
NOTE
SUR
L'AMÉLIORATION DE LA SURCHAUFFE DANS LES LOCOMOTIVES

ESSAIS EFFECTUÉS
à la Compagnie des Chemins de Fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée

Par M. Ch. BOURRIÉ,

INGÉNIEUR DU MATÉRIEL A LA COMPAGNIE P.-L.-M.

La Compagnie P.-L.-M. mettait en service en 1925 des locomotives 140-A, à 4 essieux accouplés, à deux cylindres, simple expansion et surchauffe, du type étudié par l'Office Central d'Etudes de Matériel de Chemins de fer.

Elle ne tardait pas à constater que la consommation de combustibles de ces machines était particulièrement élevée, et très supérieure à celle des locomotives de puissance analogue (locomotives Compound il est vrai) déjà utilisées sur le Réseau. Les essais aussitôt entrepris permirent bientôt d'attribuer cette consommation anormale, que la simple expansion ne pouvait, à elle seule, expliquer, à l'insuffisance manifeste de la température de surchauffe, qui ne dépassait pas en moyenne 225° sous la pression effective de 14 kg par cm².

Dans ces conditions, la recherche des modifications qu'il convenait d'apporter aux dispositions primitives du faisceau tubulaire et du surchauffeur, en vue d'accroître l'efficacité de ce dernier, s'imposait. La surface de surchauffe paraissant toutefois convenablement calculée, il apparut dès l'abord que les modifications devraient avoir pour effet de favoriser le passage des gaz chauds à travers les tubes du surchauffeur, en vue de faire passer par ceux-ci une proportion plus grande de ces gaz.

Les essais systématiques poursuivis en ce sens sur les locomotives 140-A aboutirent effectivement à des résultats très intéressants : la température de surchauffe fut portée à 350°, le gain total de 125° ainsi réalisé se traduisant par une importante économie de combustible.

Il était, dès lors, tout indiqué d'employer la même méthode pour la mise au point des surchauffeurs des autres types de locomotives du Réseau (1) ; ce fut l'objet de nombreuses séries d'essais dont les résultats donnèrent également toute satisfaction.

(1) On concevra l'intérêt de cette mise au point (en ce qui concerne notamment l'économie de combustible à en attendre) si l'on considère que l'effectif des locomotives à surchauffe actuellement en service sur le réseau P.-L.-M. dépasse 3.600 unités.

Enfin, les relevés effectués plus récemment, lors de la mise en service des locomotives 242-AT et 241-A, dont les surchauffeurs ont reçu de construction les dispositions reconnues les plus satisfaisantes à la suite des essais antérieurs, viennent de confirmer à nouveau l'efficacité de ces dispositions.

Il nous a donc paru intéressant de faire connaître les principaux résultats obtenus au cours de nos essais et d'en résumer les conclusions.

A. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Comme nous venons de le dire, c'est à une mauvaise répartition des gaz de la combustion entre les tubes surchauffeurs et les tubes bouilleurs (1) que nous avons attribué l'insuffisance de surchauffe constatée sur les locomotives 140-A.

On considère souvent, pour caractériser en première approximation cette répartition, le rapport $A = \frac{S_s}{S_b}$ des sections de passage respectivement offertes aux gaz chauds par les faisceaux surchauffeur et bouilleur; on s'attache ordinairement à donner à ce rapport une valeur voisine de l'unité.

En fait, la répartition des gaz est plus exactement fonction de la résistance respectivement offerte à leur écoulement par les deux faisceaux considérés. Nous avons donc jugé préférable d'adopter comme élément caractéristique le rapport $B = \frac{R_s}{R_b}$ de la résistance du faisceau surchauffeur à celle du faisceau bouilleur.

Pour évaluer et comparer entre elles les valeurs de ce rapport successivement réalisées sur les locomotives, nous avons admis que la résistance R d'un tube est proportionnelle à la valeur de l'expression (2) :

$$\frac{C l}{s^3} \text{ avec } \begin{cases} c = \text{périmètre de la section en contact avec les gaz,} \\ l = \text{longueur du tube,} \\ s = \text{section libre de passage des gaz} \end{cases}$$

dans laquelle le produit $C \times l$ représente la surface de frottement des gaz contre les parois. (Dans le cas des tubes surchauffeurs, on doit, par suite, tenir compte également de la surface de frottement contre les parois des éléments surchauffeurs).

Il fallait, en définitive, pour améliorer la surchauffe, diminuer la valeur du rapport $\frac{R_s}{R_b}$, ce qui pouvait être obtenu en agissant, soit sur le numérateur, soit sur le dénominateur, soit enfin sur les deux à la fois.

(1) Dans ce qui va suivre nous emploierons les expressions « tubes surchauffeurs » et « tubes bouilleurs » pour désigner respectivement les tubes contenant les éléments surchauffeurs et ceux ne contenant pas de tels éléments.

(2) La formule d'écoulement des fluides dans un tuyau alimenté par une enceinte à pression sensiblement constante H est $Q = \frac{\sqrt{2gH}}{\sqrt{R}}$

Pour un tuyau droit présentant des sections successives s_1, s_2, s_3 , la résistance est $R = \Sigma \frac{K}{s^2}$, K étant un coefficient qui peut se mettre sous la forme $K = \alpha \frac{C l}{s}$ (formule de Pécelet).

Par suite $R = \Sigma \alpha \frac{C l}{s^3}$ (α coefficient numérique).

a) **Augmentation de la résistance du faisceau bouilleur.**— Nous nous sommes bornés, en ce sens, à réduire la section d'entrée des tubes bouilleurs par l'emploi de viroles en acier placées à l'intérieur des tubes à leur extrémité postérieure.

b) **Diminution de la résistance du faisceau surchauffeur.** — Pour diminuer R_s il suffit d'augmenter la section libre de passage des gaz à travers chacun des tubes surchauffeurs, ce que permettent les divers moyens suivants :

1° Diminution du diamètre des éléments surchauffeurs

Ces éléments qui, sur certaines séries de locomotives, étaient constitués d'origine par des tubes de 31×38 mm ont été remplacés dans tous les cas par des éléments en tubes de 28×35 mm.

La section de passage de la vapeur et la surface de surchauffe ont été quelque peu diminuées de ce fait ; il n'en est résulté, comme nous le verrons, aucun inconvénient.

2° Amélioration de la forme des supports et entretoises des éléments.

Ces supports et entretoises présentaient fréquemment un encombrement excessif diminuant dans des proportions importantes la section libre de passage des gaz. Ils ont été remplacés par des supports en tôle mince présentant une section très réduite (dans le cas des locomotives 140-A, la section libre de passage des gaz dans un tube surchauffeur était, dans la disposition d'origine, diminuée de 37 % au droit des supports d'éléments ; la modification des supports a ramené ce chiffre à 14 % seulement).

3° Augmentation du diamètre des gros tubes surchauffeurs.

Les tubes surchauffeurs de 119×127 mm ou 125×133 mm dont étaient munies en général nos locomotives ont été, pour de nombreuses séries, remplacés par des tubes de 135×143 mm.

Cas particulier des surchauffeurs à petits tubes.

La méthode exposée plus haut ne peut évidemment s'appliquer intégralement, en pratique, qu'aux surchauffeurs à gros tubes. Le principal intérêt du surchauffeur à petits tubes est, en effet, de pouvoir s'appliquer à une locomotive préexistante sans qu'il soit nécessaire d'en changer les plaques tubulaires ; on ne peut donc envisager dans ce cas une augmentation du diamètre des tubes surchauffeurs. Il n'était d'autre part pas possible, sur celles de nos locomotives qui étaient munies de ce type de surchauffeur, de diminuer le diamètre des éléments (confectionnés en tubes de 19×24 mm) ni d'améliorer la forme de leurs supports qui présentaient dès l'origine une très faible section. La seule amélioration qu'il fût possible de réaliser consistait donc à augmenter la résistance des tubes bouilleurs au moyen d'un rétreint à leur extrémité (côté foyer). Elle l'a été effectivement.

La surchauffe étant néanmoins demeurée insuffisante, nous avons effectué sur certaines des

séries intéressées un essai comparatif du surchauffeur à petits tubes et du surchauffeur à gros tubes. Nous en indiquons plus loin les résultats.

Les premiers essais de surchauffeurs à gros tubes ont été conduits de façon à déterminer l'influence particulière sur la surchauffe de chacune des modifications que nous avons énumérées. Nous allons résumer les plus caractéristiques d'entre eux à ce point de vue. Par la suite on s'est borné à vérifier la concordance des résultats avec les prévisions, après exécution des modifications jugées utiles.

Nous devons, par ailleurs, préciser dès maintenant que les températures de surchauffe dont nous allons faire état sont des températures *moyennes*, résultant de relevés portant sur des parcours généralement très importants (de l'ordre de 100 à 150 km), et non des maxima réalisés pendant de courts instants.

Notons enfin que les essais ont été poursuivis à des trains du service normal ; les résultats obtenus correspondent donc en général à des taux de combustion relativement modérés (200 à 250 kg environ par m² de grille et par heure).

B. — EXPOSÉ DES ESSAIS.

1° Surchauffeurs à gros tubes.

a) Locomotives 140-A. — Ainsi que nous l'avons dit, au début de cette Note, les locomotives 140-A sont à quatre essieux accouplés, à deux cylindres, simple expansion et surchauffe. Ajoutons que le diamètre de leurs roues motrices est de 1,650 m, la surface de leur grille de 3 m² et le timbre de leur chaudière de 14 kg.

Le tableau ci-dessous fait connaître les caractéristiques des trois dispositions du faisceau tubulaire et du surchauffeur successivement appliquées à la locomotive qui a servi aux essais.

DISPOSITION	Tubes bouilleurs de 4 m 500 de long			Tubes surchauffeurs de 4 m 500 de long			ÉLÉMENTS surchauffeurs			SURFACES		RAPPORTS		
	Nombre	Diamètres		Nombre	Diamètres		Diamètres		Distance des coudes à la plaque tubulaire	de chauffe C	de surchauffe Σ	Σ C	S _s S _b	R _s R _b
		inté-rieur	exté-rieur		inté-rieur	exté-rieur	inté-rieur	exté-rieur						
<i>a</i>	120	50	55	21	125	133	31	38	450	139,46	44,49	0,319	0,69	0,51
<i>b</i>	120	50	55	21	125	133	28	35	450	139,46	41	0,293	0,75	0,38
<i>c</i>	106	51	55	21	135	143	28	35	450	134	41	0,306	0,98	0,20

La disposition *a* est la disposition primitive ; la disposition *b* en diffère par la substitution d'éléments surchauffeurs de 28 × 35 à ceux de 31 × 38 et le remplacement des supports d'origine par d'autres moins encombrants. Enfin la disposition *c* comportait, en outre, l'emploi de tubes surchauffeurs de plus grand diamètre, et par suite, la réduction du nombre des tubes bouilleurs.

Chacune de ces trois dispositions donnait lieu à deux séries d'essais :

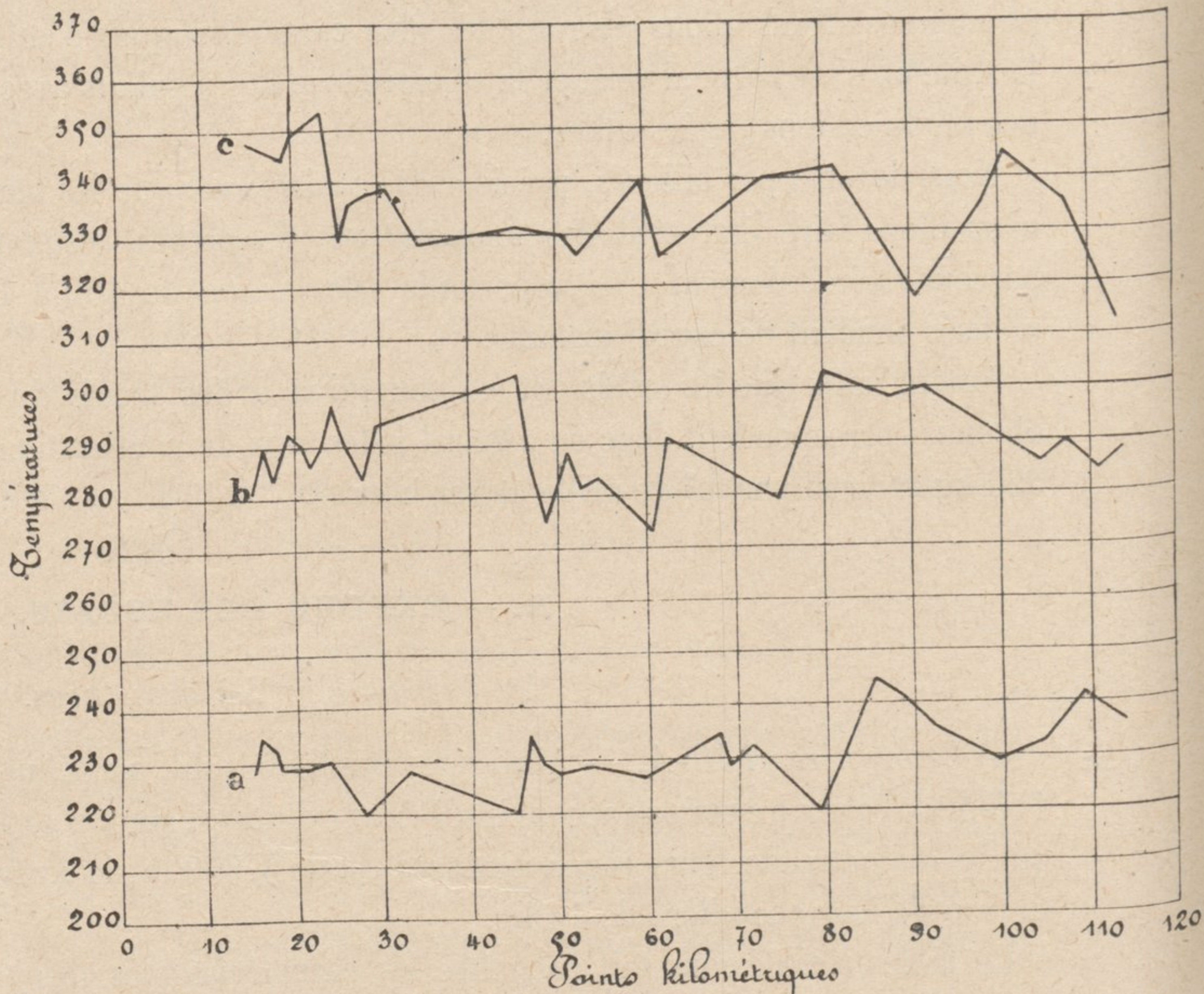
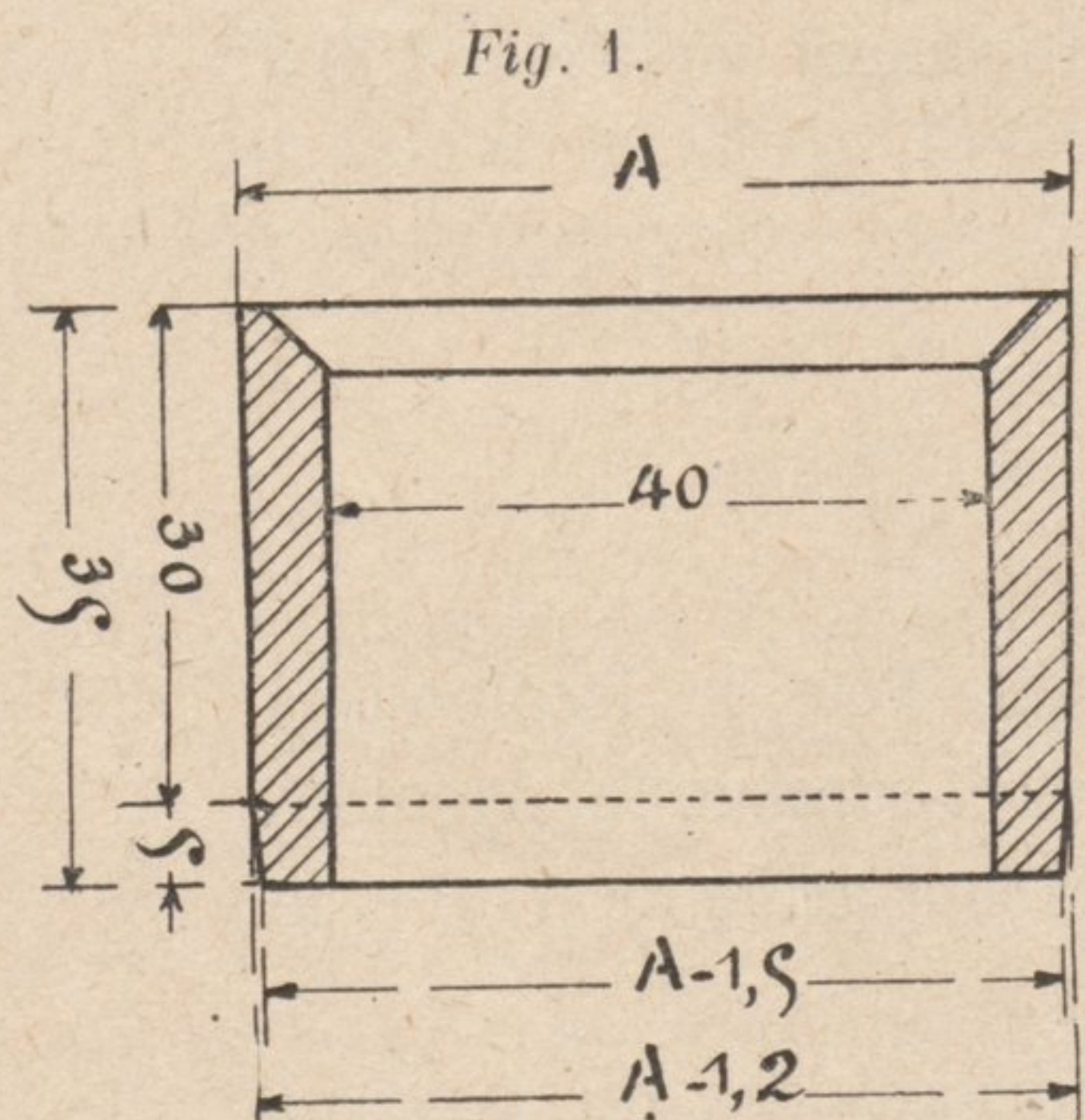
- 1° avec tubes bouilleurs non bagués,
- 2° avec tubes bouilleurs bagués.

Le croquis de la Fig. 1 (virole) représente la forme des viroles utilisées ; ces viroles étaient simplement emmanchées à force dans le rétreint des tubes.

Le graphique (Fig. 2), des températures relevées au cours des essais avec les trois dispositions *a, b, c*, définies plus haut, tubes bouilleurs non bagués, fait ressortir les améliorations très nettes de la température de surchauffe successivement obtenues.

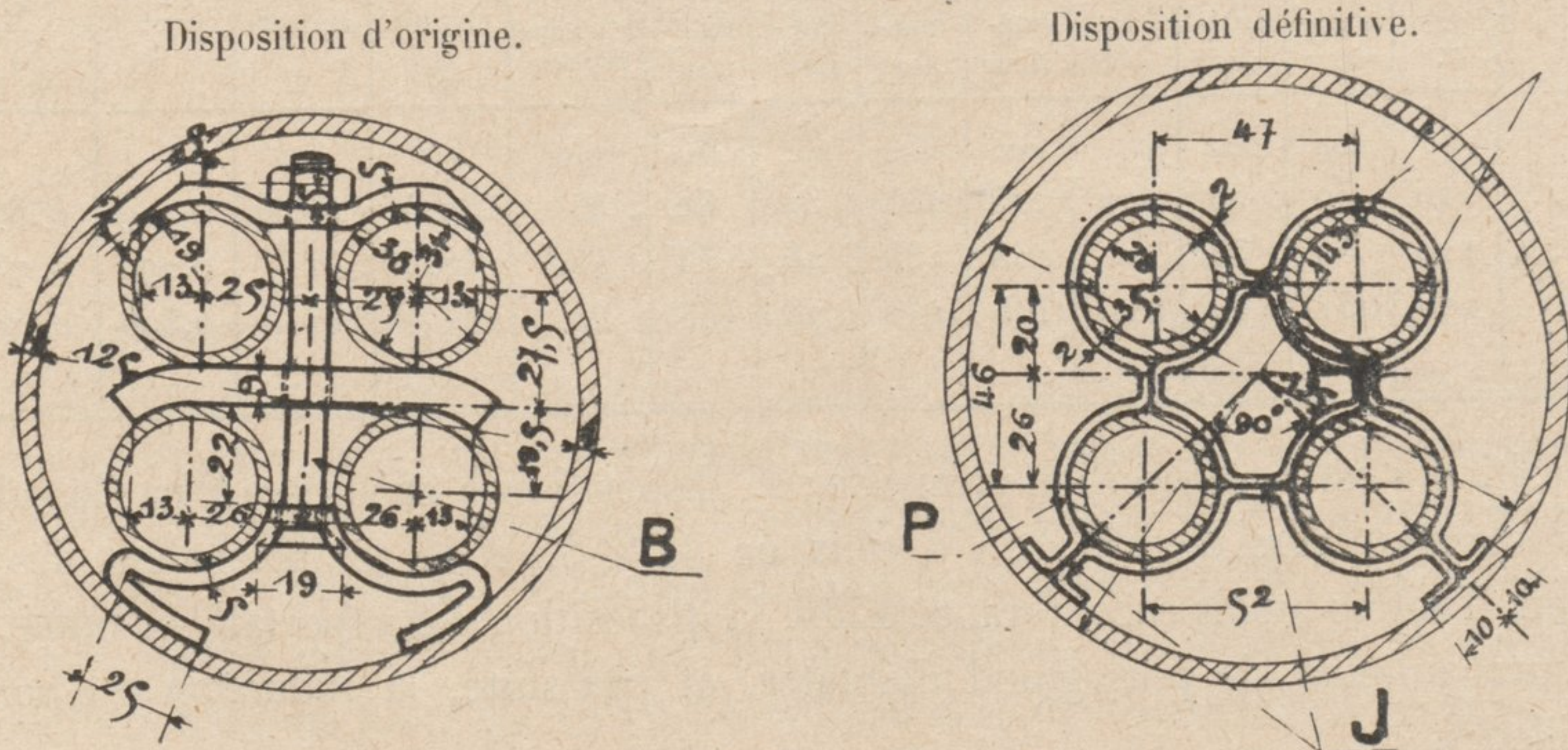
La substitution d'éléments surchauffeurs de 28×35 mm à ceux de 31×38 mm,

Fig. 2. — LOCOMOTIVE 140 A.



accompagnée du remplacement des supports d'origine par d'autres mieux étudiés (Fig. 3) a fait monter de 65° la température de surchauffe, passée de 225° à 290° .

Fig. 3. — LOCOMOTIVES 140 A. — SUPPORTS D'ÉLÉMENTS SURCHAUFFEURS.



B. Boulon F. 10.90. — J. Jonction par points de soudure en bout. — P. Plat de 60×2 .

L'augmentation du diamètre des tubes surchauffeurs a permis un nouveau gain de 40° , soit 105° au total.

L'économie de combustible a atteint, par rapport à la disposition initiale :

Dans le premier cas 8 %.

Dans le second cas 11 %.

Enfin le baguage des tubes bouilleurs a donné, dans les trois séries d'essais, une amélioration complémentaire de 20° environ, permettant d'atteindre, dans la disposition définitivement adoptée pour les locomotives 140-A, une température moyenne de vapeur surchauffée de 350° environ, contre 225° dans la disposition d'origine. Parallèlement, la valeur du rapport $\frac{R_s}{R_b}$ a été ramenée de 0,51 à 0,20, tandis que celle du rapport $\frac{\Sigma}{C}$ restait sans changement notable.

Il est remarquable d'ailleurs qu'une telle amélioration de la surchauffe ait été obtenue sans une élévation excessive de la température des gaz à leur sortie dans la boîte à fumée; cette température ne dépasse pas, en effet, 300° en moyenne, toutes modifications réalisées. La meilleure répartition des gaz a, par suite, permis un meilleur rendement de la chaudière, se traduisant par une augmentation de 5 % environ du taux de vaporisation, par kg de charbon.

A la suite de ces essais, toutes les locomotives 140-A en service (170 unités) ont été munies d'office de bagues aux tubes bouilleurs et d'éléments surchauffeurs de 28 × 35 mm, avec supports modifiés, en remplacement des éléments d'origine de 31 × 38 mm. L'application des gros tubes de 135 × 143 mm, sera effectuée seulement à l'occasion du passage des locomotives en grande réparation lorsque la plaque tubulaire de foyer devra, pour un motif quelconque, être remplacée. A ce moment, les viroles des tubes bouilleurs seront supprimées, l'extrémité des tubes étant elle-même rétreinte au diamètre voulu et la plaque tubulaire de foyer percée en conséquence.

β) *Locomotives 231 et 141.* — Des essais tout à fait analogues aux précédents ont été effectués avec une locomotive 231-D affectée au service des trains rapides entre Laroche et Dijon.

Les locomotives 231-D sont à quatre cylindres, compound, à trois essieux accouplés; avec roues motrices de 2.000 m de diamètre; leur surface de grille est de 4,25 m²; leur timbre de 16 kg. Les éléments surchauffeurs étaient primitivement constitués par des tubes de 28 × 35 mm dont les coudes *R* étaient à 690 mm de la plaque tubulaire du foyer.

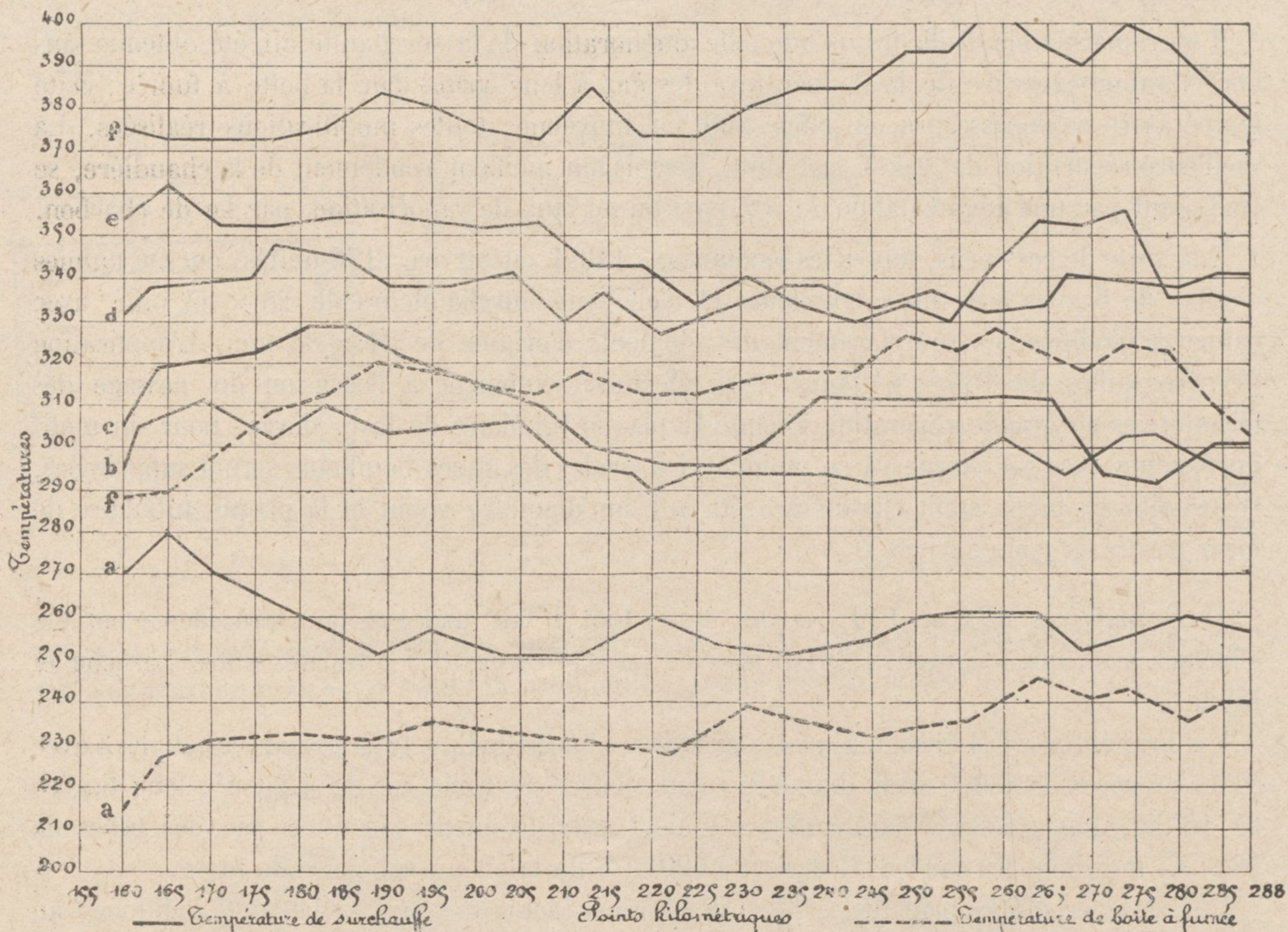
Les caractéristiques principales des dispositions soumises aux essais sont indiquées au tableau suivant :

DISPOSITION	Tubes bouilleurs de 6 m. de long			Tubes surchauffeurs de 6 m de long			ÉLÉMENTS surchauffeurs			SURFACES		RAPPORTS		
	Nombre	Diamètres		Nombre	Diamètres		Diamètres		Distance des coudes <i>R</i> à la plaque tubulaire de foyer	de	de	$\frac{\Sigma}{C}$	$\frac{S_s}{S_b}$	$\frac{R_s}{R_b}$
		inté- rieur	exté- rieur		inté- rieur	exté- rieur	inté- rieur	exté- rieur		chauffe C	surchauffe Σ			
		mm	mm		mm	mm	mm	mm	mm	m ²	m ²			
a	143	51	55	28	125	133	28	35	690	220,19	70,63	0,321	0,806	0,379
c	143	51	55	28	125	133	28	35	450	220,19	73,54	0,333	0,806	0,380
e	128	51	55	26	135	143	28	35	450	206	68,29	0,331	1,040	0,197

La disposition *a* est la disposition d'origine ; dans la disposition *c* les éléments surchauffeurs avaient été allongés pour ramener les coudes *R* à 450 mm de la plaque tubulaire de foyer ; enfin la disposition *e* comporte l'emploi de tubes surchauffeurs de plus grand diamètre. Pour chacune de ces dispositions, les essais ont été effectués successivement avec tubes bouilleurs non bagués, puis avec tubes bouilleurs bagués, les viroles employées dans ce dernier cas étant les mêmes que pour les locomotives 140-A.

Le graphique ci-contre (Fig. 4) représente les températures de surchauffe obtenues (1). Nous y avons également reporté les courbes des températures des gaz de la combustion dans

Fig. 4. — LOCOMOTIVES 231 D.



la boîte à fumée, tant dans la disposition d'origine que dans la disposition définitive du faisceau tubulaire (avec tubes bouilleurs bagués). En dépit d'un relèvement notable, cette température resté finalement de l'ordre de 315° en moyenne.

Les deux premières séries d'essais ont été successivement reproduites avec deux autres locomotives pourvues d'une chaudière identique à celle des 231-D, mais différant de celles-ci par certaines dispositions essentielles, savoir :

1° Une locomotive 231-A : à quatre cylindres égaux, à simple expansion, timbrée à 12 kg ; trois essieux accouplés à roues de 2,000 m.

(1) Les lettres *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, désignent sur ce graphique les courbes correspondant aux dispositions repérées par les mêmes lettres dans le tableau de la page 433.

2° Une locomotive 141-C : à quatre cylindres, compound, timbrée à 16 kg ; quatre essieux accouplés à roues de 1,650 m.

Les résultats ont parfaitement confirmé ceux qui avaient été obtenus avec la 231-D, comme le montre le tableau suivant, donnant les températures moyennes enregistrées (1).

LOCOMOTIVES	DISPOSITION DU FAISCEAU TUBULAIRE ET DU SURCHAUFFEUR					
	<i>a</i> Origine	<i>b</i> a) et tubes bouilleurs bagués	<i>c</i> a) avec coudes <i>R</i> des éléments à 450 mm de la plaque tubulaire	<i>d</i> c) et tubes bouilleurs bagués	<i>e</i> gros tubes de 135 × 143 coudes des éléments à 450 mm de la plaque tubulaire	<i>f</i> e) et tubes bouilleurs bagués
231-D.....	258°	295°	302°	335°	342°	380°
231-A.....	287°	315°	303°	330°		
141-C.....	284°	310°	303°	331°		

L'accroissement de la température de surchauffe atteint donc en définitive 120° environ toutes modifications effectuées ; la valeur du rapport $\frac{R_s}{R_b}$ est alors ramenée à 0,197, très voisine de celle obtenue sur les 140-A (0,20).

Les relevés de consommation de combustible effectués au cours des essais des locomotives 231-D, ont permis, d'autre part, de noter, par rapport à la dépense initiale, une économie de :

7 % environ après application de la disposition *d*) ;

10 % environ après application de la disposition définitive *f*).

Il est intéressant, par ailleurs, de noter que, par suite de la réduction importante de la dépense d'eau et de l'amélioration du rendement de la chaudière, la disposition définitive facilite nettement la conduite des trains, malgré la diminution de plus de 6 % de la surface totale de chauffe.

Comme pour les 140-A, cette disposition n'est appliquée qu'à l'occasion du remplacement des plaques tubulaires de foyer.

γ) Locomotives 5-A. — (Simple expansion, cinq essieux accouplés à roues de 1,300 m timbre 14 kg). Nous ne mentionnons ces essais que parce qu'ils ont permis de réaliser deux augmentations successives du diamètre des gros tubes surchauffeurs, les tubes 119 × 127 mm ayant été successivement remplacés par des tubes de 125 × 133 mm puis de 135 × 143 mm.

(1) Ces moyennes ne concordent pas rigoureusement avec les ordonnées moyennes des courbes représentées sur le graphique (fig. 4) ; sur ce dernier, n'ont été reportées, en effet, pour plus de clarté, que les courbes correspondant à un seul train de chaque série d'essais ; les moyennes données par le tableau tiennent compte, au contraire, des résultats de l'ensemble des trains de chaque série.

Voici les caractéristiques des faisceaux et les températures de surchauffe obtenues :

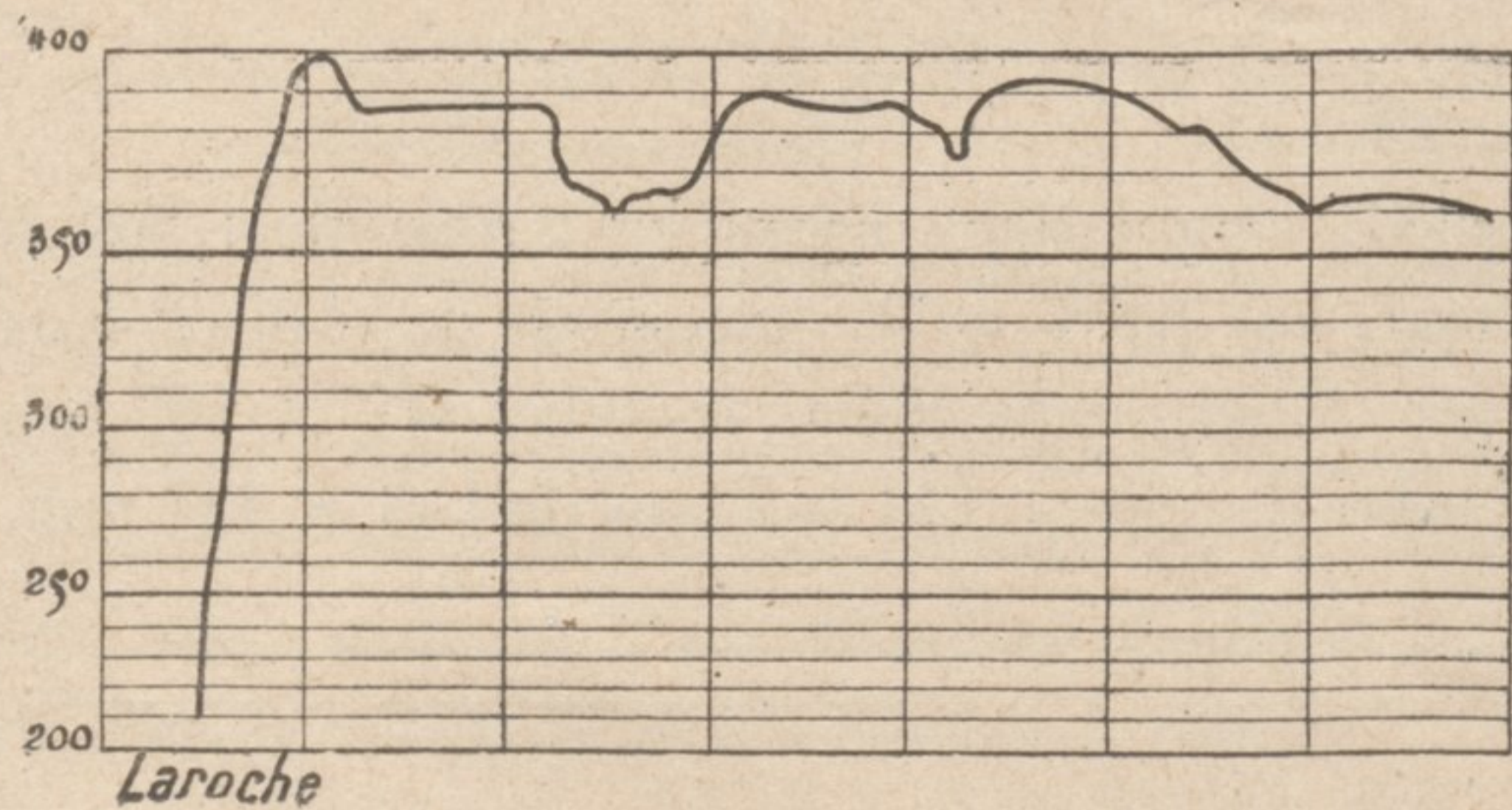
DISPOSITION	Tubes bouilleurs de 4 m. 250 de long			Tubes surchauffeurs de 4 m. 250 de long			ÉLÉMENTS surchauffeurs			SURFACES		RAPPORTS			Température
	Nombre	Diamètres		Nombre	Diamètres		Diamètres		Distance des coudes R à la plaque tubulaire de foyer	de chauffe totale C	de surchauffe	$\frac{\Sigma}{C}$	$\frac{S_s}{S_b}$	$\frac{R_s}{R_b}$	
		intérieur	extérieur		intérieur	extérieur	intérieur	extérieur							
Origine.....	148	46	51	22	119	127	28	35	650	150,20	38	0,253	0,652	0,453	285°
2°.....	148	46	51	22	119	127	28	35	450	150,20	39,82	0,265	»	»	300°
3°.....	125	45,6	50	22	125	133	28	35	450	125,82	40,40	0,321	0,777	0,241	320°
4°.....	125	45,6	50	22	135	143	28	35	450	128,81	40,40	0,314	1,128	0,130	340°

Il n'a pas été appliqué de viroles aux tubes bouilleurs, ceux-ci étant déjà rétreints à 35 mm (diamètre intérieur) à leur extrémité postérieure. La valeur obtenue en dernier lieu pour le rapport $\frac{R_s}{R_b}$ soit 0,13 est la plus faible que nous ayons réalisée au cours de nos essais ; si la température moyenne de surchauffe reste néanmoins très inférieure à celle qui fut atteinte avec d'autres types de locomotives, cela tient surtout au service très spécial assuré par les locomotives 5-A (trains de marchandises sur des lignes à forte rampe). La vitesse des trains d'essai était seulement de 20 km/h, environ. Dans ces conditions, la température des gaz dans la boîte à fumée reste également très modérée : 270° environ.

δ) *Locomotives 241-A.* — La première unité (241-A-1) (1), construite en vue des essais de ce type nouveau de locomotives, avait un surchauffeur très largement calculé, puisque le rapport $\frac{\Sigma}{C}$ de la surface de surchauffe à la surface totale de chauffe atteignait 0,445. Néanmoins, les éléments surchauffeurs étant constitués par des tubes de 31 × 38 mm, la température de surchauffe était seulement de l'ordre de 300° environ en service normal.

L'application d'éléments surchauffeurs en tubes de 28 × 35 et le baguage des tubes bouilleurs permirent d'obtenir une température

Fig. 5. — LOCOMOTIVES 241 A.



suffisante et qui pouvait même, dans les conditions exceptionnelles de certains essais à toute puissance, atteindre une valeur moyenne très élevée. La figure 5 montre la courbe tracée au cours de l'un de ces essais, avec un taux de combustion voisin de 500 kg par m² de grille et par heure, par le pyromètre enregistreur monté sur la locomotive.

(1) Voir la description de cette locomotive : locomotive compound à grande vitesse, avec surchauffeur de vapeur, à quatre essieux couplés à roues de 1,800 m, bogie à l'avant, et essieu porteur bissel à l'arrière, par M. R. Vallantin, Ingénieur en Chef du Matériel et de la Traction de la Cie P.-L.-M. (*Revue Générale*, Février 1926).

Les unités de ce type construites par la suite (241-A-2 à 95), reçurent cependant un faisceau tubulaire et un surchauffeur tout différents, dont le tableau suivant permet de comparer les caractéristiques à celles des deux dispositions successivement réalisées sur le prototype.

DISPOSITION	Tubes bouilleurs de 6 m de long			Tubes surchauffeurs de 6 m. de long			SURFACES		RAPPORTS			Température
	Nombre	Diamètres		Nombre	Diamètres		de chauffe totale C	de surchauffe Σ	$\frac{\Sigma}{C}$	$\frac{S_s}{S_b}$	$\frac{R_s}{R_b}$	
		intérieur	extérieur		intérieur	extérieur						
241-A-1	145	50	55	40	125	133	255,70	113,90	0,445	1,086	0,328	300°
241-A-1 modifiée	145	50	55	40	125	133	255,70	104,90	0,410	1,182	0,243	325°
241-A-2 à 95 . . .	143	51	55	33	135	143	246,16	86,55	0,352	1,180	0,173	350°

Le nouveau faisceau présentait, par rapport au premier, les avantages suivants :

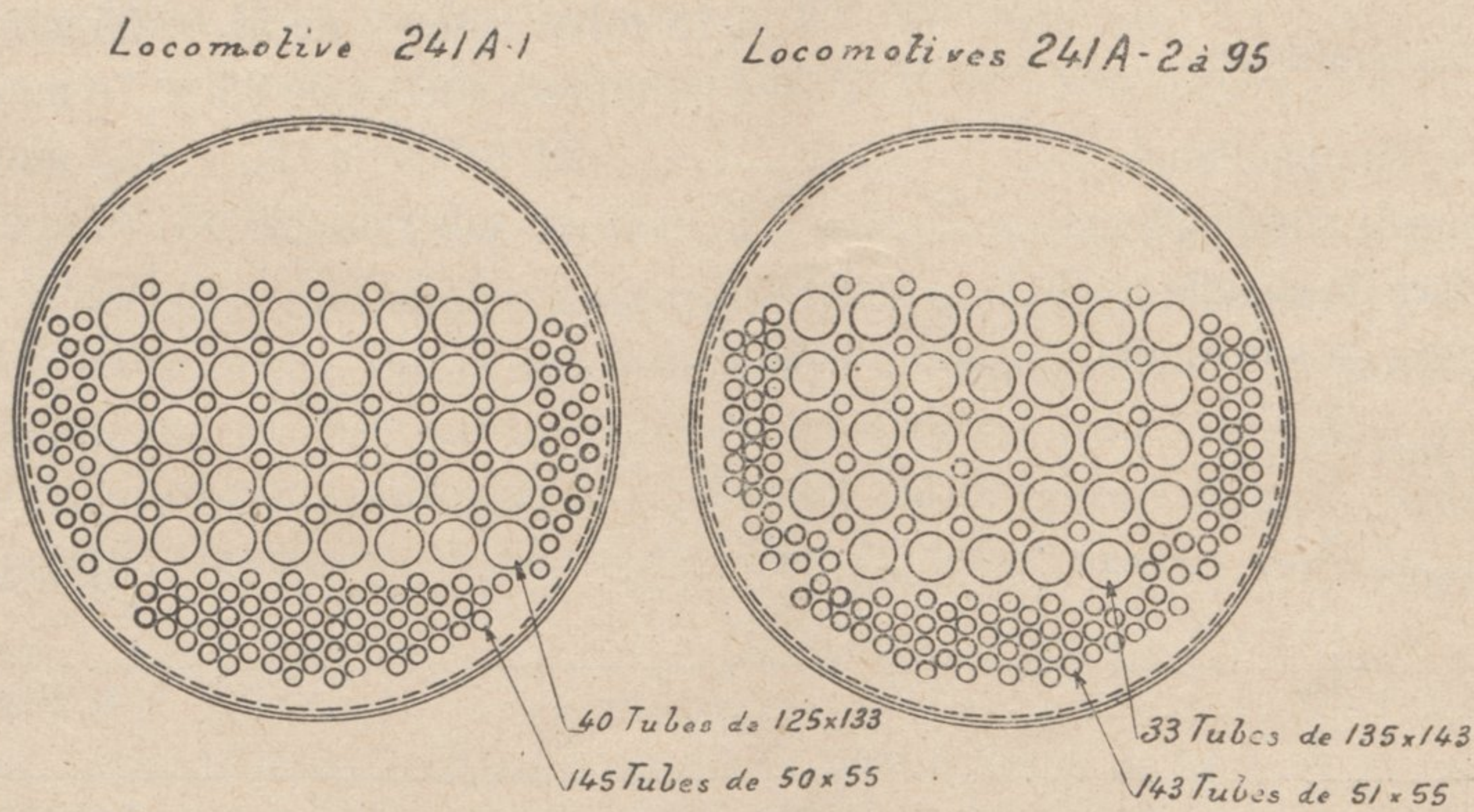
1° Une diminution de 1,500 t environ du poids de la chaudière, qui a permis d'équiper ces locomotives d'un réchauffeur d'eau d'alimentation, tout en les maintenant dans les limites de poids total initialement prévues.

2° Une amélioration de la surchauffe de 25° environ, en dépit d'une diminution de 17,5 % de la surface de surchauffe, le rapport $\frac{\Sigma}{C}$ s'étant par ailleurs abaissé de 0,445 à 0,352.

L'influence de la meilleure répartition des gaz, caractérisée par une diminution de 0,328 à 0,173 de la valeur du rapport $\frac{R_s}{R_b}$, apparaît donc ici de façon particulièrement nette.

La figure 6 montre les dispositions du faisceau tubulaire de la 241-A-1 primitive et des unités suivantes (241-A-2 à 95).

Fig. 6.



2° Comparaison du surchauffeur à gros tubes et du surchauffeur à petits tubes.

Le surchauffeur à petits tubes a été appliqué assez récemment sur le réseau P.-L.-M. aux locomotives de plusieurs séries, construites pour la plupart de 1908 à 1912, et qui ne l'avaient pas reçu de construction.

Toutes les unités intéressées, sauf une série de peu d'importance, sont pourvues de la même chaudière dont les caractéristiques sont les suivantes :

Surface de grille.....	3,08 m ²
Tubes : { Bouilleurs.....	50 tubes à ailettes de 64 × 70 mm
{ Surchauffeurs.....	96 tubes lisses de 64 × 70 mm
Longueur des tubes entre plaques tubulaires.....	4,295 m
Surface de chauffe totale.....	175,47 m ²
Surface de surchauffe.....	65,17 m ²
Éléments surchauffeurs en tubes de 19 × 24 mm.	

Ce sont toutes des locomotives à 4 cylindres compound, timbrées à 16 kg.

Comme il fallait s'y attendre, la température de surchauffe varie notablement avec le service assuré. Nous avons relevé, en service normal, les moyennes suivantes :

1° Locomotives 230-C (roues de 1,790 m, service des trains express).....	310°
2° Locomotives 140-E et 232-BT (roues de 1,650 m, voyageurs et messageries) ..	300°
3° Locomotives 140-B et 240-A (roues de 1,500 m, marchandises).....	255°

En baguant les tubes bouilleurs, on relève ces températures de 20° environ.

La surchauffe des locomotives à roues de 1,500 m reste donc nettement insuffisante et, comme nous l'avons indiqué, les procédés employés pour améliorer les surchauffeurs à gros tubes ne peuvent s'appliquer ici.

Nous avons par suite été conduits à réaliser successivement sur une locomotive 140-E, puis sur une 140-B, l'essai d'un surchauffeur à gros tubes étudié en tenant compte des enseignements des précédents essais.

Les caractéristiques du nouveau faisceau (1) étaient les suivantes .

Tubes bouilleurs.....	{ 16 tubes lisses de 51 × 55 mm	
	{ 63 tubes à ailettes de 65 × 70 mm	
Tubes surchauffeurs.....	21 tubes de 135 × 143 mm	
Éléments surchauffeurs.....	en tubes de 28 × 35 mm	
Surface de chauffe totale C.....	163,63 m ²	
Surface de surchauffe.....	37,59 m ²	
Rapport $\frac{\Sigma}{C}$	0,23	
Rapport $\frac{S_s}{S_b}$	0,982	
Rapport $\frac{R_s}{R_b}$	0,205	

(1) Ces caractéristiques ne sauraient être mises directement en parallèle avec celles du faisceau initial avec surchauffeur à petits tubes, tout au moins en ce qui concerne les valeurs des rapports $\frac{\Sigma}{C}$, $\frac{S_s}{S_b}$, $\frac{R_s}{R_b}$. Les éléments surchauffeurs logés dans les petits tubes ne comportent, en effet, qu'un circuit unique, alors que ceux des surchauffeurs à gros tubes sont à double circuit et cette circonstance rend toute comparaison impossible entre les caractéristiques numériques des deux catégories de surchauffeurs (voir à ce sujet les expériences d'Altoona : *Revue Générale*, Octobre 1919).

La température de surchauffe a atteint, dans ces conditions, avec tubes bouilleurs rétreints (1) :

pour la 140-E	340°
pour la 140-B	320°

L'amélioration, relativement peu marquée sur la locomotive 140-E sur laquelle le surchauffeur à petits tubes donnait un résultat à la rigueur acceptable, est par contre très intéressante sur la locomotive 140-B.

Dans l'un et l'autre cas, la température des gaz dans la boîte à fumée ne dépasse pas en moyenne 240° à 250°.

C. — REMARQUES

1° Distance des coudes R des éléments surchauffeurs à la plaque tubulaire de foyer.

Au début de l'application de la surchauffe aux locomotives, cette distance atteignait jusqu'à 800 mm (2), en raison des craintes que l'on concevait sur la résistance des coudes aux fortes températures atteintes dans la région la plus voisine du foyer. Au début de nos essais, cette cote était encore de 600 mm environ sur la presque totalité de nos locomotives. Nous avons maintenant adopté la cote de 450 mm pour tous les surchauffeurs, y compris ceux à petits tubes ; la surchauffe s'en est trouvée notablement améliorée et il n'en est résulté aucun inconvénient pratique ; les coudes ont bien résisté.

Y a-t-il intérêt à aller plus loin ? Nous ne le croyons pas.

Un essai réalisé sur une locomotive 140-A, munie successivement d'éléments portés à 450, puis à 350 mm de la plaque tubulaire n'a pas fait ressortir d'avantage net en faveur de cette dernière disposition. L'élévation de la température de surchauffe est de quelques degrés seulement et on peut craindre des avaries non plus seulement aux coudes (3), mais également aux tuyaux constituant les éléments.

Une comparaison faite en service courant n'a d'ailleurs pas fait ressortir d'économie appréciable de combustible. Nous pensons donc qu'il faut s'en tenir à une cote voisine de 450 mm.

2° *Baguage des tubes bouilleurs.* Au cours des essais la section d'entrée des tubes bouilleurs était rétreinte au moyen de viroles intérieures, telles que celle représentée par la figure 1, mises en place à la masse. On fut très vite conduit à abandonner cette disposition en service courant. Les bagues, en effet, par suite des dilatations successives, tenaient mal et tombaient rapidement dans le foyer. La disposition représentée par la figure 7 ci-après, dans laquelle les bagues, de forme convenable, étaient serties dans les tubes, assurait une meilleure tenue en

(1) A noter que tous les tubes bouilleurs, y compris les tubes à ailettes de 65 × 70, ont été rétreints au diamètre intérieur de 40 mm à l'extrémité côté foyer ; cela n'a pu être obtenu pour les tubes à ailettes qu'au moyen d'un double rétreint.

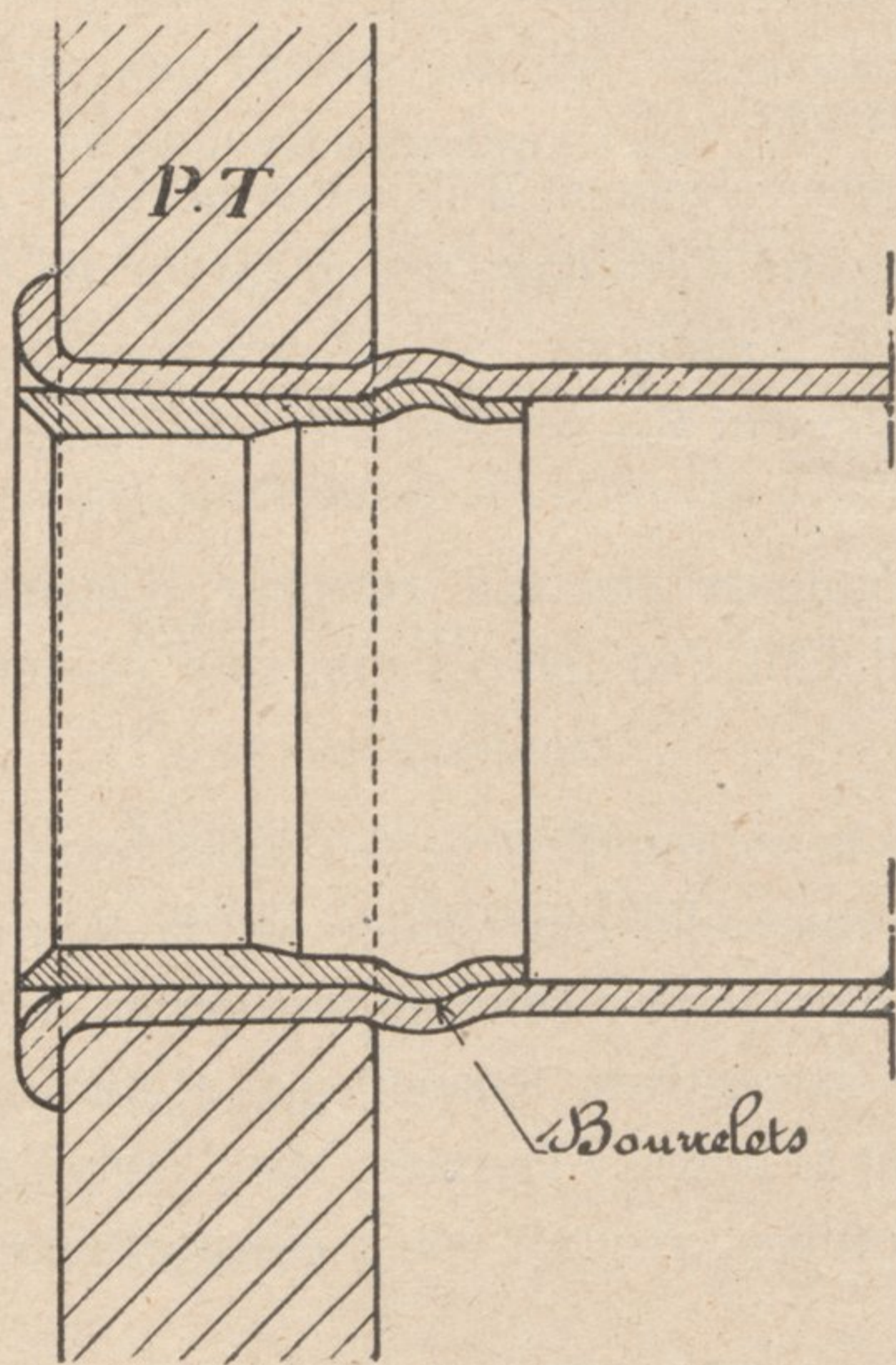
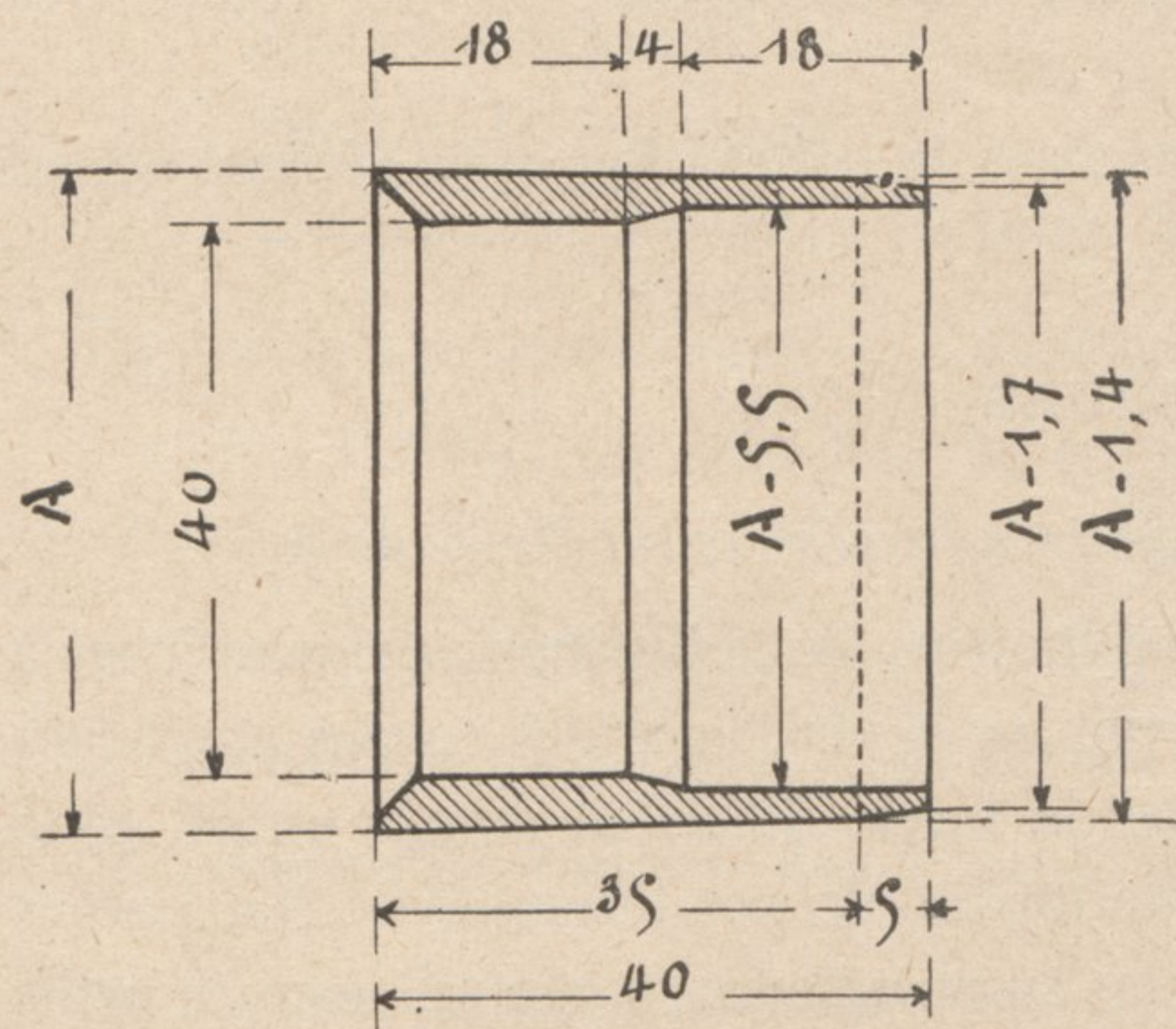
(2) Locomotive compound à surchauffe du Canadian Pacific (*Revue Générale*, Janvier 1904).

(3) Les coudes pourraient, à la rigueur, être protégés par une calotte en fonte selon une pratique parfois admise ; mais l'encombrement qui en résulterait dans les tubes surchauffeurs, augmentant leur résistance au passage des gaz, ne pourrait que faire diminuer la surchauffe.

service. Un inconvénient grave subsista cependant : la formation rapide de « Nids d'hirondelles » par les escarbilles arrêtées par les bagues, suivie de l'obstruction, parfois complète, de certains tubes.

Nous avons ainsi été conduits à adopter des viroles en cuivre interposées entre la plaque tubulaire et les tubes, l'extrémité de ceux-ci étant convenablement rétreinte.

Fig(7.

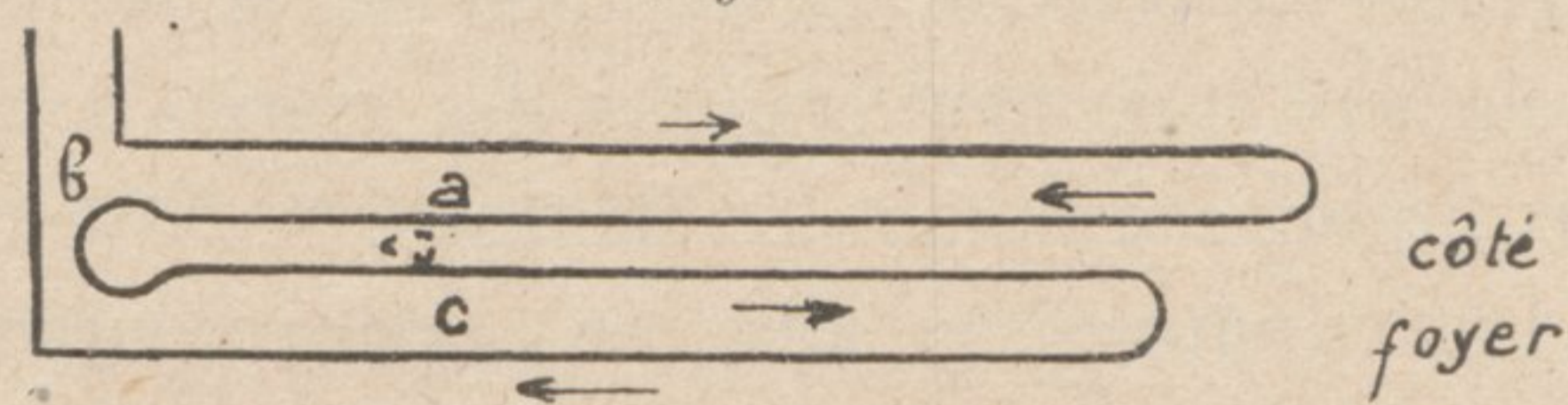


A. Côte variant suivant le diamètre intérieur des tubes bouilleurs.

Bien entendu, à l'occasion du remplacement des plaques tubulaires, les alvéoles des plaques neuves sont percées au diamètre réduit qui permet la suppression des viroles. On ne constate plus, dans ces conditions, aucune tendance à l'obstruction de l'entrée des tubes.

3° *Forme des éléments surchauffeurs.* Nos expériences ont confirmé l'observation déjà faite antérieurement (1) que, dans les gros tubes, il serait avantageux, au point de vue de la surchauffe de supprimer la partie antérieure de la branche médiane des éléments (partie *a, b, c*, (Fig. 7 bis) ; dans la région la plus voisine de la boîte à fumée, cette branche est en effet enveloppée de gaz dont la température est généralement inférieure à celle de la vapeur

Fig. 7 bis.



surchauffée (voir les chiffres donnés plus haut, notamment pour les 140-A et les 231-D). L'expérience paraît, il est vrai, avoir montré (2) qu'une telle disposition favoriserait l'obstruction des tubes par les escarbilles au point où s'arrêterait la branche médiane.

Mais cet inconvénient lui-même disparaît si, ayant supprimé la partie de cette branche située dans la région aval *a b c* du tube à fumée, on lui substitue sur la même longueur un

(1) Expériences d'Altoona (Cf. : — Étude expérimentale de la chaudière Locomotive par M. P. Conte — *Revue Générale*, Février 1923).

(2) Expériences d'Altoona : Op. cit.

élément réchauffeur parcouru par l'eau d'alimentation de la chaudière ; on peut récupérer ainsi une partie des calories restantes des gaz de la combustion qui n'étaient d'aucun effet, sinon nuisible, en ce qui concerne la surchauffe. C'est la justification de certains appareils réchauffeurs d'eau d'alimentation actuellement réalisés.

4° *Difficultés pratiques.* Les seules difficultés que nous ayons rencontrées jusqu'ici dans l'emploi de températures de surchauffe très élevées sont relatives : d'une part au graissage des cylindres, d'autre part à la tenue des garnitures de tiges de pistons, les deux questions étant d'ailleurs en partie liées.

Il n'en résulte toutefois aucune gêne sérieuse, et il semble bien, au demeurant, que les études et essais en cours à ce sujet doivent aboutir à bref délai à des solutions satisfaisantes.

D. — CONCLUSIONS

Nous concluons de cette étude que, contrairement à ce qui fut longtemps admis, il est possible d'obtenir dans une chaudière de locomotive une température moyenne de surchauffe comprise entre 350° et 400°, même aux allures de combustion, relativement modérées, correspondant au service courant (température de 380° sur les locomotives 231 avec un taux de combustion de 250 kg/m²/heure).

Seul, le surchauffeur à gros tubes — qui présente par ailleurs d'incontestables avantages d'ordre pratique (facilités de construction, de montage et d'entretien courant) — permet toutefois d'atteindre de tels résultats. Le surchauffeur à petits tubes ne peut être admis que pour l'équipement de locomotives déjà construites ; encore n'est-il pas certain que, même dans ce cas, il constitue réellement la solution la plus économique.

Pour ce qui est enfin des conditions d'établissement des surchauffeurs à gros tubes, nos essais ont montré qu'une importante amélioration de la surchauffe peut être obtenue sans variation ou même en dépit d'une diminution de la valeur du rapport $\frac{\Sigma}{C}$ (1) ; ils ont ainsi nettement confirmé que la valeur relative de la surface de surchauffe n'est pas un critérium suffisant de l'efficacité d'un surchauffeur. Il est bon sans doute de disposer d'une surface de surchauffe suffisante, mais encore faut-il amener au contact de cette surface un poids suffisant de gaz chauds.

Si, en définitive, on désigne par :

Σ la surface de surchauffe,

C la surface totale de chauffe,

R_b la résistance du faisceau bouilleur..... } telles qu'elles ont été

R_s la résistance du faisceau surchauffeur..... } précédemment définies

G la surface de grille,

S_1 la section de passage de la vapeur à travers l'ensemble des n éléments surchauffeurs de diamètre intérieur d

$$\left(S_1 = n \pi \frac{d^2}{4} \right)$$

on pourra, nous semble-t-il, suivre pour l'établissement d'un surchauffeur la marche ci-après.

(1) $\frac{\Sigma}{C}$: rapport de la surface de surchauffe à la surface totale de chauffe.

a) déterminer le nombre approximatif n d'éléments surchauffeurs nécessaires pour obtenir pour S_1 une valeur convenable. La section S_1 doit, en effet, pour éviter de trop grandes pertes de charge, être proportionnée à la dépense de vapeur prévue, c'est-à-dire, en dernière analyse, à la surface de grille G .

Sur toutes les locomotives récentes de la Compagnie P.-L.-M. le rapport $\frac{S_1}{G}$ a une valeur très voisine de 0,004.

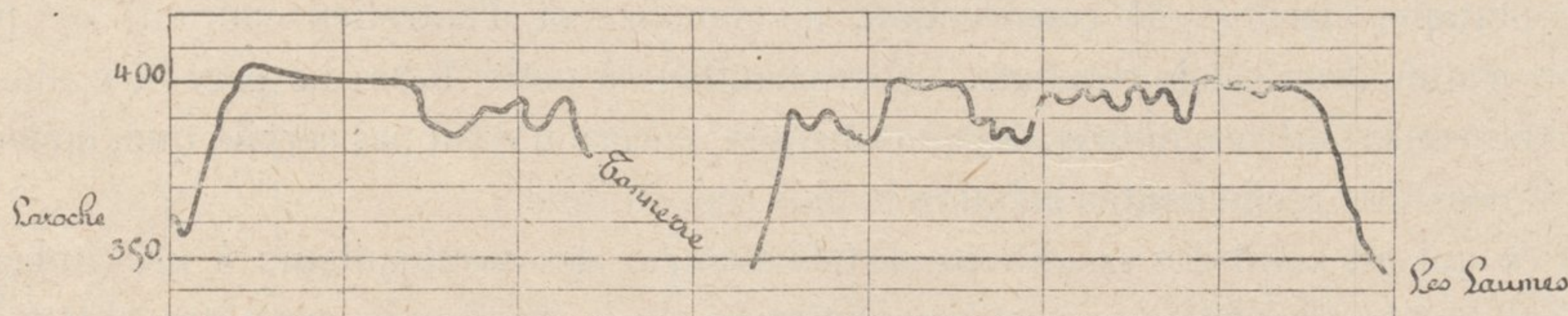
b) déterminer ensuite la composition du faisceau tubulaire, c'est-à-dire le nombre et le diamètre des tubes bouilleurs et des tubes surchauffeurs (en faisant légèrement varier s'il est nécessaire le nombre des éléments surchauffeurs précédemment déterminé), de façon à obtenir pour les rapports $\frac{\Sigma}{C}$ et $\frac{R_s}{R_b}$ tels que nous les avons définis, des valeurs convenables.

Notre expérience nous conduit à adopter pour ces rapports des valeurs voisines respectivement de :

$$0,30 \quad \text{et} \quad 0,18.$$

Quant au rapport $\frac{C}{G}$ de la surface totale de chauffe à la surface de grille, il varie en général, sur le matériel, P.-L.-M., de 45 à 55.

Fig. 8. — LOCOMOTIVE 242 AT.



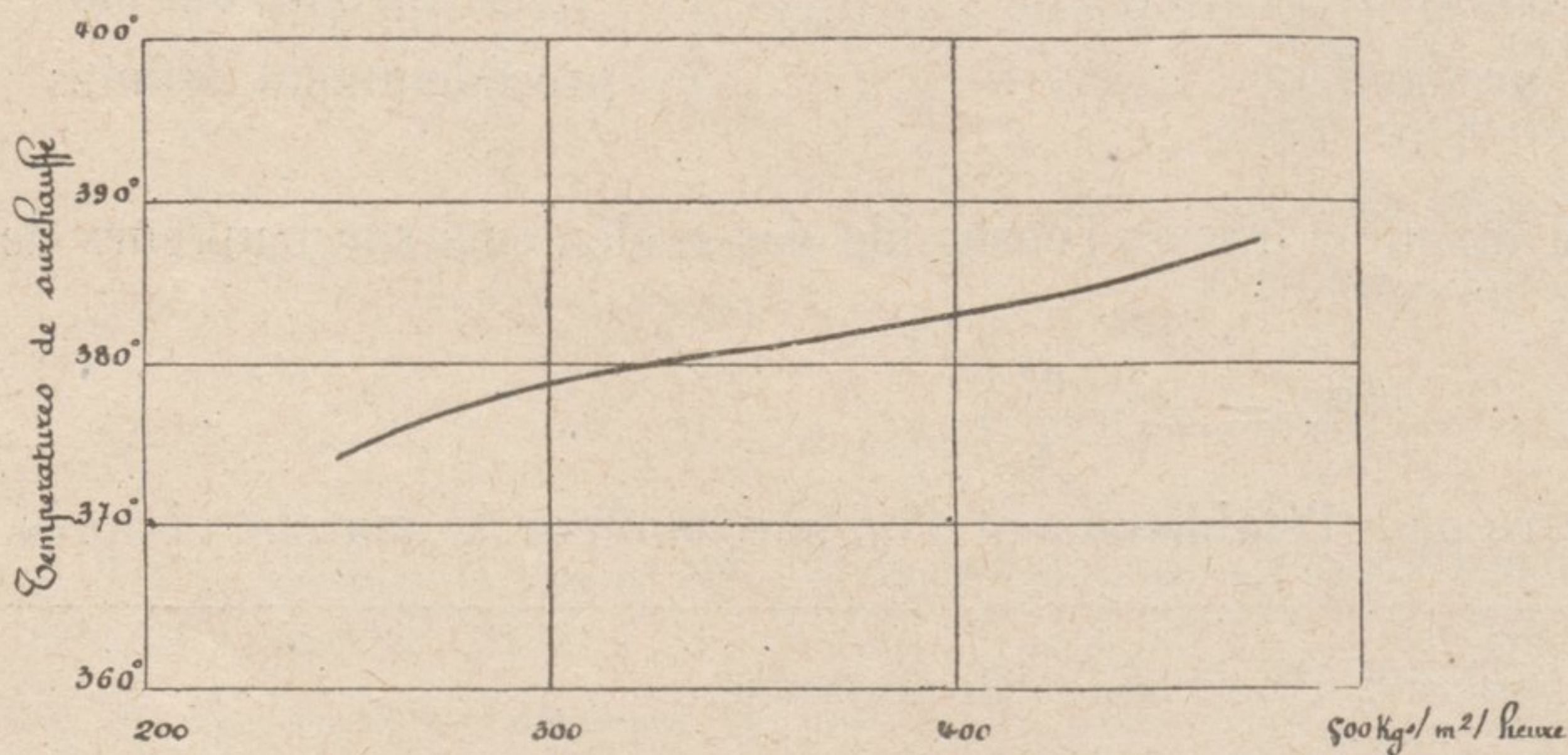
La figure 8 reproduit une courbe de la température de surchauffe obtenue avec une locomotive de la série la plus récente (242-AT) dont le surchauffeur satisfait pleinement aux conditions ci-dessus. On a pour ces locomotives :

$$\frac{S_1}{G} = 0,0042 \quad \frac{\Sigma}{C} = 0,262 \quad \frac{R_s}{R_b} = 0,186 \quad \frac{C}{G} = 56.$$

Cette courbe a été enregistrée, il est vrai, à un train d'essai particulièrement dur puisqu'il

Fig. 9. — LOCOMOTIVE 242 AT.

Température de surchauffe en fonction de l'activité moyenne de combustion. Admission H P 45 %.



comporte un taux de combustion voisin de 500 kg/m²/heure, mais la figure 9 qui fait connaître la température de surchauffe en fonction du taux de combustion, à admission constante aux cylindres, montre que cette température reste très satisfaisante même dans des conditions plus normales.