec de la vapeur surchauffée HP.

k) *Chauffage par la vapeur.* — La locomotive comporte une prise de vapeur pour le chauffage du train.

l) *Éclairage électrique.* — La locomotive est éclairée électriquement au moyen d'un groupe turbo-dynamo Sunbeam.

Cet éclairage est appliqué aux signaux d'avant de la locomotive, aux signaux d'arrière du tender et aux lanternes d'abri de la locomotive.

#### 6° Caractéristiques principales de la locomotive 241.B-1 comparées à celles des locomotives 241.A.

Le tableau ci-après donne les dimensions principales de la locomotive 241.B-1 comparées à celles des locomotives 241.A.

		LOCOMOTIVES série 241.A	LOCOMOTIVE à haute pression 241.B-1	
Grille .....	Longueur.....	2,500 m	3,220 m	
	Largeur.....	2,00 m	à l' <i>A</i> .... 0,884 m	
			à l' <i>R</i> .... 1,560 m	
	Surface.....	5,000 m <sup>2</sup>	3,89 m <sup>2</sup>	
Inclinaison.....	17,1 %	11,95 %		
Foyer.....	Hauteur intérieure.....	<i>A</i> ..... 2,129 m	<i>A</i> maximum. 1,710 m	
		<i>R</i> ..... 1,552 m	<i>R</i> maximum 1,330 m	
	Longueur intérieure.....	en haut..... 3,734 m	3,262 m	
		en bas..... 2,769 m	3,390 m	
	Largeur intérieure.....	<i>A</i> à hauteur de l'axe de la chaudière	1,671 m	en haut .... 1,340 m
		en bas.....	2,000 m	en bas.. { <i>A</i> 0,884 m <i>R</i> 1,560 m
Profondeur de la chambre de combustion	1,200 m	1,830 m		
Longueur de la voûte en briques.....	1,200 m	1,660 m		
Surface de chauffe et de surchauffe	Foyer..	23,70 m <sup>2</sup>	Circuit prim <sup>re</sup> . 42,70 m <sup>2</sup>	
	Surfaces de chauffe totale.....	246,16 m <sup>2</sup>	Chaud. BP.... 155,80 m <sup>2</sup>	
	Surface de surchauffe .....	86,55 m <sup>2</sup>	198,50 m <sup>2</sup> HP 47,00 m <sup>2</sup> BP 48,50 m <sup>2</sup>	

CHAUDIÈRE DES LOCOMOTIVES 241.A

Diamètre extérieur de la virole <i>A</i> .....	1,815	Epaisseur de la plaque tubulaire de boîte à fumée..... 0,020	
Diamètre extérieur de la virole <i>R</i> .....	1,994		
Epaisseur de la virole <i>A</i> (acier).....	0,020		
Epaisseur des viroles <i>M</i> et <i>R</i> (acier).....	0,022		
Epaisseur de l'enveloppe de boîte à feu (acier).....	0,014		
Epaisseur de la plaque <i>A</i> de boîte à feu (acier).....	0,022		
Epaisseur de la plaque <i>R</i> de boîte à feu (acier).....	0,015		
Diamètre extérieur de la boîte à fumée...	1,835		
Longueur intérieure de la boîte à fumée..	2,9725		
			Diamètre minimum de la cheminée..... 0,408
			Volume d'eau avec 0,100 m au-dessus du ciel de foyer <i>A</i> .....
			11 470 l
			Volume de vapeur..... 3 200 l
			Capacité totale de la chaudière .....
		14 700 l	
		Timbre de la chaudière .....	
		16 kg/cm <sup>2</sup>	
		Longueur des tubes entre plaques. 5,9875	
		Tubes. { Nombre. { Tubes de 51 × 55..... 143	
		{ Tubes de 135 × 143... 33	
		{ Eléments surchauffeurs 28 × 35 .....	
		33	

APPAREIL ÉVAPORATOIRE DE LA LOCOMOTIVE 241.B-1

Chaudière primaire	Diamètre des tubes à eau....	42 × 51	Chaudière haute pression	Corps..	Diamètre intérieur..	0,950 m		
	Nombre de tubes à eau.....	286			Longueur intérieure	6,035		
	Collect <sup>rs</sup> latéraux	Diamètre intérieur.			0,260	Epaisseur .....	0,031	
		Longueur intérieure			5,175	Capacité totale....	3 350 l	
		Epaisseur minimum			0,025	Volume d'eau au niveau réglé	minimum	2 130 l
	Eléments chauffants :						maximum	2 590 l
	Diamètre des tubes .....	27 × 34				Sur-chauff <sup>r</sup>	Diamètre des tubes.	19 × 24
	Capacité totale .....	1 700 l					Nombre d'éléments.	32
	Volume d'eau au niveau réglementaire .....	740 l				Timbre.....	60 kg/cm <sup>2</sup>	
	Timbre.....	110 kg/cm <sup>2</sup>						

APPAREIL ÉVAPORATOIRE DE LA LOCOMOTIVE 241.B-1 (Suite)

Chaudière basse pression	a) Corps :		Chaudière basse pression (suite)	Volume d'eau au niveau réglem <sup>re</sup> 4 050 l	
	Diamètre intérieur de la grande virole.....	1,608		Timbre.....	14 kg/cm <sup>2</sup>
	Epaisseur des tôles en acier... {	0,0165		b) Tubes à fumée :	
		et 0,016		Nombre.....	132
	Longueur du corps cylindrique.....	5,132		Diamètre.....	76,5 × 83
	Longueur intérieure de la boîte à fumée.....	2,680		Long <sup>r</sup> entre plaques tubulaires.....	4,920
	Diamètre intérieur de la boîte à fumée.....	1,750		c) Surchauffeur :	
Capacité totale.....	6 340 l	Diamètre des tubes.....	19 × 24		
		Nombre d'éléments.....	66		

CHASSIS		LOCOMOTIVES série 241.A	LOCOMOTIVE à haute pression 241.B-1
Ecartement des longerons.....		1,224	1,224
Epaisseur des longerons.....		0,028	0,028
Largeur extérieure du tablier.....		2,970	2,970
Longueur de la machine, tampons compris.....		16,450	16,125
Ecartement des essieux {	1 <sup>er</sup> et 2 <sup>e</sup> .....	2,300	2,300
	2 <sup>e</sup> et 3 <sup>e</sup> .....	1,850	1,850
	3 <sup>e</sup> et 4 <sup>e</sup> .....	1,950	1,950
	4 <sup>e</sup> et 5 <sup>e</sup> .....	1,950	1,950
	5 <sup>e</sup> et 6 <sup>e</sup> .....	1,950	1,950
	6 <sup>e</sup> et 7 <sup>e</sup> .....	3,100	3,000
	extrêmes.....	13,100	13,000
ROUES MONTÉES ET ESSIEUX			
Diamètre des roues ... {	1 <sup>er</sup> et 2 <sup>e</sup> essieux.....	1,010	1,010
	3 <sup>e</sup> , 4 <sup>e</sup> , 5 <sup>e</sup> et 6 <sup>e</sup> essieux.....	1,800	1,800
	7 <sup>e</sup> essieu.....	1,370	1,370
Jeu latéral et déplacement des essieux de chaque côté {	Bogie — Jeu latéral.....	0,061	0,061
	3 <sup>e</sup> essieu — Déplacement.....	0,001	0,001
	4 <sup>e</sup> essieu — Boudin aminci.....	0,021	0,021
	5 <sup>e</sup> essieu — Boudin aminci.....	0,021	0,021
	6 <sup>e</sup> essieu — Déplacement.....	0,001	0,001
7 <sup>e</sup> essieu — Jeu latéral.....	0,096	0,096	
Ecartement intérieur des bandages.....		1,360	1,360
Rayon minimum d'inscription en voie de 1,450.....		150 m	150 m
MOUVEMENT			
Nombre de cylindres..... {	HP 2		HP 2
	BP 2		BP 2
Diamètre des cylindres..... {	HP 0,510		HP 0,240
	BP 0,720		BP 0,560
Course des pistons..... {	HP 0,650		HP 0,650
	BP 0,700		BP 0,700
Volume d'une cylindrée..... {	HP 133 l		HP 25,7 l
	BP 285 l		BP 168,3 l
Volume du réservoir intermédiaire.....		491,5 l	»
Ecartement d'axe en axe des cylindres..... {	HP 0,550		HP 0,520
	BP 2,110		BP 2,210
Longueur des bielles motrices..... {	HP 1,650		HP 1,750
	BP 1,750		BP 3,450
Rayon des manivelles..... {	HP 0,325		HP 0,325
	BP 0,350		BP 0,350

	Locomotives série 241.A	Locomotive à haute pression 241.B-1
<b>DISTRIBUTION</b>		
Type de la distribution .....	HP : Walschaerts	HP : Renvoi de mouvement
	BP : Walschaerts	BP : Walschaerts
Diamètre des tiroirs cylindriques.....	HP 0,240	HP 0,120
	BP 0,360	BP 0,250
Course maximum des tiroirs.....	HP 0,154	HP 0,2025 m
	BP 0,208	BP 0,186
Recouvrement à l'admission .....	HP 0,034	HP { A 0,046 R 0,039
	BP 0,034	BP 0,039
Recouvrement à l'échappement .....	HP — 0,004	HP { A — 0,004 R 0,003
	BP — 0,004	BP — 0,001
Introduction moyenne maximum .....	HP 75,2%	HP 80 %
	BP 85,3%	BP 80 %
<b>SECTIONS DE PASSAGE DE VAPEUR</b>		
Largeur des lumières d'admission.....	HP 0,040	HP 0,050
	BP 0,050	BP 0,052
Largeur des lumières d'échappement.....	HP 0,1475	HP »
	BP 0,150	BP »
Tuyau de prise de vapeur.....	HP 0,0201 m <sup>2</sup>	HP 0,0028 m <sup>2</sup>
	BP 0,0434	BP 0,0176
Tuyau d'échappement .....	HP 0,0434	HP 0,0111
	BP 0,0531	BP 0,02269
<b>POIDS</b>		
Machine vide.....	102 260 kg	106 000 kg
Machine en ordre de marche.	1 <sup>er</sup> essieu .....	11 880 kg
	2 <sup>e</sup> essieu .....	11 880
	3 <sup>e</sup> essieu .....	18 500
	4 <sup>e</sup> essieu .....	18 500
	5 <sup>e</sup> essieu .....	18 500
	6 <sup>e</sup> essieu .....	18 500
	7 <sup>e</sup> essieu .....	16 650
Total.....	114 410 kg	114 470 kg
Poids adhérent.....	74 000 kg	74 000 kg
Vitesse maximum.....	110 km/h	110 km/h

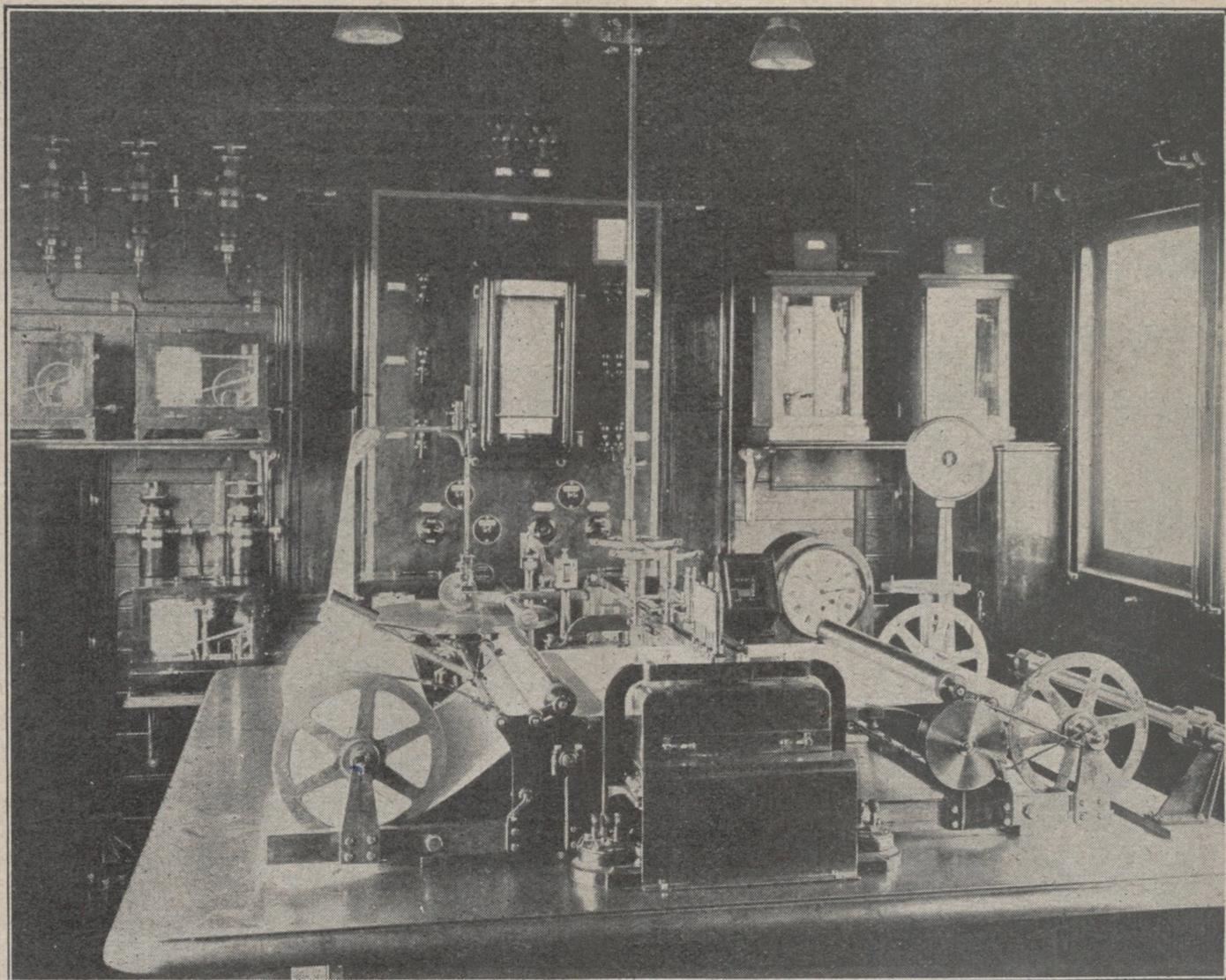
### III. — LES ESSAIS DYNAMOMÉTRIQUES A LA C<sup>ie</sup> P.-L.-M. ET LES RÉSULTATS OBTENUS AVEC LA LOCOMOTIVE 241.B-1.

#### A. — LES ESSAIS DYNAMOMÉTRIQUES A LA C<sup>ie</sup> P.-L.-M.

S'inspirant des procédés employés en Allemagne <sup>(1)</sup> et en Pologne <sup>(2)</sup>, la Compagnie P.-L.-M. a adopté, depuis 1928, pour ses essais de locomotives, la méthode d'expérimentation dite « à vitesse constante ». Cette méthode offre, en effet, la possibilité, et c'est là un avantage considérable, de maintenir *invariables*, sur la locomotive expérimentée, pendant *toute* la durée de l'essai, les divers facteurs (cran de marche, vitesse, ouverture du régulateur, cran

Fig. 11. — LE WAGON-DYNAMOMÈTRE DE LA COMPAGNIE P.-L.-M.

La Salle des Appareils de mesure.



(1) *Glaser's Annalen*, Tome 103, 1<sup>er</sup> décembre 1928 : « Les nouvelles méthodes d'essais des locomotives à vapeur et les résultats obtenus », par M. le Professeur NORDMANN.

*Glaser's Annalen*, Tome 108, 1<sup>er</sup> Mars 1931 « Nouvelles installations et nouvelles méthodes pour l'essai des locomotives de la Reichsbahn », par MM. GUNTHER et SOLVEEN.

(2) *Bulletin de l'Association Internationale du Congrès des Chemins de Fer*, Volume XII, n<sup>o</sup> 12, Décembre 1930 : « Exposé de la méthode d'essai des locomotives en usage sur les chemins de fer de l'État polonais », par M. le professeur CZECZOTT.

d'échappement) susceptibles d'influer sur le rendement. On peut se rendre compte ainsi de l'influence successive de chacun des facteurs ; on peut, d'autre part, et en particulier, chiffrer avec assez d'exactitude la consommation de charbon par cheval-heure au crochet de traction, correspondant à une puissance déterminée réalisée à une vitesse donnée, et mesurer de la sorte le rendement de la machine.

Dans le but d'effectuer au cours des essais le maximum de relevés, tout en réduisant au minimum l'intervention des agents des essais, on utilise le plus grand nombre possible d'appareils enregistreurs à distance placés à demeure dans le wagno-dynamomètre : manomètres enregistreurs Bourdon, déprimomètre enregistreur Richard, enregistreurs Siemens (à 6 courbes) de pressions et de températures, enregistreurs Siemens de débit d'eau <sup>(1)</sup> (Fig 11).

Afin de pouvoir comparer rapidement et superposer les divers relevés, toutes les bandes enregistreuses se déroulent à la même vitesse (2 millimètres par minute) et sont repérées simultanément, depuis la machine, par le chef des essais.

La précision dans les résultats des essais dépendant, d'autre part, de la précision des relevés effectués, tous les appareils sont vérifiés avant et après chaque série d'essais, à savoir :

— ressorts de traction du wagno-dynamomètre, au moyen d'un appareil spécial type P.-L.-M permettant le tarage sans aucun démontage,

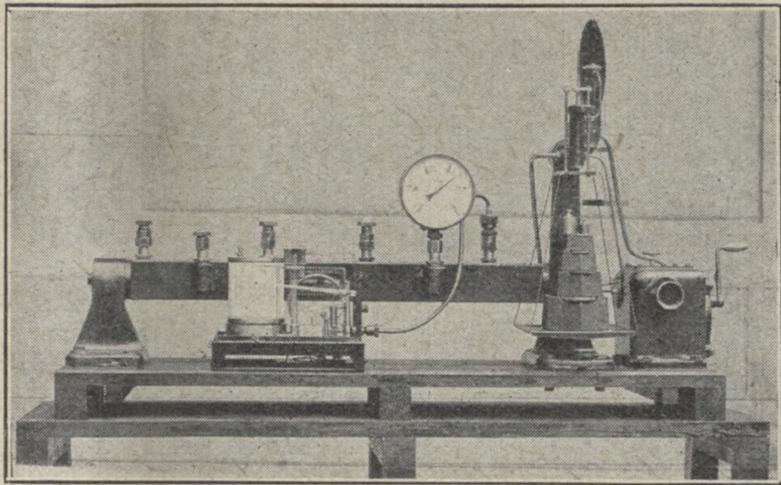
- ressorts des indicateurs Maïhak, au moyen d'un appareil d'épreuve Maïhak,
- manomètres et déprimomètre, au moyen d'une balance Guillery (Fig. 12),
- compteurs d'eau, par jaugeage,
- thermomètres, au moyen d'un four électrique spécial type P.-L.-M.

Nous signalerons incidemment que l'utilisation de ce four électrique pour la vérification des thermomètres à résistance Siemens a montré que la nature du métal employé pour la confection des protecteurs des résistances et la forme même de ces protecteurs avaient une influence *considérable* sur l'exactitude des relevés.

Les figures 13 à 15 reproduisent quelques courbes d'étalonnage obtenues au cours des recherches entreprises et montrent de façon nette la nécessité de faire appel, pour les protecteurs, à un métal aussi peu conducteur que possible de la chaleur. Aussi a-t-on substitué aux protecteurs Siemens en acier ordinaire et à surface extérieure lisse, des protecteurs en acier au nickel-chrome, avec ailettes longitudinales ou transversales.

Ces résultats sont tout à fait conformes à ceux auxquels la Reichsbahn est arrivée de son côté <sup>(2)</sup>.

Fig. 12. — BALANCE GUILLERY POUR L'ÉTALONNAGE DES MANOMÈTRES ET DÉPRIMOMÈTRES.



<sup>(1)</sup> L'enregistrement des débits d'eau se fait également sur la bande enregistreuse de l'effort de traction.

<sup>(2)</sup> *Glaser's Annalen*, N° du 1<sup>er</sup> Mars 1931 : « Nouvelles installations et nouvelles méthodes pour l'essai des locomotives de la Reichsbahn », par MM. GUNTHER et SOLVEEN.

Fig. 13. — INFLUENCE DE LA NATURE ET DE LA FORME DES PROTECTEURS DES THERMOMÈTRES  
A RÉSISTANCE SUR LES INDICATIONS DU GALVANOMÈTRE.

La température du four est portée progressivement aux environs de 400°C,  
puis ramenée progressivement à la température ambiante.

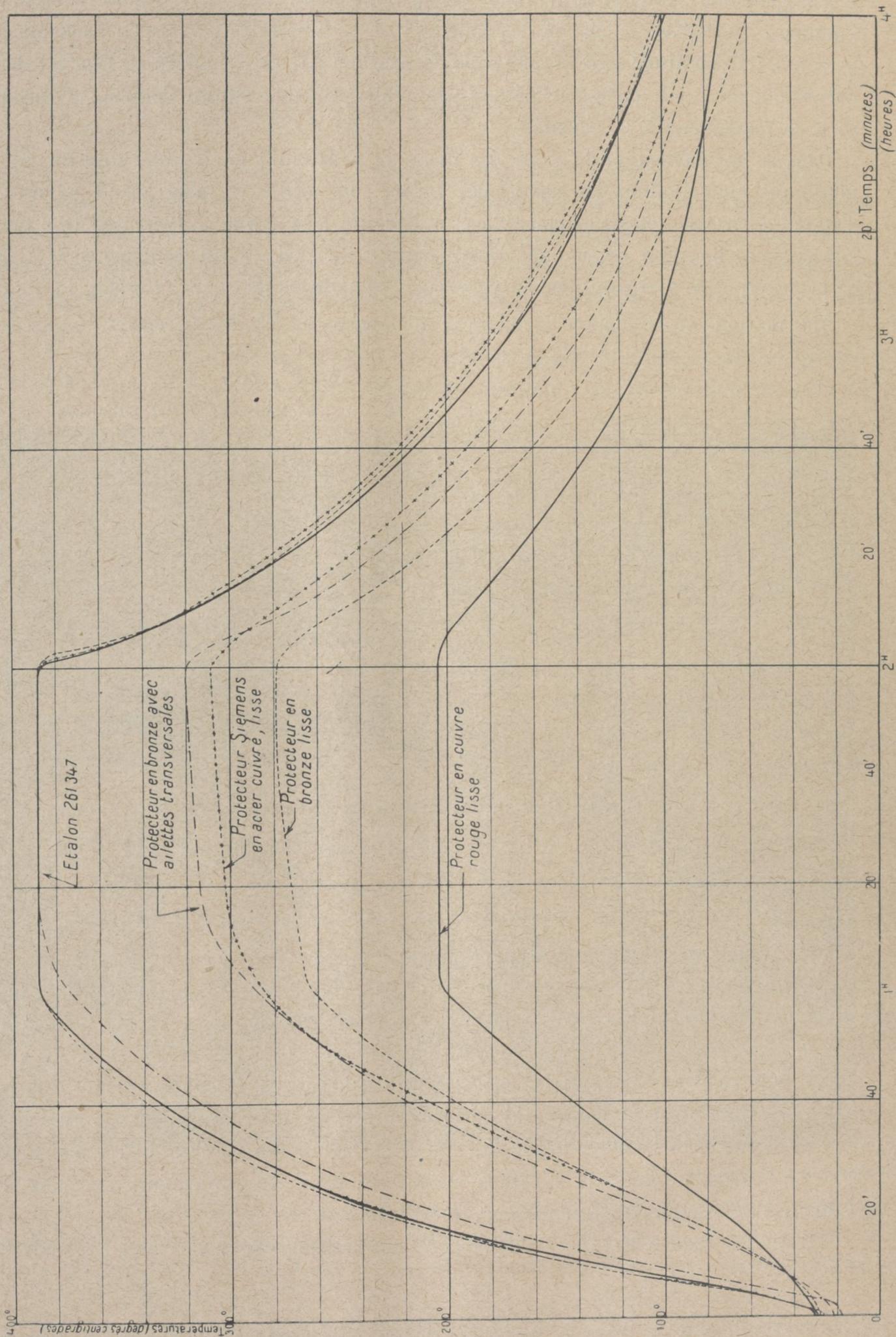


Fig. 14. — INFLUENCE DE LA NATURE ET DE LA FORME DES PROTECTEURS DES THERMOMÈTRES  
A RÉSISTANCE SUR LES INDICATIONS DU GALVANOMÈTRE.

La température du four est portée progressivement aux environs de 400°C,  
puis ramenée progressivement à la température ambiante.

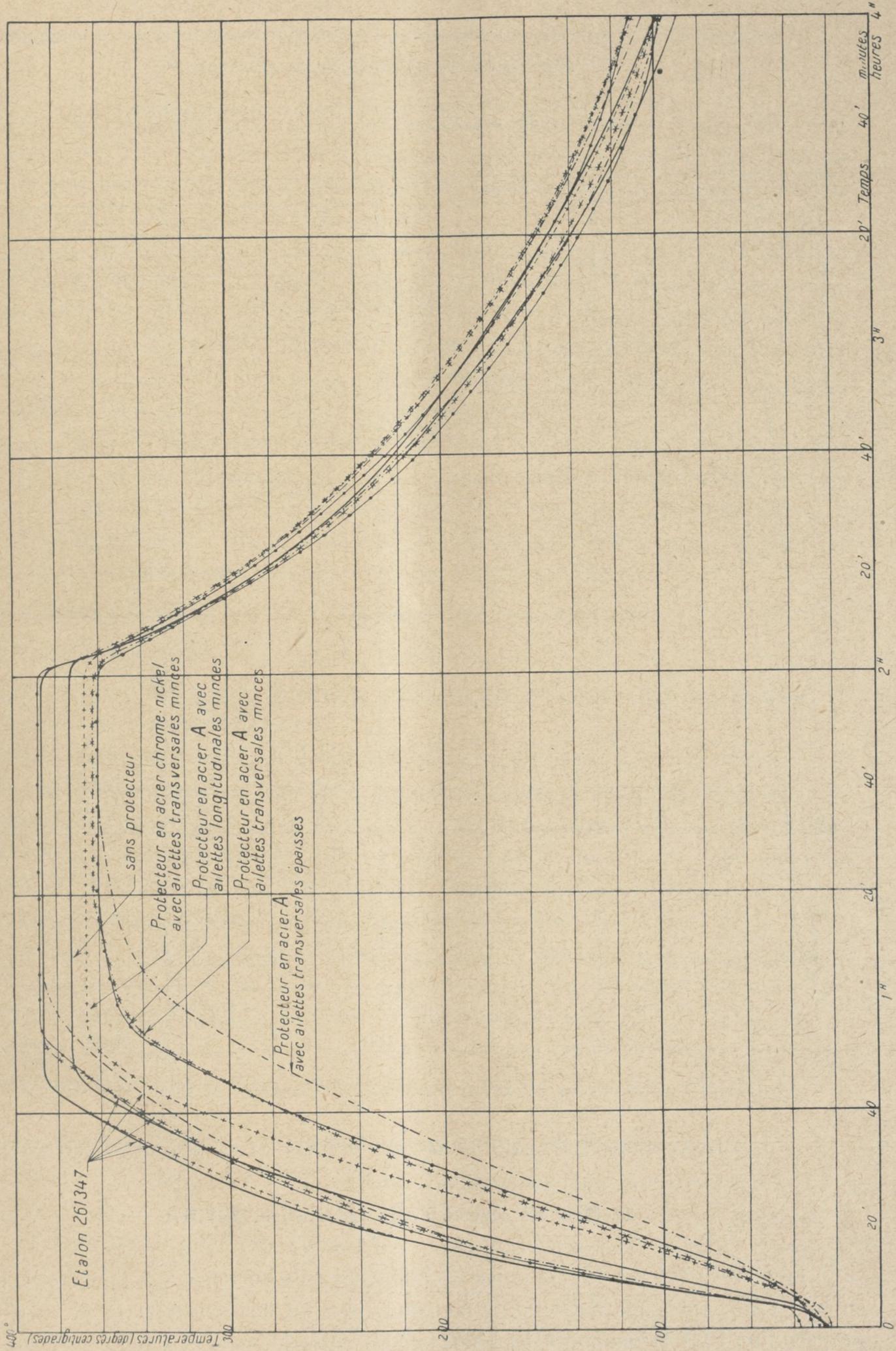
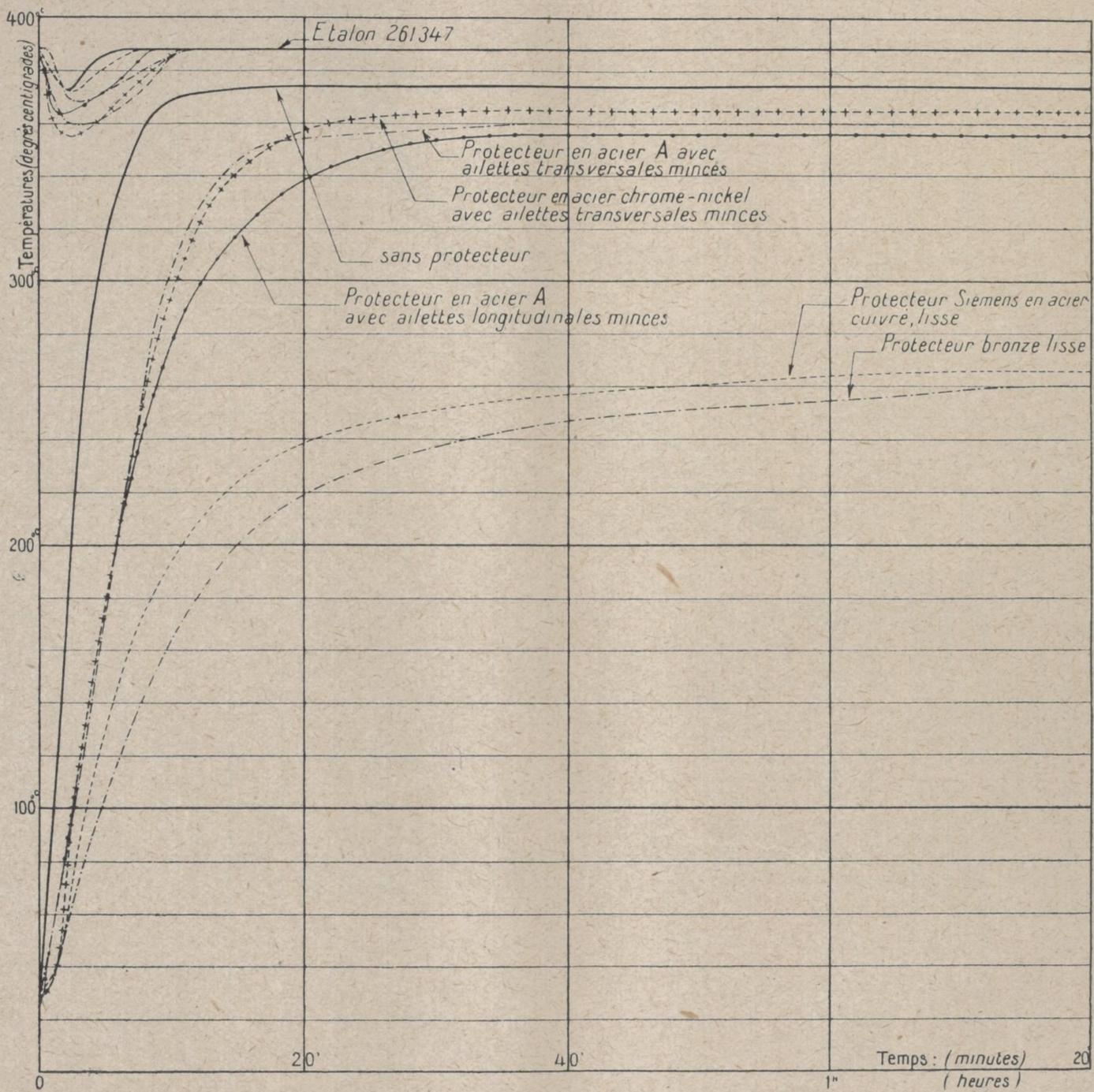


Fig. 15. — INFLUENCE DE LA NATURE ET DE LA FORME DES PROTECTEURS DES THERMOMÈTRES A RÉSISTANCE SUR LES INDICATIONS DU GALVANOMÈTRE.

Les résistances avec leurs protecteurs sont plongées brusquement dans le four dont la température est maintenue à une valeur constante voisine de 400°C.



B. — ESSAIS EFFECTUÉS AVEC LA LOCOMOTIVE 241.B-1 ET RÉSULTATS OBTENUS

1° Mise en service de la locomotive 241.B-1.

La locomotive 241.B-1 fut livrée par les Établissements Henschel à la Compagnie P.-L.-M. en Juin 1930. Après une légère mise au point, elle fut lancée sur la ligne où elle assura jusqu'en juin 1931 la remorque des trains rapides entre Laroche et Dijon, au même titre et aussi bien que les locomotives 241.A.

**2° Sujétions résultant d'un timbre trop bas du circuit primaire et de la présence d'une soupape de sûreté sur ce circuit.**

La conduite de la locomotive est facile, un peu plus compliquée toutefois que celle d'une locomotive ordinaire. Une difficulté résulte, notamment, de la présence d'une soupape de sûreté sur le circuit primaire et du fait que, contrairement aux prévisions du constructeur, la pression dans le circuit peut dépasser le timbre ( $110 \text{ kg/cm}^2$ ).

Afin d'avoir la certitude de supprimer toute perte d'eau au circuit primaire — *et sans cette certitude on n'a pas de sécurité* —, on a dû, à l'origine, conduire le feu de façon à ne pas dépasser la pression de  $100 \text{ kg/cm}^2$  dans ce circuit; une certaine marge entre la pression maximum d'utilisation et le timbre est, en effet, nécessaire si on veut éviter que des fuites non visibles ne viennent à se produire avant la levée en grand de la soupape (si ces fuites sont, à l'extrême rigueur, visibles de jour, elles ne le sont certainement pas de nuit).

La marge de  $10 \text{ kg/cm}^2$  qui fut ainsi prévue se manifesta insuffisante, des pertes d'eau s'étant produites qui n'ont pu être attribuées qu'à des fuites par la soupape. Plutôt que d'augmenter cette marge en dessous du timbre, car c'eût été réduire le rendement de la locomotive, la Compagnie P.-L.-M. sollicita du Ministère des Travaux Publics l'autorisation, qui lui fut accordée, de faire marcher successivement et pendant un certain temps, la locomotive :

- avec la soupape de sûreté du circuit primaire chargée à  $130 \text{ kg/cm}^2$ ,
- sans soupape de sûreté,

étant entendu que la pression dans le circuit, contrôlée par un manomètre enregistreur, ne pourrait en aucun cas dépasser  $110 \text{ kg/cm}^2$ .

Les constatations qui vont être faites durant ces deux périodes permettront de déterminer le régime qui sera finalement adopté. Mais, quel que soit ce régime, il sera toujours tel qu'on ne devra jamais laisser monter la pression dans le circuit primaire au-dessus du timbre, et cette obligation ne cessera d'être une sujétion gênante pour le chauffeur <sup>(1)</sup> que lorsqu'on aura pu modifier convenablement la locomotive (par exemple, en élevant le timbre du circuit primaire ou en changeant la forme des éléments vaporisateurs).

La conclusion à tirer de ce qui précède est que, dans un appareil évaporatoire système Schmidt, *il faut timbrer le circuit primaire à une pression de beaucoup supérieure (de  $50 \text{ kg/cm}^2$  par exemple) à celle pouvant être atteinte en service normal.*

**3° Résultats de la visite de l'appareil évaporatoire après un parcours de 20 000 km.**

Après un parcours de 20 000 km, l'appareil évaporatoire fut visité à fond.

On constata une déformation partielle, très faible d'ailleurs, des tubes du circuit primaire qui n'étaient plus à l'alignement. Certains étaient en saillie côté foyer, d'autres en retrait côté enveloppe. Les déformations, qui étaient de 4 mm au maximum, s'étaient produites

---

(1) A l'heure actuelle, la pression pouvant atteindre assez facilement  $110 \text{ kg/cm}^2$ , le chauffeur doit porter, en permanence, son attention sur le manomètre du circuit primaire et agir, le cas échéant, sur la porte du foyer ou sur les trappes du cendrier de façon à éviter tout dépassement du timbre tout en s'en écartant le moins possible.

particulièrement au coup de feu et commençaient à 100 ou 150 mm du bord supérieur du cadre pour se terminer, sauf quelques exceptions, au niveau de la voûte.

Les éléments vaporisateurs qui sont placés dans la chaudière HP étaient recouverts extérieurement d'une couche de tartre adhérent de 1,5 mm d'épaisseur. L'utilisation d'un désincrustant permit ultérieurement d'éliminer totalement les incrustations.

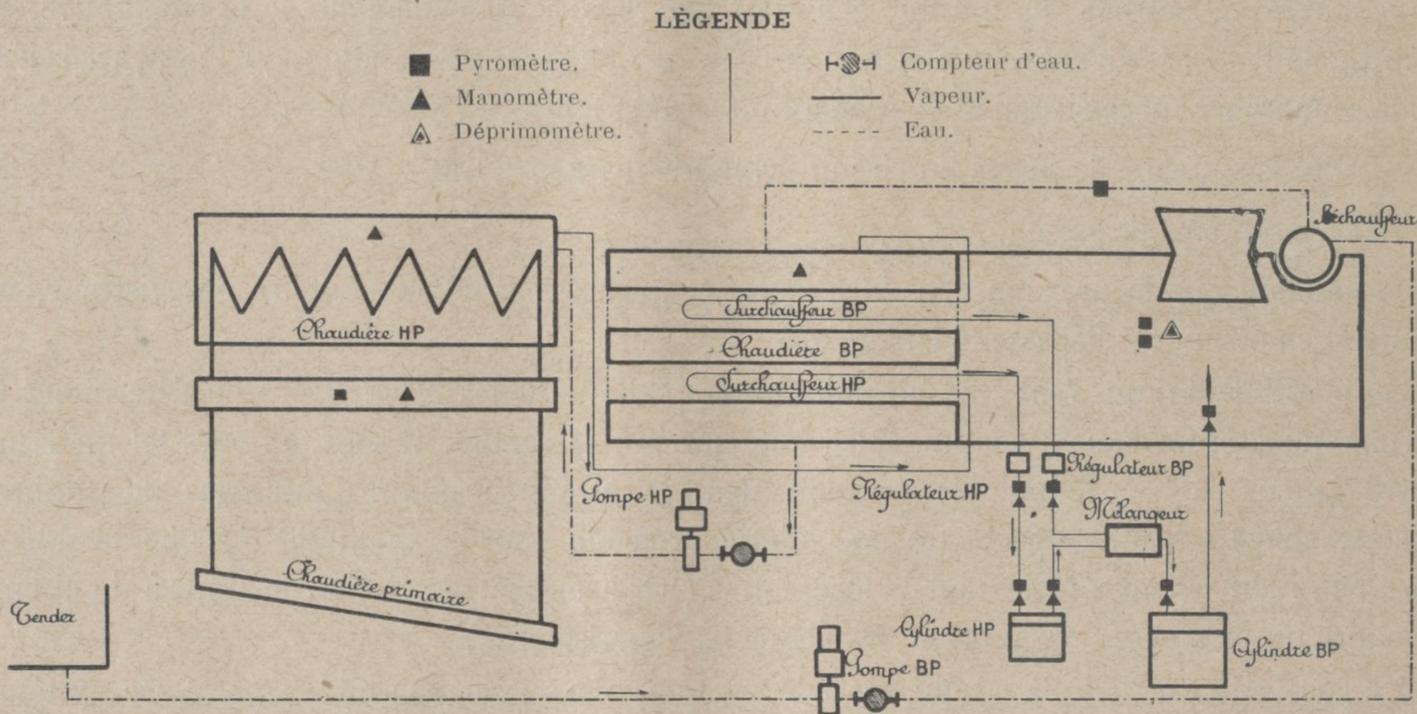
Enfin, on vida le circuit primaire et l'analyse de l'eau retirée ne fit rien apparaître d'anormal <sup>(1)</sup>.

#### 4° Essais dynamométriques et Résultats obtenus.

Après une année de service courant au cours de laquelle on put s'assurer que l'appareil évaporatoire ne donnait lieu à aucun incident (parcours effectué : 36 000 km), on décida de faire des *essais méthodiques*.

Fig. 16. — ESSAIS DE LA LOCOMOTIVE 241.B-1.

Schéma des prises de températures et pressions.



A cet effet, la locomotive fut équipée en Juillet 1931 avec des indicateurs de puissance Maïhak <sup>(2)</sup> et avec l'appareillage nécessaire pour permettre d'enregistrer à distance, dans le wagon-dynamomètre, les pressions, dépressions, températures et débits aux points indiqués sur la figure 16. Des essais à vitesse constante furent ensuite effectués aux vitesses  $V = 60, 80, 95$  et  $105$  km/h <sup>(3)</sup>, les admissions à chaque vitesse étant prises égales à 25, 30, 35, 40 et 45 %.

(1) L'analyse donna les résultats suivants :

- Matières grasses par litre ..... traces
- Résidu sec à 110° par litre ..... 162 milligrammes.

Le résidu sec à 110° était principalement constitué par de l'oxyde de fer.

(2) En vue d'éviter les canalisations trop longues, on fut conduit à placer un indicateur Maïhak sur chacun des fonds du cylindre BP.

(3) Vitesse maximum de la locomotive : 110 km/h.

Fig. 17. — ESSAIS DE LA LOCOMOTIVE 241.B-1.  
Installations réalisées sur le côté droit de la locomotive.

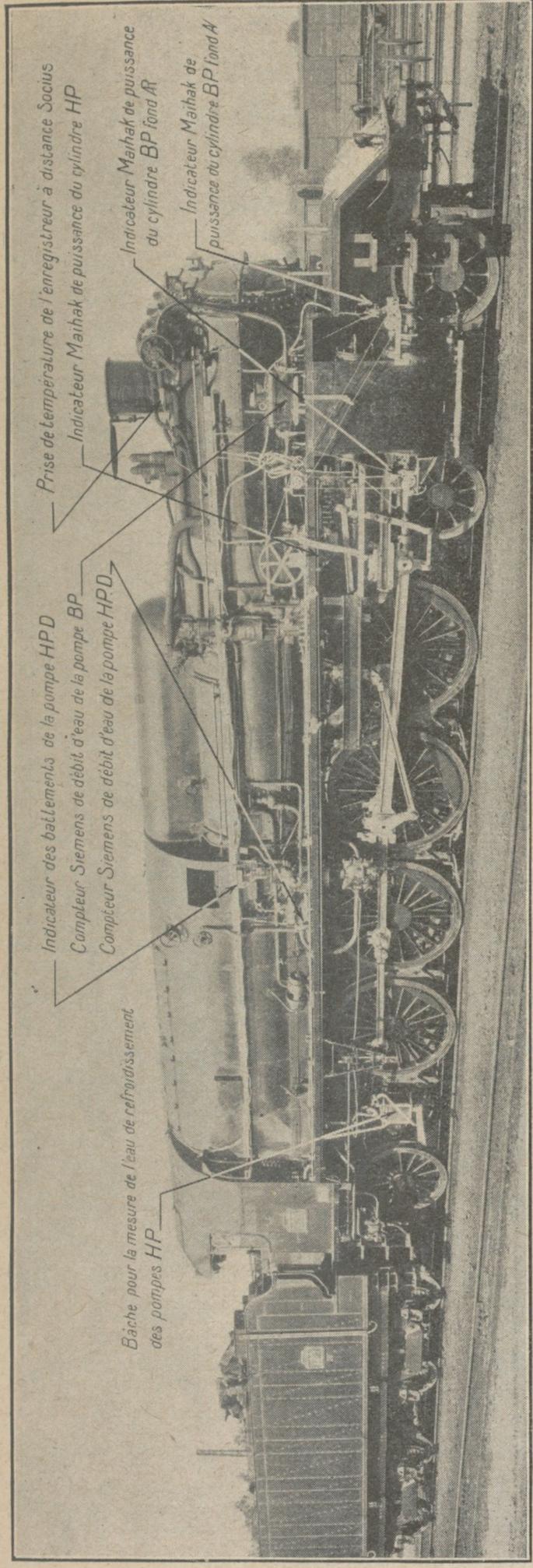
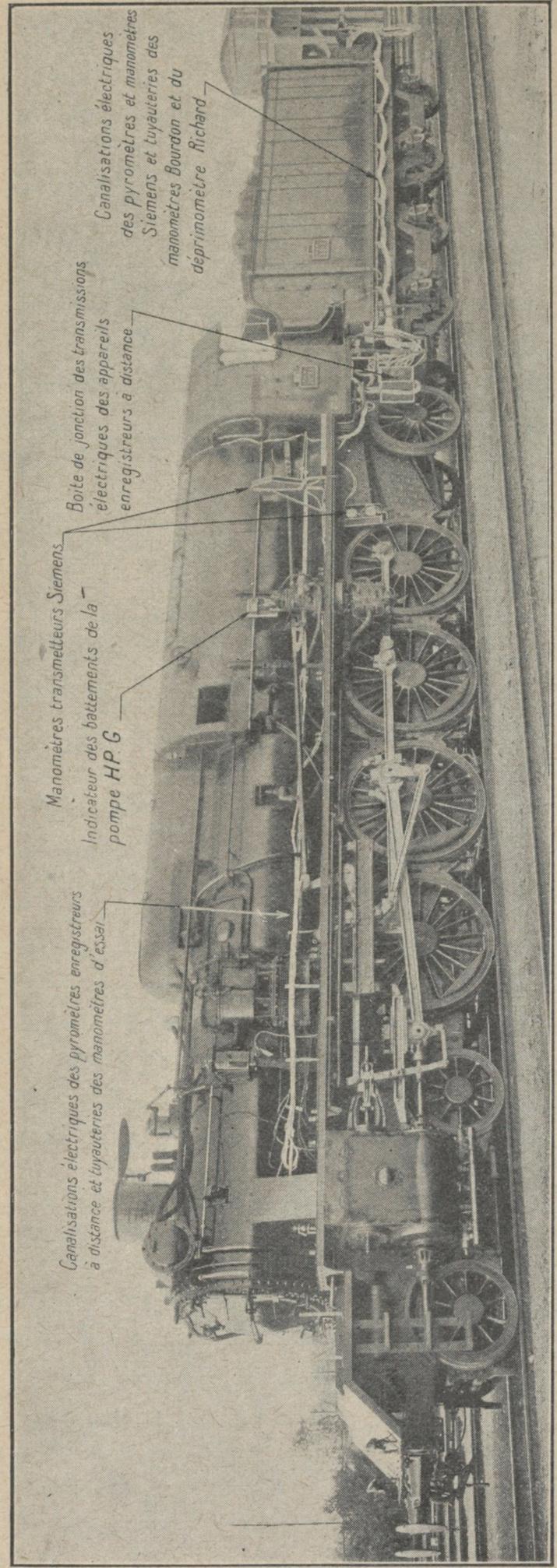


Fig. 18. — ESSAIS DE LA LOCOMOTIVE 241.B-1.  
Installations réalisées sur le côté gauche de la locomotive.



Les figures 17 et 18 donnent une idée des installations réalisées pour les essais sur la locomotive 241.B-1 (1).

a) *Puissance indiquée et puissance effective.*

Les figures 19, 20 et 21 représentent respectivement, en fonction de la vitesse, la puissance indiquée  $P_i$ , la puissance au crochet de traction  $P_e$  et l'effort au crochet de traction.

Fig. 19. — PUISSANCE INDIQUÉE.

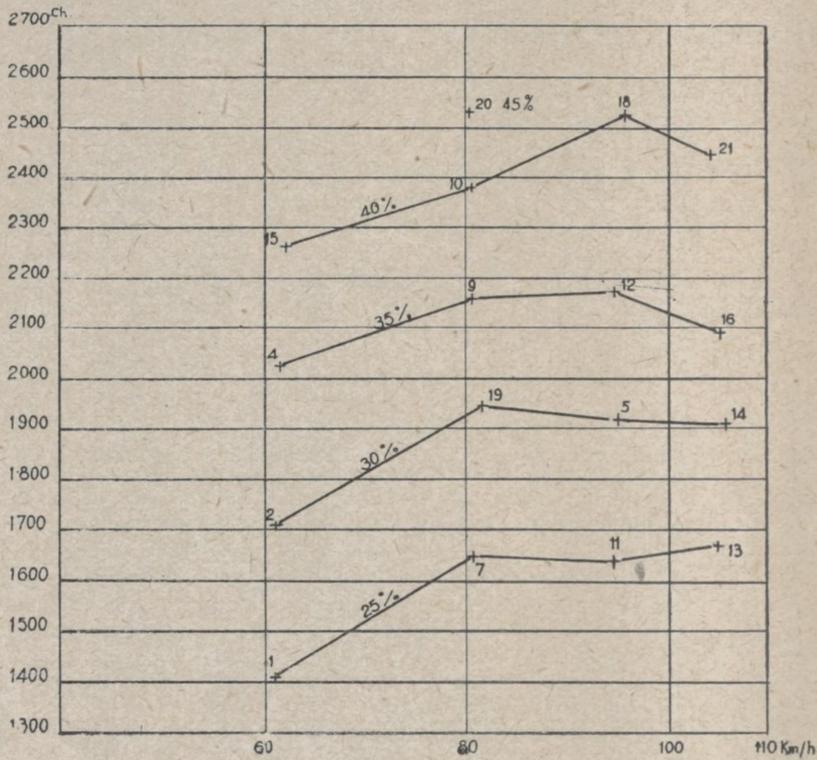


Fig. 20. — PUISSANCE AU CROCHET DE TRACTION DU TENDER.

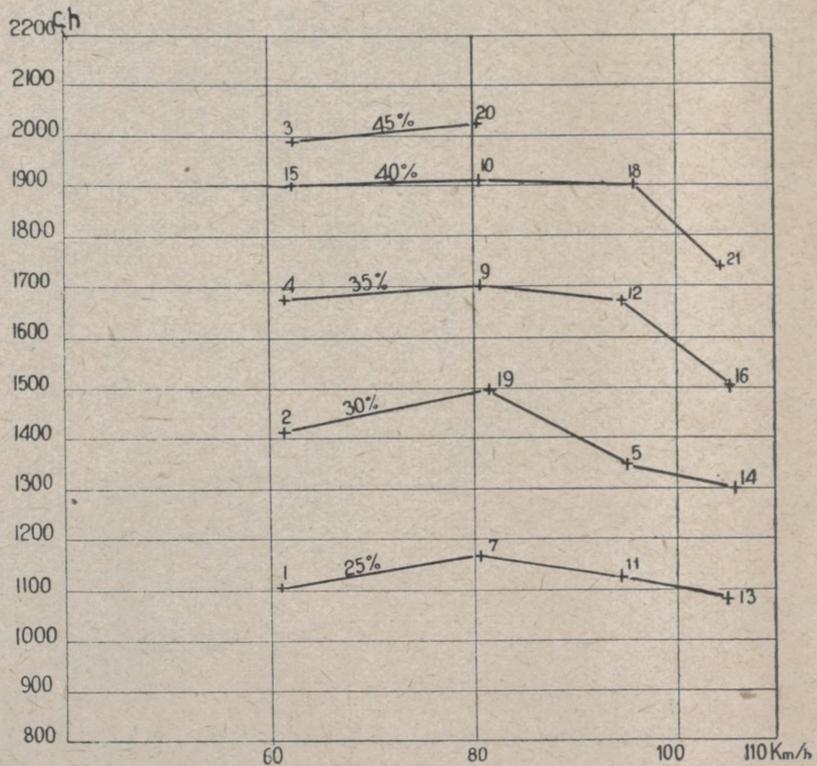
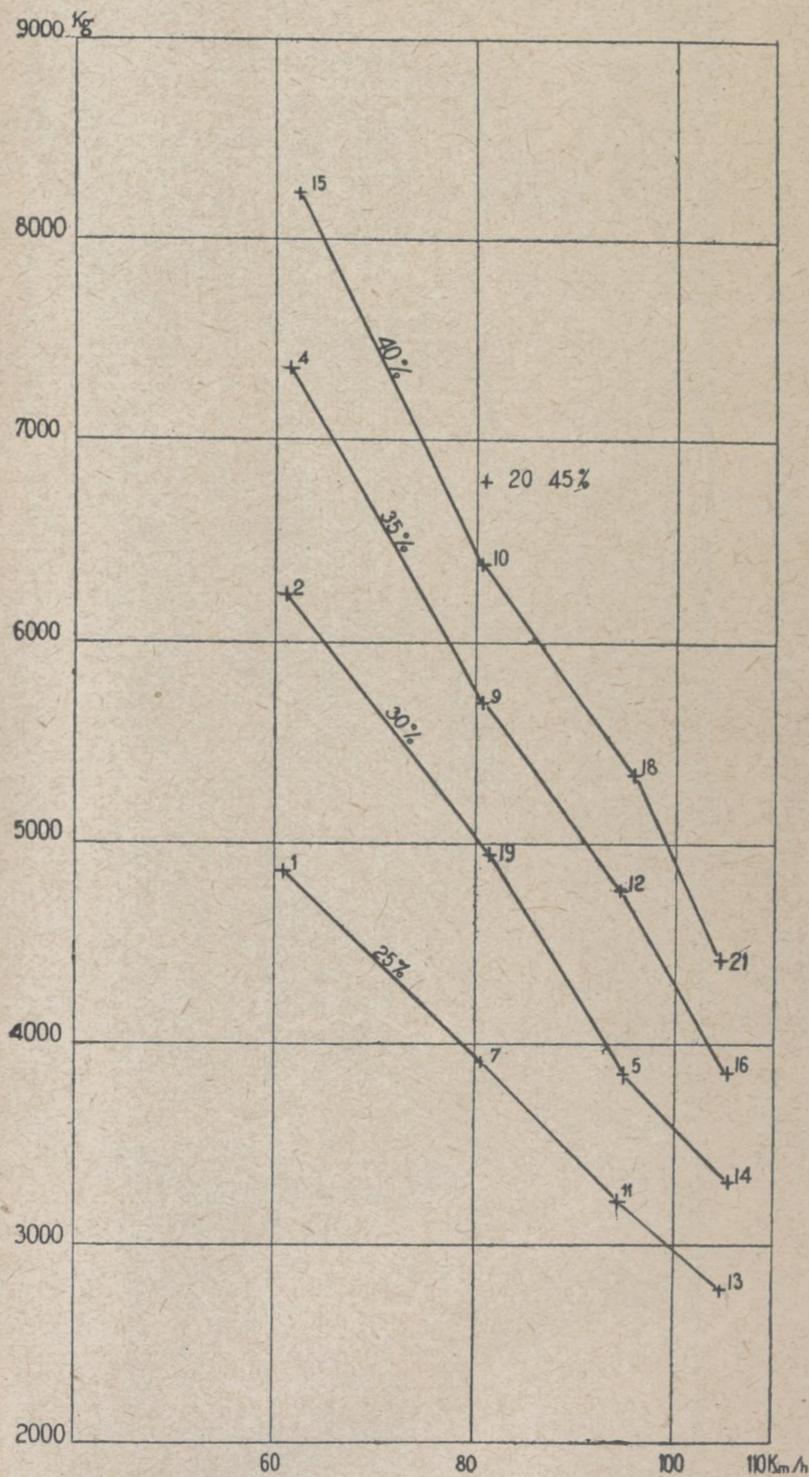


Fig. 21. — EFFORT AU CROCHET DE TRACTION DU TENDER.



(1) Pour les essais, les écrans destinés à éviter les rabattements de fumée ont dû être enlevés pour permettre la mise en place des appareils de mesure.

Les figures 22 à 25 reproduisent, d'autre part, les diagrammes d'indicateurs aux vitesses  $V = 60, 80, 95$  et  $105$  km/h et aux admissions  $30\%$  et  $40\%$ .

Les puissances maxima atteintes ont été de  $2\,530$  ch pour la puissance indiquée et de  $2\,026$  ch pour la puissance effective. Ces chiffres peuvent être considérés comme relativement

Fig. 22. — DIAGRAMMES D'INDICATEUR RELEVÉS A LA VITESSE  $V = 60$  KM/H.

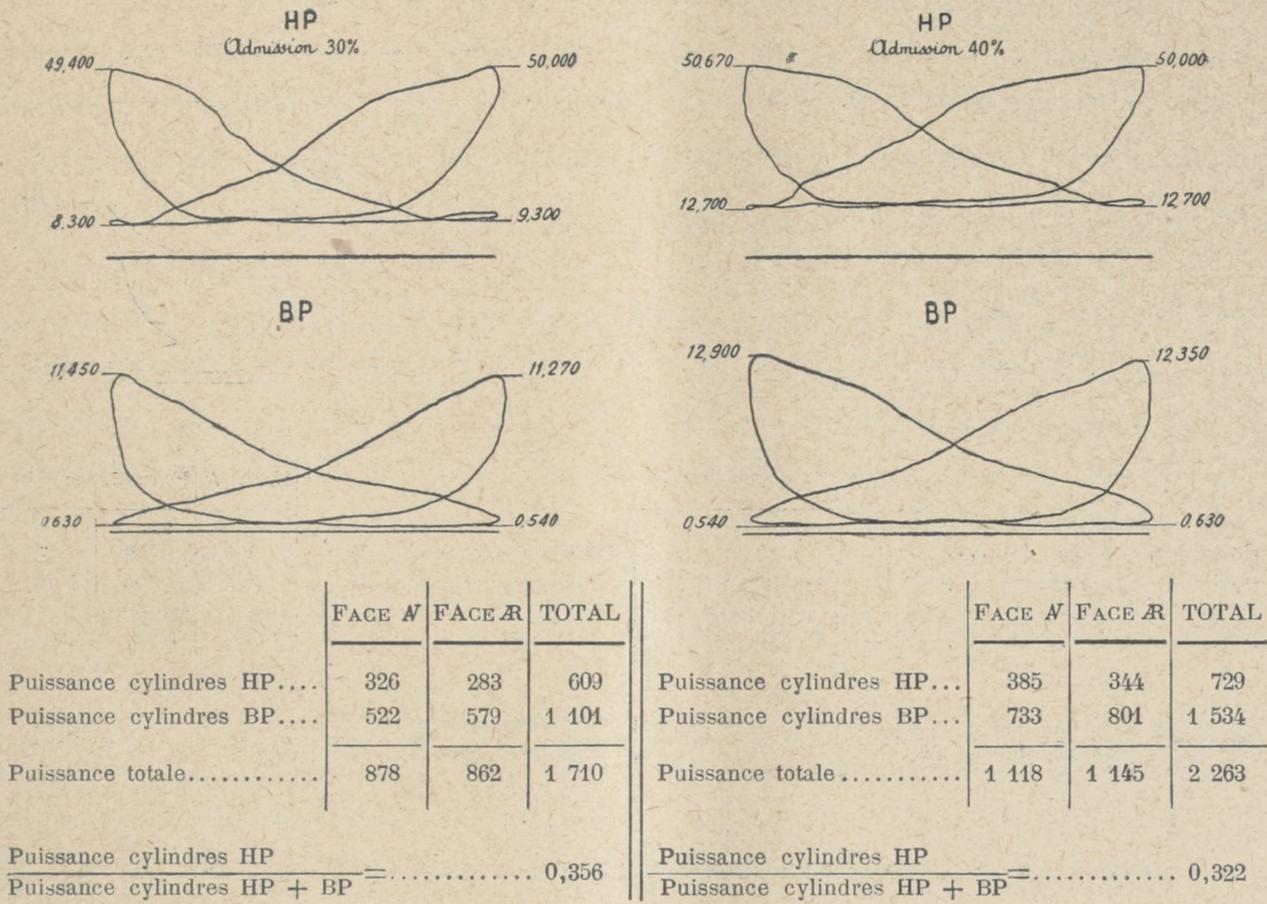


Fig. 23. — DIAGRAMMES D'INDICATEUR RELEVÉS A LA VITESSE  $V = 80$  KM/H.

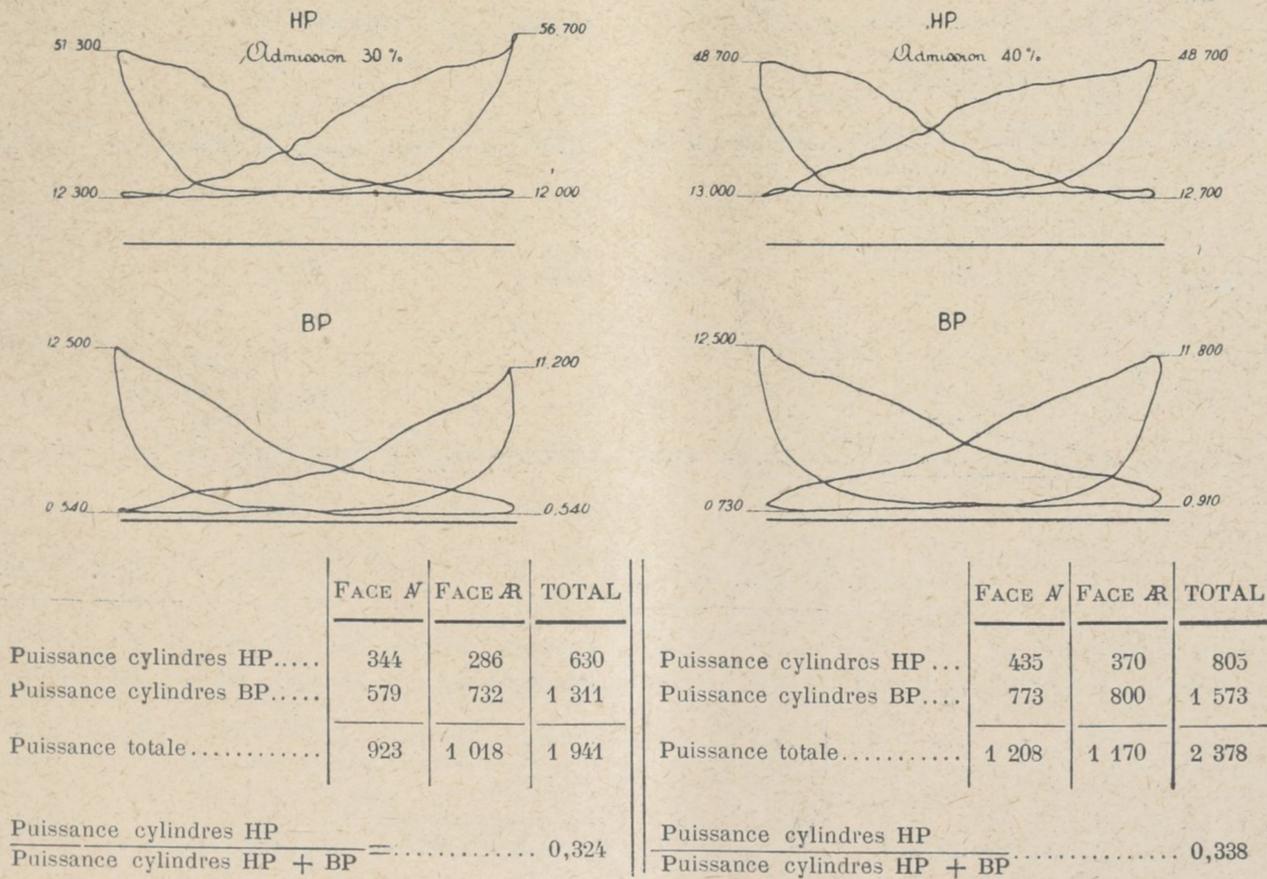
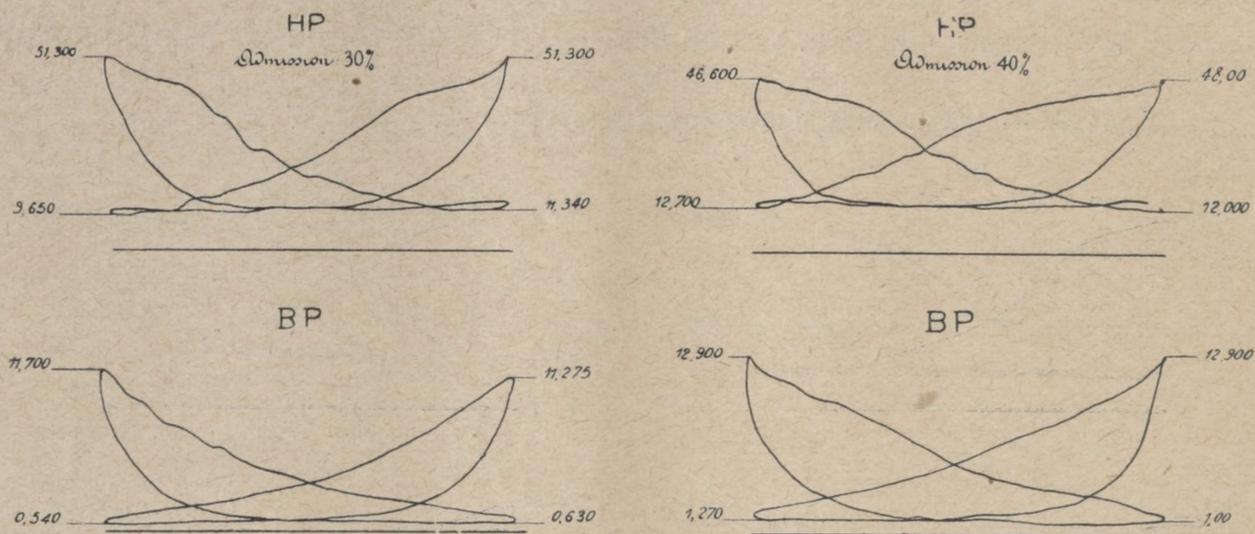


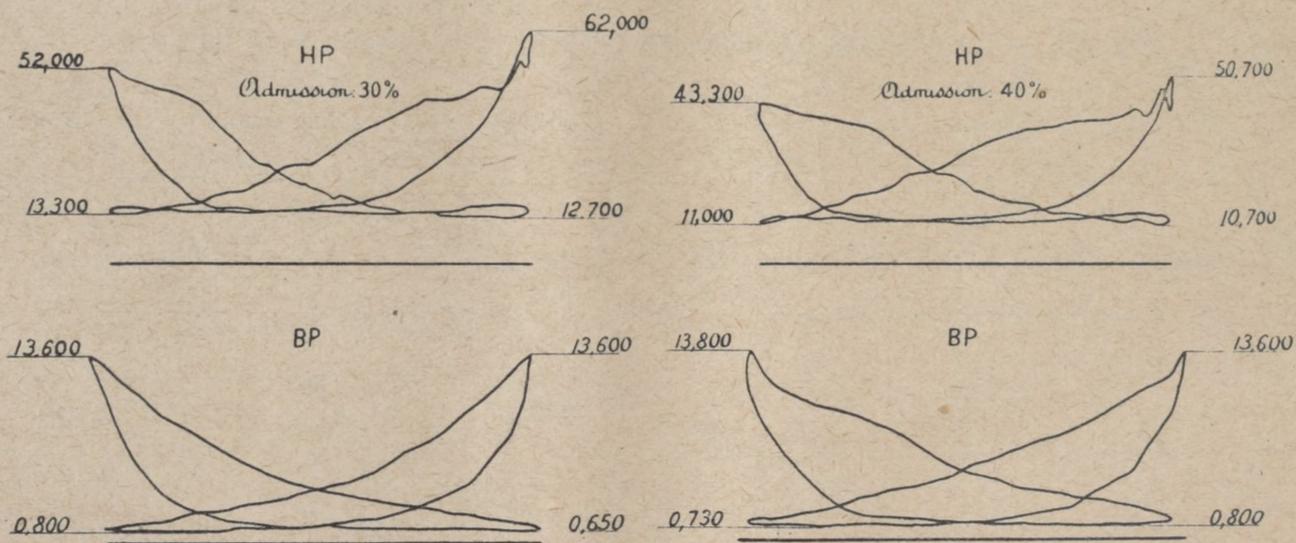
Fig. 24. — DIAGRAMMES D'INDICATEUR RELEVÉS A LA VITESSE  $V = 95$  KM/H.



	FACE A'	FACE R	TOTAL
Puissance cylindres HP ....	372	349	721
Puissance cylindres BP.....	594	601	1 195
Puissance totale.....	966	950	1 916
Puissance cylindres HP			=..... 0,376
Puissance cylindres HP + BP			

	FACE A'	FACE R	TOTAL
Puissance cylindres HP ...	453	368	821
Puissance cylindres BP....	814	893	1 707
Puissance totale.....	1 267	1 261	2 528
Puissance cylindres HP			=..... 0,324
Puissance cylindres HP + BP			

Fig. 25. — DIAGRAMMES D'INDICATEUR RELEVÉS A LA VITESSE  $V = 105$  KM/H.



	FACE A'	FACE R	TOTAL
Puissance cylindres HP ....	318	276	594
Puissance cylindres BP.....	616	700	1 316
Puissance totale.....	934	976	1 910
Puissance cylindres HP			=..... 0,311
Puissance cylindres HP + BP			

	FACE A'	FACE R	TOTAL
Puissance cylindres HP ...	411	340	751
Puissance cylindres BP....	789	882	1 671
Puissance totale.....	1 200	1 222	2 422
Puissance cylindres HP			=..... 0,310
Puissance cylindres HP + BP			

faibles, mais il ne faut pas perdre de vue qu'il s'agit d'une puissance *soutenue* sur un parcours d'une centaine de kilomètres sans le moindre arrêt ou ralentissement ; par ailleurs, l'obligation signalée plus haut de ne pouvoir dépasser la pression de 110 kg/cm<sup>2</sup> dans le circuit primaire obligeait souvent à ouvrir les portes du foyer ou à fermer les trappes du cendrier, ce qui réduisait, ipso facto, le rendement de la locomotive.

On remarquera, d'autre part, que les cylindres HP développent, grosso modo, le tiers de la puissance totale.

b) *Rendement du mécanisme et résistance au roulement de la machine.* — Les figures 26 et 27 donnent respectivement, en fonction de la vitesse, le rendement du mécanisme  $\rho_L = \frac{P_c}{P_i}$  et la résistance  $r$  au roulement de l'ensemble constitué par la locomotive 241.B-1 et le tender de 30 m<sup>3</sup> qui lui était accouplé.

Le rendement  $\rho_L$  varie de 0,84 (pour  $V = 60$  km/h et  $i = 40\%$ ) à 0,64 (pour  $V = 105$  km/h et  $i = 25\%$ ).

La résistance  $r$  au roulement ne croît pas régulièrement avec la vitesse, ce qui fait craindre qu'aux grandes vitesses on ait des erreurs d'indicateur conduisant à des valeurs trop faibles pour la puissance indiquée (1). On notera néanmoins les chiffres moyens de 8,5 kg/tonne à 60 km/h et 10 kg/tonne à 105 km/h.

Fig. 26. — RENDEMENT DU MÉCANISME.

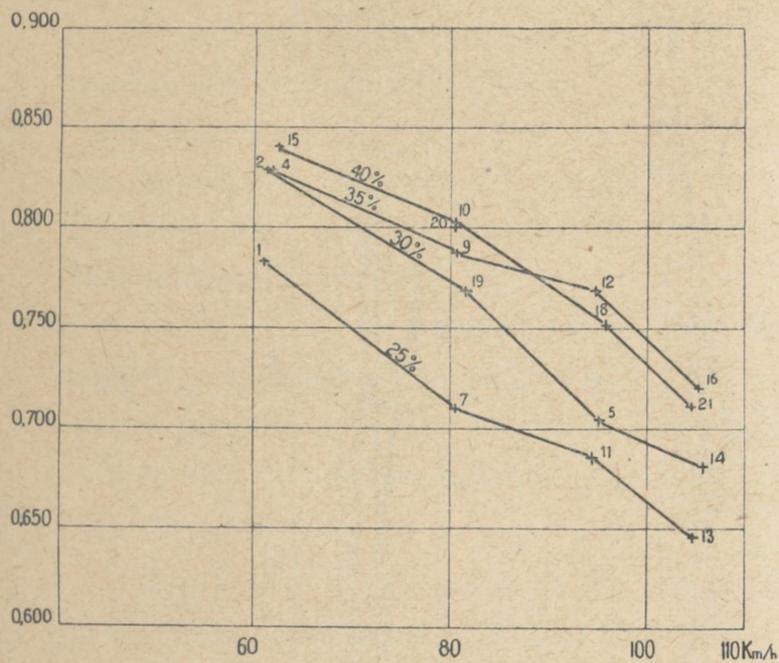
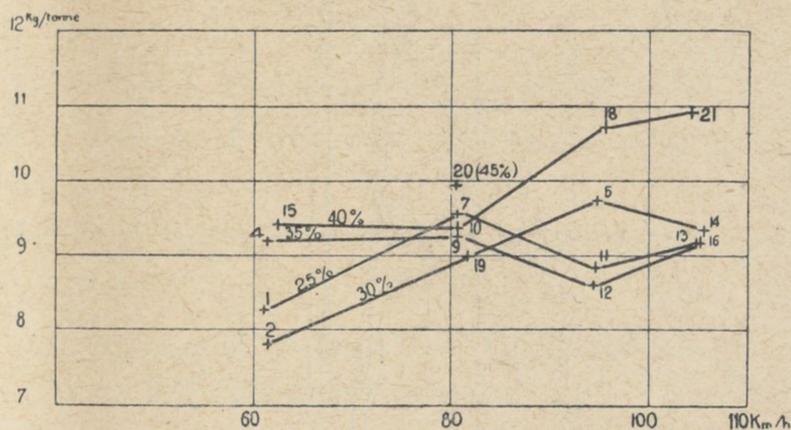


Fig. 27. — RÉSISTANCE AU ROULEMENT DE L'ENSEMBLE CONSTITUÉ PAR LA LOCOMOTIVE 241.B-1 ET UN TENDER DE 30 M<sup>3</sup>.



c) *Activité de la combustion.* — La figure 28 donne l'activité de la combustion par heure et par m<sup>2</sup> de surface de grille en fonction de la puissance au crochet de traction du tender.

d) *Rendement de l'appareil évaporatoire.* — On trouvera sur la figure 29 les valeurs du rendement  $\rho_c$  de l'appareil évaporatoire en fonction de l'activité de la combustion du charbon sur la grille et en fonction de la puissance au crochet de traction du tender (2).

(1) Voir *Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens*, n° du 15 Mai 1930 : « La locomotive moderne », par M. le Professeur NORDMANN, p. 244.

(2) Dans les calculs, on a tablé sur les chiffres suivants, résultant d'expériences en stationnement, qui donnent le poids de vapeur surchauffée BP nécessaire pour le refoulement de l'eau à la pression de service :  
 2 % pour la pompe BP,  
 5,2 % pour la pompe HP.

Fig. 28. — ACTIVITÉ DE LA COMBUSTION (par m<sup>2</sup> de surface de grille et par heure).

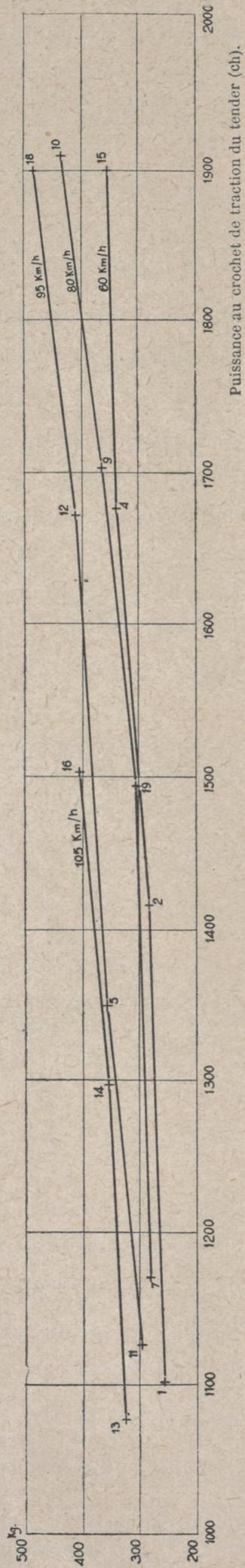
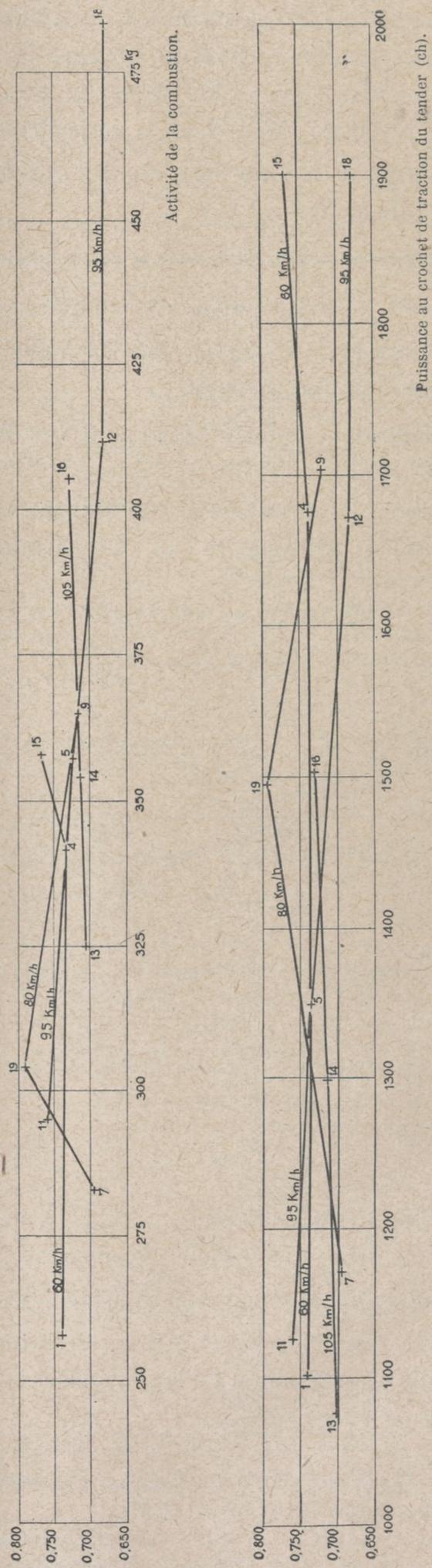


Fig. 29. — RENDEMENT DE L'APPAREIL ÉVAPORATOIRE.



Puissance au crochet de traction du tender (ch).

Activité de la combustion.

Le rendement  $\rho_c$  a une allure généralement décroissante lorsque l'activité de la combustion augmente ; dans les limites d'expérimentation où on s'est placé, il a varié de 0,79 à 0,68.

e) *Transmission de chaleur du circuit primaire à la chaudière HP.* — La figure 30, qui donne les pressions à la chaudière HP en fonction de la puissance au crochet de traction du tender, fait ressortir une allure nettement *décroissante* de la pression HP quand la puissance demandée à la machine augmente.

La raison en est qu'aux grandes puissances, le coefficient de transmission de chaleur devient trop faible.

Ce coefficient a pour expression :

$$K_{\text{m}^2/\text{heure}/\text{degré}} = \frac{E(\lambda - q)}{S(T_o - T)}$$

formule dans laquelle les lettres ont les désignations ci-après :

- E, quantité d'eau vaporisée par heure par la chaudière HP.
- $\lambda$ , chaleur totale de vaporisation de l'eau à la pression régnant dans la chaudière HP.
- q, chaleur contenue dans l'eau à son introduction dans la chaudière HP.
- S, surface de vaporisation des éléments vaporisateurs (surface intérieure exprimée en m<sup>2</sup>).
- T<sub>o</sub>, température de la vapeur dans le circuit primaire.
- T, température de l'eau de la chaudière HP.

Dans les essais effectués, on a trouvé, pour les fortes vaporisations, des coefficients de transmission de l'ordre de 2 000.

Il existe certainement une loi donnant la variation de K en fonction de E, mais elle n'est pas apparue nettement, en raison de la difficulté, voire de l'impossibilité qu'il y a, au cours d'un essai en marche, à maintenir rigoureusement constant le niveau de l'eau dans la chaudière HP (1).

Cette loi, dans la machine idéale, doit être telle que le coefficient de transmission K augmente suffisamment quand le taux de vaporisation de la chaudière HP augmente, de façon que la pression dans cette chaudière reste invariable.

Il semble qu'une amélioration puisse être trouvée dans une modification de la forme des éléments vaporisateurs.

f) *Coefficient d'utilisation de la vapeur HP dans l'appareil moteur.* — Le coefficient d'utilisation de la vapeur HP dans l'appareil moteur peut être défini par le rapport :

$$\frac{1}{q} = \frac{Q_{\text{HP}}}{Q_{\text{HP}} + Q_{\text{BP}}}$$

dans lequel :

— Q<sub>HP</sub> désigne la quantité de chaleur contenue dans la vapeur sortant du surchauffeur HP et utilisée dans les cylindres HP,

— Q<sub>BP</sub> désigne la quantité de chaleur contenue dans la vapeur sortant du surchauffeur BP et dirigée vers les mélangeurs.

---

(1) Lors d'une communication faite en 1928 à l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur, à Chalottenburg, M. l'Ingénieur diplômé Knodel avait signalé que, dans la chaudière fixe système Schmidt, de Wernigerode, le coefficient K diminuait quand E augmentait. M. Hartmann, Directeur de la Société des Surchauffeurs Schmidt, montra qu'une amélioration sensible pouvait être obtenue en modifiant le tracé des éléments vaporisateurs.

Fig. 30. — PRESSION A LA CHAUDIERE HP.

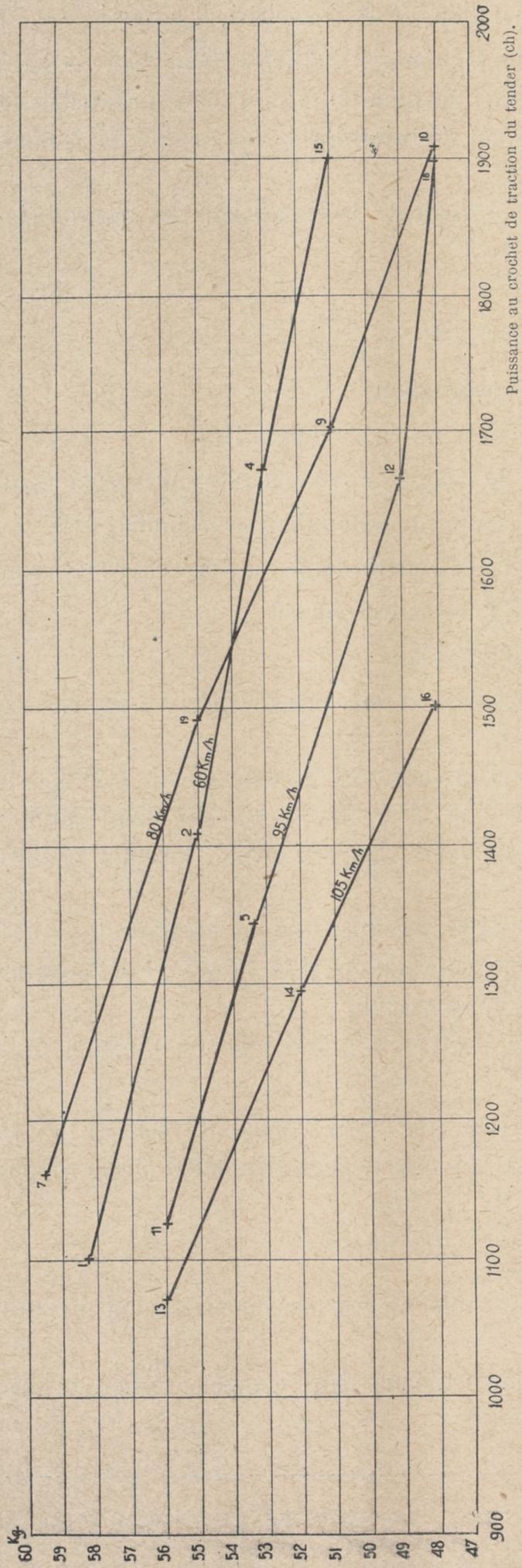
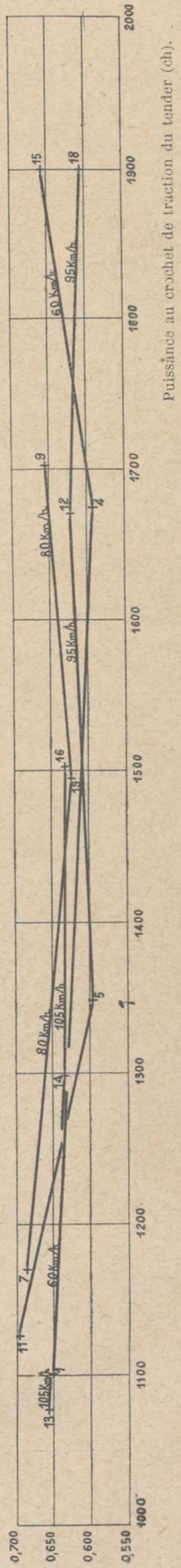


Fig. 31. — COEFFICIENT D'UTILISATION DE LA VAPEUR HP DANS L'APPAREIL MOTEUR.



La figure 31 donne les valeurs des coefficients d'utilisation de la vapeur en HP fonction de la puissance au crochet de traction du tender. On voit que ce coefficient varie de 0,70 à 0,59 avec allure générale plutôt décroissante de la courbe au fur et à mesure que la puissance croît.

g) *Température de surchauffe.* — La température de surchauffe a varié, suivant les puissances, de 350 à 410° au collecteur HP et de 345 à 390° au collecteur BP.

h) *Température des gaz de la combustion.* — La température des gaz de la combustion a varié, suivant la puissance, de 300 à 360° C.

i) *Température de l'eau d'alimentation BP.* — La température de l'eau d'alimentation BP à la sortie du réchauffeur Knorr a été relativement faible, variant de 75 à 83° C pour des températures de l'eau au tender comprises entre 17 et 23°.

Une température plus élevée serait certainement obtenue si on substituait au réchauffeur Knorr, qui est un condenseur par surface, un condenseur par mélange.

j) *Rendement thermique du moteur.* — Le rendement thermique  $\rho_M$  d'un moteur est, par définition, le rapport de la chute de chaleur  $\Delta\lambda_R$  utilisée dans le moteur, à la quantité de chaleur  $\lambda$  disponible à l'entrée du moteur. Si on appelle  $\Delta\lambda_T$  la chute de chaleur qu'on aurait eue dans un moteur parfait fonctionnant suivant le cycle de Rankine, on a :

$$\begin{aligned}\rho_M &= \frac{\Delta\lambda_R}{\lambda} \\ &= \frac{\Delta\lambda_T}{\lambda} \frac{\Delta\lambda_R}{\Delta\lambda_T}\end{aligned}$$

$\frac{\Delta\lambda_T}{\lambda}$  est le rendement thermique  $\rho_T$  du moteur fonctionnant suivant le cycle de Rankine et

$\frac{\Delta\lambda_R}{\Delta\lambda_T}$  est le rendement thermo-dynamique du moteur  $\alpha$  par rapport à la machine parfaite.

Ces définitions étant rappelées, nous passerons au calcul dans le cas de la locomotive Schmidt-Henschel.

La figure 32 donne la représentation, sur le diagramme entropique, de l'utilisation de la vapeur dans l'appareil moteur : la vapeur surchauffée HP se détend du point 1 au point 3 dans les cylindres HP ; elle se surchauffe ensuite en se mélangeant à la vapeur surchauffée BP dont le point représentatif est 2, et la totalité de la vapeur se détend du point 4 au point 5 dans les cylindres BP.

La détente complète adiabatique jusqu'à la pression d'échappement se serait faite :

- pour la vapeur HP, du point 1 au point 6 ;
- pour la vapeur BP, du point 2 au point 7 ;
- pour le mélange de vapeur, du point 4 au point 9.

Soient :

$\lambda_i$  la chaleur totale de la vapeur au point  $i$ .

$\frac{1}{m}$  le rapport de la quantité de vapeur utilisée dans les cylindres HP à la quantité totale de vapeur utilisée dans l'appareil moteur <sup>(1)</sup>.

(1) Le coefficient  $\frac{1}{m}$  est égal au coefficient  $\frac{1}{q}$  d'utilisation de vapeur HP lorsque les chaleurs totales des vapeurs surchauffées HP et BP sont égales ( $\lambda_1 = \lambda_2$ ).

La chute de chaleur utilisée dans le moteur est :

$$\Delta \lambda_R = \frac{1}{m} (\lambda_1 - \lambda_3) + (\lambda_4 - \lambda_5).$$

Par ailleurs :

$$\Delta \lambda_T = \frac{1}{m} (\lambda_1 - \lambda_6) + \left(1 - \frac{1}{m}\right) (\lambda_2 - \lambda_7)$$

et

$$\lambda = \frac{1}{m} \lambda_1 + \left(1 - \frac{1}{m}\right) \lambda_2.$$

Finalement :

$$\left\{ \begin{aligned} \rho_T &= \frac{\Delta \lambda_T}{\lambda} = \frac{\frac{1}{m} (\lambda_1 - \lambda_6) + \left(1 - \frac{1}{m}\right) (\lambda_2 - \lambda_7)}{\frac{1}{m} \lambda_1 + \left(1 - \frac{1}{m}\right) \lambda_2} \\ \alpha &= \frac{\Delta \lambda_R}{\Delta \lambda_T} = \frac{\frac{1}{m} (\lambda_1 - \lambda_3) + (\lambda_4 - \lambda_5)}{\frac{1}{m} (\lambda_1 - \lambda_6) + \left(1 - \frac{1}{m}\right) (\lambda_2 - \lambda_7)} \\ \rho_M &= \rho_T \times \alpha = \frac{\frac{1}{m} (\lambda_1 - \lambda_3) + (\lambda_4 - \lambda_5)}{\frac{1}{m} \lambda_1 + \left(1 - \frac{1}{m}\right) \lambda_2} \end{aligned} \right.$$

On aura, d'autre part, les rendements thermo-dynamiques des cylindres HP et BP considérés isolément, en prenant les rapports :

$$\alpha_{HP} = \frac{\lambda_1 - \lambda_3}{\lambda_1 - \lambda_6}$$

$$\alpha_{BP} = \frac{\lambda_4 - \lambda_5}{\lambda_4 - \lambda_9}$$

Si le coefficient  $\frac{1}{m}$  avait été égal à l'unité, autrement dit, si la machine avait fonctionné intégralement en haute pression, le rendement théorique du moteur aurait été :

$$\rho'_T = \frac{\lambda_1 - \lambda_6}{\lambda_1}$$

Il est intéressant d'indiquer, à titre de comparaison, le rendement thermique théorique des machines du type normal dont la chaleur totale de la vapeur à l'admission serait  $\lambda_1$  et dans l'hypothèse d'une chute de pression de 1 kg entre la chaudière et les boîtes à vapeur HP (Fig. 32) :

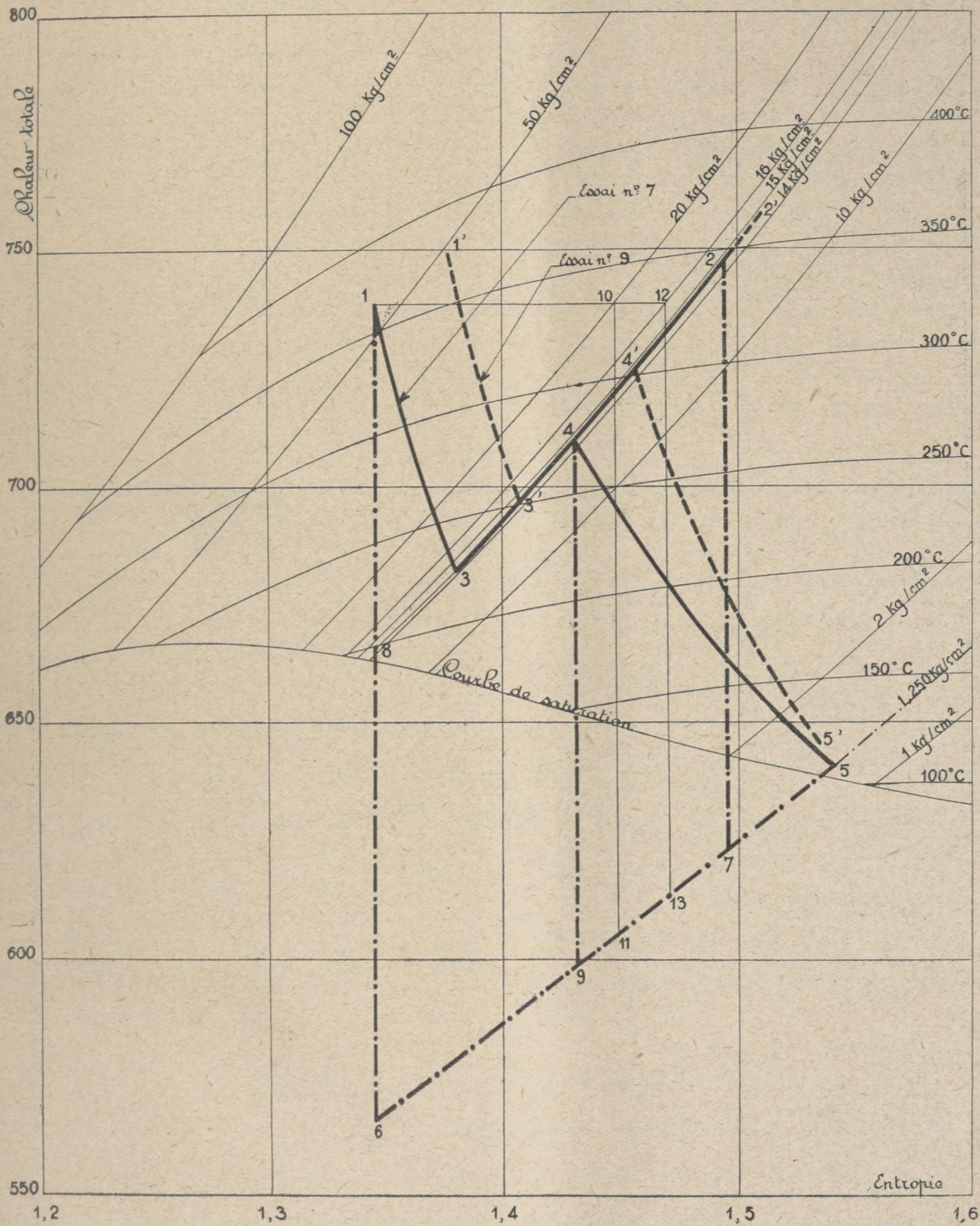
— Chaudière timbrée à 20 kg/cm<sup>2</sup> (cas des nouvelles constructions P.-L.-M.) :

$$\rho''_T = \frac{\lambda_{10} - \lambda_{11}}{\lambda_{10}} \quad \text{avec } \lambda_{10} = \lambda_1.$$

— Chaudière timbrée à 16 kg/cm<sup>2</sup> (cas des locomotives 241.A) :

$$\rho'''_T = \frac{\lambda_{12} - \lambda_{13}}{\lambda_{12}} \quad \text{avec } \lambda_{12} = \lambda_1.$$

Fig. 32. — DIAGRAMME ENTROPIQUE DE L'UTILISATION DE LA VAPEUR DANS L'APPAREIL MOTEUR.



Faisons l'application de ces formules à deux essais quelconques, caractérisés par des puissances au crochet très différentes et au cours desquels on a relevé les chiffres suivants :

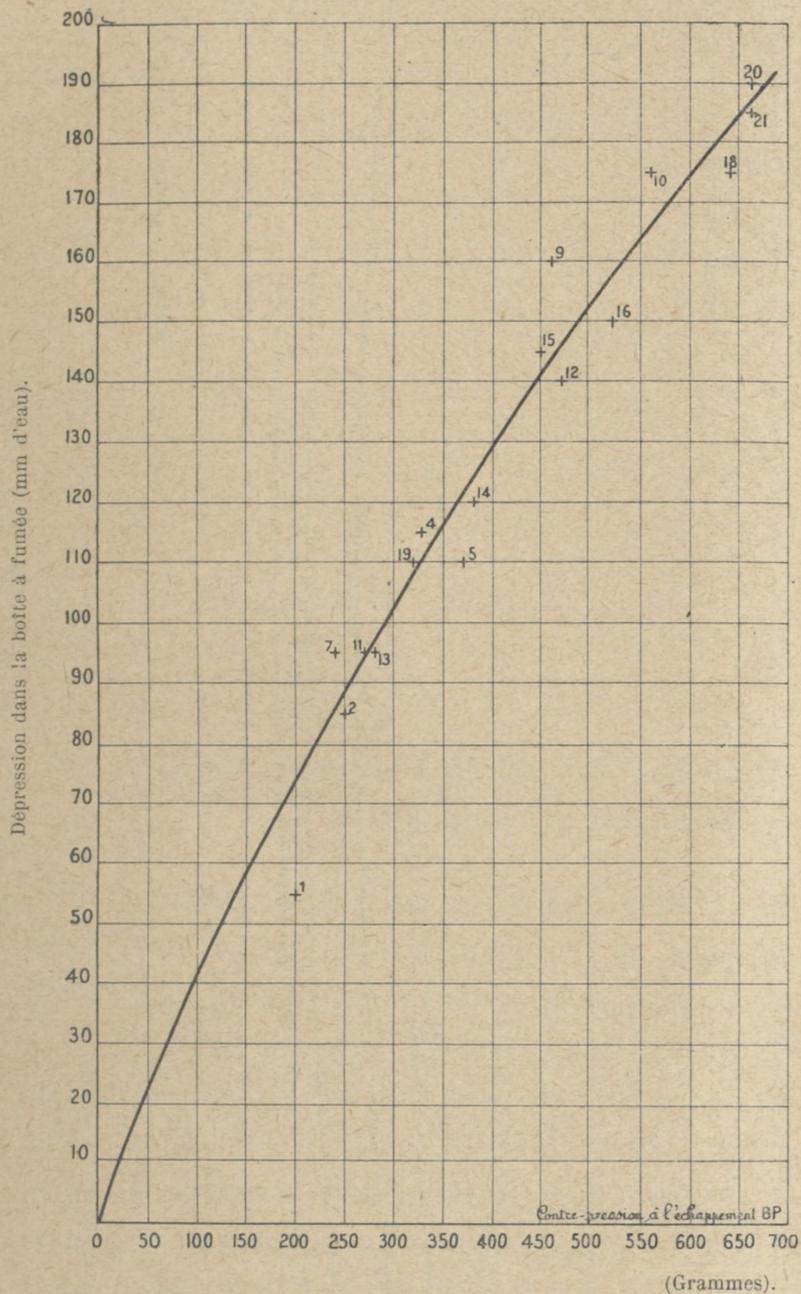
	ESSAI NUMÉRO 7 V = 80 km/h    i = 25 % Pe = 1 150 CV			ESSAI NUMÉRO 9 V = 80 km/h    i = 35 % Pe = 1 700 CV		
	Pression absolue (kg/cm <sup>2</sup> )	Température (degrés centigrades)	Chaleur totale	Pression absolue (kg/cm <sup>2</sup> )	Température (degrés centigrades)	Chaleur totale
Point 1 — Boîte à vapeur HP.....	56,500	365	$\lambda_1 = 739$	48	377	$\lambda_1 = 750$
Point 3 — Échappement HP.....	14,100	225	$\lambda_3 = 682$	14,200	250	$\lambda_3 = 697$
Point 2 — Surchauffeur BP.....	14,600	345	$\lambda_2 = 748$	14,600	363	$\lambda_2 = 758$
Point 4 — Boîte à vapeur BP.....	14,250	275	$\lambda_4 = 711$	14,200	302	$\lambda_4 = 726$
Point 5 — Échappement BP.....	1,240	110	$\lambda_5 = 641$	1,460	120	$\lambda_5 = 646$
			$\lambda_6 = 566$			$\lambda_6 = 585$
			$\lambda_7 = 624$			$\lambda_7 = 637$
	$\frac{1}{m} = 0,686$		$\lambda_8 = 666$	$\frac{1}{m} = 0,651$		$\lambda_8 = 681$
			$\lambda_9 = 599$			$\lambda_9 = 616$
			$\lambda_{11} = 605$			$\lambda_{11} = 619$
			$\lambda_{13} = 613$			$\lambda_{13} = 628$

On trouve alors :

		Essai n° 7	Essai n° 9	
Rendement thermique théorique du moteur.....	$\rho_T$	0,212	0,199	
Rendement thermique réel du moteur.....	$\rho_M$	0,146	0,152	
Rendement thermo-dynamique du moteur.....	$\alpha$	0,692	0,765	
Rendement thermo-dynamique des cylindres HP.....	$\alpha_{HP}$	0,780	0,768	
Rendement thermo-dynamique des cylindres BP.....	$\alpha_{BP}$	0,625	0,727	
Rendement thermique théorique d'un moteur qui utiliserait uniquement de la vapeur haute pression.....	$\rho'_T$	0,234	0,220	
Rendement thermique théorique d'un moteur de machine du type normal avec chaudière timbrée à 20 kg/cm <sup>2</sup> .....	$\rho''_T$	0,181	0,174	
Rendement thermique théorique d'un moteur de machine du type normal avec chaudière timbrée à 16 kg/cm <sup>2</sup> .....	$\rho'''_T$	0,170	0,163	
Amélioration du rendement thermique théorique par rapport à la locomotive du type normal avec chaudière timbrée à 16 kg/cm <sup>2</sup>	locomotive du type normal avec chaudière timbrée à 20 kg/cm <sup>2</sup> .....	$\frac{\rho''_T - \rho'''_T}{\rho'''_T}$	6,4 %	6,7 %
	locomotive Schmidt-Henschel.....	$\frac{\rho_T - \rho'''_T}{\rho'''_T}$	24,7 %	22 %
	locomotive à haute pression intégrale.....	$\frac{\rho'_T - \rho'''_T}{\rho'''_T}$	37,6 %	34,9 %
Amélioration du rendement thermique théorique par rapport à la locomotive du type normal avec chaudière timbrée à 20 kg/cm <sup>2</sup>	locomotive Schmidt-Henschel.....	$\frac{\rho_T - \rho''_T}{\rho''_T}$	17,1 %	14,3 %
	locomotive à haute pression intégrale.....	$\frac{\rho'_T - \rho''_T}{\rho''_T}$	29,2 %	26,4 %
Amélioration du rendement thermique théorique par rapport à la locomotive Schmidt-Henschel	Locomotive à haute pression intégrale.....	$\frac{\rho'_T - \rho_T}{\rho_T}$	10,3 %	10,5 %

k). *Chute de pression de la chaudière HP aux boîtes à vapeur HP.* — La chute de pression de la chaudière HP aux boîtes à vapeur HP a varié de 3 à 4 kg.

Fig. 33. — CARACTÉRISTIQUE DE L'ÉCHAPPEMENT.



l) *Caractéristique de l'échappement.* — La figure 33 donne la caractéristique de l'échappement.

Il est certain qu'un échappement genre trèfle nouveau modèle avec petti-coat pourrait nettement améliorer la caractéristique et permettre de gagner quelque peu sur la puissance.

m) *Consommation d'eau par cheval-heure au crochet de traction du tender.* — La figure 34 montre que la consommation d'eau par cheval-heure au crochet de traction du tender varie de 7 à 10 litres suivant les puissances et suivant les vitesses.

n) *Consommation de charbon par cheval-heure au crochet de traction du tender.* — La figure 35 montre que la consommation de charbon par cheval-heure au crochet de traction du tender varie, suivant les puissances et suivant les vitesses, de 0,800 kg à 1,200 kg (charbon à 8 300 calories par kg).

o) *Rendement global effectif.* — La consommation de chaleur variant de 6 600 à 9 800 calories par cheval-heure, le rendement global effectif de la

machine ( $\rho_{ge}$ ) varie de  $\frac{633}{6\ 600} = 9,6\%$  à  $\frac{633}{9\ 800} = 6,4\%$ , soit  $8\%$  en moyenne.

p) *Rendement global indiqué.* — Le rendement global indiqué  $\rho_{gi}$  est le quotient du rendement global effectif  $\rho_{ge}$  par le rendement  $\rho_L$  du mécanisme :

$$\rho_{gi} = \frac{\rho_{ge}}{\rho_L}$$

ou

$$\rho = \rho_{ge} \frac{P_i}{P_e}$$

On peut obtenir une valeur très approchée du rendement global indiqué sans passer par l'intermédiaire du rendement global effectif, en prenant la formule :

$$\rho_{gi} = \frac{\rho_M}{n}$$

Fig. 34. — CONSOMMATION D'EAU PAR CHEVAL-HEURE AU CROCHET DE TRACTION DU TENDER.

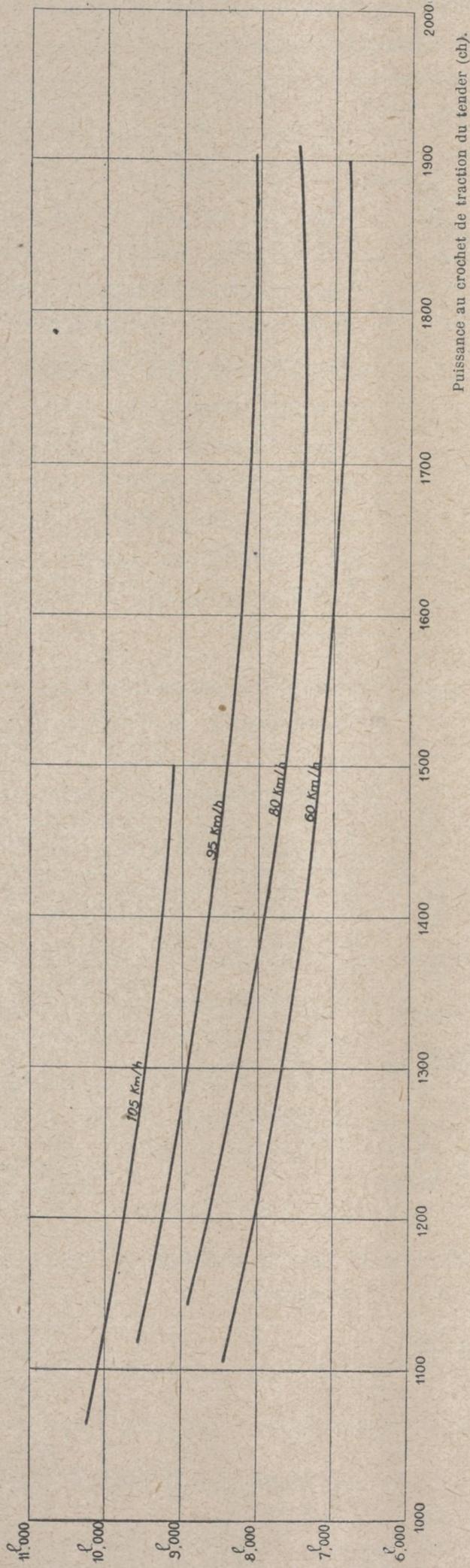
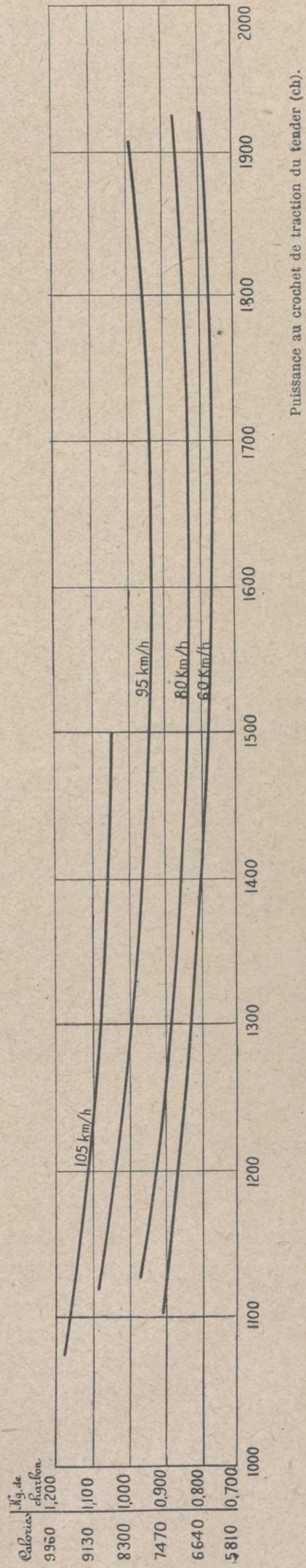


Fig. 35. — CONSOMMATION DE CHARBON PAR CHEVAL-HEURE AU CROCHET DE TRACTION DU TENDER.



dans laquelle  $\rho_M$  désigne le rendement thermique réel du moteur et  $\frac{1}{n}$  le rapport de la quantité totale de chaleur sortant des surchauffeurs HP et BP et dirigée vers l'appareil moteur ( $Q_{HP} + Q_{BP}$  avec les notations précédentes) à la quantité totale de calories produites par la combustion du charbon.

Application aux essais nos 7 et 9 :

	Essai n° 7	Essai n° 9
$\rho_{ge}$ .....	$\frac{633}{7\ 800} = 0,081$	$\frac{633}{6\ 930} = 0,091$
$\rho_L$ .....	0,71	0,785
$\rho_M$ .....	0,146	0,152
$\frac{1}{n}$ .....	0,736	0,755
Alors :		
$\rho_{gi} = \frac{\rho_g}{\rho_L}$ .....	11,4 %	11,5 %
$\frac{\rho_M}{n}$ .....	10,7 %	11,5 %

**5° Comparaison, au point de vue rendement, entre la locomotive 241.B-1 P.-L.-M. et la locomotive Schmidt-Henschel de la Reichsbahn.**

M. le Professeur Nordmann a donné, dans le numéro du 29 Décembre 1928 de la *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*, le compte rendu détaillé des essais effectués sur la Reichsbahn avec la première locomotive système Schmidt (1).

On trouvera en particulier dans cette note les chiffres de consommation de charbon par ch/h au crochet de traction du tender de la locomotive allemande à la vitesse  $V = 80$  km/h. Cette consommation a été, à son minimum, de 0,820 kg (2), alors que, pour la locomotive 241.B-1 à la vitesse  $V = 73$  km/h correspondant à un même nombre de tours de roue, la consommation est légèrement inférieure à 0,800 kg (2).

La locomotive P.-L.-M. type 2-4-1, qui offre avec son tender une résistance certainement supérieure à la locomotive allemande type 2-3-0, a donc un appareil évaporatoire de rendement un peu plus élevé, ce qui est tout à fait normal, étant donné que le coefficient d'utilisation de la vapeur HP est plus grand (59 % au minimum contre 50 %).

**6° Comparaison, au point de vue rendement, entre la locomotive 241.B-1 et les locomotives 241.A.**

La figure 36 donne les chiffres de consommation de charbon par ch/h effectif de la locomotive 241.B-1 et d'une locomotive 241.A ; la figure 37 indique l'économie de combustible en faveur de la locomotive à haute pression.

(1) Voir aussi le rapport de M. le Professeur Nordmann au dernier Congrès de l'Association Internationale des Chemins de Fer (Bulletin de Février 1930).

(2) La consommation est exprimée en charbon de 8 300 cal/kg de pouvoir calorifique.

Cette économie, qui décroît lorsque la puissance croît, varie de 23 à 18 % pour  $V = 60$  km/h

et de 27 à 22 % pour  $V = 80$  km/h. Elle est donc, en moyenne, supérieure à 20 %.

C'est une économie qu'on devra trouver en *service courant*, attendu que les dépenses pendant les stationnements, comparées à celles des locomotives 241.A, doivent se trouver réduites très approximativement comme l'a été la surface de grille, soit de 23 %.

En fait, les relevés de consommation de combustible des machines 241.A du dépôt de Laroche, où est cantonnée la locomotive 241.B-1, n'ont fait ressortir à l'avantage de celle-ci qu'une économie de 18 %. Mais les tonnages remorqués et les parcours effectués par les machines comparées n'étaient pas identiques, si bien qu'on peut admettre en définitive le chiffre de 20 %.

Fig. 36. — CONSOMMATION COMPARÉE DE CHARBON PAR CHEVAL-HEURE AU CROCHET DE TRACTION DU TENDER DE LA LOCOMOTIVE 241.B-1 ET D'UNE LOCOMOTIVE 241.A.

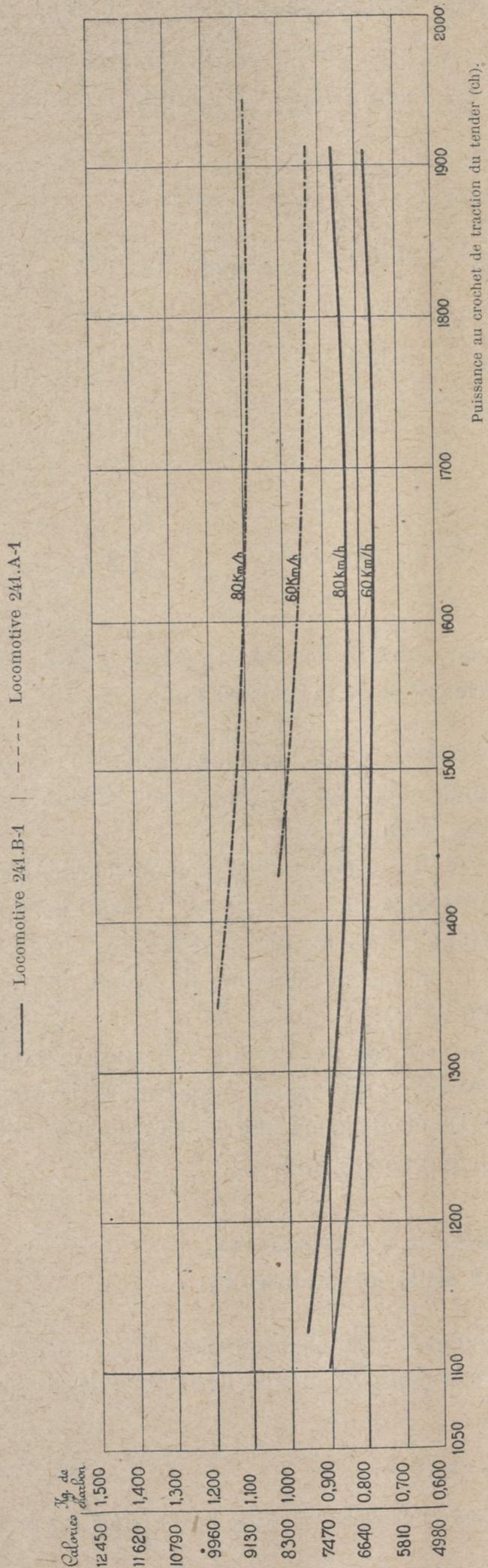
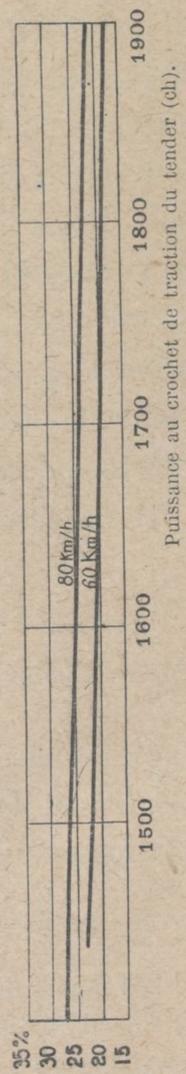


Fig. 37. — ECONOMIE DE COMBUSTIBLE DE LA LOCOMOTIVE 241.B-1 PAR RAPPORT A UNE LOCOMOTIVE 241.A.



#### IV. — CONCLUSION

La locomotive à haute pression 241.B-1 a bien donné ce qu'on escomptait ; elle est, en effet, au moins aussi puissante qu'une locomotive 241.A et, à égalité de charge remorquée à la même vitesse, elle consomme 20 % de combustible en moins.

Il restera à s'assurer que cette économie suffit à couvrir les dépenses supplémentaires qu'entraînera l'utilisation d'une telle locomotive : dépenses d'amortissement tout d'abord, en raison du prix plus élevé demandé pour sa construction, dépenses d'entretien ensuite, sur lesquelles on n'aura des données précises qu'après un essai plus prolongé.

Sous réserve donc que le bilan définitif soit favorable, la locomotive à haute pression apparaît bien jusqu'ici comme une solution possible du problème que s'était posé la Compagnie P.-L.-M., à savoir la recherche d'un type pratique de locomotive susceptible de donner, à égalité de surface de grille, une puissance beaucoup plus élevée que celle des locomotives ordinaires.

Il est vrai que depuis la mise en service des premières 241.A, le rendement des locomotives du type normal a été amélioré de façon sensible, grâce en particulier à l'élévation du timbre des chaudières (20 kg/cm<sup>2</sup> au lieu de 16 kg/cm<sup>2</sup>) (1) et à l'emploi de réchauffeurs d'eau par les gaz de la combustion, montés en série avec les réchauffeurs d'eau par la vapeur d'échappement des cylindres (2).

Mais il semble également possible d'augmenter le rendement de la locomotive Schmidt-Henschel, notamment en utilisant une plus grande proportion de vapeur HP dans l'appareil moteur (cette proportion est au maximum de 0,70 sur la locomotive 241.B-1). C'est dans ce sens d'ailleurs que la Reichsbahn oriente ses recherches et dans son rapport, déjà cité, au dernier Congrès International des Chemins de fer, M. le Professeur Nordmann signalait que la Reichsbahn avait en projet deux locomotives système Schmidt dans lesquelles le coefficient d'utilisation de la vapeur HP serait compris entre 80 et 100 %. On pourrait même envisager de supprimer complètement la chaudière BP, auquel cas on aurait une machine fonctionnant intégralement en haute pression (on a vu plus haut que, dans ce cas, le rendement thermique théorique serait de 11 % environ supérieur à celui de la locomotive 241.B-1).

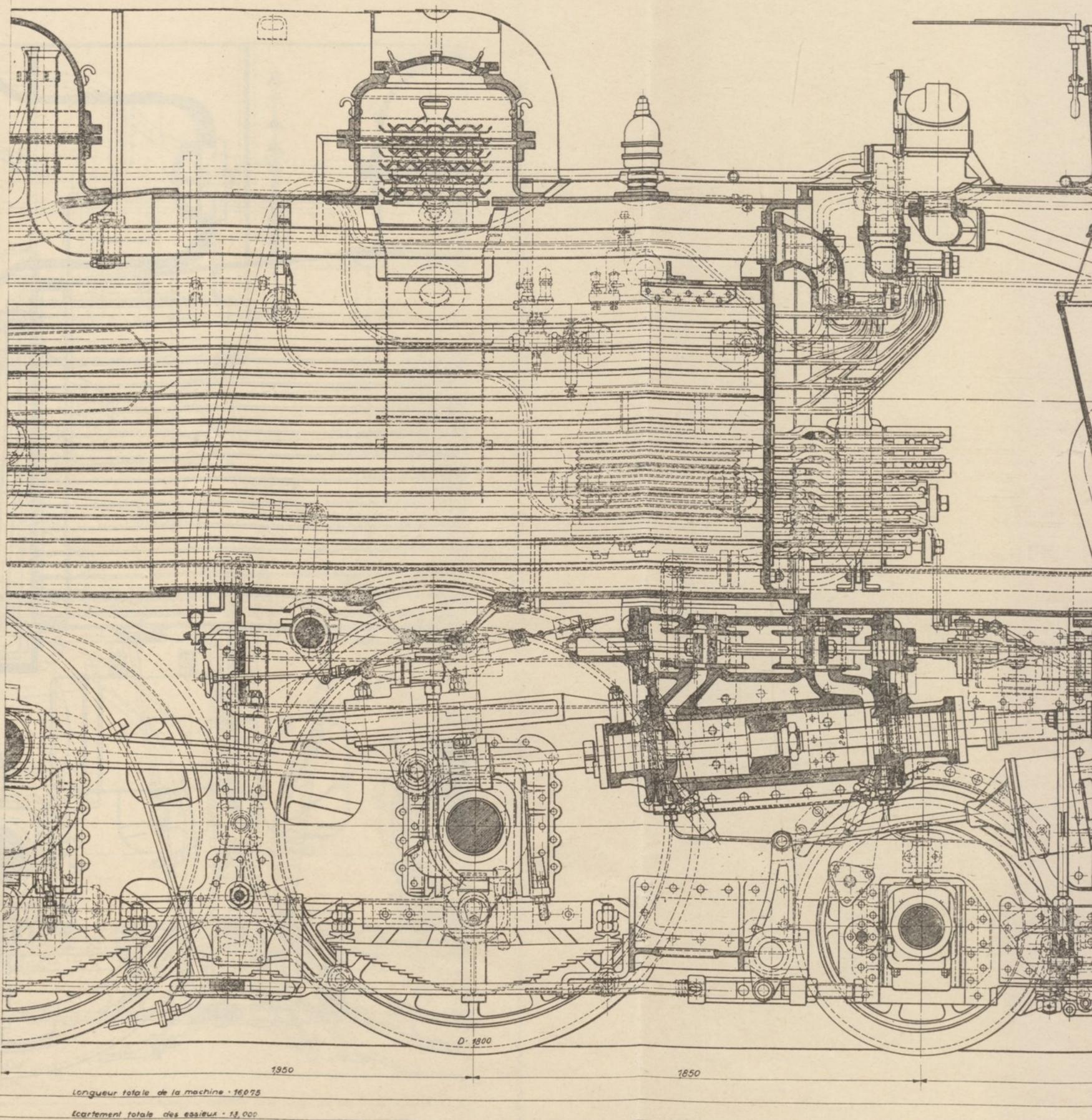
En définitive, il est vraisemblable que l'avantage de 20 % trouvé en faveur de la locomotive système Schmidt-Henschel, et sur lequel on a tablé, se maintiendra sensiblement lorsqu'après l'avoir modifiée, on la comparera au modèle le plus récent de locomotives du type ordinaire.

---

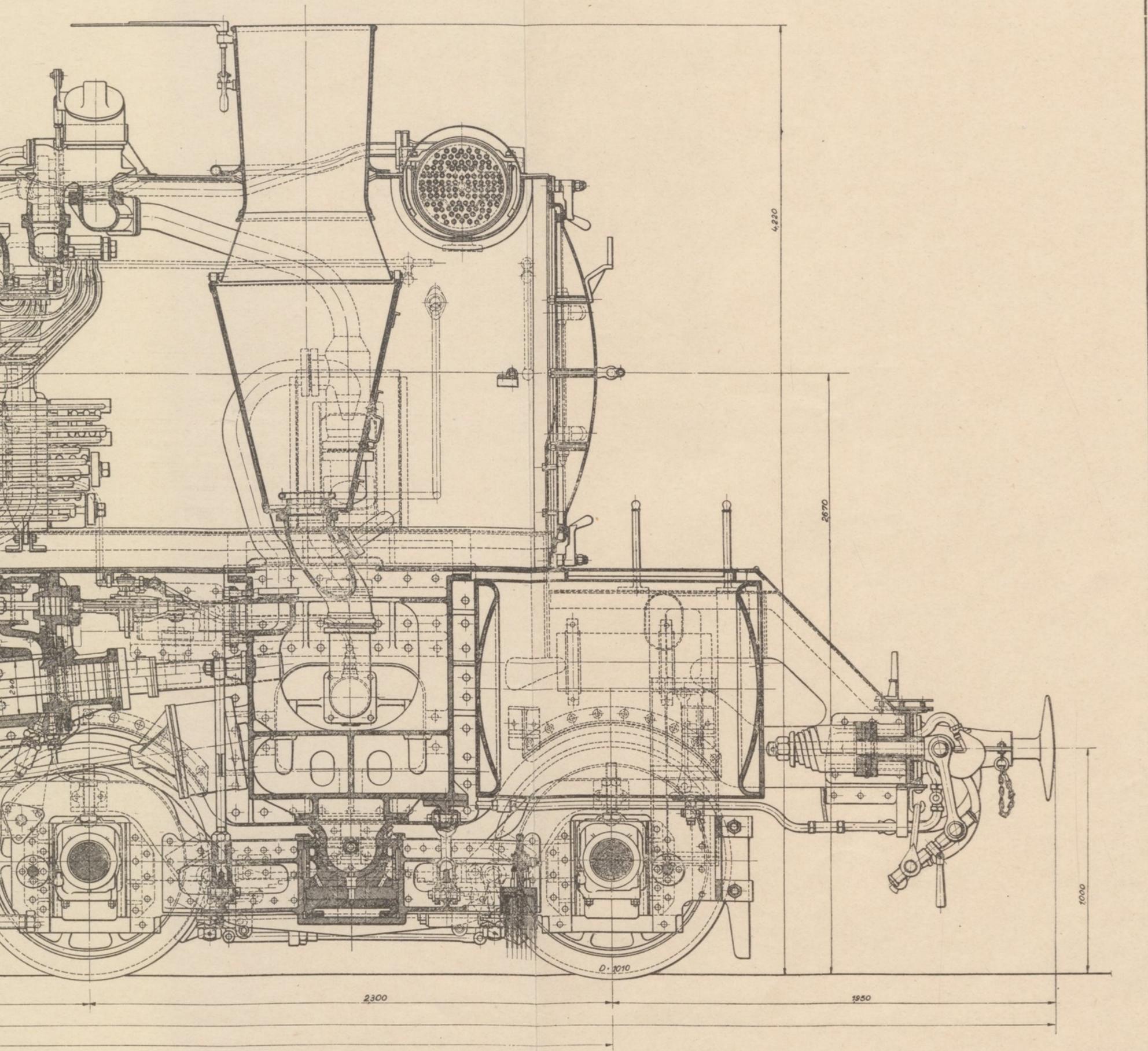
(1) Un essai d'élévation du timbre de 16 à 20 kg/cm<sup>2</sup> effectué sur une locomotive 231.D a permis d'obtenir une augmentation de puissance de l'ordre de 10 %. La chaudière s'étant par ailleurs parfaitement comportée pendant plus d'un an, la Compagnie P.-L.-M. a décidé que, lors des prochaines constructions de locomotives, toutes les chaudières seront timbrées à 20 kg/cm<sup>2</sup>.

(2) La Compagnie P.-L.-M. a, à l'heure actuelle, de nombreux économiseurs qui se comportent bien en service.

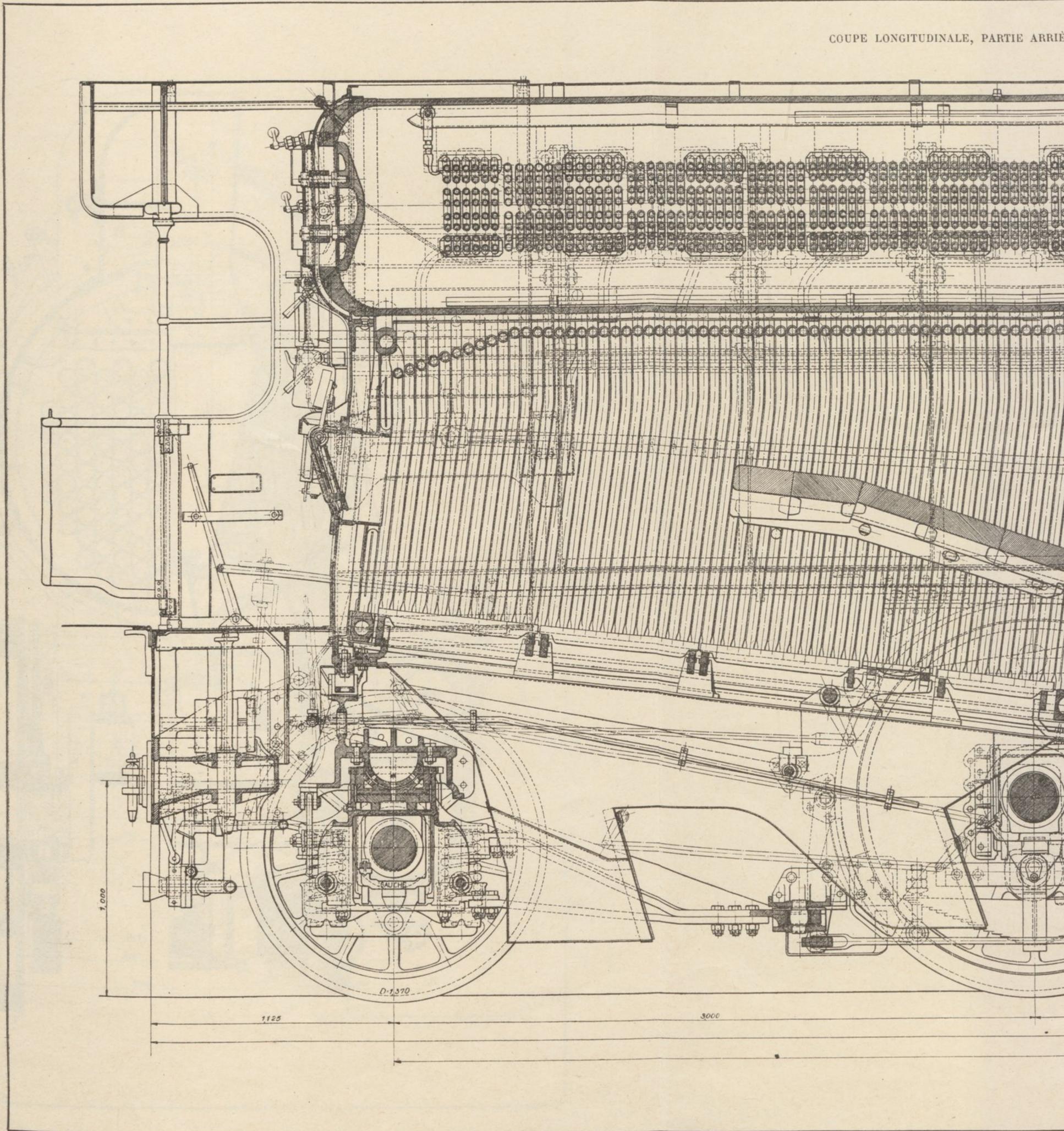
COUPE LONGITUDINALE PART



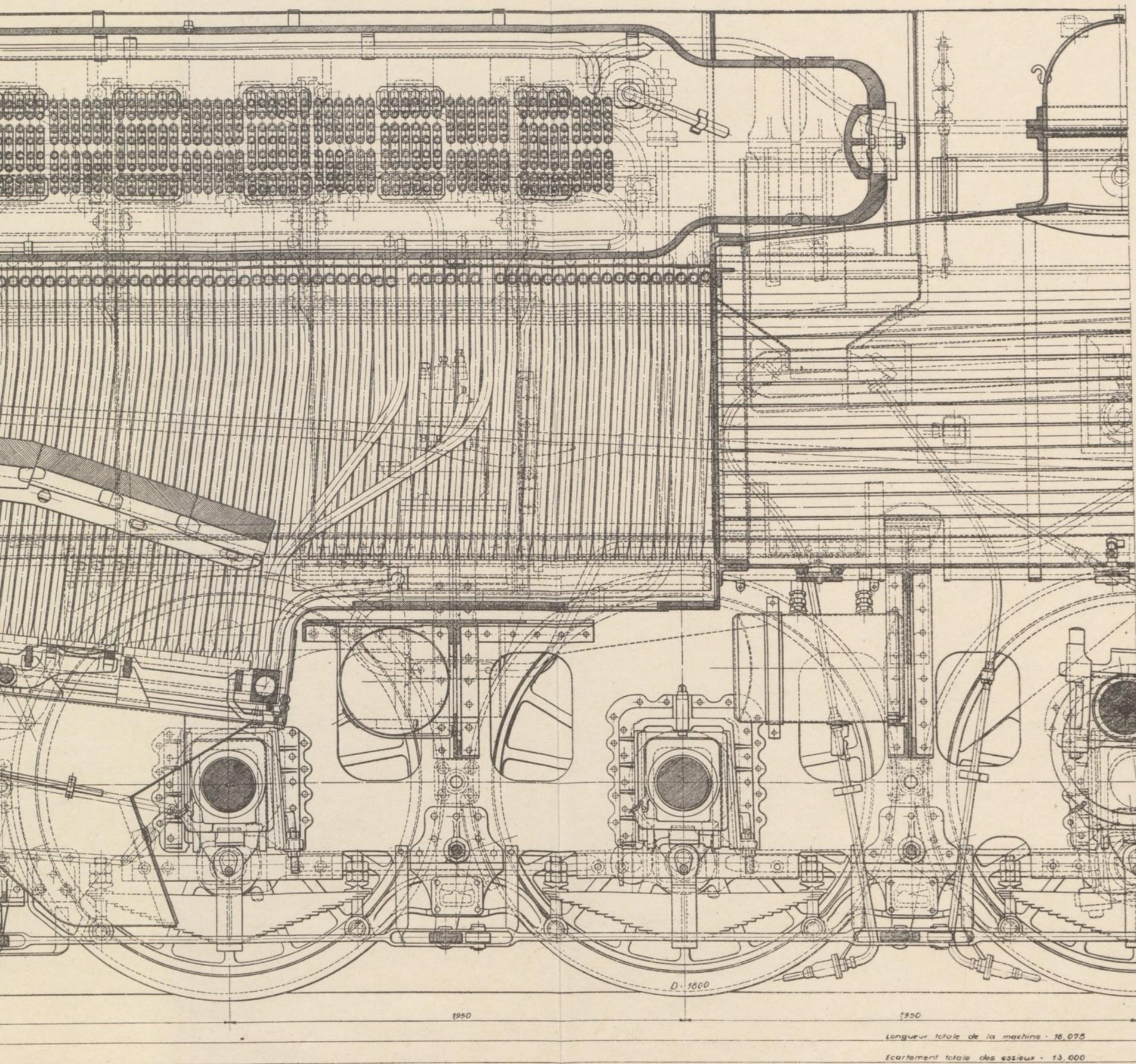
COUPE LONGITUDINALE PARTIE AVANT



COUPE LONGITUDINALE, PARTIE ARRIERE

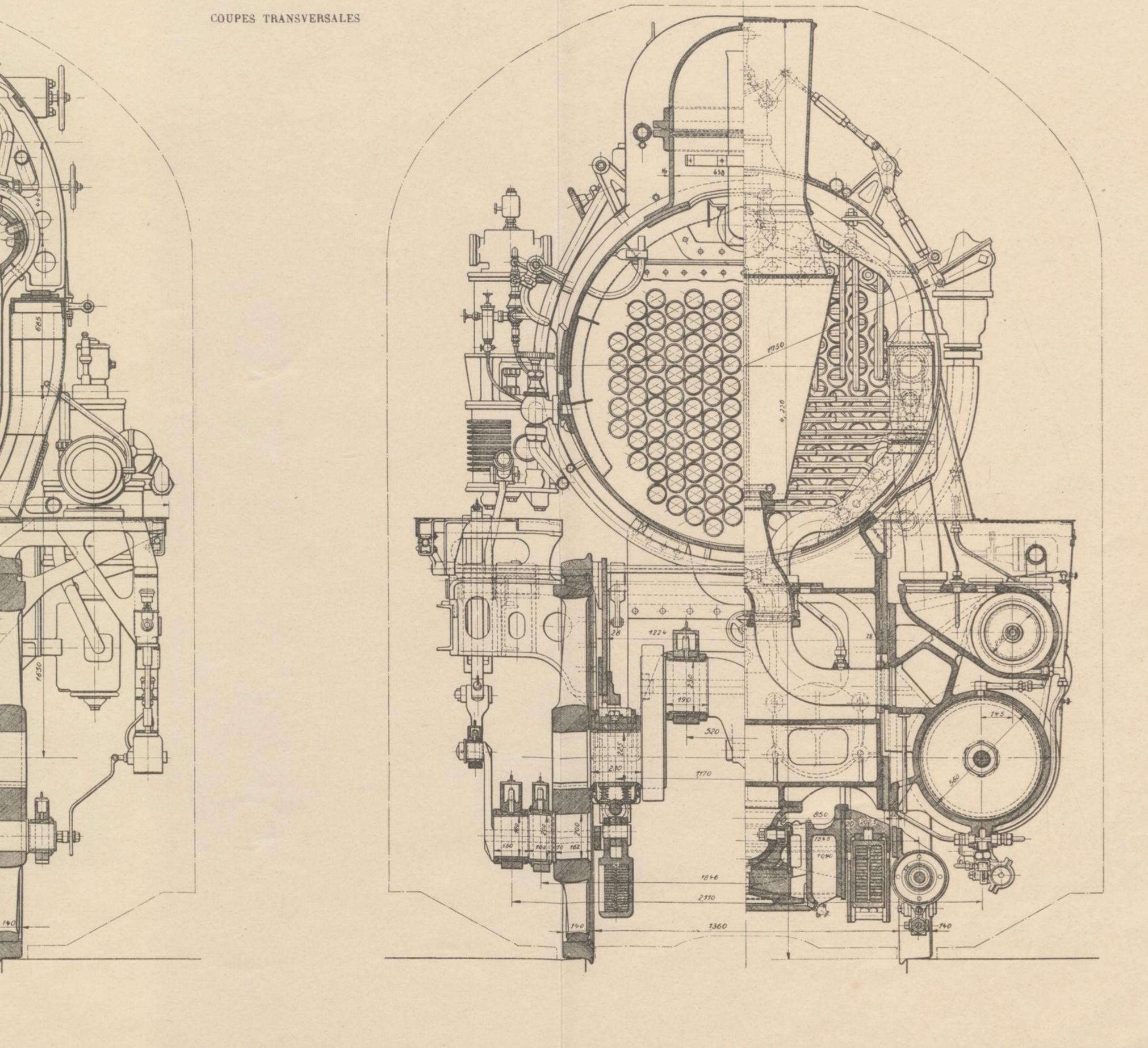


COUPE LONGITUDINALE, PARTIE ARRIÈRE





COUPES TRANSVERSALES



# NOTE SUR UNE AVARIE DE CHAUDIÈRE A HAUTE PRESSION

Par M. CHAN,

INGÉNIEUR PRINCIPAL DU MATÉRIEL  
A LA COMPAGNIE PARIS-LYON-MÉDITERRANÉE.

*Cette note indique les constatations faites, tant sur l'avarie d'un tube du circuit primaire de la chaudière à haute pression système Schmidt-Henschel de la locomotive 241 B. 1 de la Compagnie P.L.M., que sur divers autres tubes prélevés aux fins d'examen. L'étude a consisté à déterminer, par l'analyse chimique, les caractéristiques mécaniques et la structure micrographique, les causes probables de l'avarie.*

Un article de la revue *Chaleur et Industrie*, paru en Novembre 1933 sous la signature de M. R. STUMPER, a rappelé l'intérêt des applications de la métallographie, et en général des examens de laboratoire, à l'étude des avaries de chaudières à vapeur.

Ces applications, sans être à leurs débuts, sont de date relativement récente. Nous nous permettrons de mentionner, entre autres, une étude sur les *causes d'éclatement des tubes de chaudières* de M. A. DELACOUR, Ingénieur en Chef du Génie Maritime, Ingénieur en Chef de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur du Nord de la France, parue dans les *Annales des Mines* (4<sup>e</sup> livraison de 1932, page 337), qui a bien voulu rappeler à cette occasion notre communication au congrès de 1925 de l'Association Technique Maritime, concernant les déductions qu'on peut tirer de la présence de la martensite dans un tube d'acier doux éclaté.

Nous mentionnerons aussi l'article de M. G. PARIS paru dans *Chaleur et Industrie* d'Octobre 1931, et qui traite également de ce phénomène.

Ayant été amené à étudier un tube éclaté dans une chaudière à très haute pression (timbrée 110 kg/cm<sup>2</sup>) nous croyons intéressant de faire part de nos constatations.

L'étude ci-après montre comment, par la micrographie et un examen au laboratoire, nous avons pu mettre en évidence l'existence d'une zone de tubes à mauvaise circulation et imputer, selon toute vraisemblance, l'avarie à cette mauvaise circulation permanente, qui a dû s'aggraver, à un moment donné, pour l'un des tubes. Nous ajoutons d'ailleurs que le constructeur a reconnu lui-même que sa chaudière présentait un défaut de circulation et qu'il se préoccupe d'y remédier.

Fortuitement, nous avons constaté, sur des tubes voisins du tube avarié, le phénomène singulier du grossissement du grain signalé par M. CHARPY sous le nom de *recristallisation de l'acier doux écroui*, accompagné d'une chute énorme de la résilience. D'après les circonstances

mêmes où se sont trouvés les tubes, nous concluons que ce phénomène peut se produire à une température de 500 à 550° environ, un peu inférieure à celle de 650°, indiquée par M. CHARPY à la suite, il est vrai, d'expériences moins longues que celle réalisée dans notre chaudière.

Le 25 Avril 1933, peu après son départ de Laroche, il s'est produit sur la locomotive 241.B-I de la Compagnie P.L.M., munie d'une chaudière à haute pression système Schmidt-Hensche, un éclatement du tube du circuit primaire portant le N° 34 côté D. La figure 1 ci-après indique la position du tube avarié qui est un des tubes de 41 mm de diamètre,

Fig. 1. — COUPE TRANSVERSALE.  
FAISCEAU TUBULAIRE VU DE L'ARRIÈRE  
DE LA MACHINE

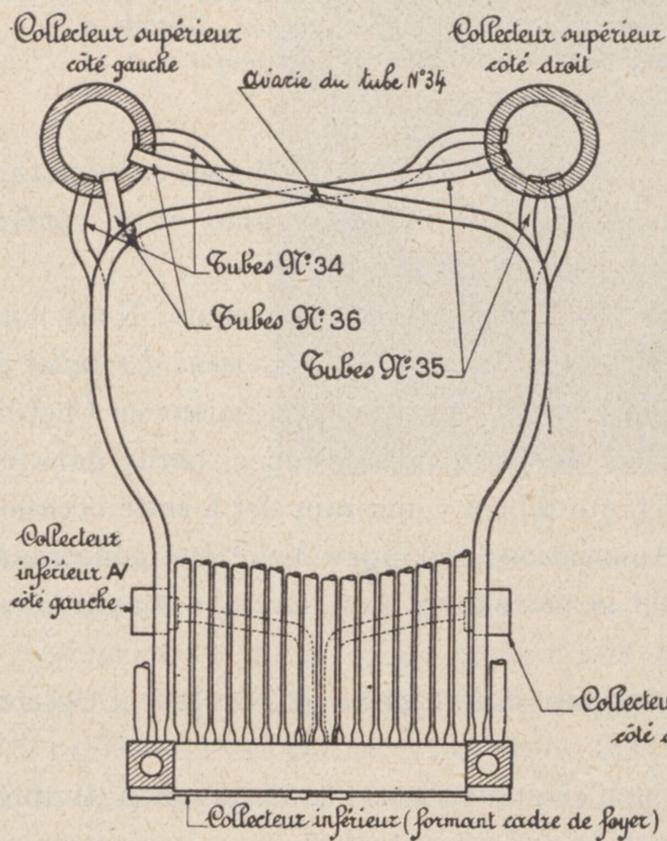
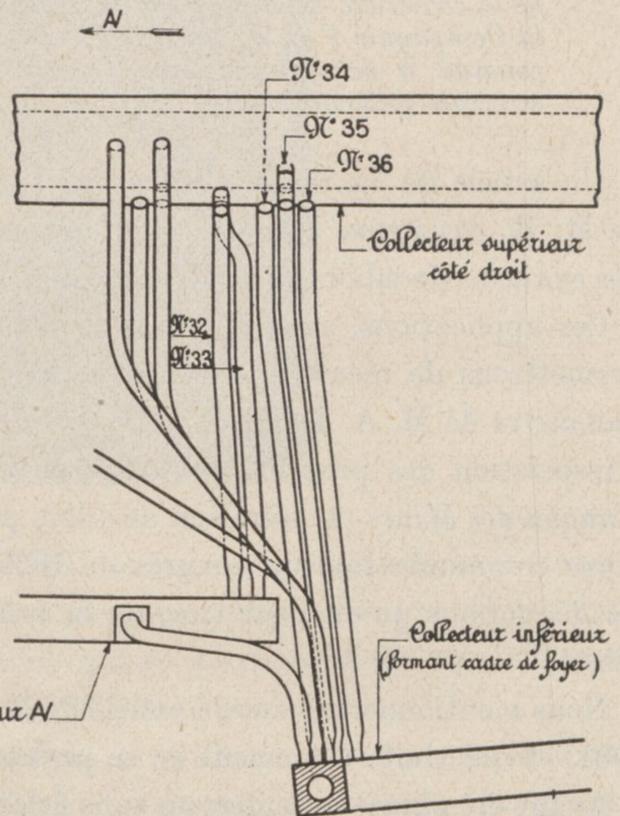


Fig. 2. — COUPE LONGITUDINALE MONTRANT  
LE FAISCEAU TUBULAIRE  
DANS LA RÉGION DU TUBE AVARIÉ (N° 34).

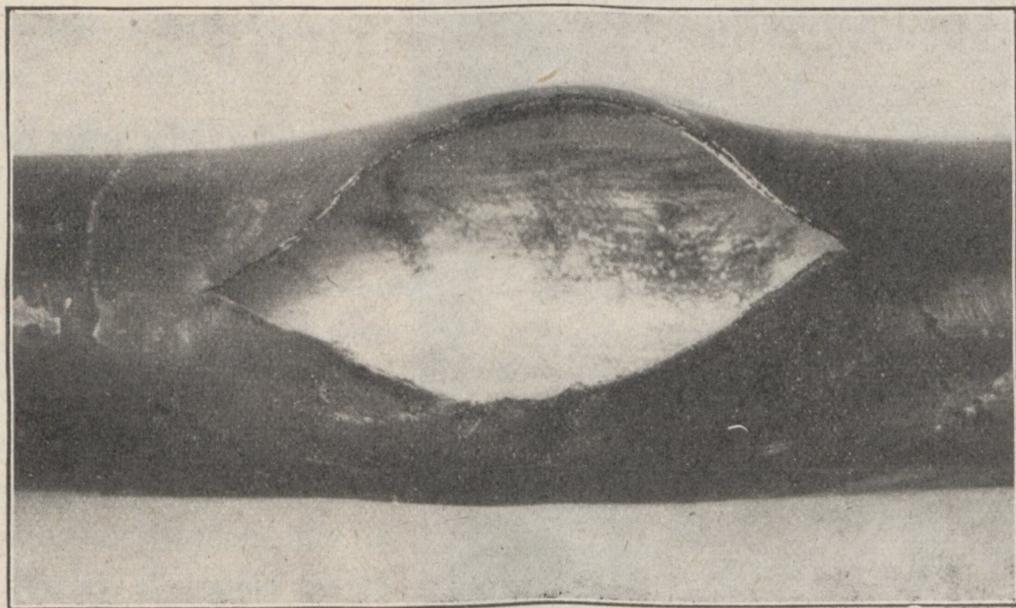


4,3 mm d'épaisseur, reliant le cadre de foyer, côté D, au collecteur supérieur gauche. La pression existant dans le circuit était alors de 100 kg/cm<sup>2</sup>, pour une pression maximum de régime de 110 kg.

L'avarie s'est produite dans la branche supérieure du tube, peu inclinée sur l'horizontale, et suivant la génératrice inférieure, c'est-à-dire la plus rapprochée du feu. La figure 3 montre l'aspect de la déchirure, vue par en dessous du tube.

L'examen, fait au laboratoire, a porté à la fois sur le tube avarié et sur divers autres tubes choisis dans le voisinage et dans les parties éloignées.

*Fig. 3.* — ASPECT DE LA DÉCHIRURE  
(diamètre du tube 41 mm, déchirure longue de 92 mm et large de 48 mm.)



Au cours de l'étude faite sur les tubes voisins, nous avons pu mettre en évidence une altération singulière du métal, caractérisée par un grossissement considérable du grain et un accroissement anormal de la fragilité.

Voici, dans l'ordre, les constatations faites sur les divers tubes.

*Examen du tube avarié.*

L'étude a consisté à déterminer :

- 1° L'analyse chimique.
- 2° Les caractéristiques mécaniques.
- 3° La structure micrographique.

*Analyse chimique.* — Le tube avarié, comme tous les tubes du circuit primaire, est en acier répondant à la composition suivante :

C = 0,11 %

Si = 0,003

P = 0,022

S = 0,039

Mn = 0,41

C'est un acier extra doux ordinaire très pur, ne contenant aucun élément spécial nickel chrome ou molybdène.

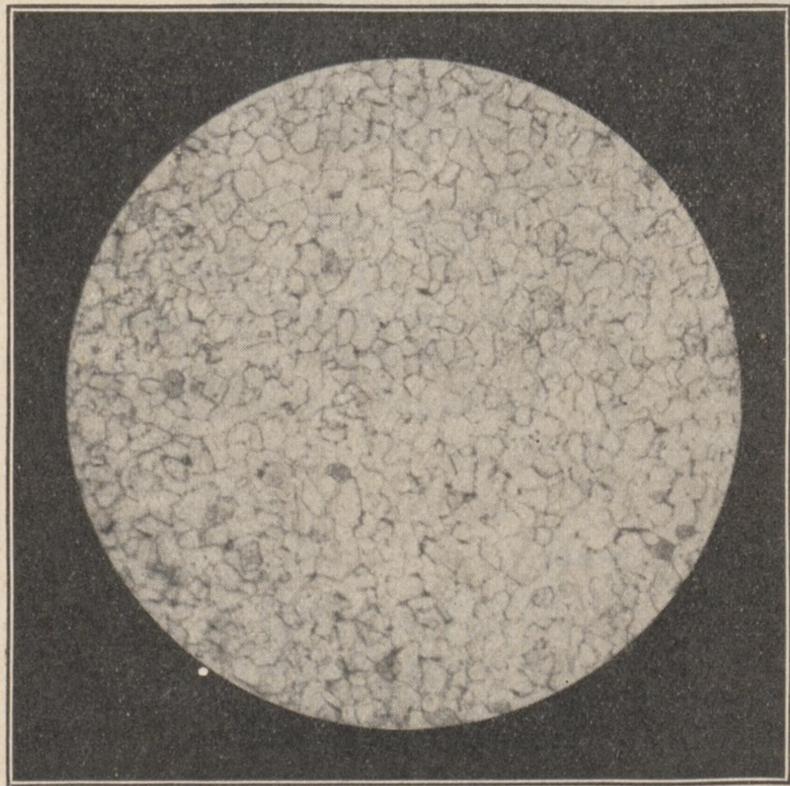
*Caractéristiques mécaniques.* — Des barrettes prélevées dans la région même de l'éclatement ont été essayées, sans être déformées, dans leur état de prélèvement, puis après recuit.

On a obtenu :	État de prélèvement	Après recuit
Limite élastique.....	26,4 kg	27,9 kg
Résistance à la rupture.....	37,2	39,5
Allongement.....	32 %	38 %
Résilience <sup>(1)</sup> .....	17,6 kgm	15,1 kgm

Comme on le voit, l'état naturel du tube, très voisin de celui obtenu après recuit, indique que le métal du tube avarié est normal.

*Structure micrographique.* — La figure 4 (grossissement 100 diamètres) montre les composants normaux de l'acier extra doux — cristaux blancs de ferrite avec quelques cristaux noirs de perlite. Le grain, très fin, est d'aspect satisfaisant.

Fig. 4. — MICROGRAPHIE PAR ATTAQUE A L'ACIDE AZOTIQUE (100 diamètres).



A un grossissement de 1000 diamètres (Fig. 5) on observe la perlite à l'état globulaire avec apparition de points blancs de cémentite. C'est le phénomène de « coalescence » ou décomposition de la perlite, phénomène assez délicat à interpréter. Nous croyons devoir nous arrêter un instant sur ce point parce que certains auteurs ont pensé en déduire des renseignements concernant la température qu'a pu supporter le métal.

D'après HOWE, qui a obtenu cette décomposition en chauffant un échantillon à 650° pendant 19 jours, il faudrait une température de l'ordre de 600 à 650°. D'après une étude de M. R. STUMPER\* (« Application de la

métallographie à l'étude des avaries de chaudières à vapeur ») parue dans *Chaleur et Industrie* N° de Novembre 1933 (page 513), il faudrait une température voisine de 715°, premier point de transformation de l'acier.

Cette étude ajoute que le fait de constater — comme on peut le faire sur la figure 5 — que les globules et la cémentite sont situés aux joints des cristaux et non à leur intérieur, signifie que la température a été plutôt inférieure à 725°.

On pourrait être tenté de déduire de ces résultats que le tube avarié que nous étudions

(1) Vu la faible épaisseur du tube, les essais de résilience ont été faits avec un modèle de barreau spécial, ce qui fait que les chiffres de résilience indiqués au cours de cette étude n'ont pas de valeur en eux-mêmes mais seulement relative.

a été porté pendant longtemps à une température d'au-moins 600°. Mais, comme nous le verrons ci-après, nous pensons que la température a dû être inférieure à ce chiffre, pour la raison que le tube n'aurait pas résisté à 600° et que la température n'a pas dû dépasser 550°. De ce que nous avons constaté la « coalescence » de la perlite sur notre tube, il faut conclure, semble-t-il, que ce phénomène décrit par HOWE peut se produire à une température un peu inférieure à celle indiquée par cet auteur, à la condition d'effectuer une chauffe très prolongée comme dans le cas de notre chaudière où la durée de chauffage a certainement dépassé 1500 heures.

*A quelle température s'est produite l'avarie ?*

On peut déterminer, par des considérations de résistance à chaud, la température à laquelle a dû se produire l'avarie, l'aspect du tube indiquant nettement qu'il s'est agi d'un coup de

feu. Ce tube, qui a un diamètre de 41 mm et une épaisseur de 4,3, travaillait, sous la pression de 100 kg existant au moment de l'accident, à une fatigue de :

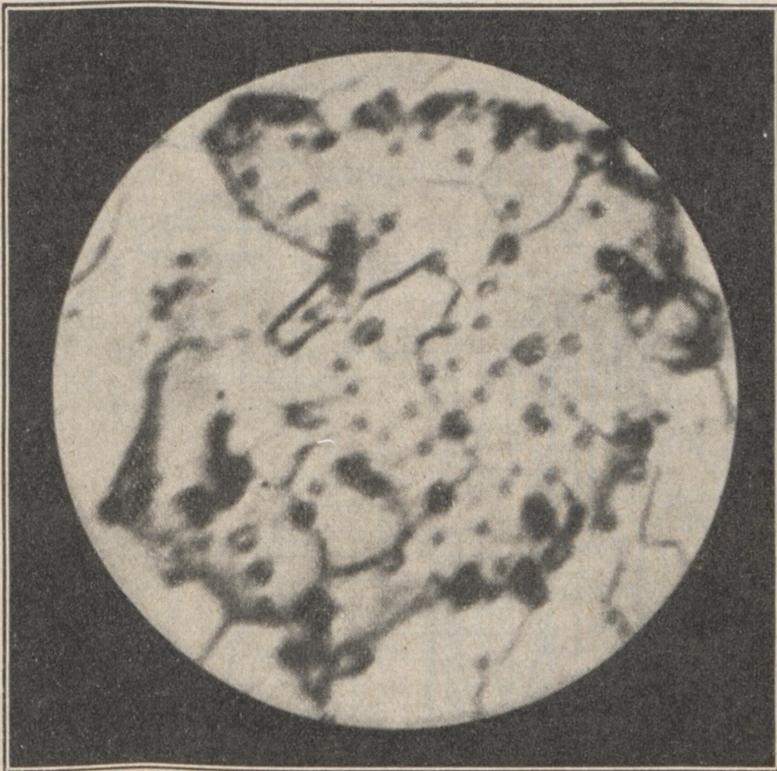
$$\frac{41 \times 100}{2 \times 4,3} = 4,76 \text{ kg/mm}^2$$

Pour calculer la température qu'il a été nécessaire d'atteindre pour que le tube commence à se gonfler et se déformer jusqu'à rupture, il suffit de déterminer la température à laquelle un acier extra doux se rompt sous la charge de 4,76 kg par mm<sup>2</sup>. Mais il n'est peut-être pas inutile de rappeler, tout d'abord, quelques notions relatives à l'écoulement des métaux.

Le phénomène de l'écoulement de l'acier, à une température déterminée, peut se traduire par les courbes du diagramme dit de Galibourg, dont nous donnons un exemple ci-après, correspondant précisément à l'acier extra-doux, à 0,115 % de carbone. Ces courbes ont été relevées à 450° (1) (Fig. 6).

Ces courbes donnent les allongements en fonction du temps. Sur l'essai N° 1, le métal soumis à une charge de 5,6 kg a pris tout d'abord son allongement élastique instantané (point A), puis a cessé de varier, bien que l'essai ait duré 15 h 30. Dans l'essai N° 2, le métal soumis à une charge de 7,20 kg a d'abord pris son allongement élastique instantané (point B), puis un

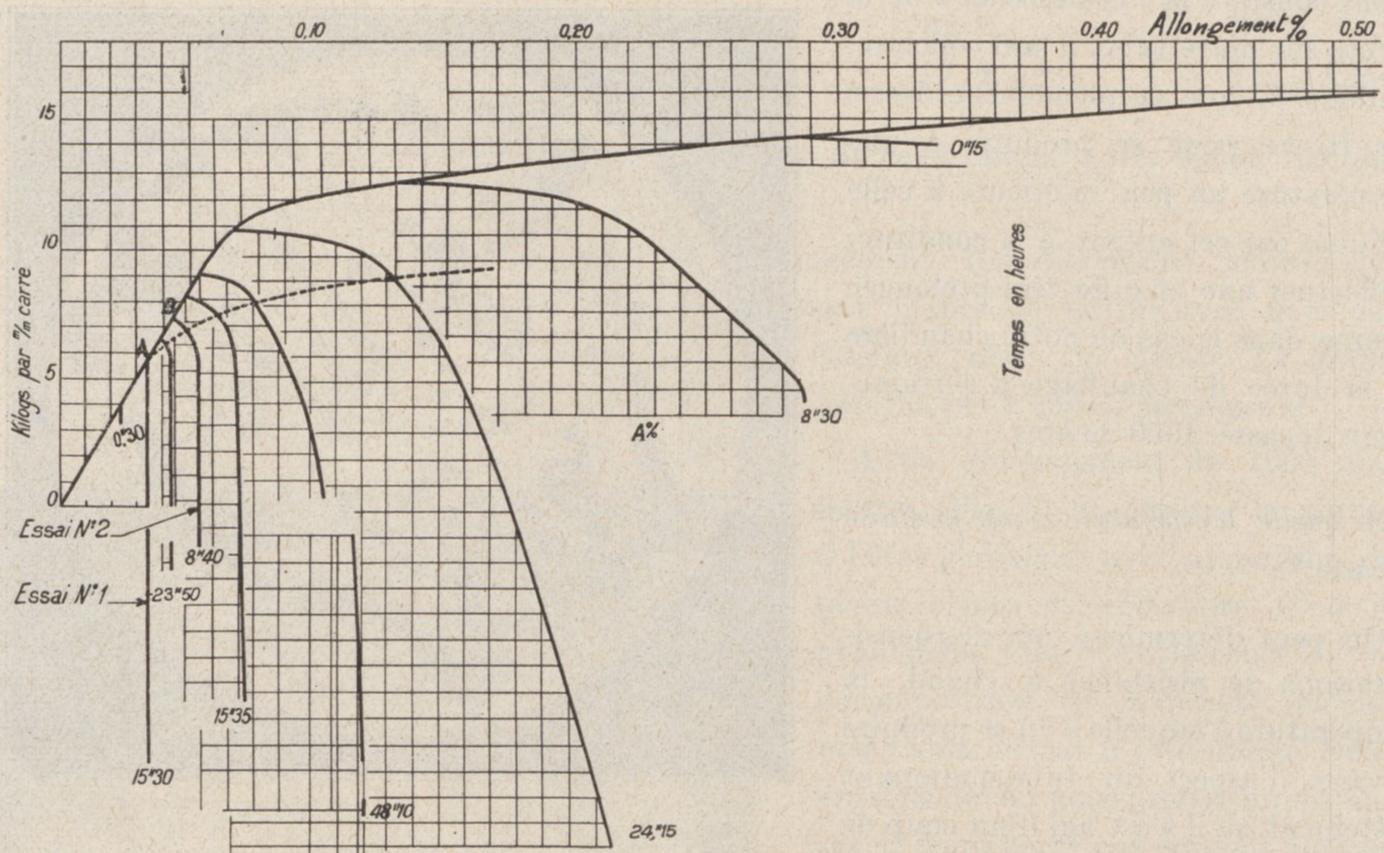
Fig. 5. — MICROGRAPHIE PAR ATTAQUE A L'ACIDE AZOTIQUE, A FORT GROSSISSEMENT (1.000 diamètres).



(1) Ces courbes sont extraites du *Bulletin de la Société des Ingénieurs Civils de France*, Nos Mai-Juin 1929.

allongement qui s'est prolongé pendant quelque temps, pour s'arrêter bien avant la fin de l'essai. La charge de 5,6 kg est, par suite, inférieure à ce qu'on appelle la « limite des allongements instantanés sans écoulement en fonction du temps ». Celle de 7,20 kg, est, par contre,

Fig. 6.



supérieure à cette limite, mais elle est inférieure à ce qu'on appelle la « limite des écoulements limités » qui est telle qu'une éprouvette, maintenue à une charge supérieure à cette limite, s'allongerait indéfiniment et se romprait.

Pour l'acier ci-dessus, et à 450° :

La « limite des allongements instantanés sans écoulement » est un peu supérieure à 5,60 kg

La « limite des écoulements limités » est aux environs de ..... 8,15 kg

En d'autres termes, soumis à 450°, notre tube ne se serait pas ouvert. Pour trouver une limite des écoulements limités égale à 4,7 kg, fatigue du tube, il faut aller jusqu'à une température d'environ 550° (1).

Ce que nous venons de dire suppose que la surchauffe a existé pendant plusieurs heures au moins.

Si on suppose que le coup de feu a été rapide, ce qui intervient c'est la résistance à chaud ordinaire, telle qu'on la mesure dans l'essai de traction classique et qui donne un chiffre très supérieur. Voici la courbe de la résistance à chaud de l'acier extra doux, à différentes températures, mesurées par cet essai de traction (2) (Fig. 7).

(1) Comme le montrent aussi les courbes de viscosité à chaud publiées par la *Revue de Métallurgie* de Décembre 1925, article de MM. Cournot et Sasagawa, page 761.

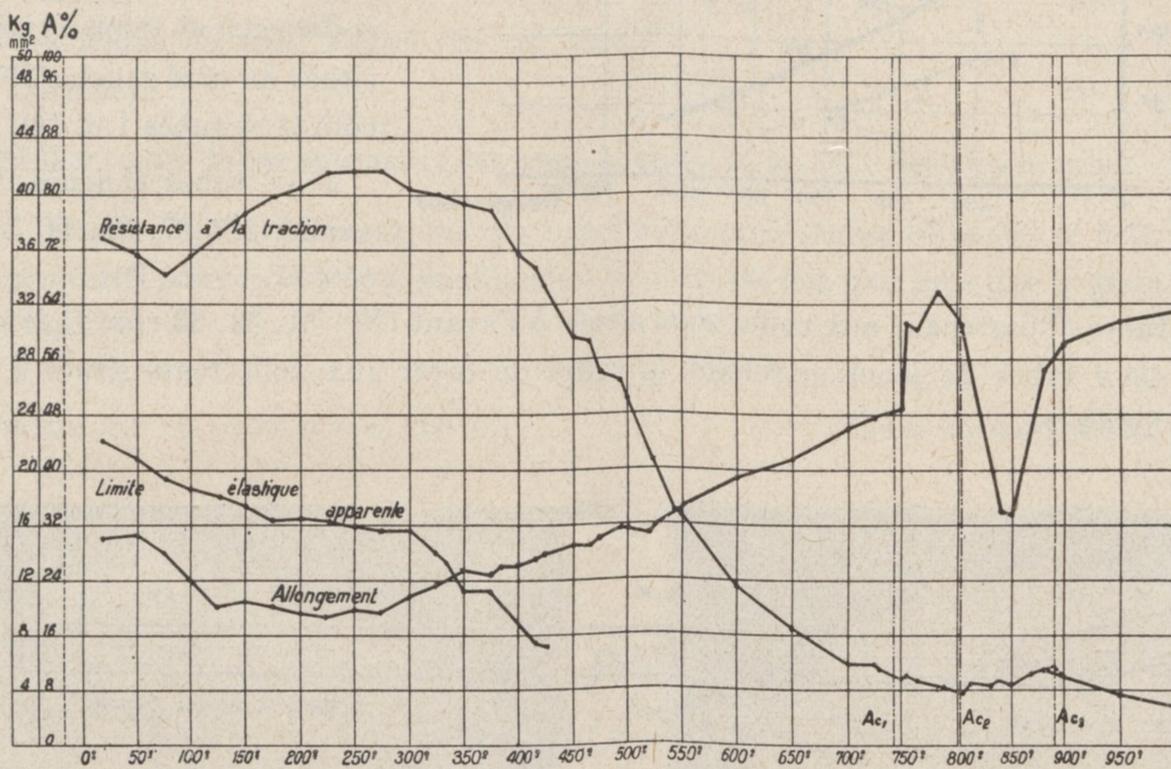
(2) Ces courbes sont extraites de la *Revue de Métallurgie* d'Août 1924, page 368, article de M. Davidenkoff.

Comme on le voit, alors qu'à 450° et dans l'essai prolongé une fatigue de 8,15 kg suffisait pour rompre le métal, il faut ici, dans l'essai de traction rapide, une charge d'au moins 30 kg. Pour abaisser la résistance du métal à 5 kg, il faut ici, dans l'essai rapide, une température de 750°.

En définitive, on peut conclure que le tube s'est trouvé dans l'un des cas suivants :

— soit, pendant plusieurs heures et par suite d'une circulation insuffisante, maintenu à une température de l'ordre de 550°,

Fig. 7. — PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DE L'ACIER EXTRA-DOUX EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE.



— soit, momentanément et par suite d'une circulation tout à fait réduite, porté rapidement à 750°,

— soit, enfin, dans un cas intermédiaire entre les précédents.

Si nous rappelons que la température de l'eau à 110 kg/cm<sup>2</sup> de pression, pression du circuit primaire de la chaudière en question, est de 316°, on voit que, dans tous les cas ci-dessus, il faut admettre que le tube a été porté à une température supérieure d'au moins 230° à celle du fluide.

#### Intérêt d'un acier spécial résistant à chaud

Remarquons en passant que, si le tube de la chaudière avait été fait en acier spécial au lieu d'être fait en acier ordinaire, il aurait pu résister à une température de l'ordre de 630°.

Nous donnons, en effet, ci-après (Fig. 8) la courbe des limites des écoulements limités d'un acier spécial étudié récemment pour les chaudières à hautes pressions (acier chromesco de la Société Escaut-et-Meuse, à 0,45 % de chrome et 0,45 % de molybdène) qui, à 550°, résiste à une charge de 9 kg contre 5 kg pour l'acier ordinaire.

Notre tube, soumis à une fatigue de 4,7 kg par mm<sup>2</sup>, aurait résisté à 650°.

Nous avons indiqué en pointillé la courbe relative à l'acier ordinaire.

Examen des tubes non avariés

Il a été prélevé des tubes dans les diverses régions du circuit primaire, en écartant seulement la région voisine de la porte du foyer où les tubes ont été brûlés par le charbon incandescent après l'avarie.

Les tubes examinés ont été les suivants :

1° — tubes voisins du tube avarié (Nos 35, 36, côté D et tubes XVI et XV du croquis ci-dessous) et tubes symétriques situés du côté gauche (Nos 35, 36 côté G et tubes I et II),

2° — tubes éloignés du tube avarié (Nos 37, 38... 50, 54 et 55, côté G et côté D),

3° — tubes appartenant aux collecteurs situés à l'avant (Nos 31, 32, 33 côté G et côté D),

4° — deux tubes de jonction reliant le cadre de foyer aux collecteurs situés à l'avant (tubes A figure 9).

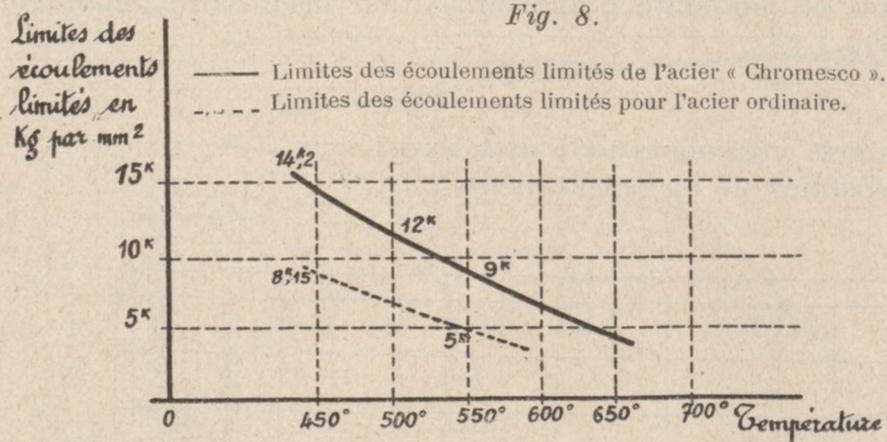
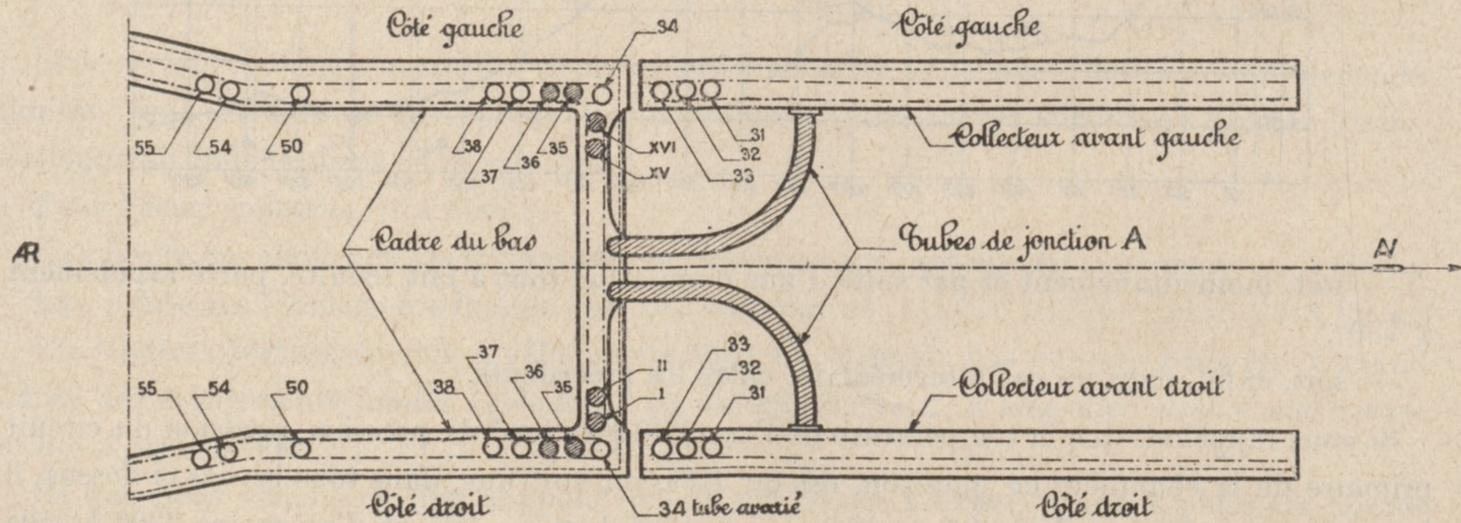


Fig. 9. — VUE PAR DESSUS DE L'ENSEMBLE DES COLLECTEURS INFÉRIEURS.



Le croquis ci-dessus donne, vue en plan, l'implantation de tous ces tubes dans les collecteurs inférieurs du circuit primaire.

Les résultats obtenus dans l'examen de ces tubes ont été les suivants.

Alors que nous n'avons rien constaté sur les tubes du (2° et du 3°) ci-dessus, c'est-à-dire sur les tubes éloignés, nous avons trouvé sur les tubes 35 et 36, à gauche et à droite, et sur certaines zones des tubes I, II, XV et XVI et des tubes A, un état tout à fait singulier caractérisé par un abaissement de la limite élastique, une chute considérable de la résilience et une structure micrographique très grossière. Sur le croquis ci-dessus les tubes entièrement ou partiellement à gros grains ont été hachurés.

Voici du reste les résultats moyens obtenus. Les chiffres anormaux ont été soulignés et nous avons rappelé pour mémoire les résultats indiqués précédemment pour le tube avarié N° 34.

NUMÉROS DES TUBES	Limite élastique	Charge de rupture	Allongement	Résilience (1)
Tubes du 1° : Tubes voisins du tube avarié (N°s 35, 36 côté G et côté D).....	<u>18 kg</u>	35,7 kg	38 %	<u>4 kgm</u>
Tubes du 2° : Tubes éloignés du tube avarié. } Tubes du 3° : Tubes appartenant aux collecteurs situés à l'avant.....	23	36,2	37	22,7
Tube avarié (N° 34 côté droit).....	26,4	37,2	32	17,6
Tube symétrique du tube avarié (N° 34 côté gauche).....	26,1	38,2	30	17,3

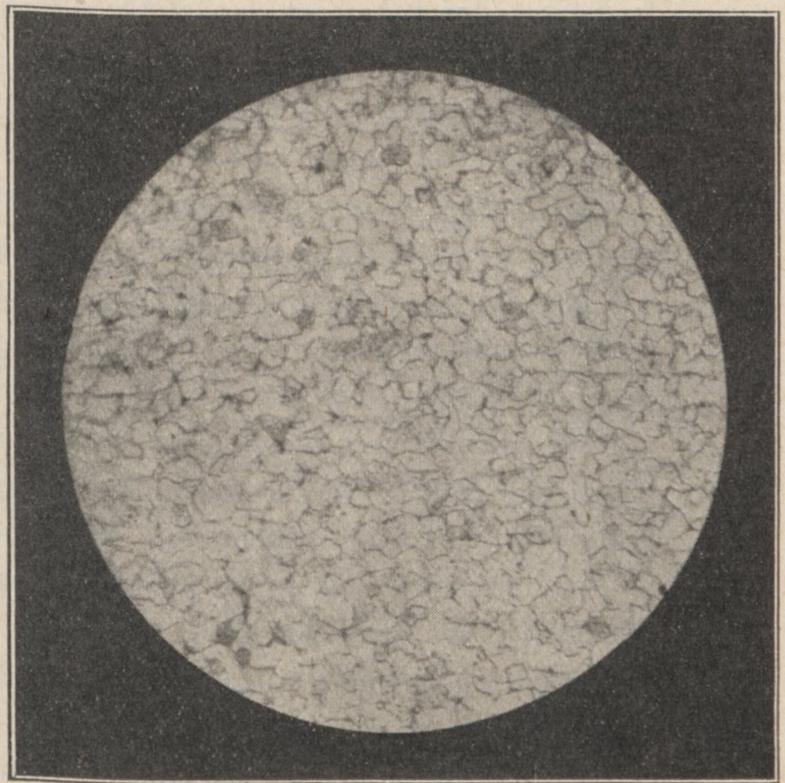
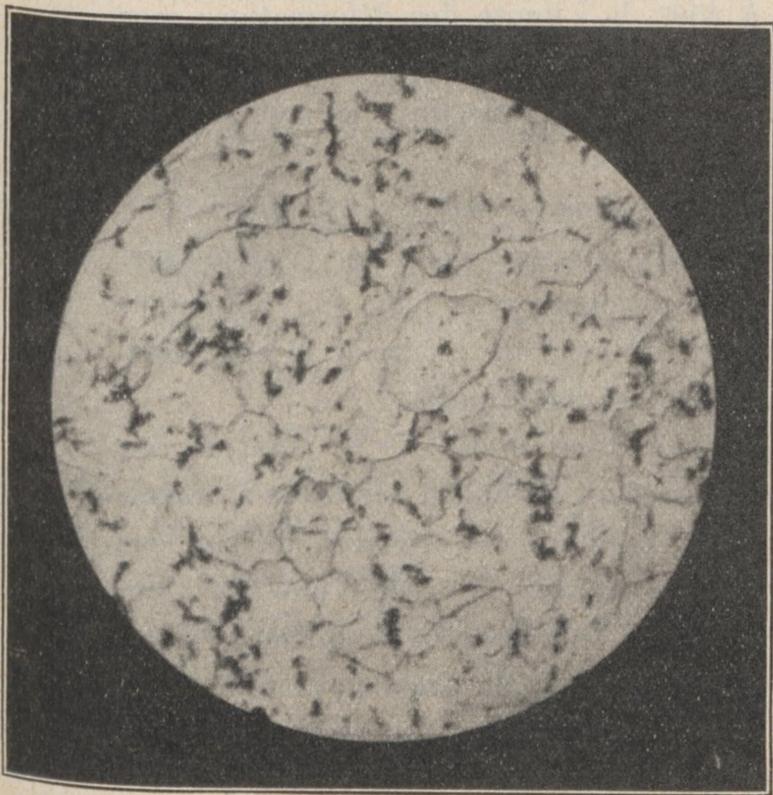
La résilience des tubes anormaux est tombée *au quart* de celle des autres tubes.

Voici, côte à côte, la micrographie des tubes anormaux (tubes 35 et 36) et celle des autres tubes montrant que le grain des premiers est environ 60 fois plus gros que le grain des autres tubes (Fig. 10).

Fig. 10.

TUBES ANORMAUX (N°s 35 et 36) (Gross. 100 D.)

TUBES NORMAUX (Gross. 100 D.)



D'où vient ce grossissement ? Tout d'abord, il est certain que ce grossissement s'est produit à l'intérieur même de la chaudière, depuis la mise en service des tubes, car un tube neuf, sortant de fabrication, ne peut pas présenter une telle structure. D'ailleurs, et sur d'autres

(1) Nous rappelons que ces essais de résilience, faits sur éprouvettes spéciales, n'ont qu'une valeur de comparaison.

tubes — à savoir les 2 tubes de jonction et les tubes I, II, XV et XVI — nous avons constaté que le grain grossi existait dans certaines zones des tubes, du côté exposé au feu, et dans ces zones seulement, d'où il résulte que le grossissement a été le fait de l'action de la chaleur et qu'il s'est bien produit en service.

Le phénomène du grossissement du grain de l'acier extra doux aux températures relativement basses est, au surplus, connu. D'après M. CHARPY, un grossissement se produit lorsque l'acier, écroui dans certaines limites, est soumis pendant longtemps à 650° environ (G. CHARPY, *Revue de Métallurgie*, 1910, page 656 ; HOWE, *Traité sur la Métallurgie de l'acier et de la fonte*, édition de 1921, page 401) et la conséquence d'un tel grossissement est bien, d'après les ouvrages ci-dessus, d'abaisser considérablement la résilience.

Nous avons indiqué précédemment que les tubes de la chaudière n'ont pas pu supporter d'une manière prolongée et sans se rompre, une température dépassant 550°. Pour concilier ce fait avec la température de 650° indiquée par CHARPY, il faut tenir compte que cet auteur n'a fait que des expériences relativement courtes et qu'il n'a pas fait, en particulier, un essai aussi long que celui qui s'est trouvé réalisé dans la chaudière, une durée de chauffe de 1.600 heures ayant pu, à une température de l'ordre de 500°, produire les mêmes effets que le chauffage effectué par CHARPY, dans les conditions du laboratoire, à 650°.

D'autre part, nous devons nous demander comment la condition d'écrouissage, indiquée par l'auteur précité, a pu être remplie par notre tube. A la pression de 110 kg, qui était la pression fréquemment atteinte par la chaudière, et sans tenir compte des dilatations et flexions, la fatigue des tubes est de 5,2 kg environ. Or, à 450°, la « limite des déformations sans écoulement », c'est-à-dire la limite élastique est, comme nous l'avons vu, de 5,6 kg. Il a suffi que la température ait atteint 500° environ pour que la limite élastique se soit abaissée au-dessous de la fatigue du tube et que ce dernier se soit écroui.

*En définitive, si on suppose que les tubes 35 et 36 ont été pendant longtemps surchauffés à 500° on s'explique très bien la structure grossière qu'ils ont acquise. On en conclut que la circulation n'a pas été normale dans ces tubes et dans ceux mentionnés plus haut qui présentent partiellement cette structure. Cette défectuosité paraît liée au tracé même de la chaudière car on la retrouve aussi bien à droite qu'à gauche sur des tubes symétriques.*

Nous n'avons pas pu élucider pour quelles raisons le tube avarié N° 34 droit et son symétrique le tube N° 34 gauche, qui se trouvaient cependant au milieu des tubes à cristallisation grossière, ne présentaient pas cette structure. Comme il est probable, de par leur position au milieu des tubes précédents, qu'ils étaient, eux aussi, le siège d'une mauvaise circulation, on peut penser que, par leur température et leur degré d'écrouissage, ils se trouvaient en dehors des conditions spéciales où le grossissement du grain se produit. Rien ne montre mieux la nécessité de conditions bien limitées que le fait que, sur les tubes A et les tubes I, II, XV et XVI, nous n'avons trouvé de gros grains que sur certaines zones particulièrement exposées au feu.

#### CONCLUSIONS

L'explosion du tube 34 du circuit de chaudière timbrée à 110 kg/cm<sup>2</sup>, paraît due à une élévation de température du tube, par ralentissement de la circulation, qui a porté le métal à une température d'au moins 550°.

Sur les tubes voisins du tube avarié, et sur les tubes symétriques situés côté gauche, on

constate une altération singulière du métal caractérisée par un grain très gros et une résilience extrêmement faible. Cette altération ne peut s'expliquer que par une surchauffe prolongée de ces tubes à une température de l'ordre de 450 à 500°, surchauffe de longue durée qui suppose un ralentissement permanent de la circulation dans la région considérée.

On remarque que la température minima indiquée ci-dessus pour le tube 34, soit 550°, n'est pas très supérieure à celle à laquelle nous pensons que les tubes de la région de l'avarie ont été longtemps soumis. En d'autres termes, il n'est pas nécessaire, pour expliquer l'avarie, d'invoquer un coup de feu violent et rapide dû à une obstruction accidentelle, mais plutôt une mauvaise circulation existant d'une manière générale dans la région considérée — qui est l'angle du collecteur — et qui se serait aggravée légèrement, à un moment donné, pour le tube 34.

Nous tirerons de cette étude deux conclusions :

— *L'une, d'ordre pratique*, c'est qu'il paraît indispensable pour une chaudière à haute pression, travaillant à 110 kg, avec un fluide dont la température est au moins de 316° d'employer les aciers spéciaux résistant à chaud.

Nous avons vu en effet qu'avec l'acier extra doux ordinaire employé, la fatigue admise par le constructeur — 5 kg/mm<sup>2</sup> — était égale à la limite des écoulements ou résistance du métal, à 550° environ, c'est-à-dire à 234° à peine au-dessus de la température du fluide. Avec un acier spécial au chrome molybdène, on fait des tubes qui résistent à cette température de 550°, jusqu'à 9 kg.

Remarquons en passant que la résistance de l'acier ordinaire à 450°, mesurée par l'essai de traction rapide classique, est de 30 kg et que le constructeur pouvait se croire protégé par un coefficient de sécurité égal à 6. La viscosité du métal rend illusoire cette sécurité. Il faudrait, semble-t-il, pour une chaudière à 110 kg, imposer à l'acier ordinaire un coefficient de sécurité au moins égal à 10.

Nous nous hâtons de dire que l'adoption de l'acier spécial ne suffirait pas pour remédier aux défauts de la chaudière en question, et qu'il faudrait parallèlement chercher à améliorer la circulation par une modification du tracé. C'est ce que fait d'ailleurs le constructeur.

— *L'autre, d'ordre théorique*, c'est que les deux phénomènes désignés en métallographie sous le nom de « coalescence de la perlite » et de « recristallisation de l'acier doux écroui » qui, d'après les données admises, exigerait une température de l'ordre d'au moins 600° - 650°, paraissent pouvoir se manifester à des températures inférieures, de l'ordre de 500° à 550°, lorsque la chauffe est prolongée suffisamment longtemps comme cela a été le cas dans la chaudière en question, où la durée de chauffage a été de 1.500 heures au moins.