

NOTE

SUR LES

LOCOMOTIVES “TEN-WHEEL” COMPOUND

quatre cylindres à surchauffe, type 8 bis,

DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT-BELGE

Par M. F. LEGEIN,

INGÉNIEUR EN CHEF,

INSPECTEUR DE DIRECTION DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT BELGE.

L'Administration des Chemins de fer de l'État Belge a mis en service une série de 75 locomotives, dénommées type 8 bis, destinées à la remorque de trains de voyageurs sur lignes de 5 à 10 mm d'inclinaison maximum. Ces machines sont du type 2-6-0 à quatre cylindres compound et à surchauffe. La figure 1 en donne la photographie.

Comme construction, la nouvelle locomotive dérive du type 8 dont de nombreux exemplaires étaient en service avant la guerre et qui différait peu lui-même de locomotives semblables de réseaux français.

Le type 8 était à quatre cylindres compound, mais à vapeur saturée ; comme construction il était du type De Glehn, il demandait peu d'entretien et rendait des services très appréciés. On lui reprochait toutefois une certaine insuffisance de production de la chaudière.

L'étude de la nouvelle machine, qui remonte à 1914, conservait la disposition d'ensemble du mécanisme du type 8. Les dimensions des cylindres B. P. étaient conservées ainsi que leur distribution par tiroirs plans. La modification principale consiste dans l'application de la surchauffe ; on paraît ainsi à l'insuffisance de la chaudière, dont la surface de grille était d'ailleurs conservée ; le diamètre des cylindres H. P. était augmenté en conséquence.

Le tableau ci-après permet d'ailleurs de comparer les caractéristiques principales des types 8 et 8 bis. Les dispositions générales de cette dernière sont données (Fig. 2, 3, 4).

Fig. 1.

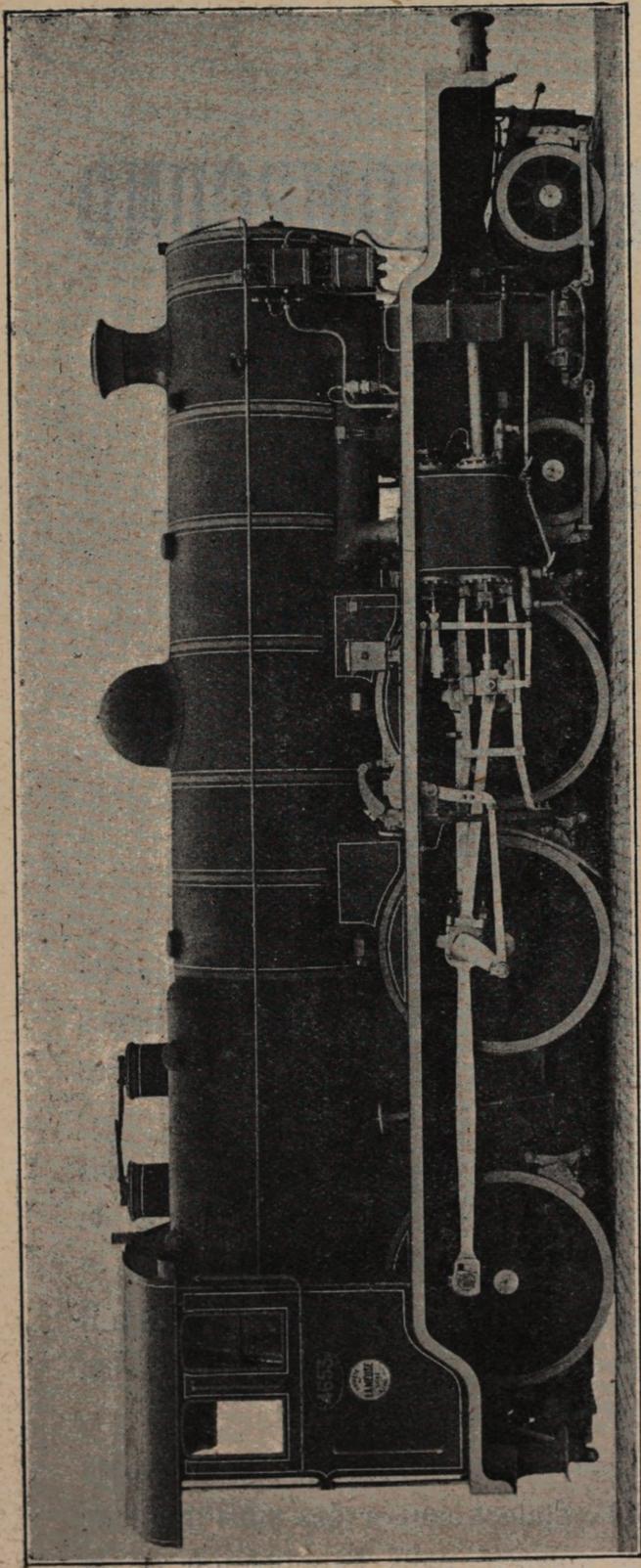


Fig. 2.

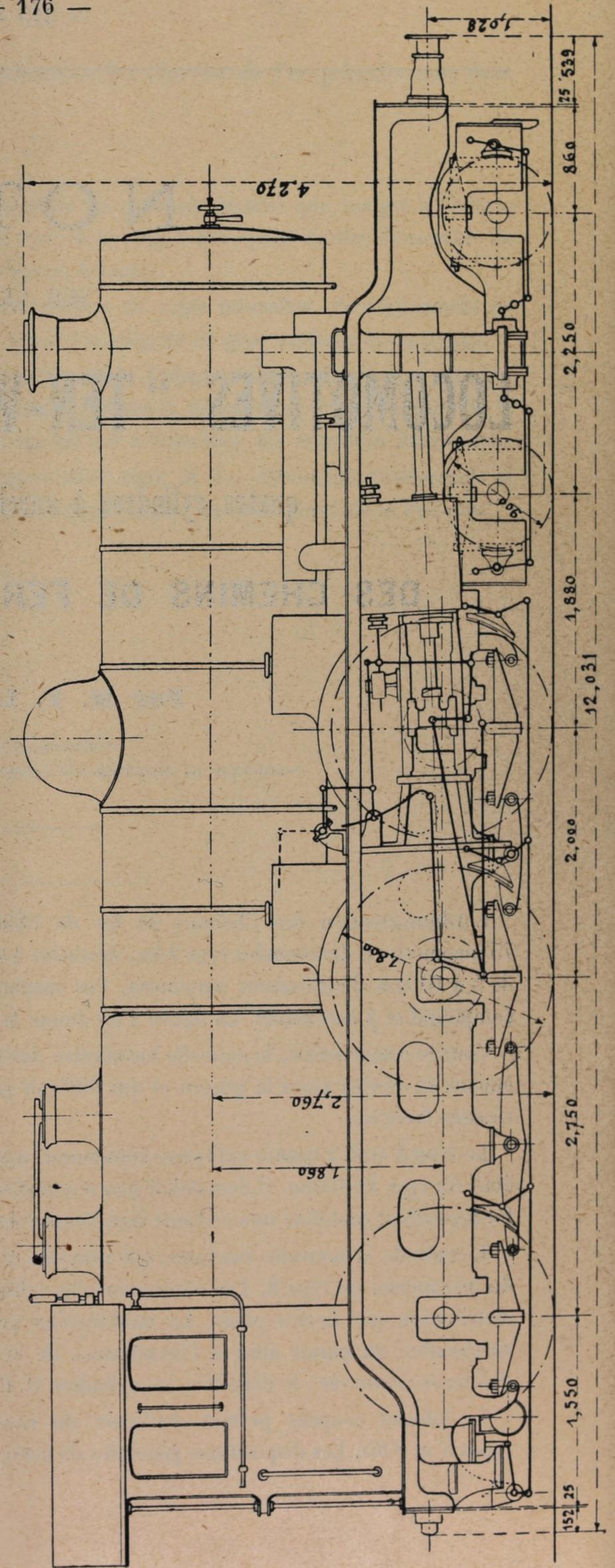


Fig. 3.

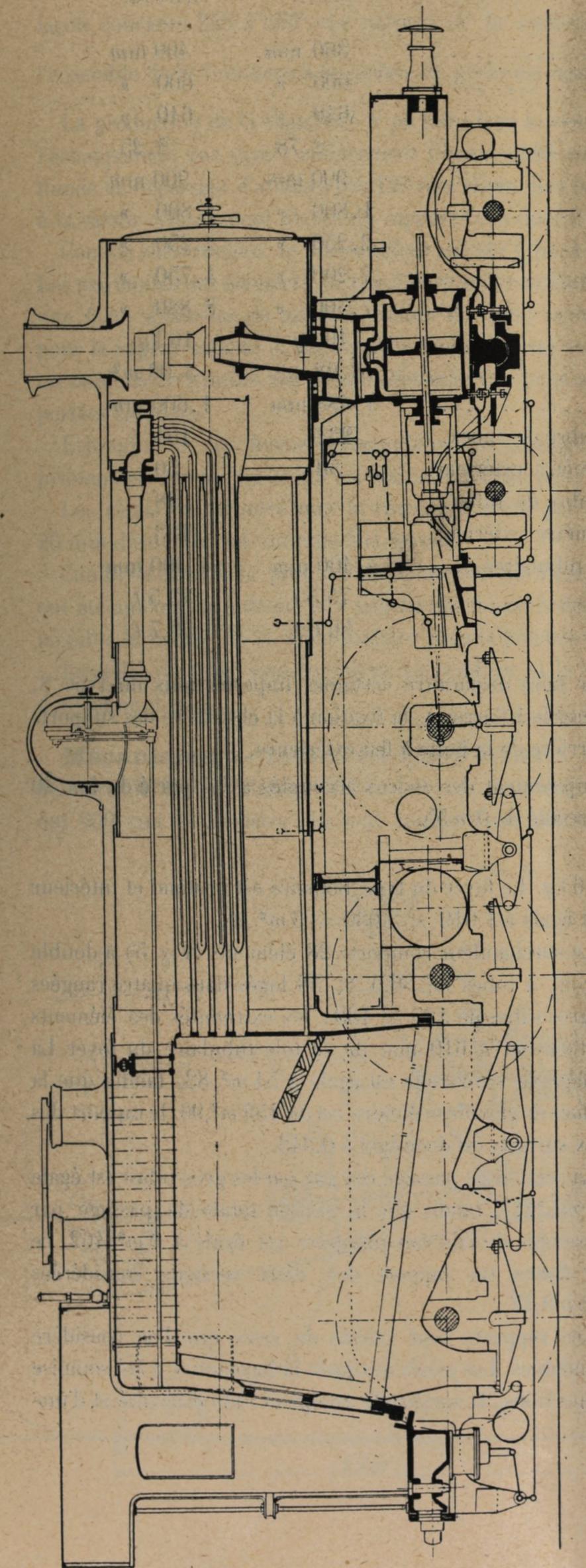
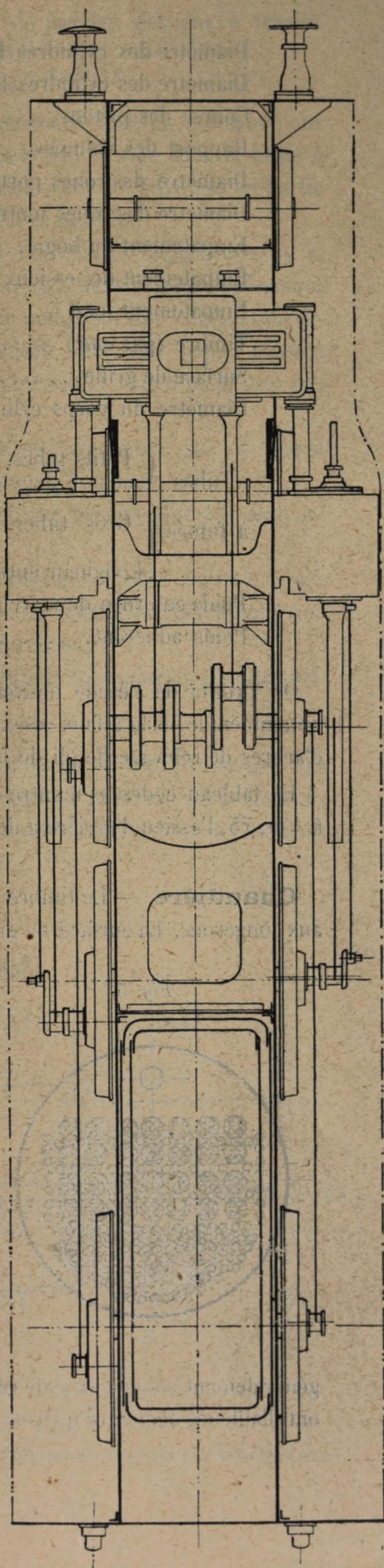


Fig. 4.



	TYPE 8.	TYPE 8 bis.		
Diamètre des cylindres H. P.....	360 mm	400 mm		
Diamètre des cylindres B. P.....	600 »	600 »		
Course des pistons.....	640 »	640 »		
Rapport des volumes.....	2,78	2,25		
Diamètre des roues porteuses.....	900 mm	900 mm		
Diamètre des roues motrices.....	1.800 »	1.800 »		
Empatement du bogie.....	2.250 »	2.250 »		
Empatement des essieux couplés.....	4.200 »	4.750 »		
Empatement total.....	7.500 »	8.880 »		
Timbre (par cm^2).....	16 kg	16 kg		
Surface de grille.....	3,08 m^2	3,08 m^2		
Diamètre du corps cylindrique.....	1.488 mm	1.600 mm		
Tubes à fumée.	Petits tubes. {	Nombre de tubes..	232	154
		Diamètre extérieur.	50	50
	Gros tubes. {	Nombre de tubes..	—	28
		Diamètre extérieur.	—	133
Longueur entre tôles tubulaires.....	4.400 mm	4.400 mm		
Poids en ordre de marche.....	75,5 t	83,5 t		
Poids adhérent.....	56,0 t	59,7 t		

On profita de l'étude nouvelle pour faire disparaître certaines imperfections du type 8, notamment le porte à faux assez considérable à l'arrière, la fixation à la chaudière des supports d'arbres de relevage, le pli de la tôle arrière de la boîte à feu extérieure, etc...

Le tableau ci-dessus montre que l'empatement des essieux accouplés a été porté de 4 m, 20 à 4 m, 75, l'essieu d'arrière a donc été reculé de 0 m 55.

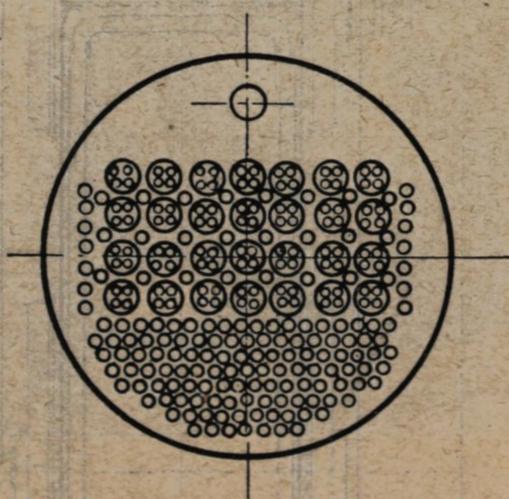
Chaudière. — Le timbre est de 16 kg. Le foyer du type Belpaire est profond et intérieur aux longerons. La surface de grille, est égale à $1.019 \times 3.030 = 3 m^2, 08$.

Le surchauffeur comporte 28 éléments (Fig. 5) à double circuit, à tubes de $30,5 \times 38$ logés dans quatre rangées de gros tubes de 125×133 ; les extrémités des éléments se trouvent à 610 mm de la tôle tubulaire du foyer. La surface de surchauffe est égale à $54 m^2, 83$, tandis que la surface de chauffe ordinaire est de $159 m^2, 96$, le rapport des deux surfaces est donc égal à 0,343.

La section de passage des gaz par les gros tubes est égale à $0 m^2, 217$, tandis que la section totale de passage par l'ensemble du faisceau tubulaire est égale à $0 m^2, 462$, ce qui donne un rapport des deux sections considérées égal à 0,47.

Ces rapports sont voisins de ceux que l'on considère généralement comme les plus recommandables. Les essais auxquels la locomotive a été soumise ont d'ailleurs démontré qu'avec ces proportions, la surchauffe atteignait sans difficulté et d'une

Fig. 5.



façon courante 325 à 350°. Le rapport de la section totale de passage des gaz à travers l'ensemble de la tubulaire à la surface de grille est égal à $\frac{0,462}{3,08} = 0,15$.

La production de la chaudière a pu faire face à toutes les nécessités tout en utilisant pour l'échappement une tuyère entièrement libre de 140 mm de diamètre, le vide dans la boîte à fumée ne dépassant d'ailleurs pas 120 mm d'eau. Ces bons résultats ont été attribués en partie à la valeur relativement élevée du rapport 0,15 dont il vient d'être question.

Comme construction, le surchauffeur est du type A de la « Locomotive Superheater Cy ». Les extrémités des éléments surchauffeurs sont constitués de coudes soudés et forgés présentant une forte épaisseur de métal à l'action du feu ; le collecteur comporte des compartiments pour la vapeur saturée et surchauffée laissant entre eux un espace libre dans lequel passent les boulons de fixation des têtes d'éléments. Ces têtes sont sphériques et s'appliquent sur des portées coniques.

L'étouffoir a une forme rectangulaire ; le passage des gaz est commandé par un clapet pivotant en son milieu et qui est actionné par un petit servo-moteur à vapeur.

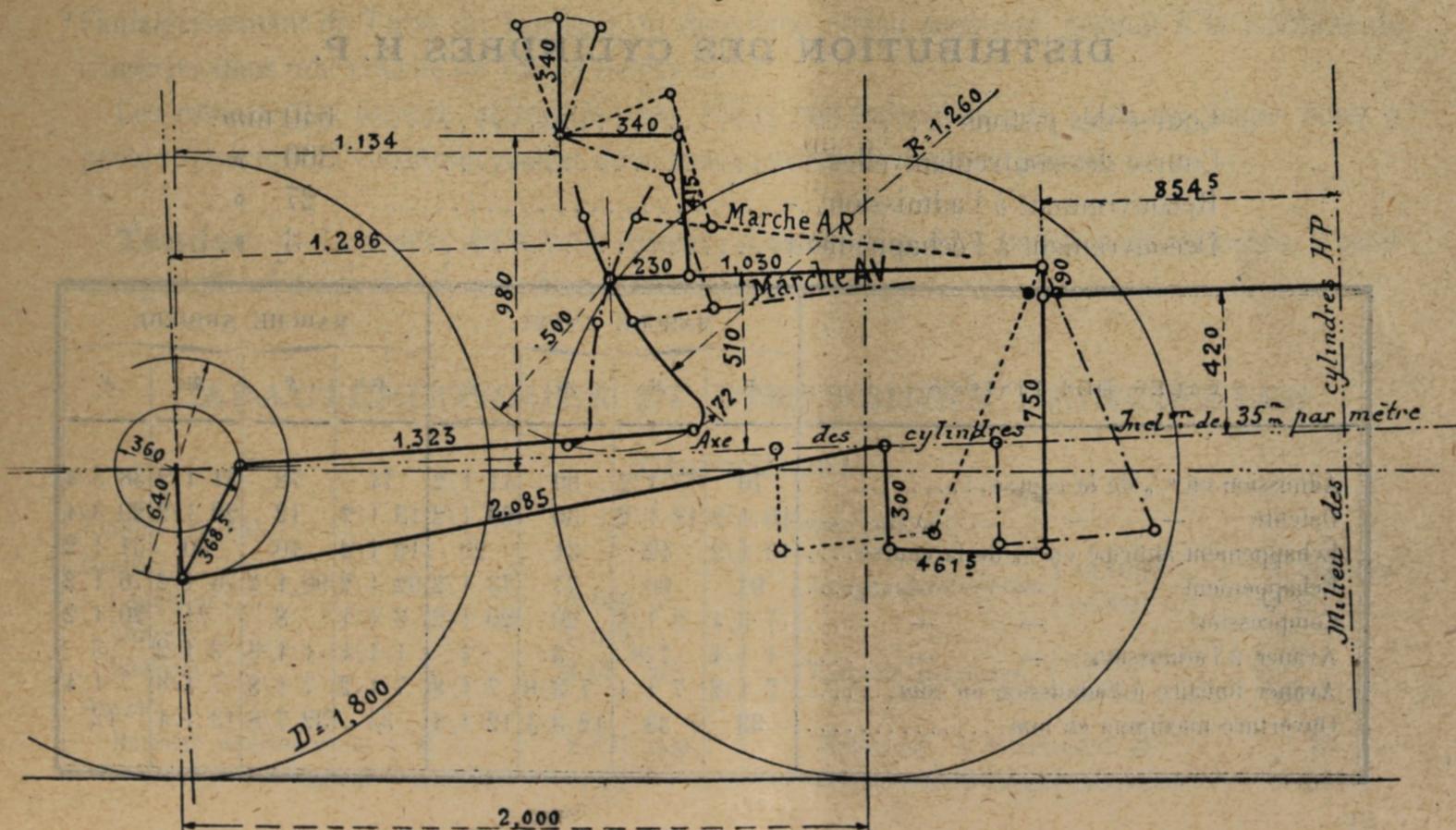
Les essais ont montré que la résistance créée par l'étouffoir au passage des gaz était de 20 mm d'eau environ, au plus fort travail.

Conformément à la pratique actuellement normale, trois rangées de petits tubes à fumée ont été aménagées à droite et à gauche du faisceau des gros tubes pour diminuer autant que possible la fatigue de la tôle tubulaire sous la poussée des gros tubes.

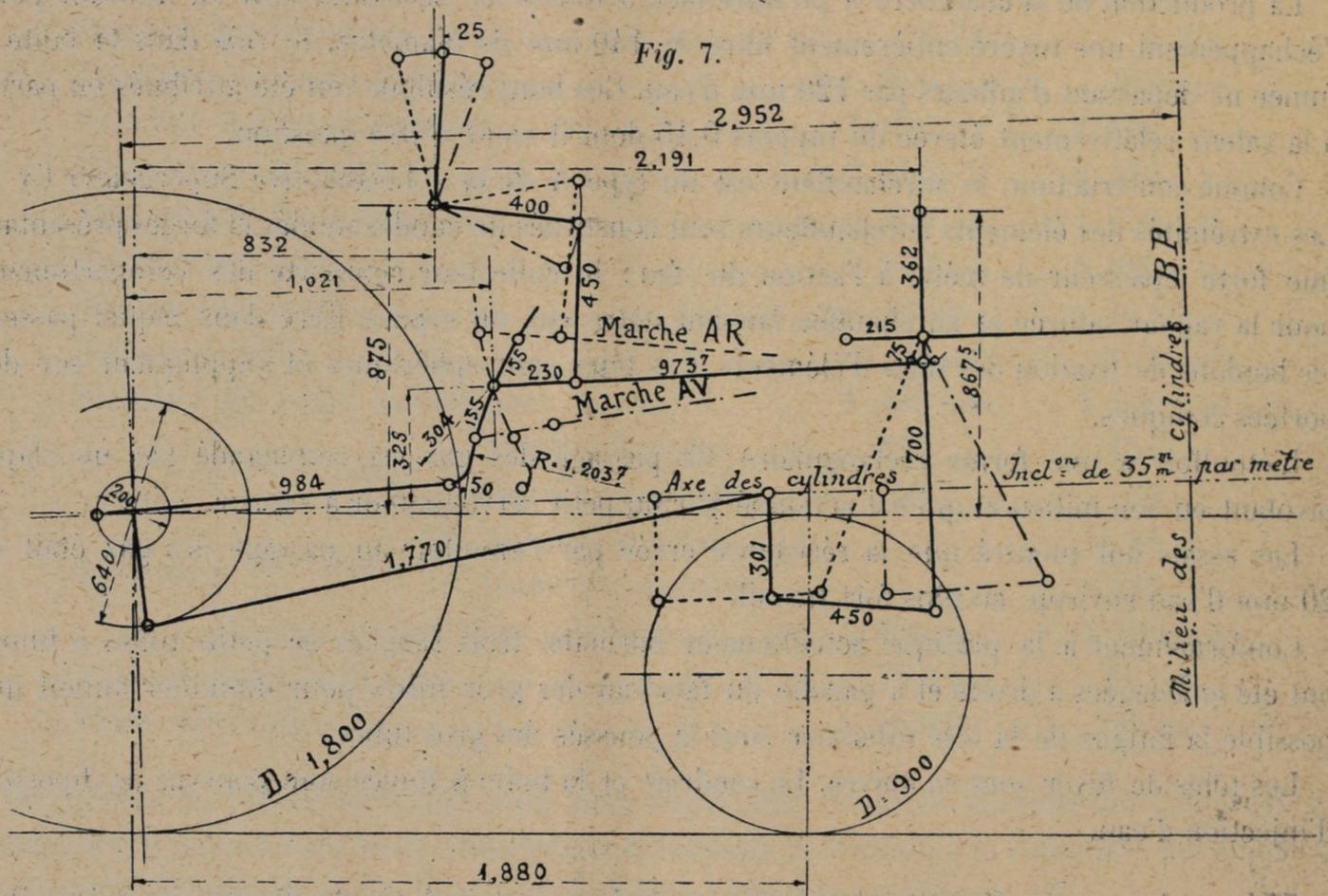
Les tôles de foyer sont en cuivre. Le cendrier et la boîte à fumée sont pourvus de dispositifs d'injection d'eau.

Mécanisme. — Les axes des quatre cylindres sont inclinés de 35 mm par mètre. Les cylindres H. P. sont alésés à 400 mm et sont extérieurs aux longerons. Les deux cylindres B. P. ont 600 mm de diamètre ; ils sont coulés d'une pièce entretoisant les longerons à l'avant et

Fig. 6.



supportant la boîte à fumée. La course des pistons est 640 mm. Le rapport des volumes est donc égal à 2,25. Les cylindres H. P. sont munis de tiroirs cylindriques de 200 mm de diamètre. Les tiroirs B. P. sont plans. Les chapelles B. P. forment receiver. Les dispositifs de démarrage bien connus des compound De Glehn ont été conservés. Les deux groupes de cylindres sont



commandés par deux mécanismes de distribution système Walschaerts réglés séparément par un dispositif à vis et à volant placé à gauche de l'abri.

Les figures 6 et 7 donnent les schémas de ces distributions.

DISTRIBUTION DES CYLINDRES H. P.

Course des pistons	640 mm.
Course des contremainevilles	360 »
Recouvrement à l'admission	27 »
Découvrement à l'échappement	3 »

FACES DES PISTONS.....	MARCHE AVANT				MARCHE ARRIÈRE			
	R	N	R	N	R	N	R	N
Admission en % de la course.....	70	75 1/2	39	41 1/2	74	78	41 1/2	38 3/4
Détente — —	16 1/2	12 1/2	30	29 1/2	13 1/2	12	28 1/2	29 3/4
Échappement anticipé en % de la course....	13 1/2	12	31	29	12 1/2	10	30	31 1/2
Échappement — —	91	90	77	75 1/2	92 1/2	90 1/2	75 1/2	76 1/2
Compression — —	7 3/4	9 1/8	20	20 1/2	6 1/4	8	21	20 1/2
Avance à l'admission — —	1 1/4	7/8	3	4	1 1/4	1 1/2	3 1/2	3
Avance linéaire à l'admission en mm.....	7 1/2	7 1/4	7 3/8	7 1/8	7 1/2	7 1/8	7 1/8	7 1/4
Ouverture maximum en mm.....	33	33	12 3/4	12 1/4	35	32 7/8	13 1/4	12

DISTRIBUTION DES CYLINDRES B. P.

Course des pistons.....	640 mm.
Course des excentriques.....	200 »
Recouvrement extérieur.....	27 »
Découvrement intérieur.....	5 »

FACES DES PISTONS.....	MARCHE AVANT						MARCHE ARRIÈRE	
	R	N	R	N	R	N	R	N
Admission en % de la course.....	75 1/2	76 1/2	59 1/2	55 1/2	43	39	75	80
Détente — —	11 1/2	12 1/4	19	20 1/2	25	27	13	11
Échappement anticipé en % de la course....	13	11 1/4	21 1/2	24	32	34	12	9
Echappement — —	92 1/2	91	84	85	76 3/4	78	94	92 1/2
Compression — —	6 3/4	8	14 1/2	12 3/4	20	19	5 1/4	6 3/4
Avance à l'admission — —	3/4	1	1 1/2	2 1/4	3 1/4	3	3/4	3/4
Avance linéaire à l'admission en mm	7 1/2	7 3/4	7 3/8	7 1/2	7 1/4	7 1/2	7 3/8	7 1/2
Ouverture maximum.....	39	34	21 3/4	18	13 1/2	12 1/8	36 1/4	34 1/4

Châssis. — Le châssis est constitué de longerons en tôle de 30 mm d'épaisseur et n'offre rien de particulier comme construction.

Le bogie est à ressorts indépendants, à appui central sphérique.

Le rappel est obtenu par la gravité au moyen de biellettes triangulaires.

Le rappel initial est de 4.480 kg; le rappel final correspondant à un écart maximum de 80 mm, atteint 5.450 kg.

Le jeu de 80 mm de part et d'autre du bogie combiné avec celui de la voie (11 mm,5) et l'amaigrissement de 7 mm du bandage du deuxième essieu accouplé permet à la machine de s'inscrire dans une courbe de 120 m de rayon.

Les ressorts des essieux accouplés sont reliés par balanciers; le pivot du bogie étant à portée sphérique, l'ensemble réalise donc une suspension sur trois points.

Tender. — Le tender est à trois essieux, d'un modèle déjà utilisé à l'État Belge. Il peut charger 20 m³ d'eau et 6 tonnes de combustible.

CARACTÉRISTIQUES ET DIMENSIONS PRINCIPALES

Chaudière:

Timbre (en kg).....	16	Foyer (suite):	
Grille:		Longueur intérieure	{ en haut... 2,720 mm.
Longueur.....	3,030 m.		{ en bas... 3,031 »
Largeur.....	1,019 »	Largeur intérieure	{ en haut... 1,314 »
Surface.....	3,08 m ² .		{ en bas... 1,019 »
Foyer:		Épaisseur	{ Pourtour et R... 16 »
Hauteur intérieure du { N....	2,175 mm.	des cuivres. { Plaque tubulaire..	30 »
dessous du cadre. { R....	1,750 »		

Chaudière (Suite).

Boîte à feu	
Longueur extérieure.....	2,829 mm.
Largeur extérieure	{ en haut... 1,706 »
	{ en bas.... 1,205 »
Épaisseur des tôles.	{ face <i>N</i> 19 »
	{ face <i>R</i> 18 »
	{ ciel et côtés 15 »
Du cadre au-dessus du rail	{ <i>N</i> 950 »
	{ <i>R</i> 1,375 »
Tubes à fumée :	
Petits tubes.	{ Nombre de tubes..... 154
	{ Diamètre extérieur.... 50 mm.
	{ Épaisseur 2 1/2 »
Gros tubes.	{ Nombre de tubes..... 28
	{ Diamètre extérieur.... 133 »
	{ Épaisseur 4 »
Tubes surchauffeurs :	
Nombre d'éléments quadruples..	28
Diamètre extérieur.....	38 »
Épaisseur.....	3 3/4 »
Surface de chauffe :	
Du foyer.....	15,56 m ² .
Des tubes.....	144,4 »
Totale : S.....	159,96 »
Totale (par m ² de grille) $\frac{S}{G}$..	51,93 »
Surface de surchauffe :	
Totale S' =	54,83 »
Par m ² de grille — $\frac{S'}{G}$ =	17,8
Valeur du rapport $\frac{S'}{S}$:	0,343

Section normale de passage des gaz dans les tubes à fumée :	
Par m ² de grille.....	0,15
Rapport de la section des gros tubes à la section totale.....	$\frac{0,217}{0,462} = 0,47$
Corps cylindrique :	
Diamètre moyen intérieur.....	1,600 mm.
Longueur extérieurement aux plaques tubulaires.....	4,455 »
Épaisseur des tôles.....	19 »
De l'axe de la chaudière au-dessus du rail.....	2,760 »
Volume :	
D'eau avec 150 mm au-dessus du ciel du foyer.....	6,751 m ³ .
De vapeur avec 150 mm au-dessus du ciel de foyer.....	1,961 »
Total.....	8,712 »
Soupapes :	
Nombre	4
Diamètre	104 mm.
Boîte à fumée :	
Diamètre intérieur	1,638 »
Longueur intérieure.....	1,900 »
Épaisseur.	{ Plaque tubulaire... 25 »
	{ Plaque <i>N</i> 14 »
	{ Corps cylindrique.. 15 »
Cheminée :	
Diamètre.	{ Inférieur 380 »
	{ Supérieur..... 406 »
Hauteur du sommet au-dessus du rail.....	4,270 »

Châssis. Roues et Mouvement.

Largeur intérieurement aux longerons	1,240 mm	
Épaisseur des longerons	30 »	
Longueur totale de la locomotive hors tampons	12,031 »	
Roues et essieux :		
Diamètre au roulement.	{ Bogie..... 900 »	
	{ Roues accouplées. 1,800 »	
Diamètre à la jante.	{ Bogie..... 748 »	
	{ Roues accouplées. 1,648 »	
Écartement des bandages.....	1,359 »	
D'axe en axe des fusées.	{ Bogie..... 1,100 »	
	{ Roues accouplées. 1,220 »	
Fusées des essieux	{ Bogie..... { Diamètre.. 180 »	
	{	{ Longueur.. 290 »
	{ Roues accouplées. { Diamètre.. 200 »	
	{	{ Longueun. 220 »

Roues et essieux (suite) :		
Boutons de manivelle.	{ de bielles { H. P. { d.. 150 mm.	
	{	{ l.. 130 »
	{ motrices. { B. P. { d.. 235 »	
	{	{ l.. 135 »
	{ 1 ^{er} essieu. { d..... 115 »	
	{ accouplé. { l..... 100 »	
	{ 2 ^e essieu { d..... 160 »	
	{ accouplé. { l..... 100 »	
	{ 3 ^e essieu { d..... 115 »	
	{ accouplé. { l..... 100 »	
Mouvement :		
D'axe en axe des cylindres...	{ H.P. 2,240 mm.	
	{ B.P. 640 »	
Longueur des bielles motrices	{ H.P. 2,085 »	
	{ B.P. 1,770 »	
Diamètre des cylindres.....	{ H.P. 400 »	
	{ B.P. 600 »	
Course du piston.....	640 »	

Châssis, Roues et Mouvement (Suite).

Distribution H.P. (Coulisse Walschaerts) :

Rayon d'excentricité (contre-manivelle)	180 mm.
Diamètre des distributeurs.....	200 »
Recouvrement à l'admission	27 »
Découvrement à l'échappement..	3 »
Avance linéaire.....	7 1/2
Introduction maximum.....	72 1/2 %.
Surface des lumières d'admission.	164,5 cm ² .
D'axe en axe des distributeurs..	2,470 »

Distribution B.P. (Coulisse Walschaerts) ;

Rayon d'excentrique.....	200 mm
Recouvrement à l'admission....	27 »
Recouvrement à l'échappement.	— 5 »
Avance linéaire.....	7 1/2
Introduction maximum.....	76 %.
Surface des lumières d'admission.....	219,6 cm ² .
D'axe en axe des tiges de tiroirs	985 mm.

Poids.

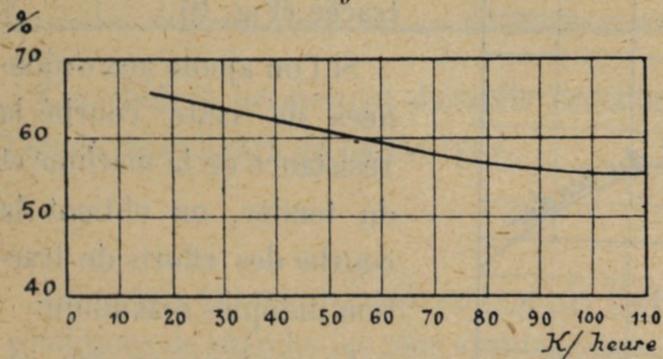
A vide.....	76.532 kg.							
En ordre de marche avec 100 mm sur le ciel du foyer.....	83.496 »							
Poids adhérent.....	59.736 »							
Répartition des poids par essieu.	<table border="0"> <tr> <td rowspan="2">Bogie. {</td> <td>1^{er} essieu.....</td> <td>11.945 »</td> </tr> <tr> <td>2^e essieu.....</td> <td>11.815 »</td> </tr> </table>	Bogie. {	1 ^{er} essieu.....	11.945 »	2 ^e essieu.....	11.815 »		
Bogie. {	1 ^{er} essieu.....		11.945 »					
	2 ^e essieu.....	11.815 »						
(Machine en charge).	<table border="0"> <tr> <td rowspan="3">Essieux accouplés. {</td> <td>1^{er} essieu.....</td> <td>19.826 »</td> </tr> <tr> <td>2^e »</td> <td>19.985 »</td> </tr> <tr> <td>3^e »</td> <td>19.925 »</td> </tr> </table>	Essieux accouplés. {	1 ^{er} essieu.....	19.826 »	2 ^e »	19.985 »	3 ^e »	19.925 »
Essieux accouplés. {	1 ^{er} essieu.....		19.826 »					
	2 ^e »		19.985 »					
	3 ^e »	19.925 »						

*
* *

Essais dynamométriques. — La première locomotive type 8 bis, N° 4650, construite par les « Ateliers de la Meuse », a été soumise à une série d'essais effectués avec le wagon-dynamomètre de l'État Belge.

Le combustible utilisé au cours de ces essais était la briquette. Il fut reconnu que la tuyère d'échappement la plus convenable était celle de 140 mm de diamètre, à section entièrement libre, et placée au niveau représenté (Fig. 3). Le vide dans la boîte à fumée ne dépassait pas 120 mm d'eau. La température de surchauffe atteignait facilement 350°.

Fig. 8.



Des essais nombreux ont établi que la chaudière était à même d'alimenter, sans difficulté les cylindres H. P. aux degrés d'admission représentés en fonction de la vitesse de marche au graphique (Fig. 8).

Le degré d'admission de 55 % aux cylindres H. P. peut donc être adopté pratiquement jusqu'aux plus grandes vitesses usuelles.

La résistance de la locomotive et du tender pour les différentes vitesses et en palier est donnée par le diagramme (Fig. 9).

L'effort de traction au crochet du tender fut déterminé pour les différents crans de marche

Fig. 9.

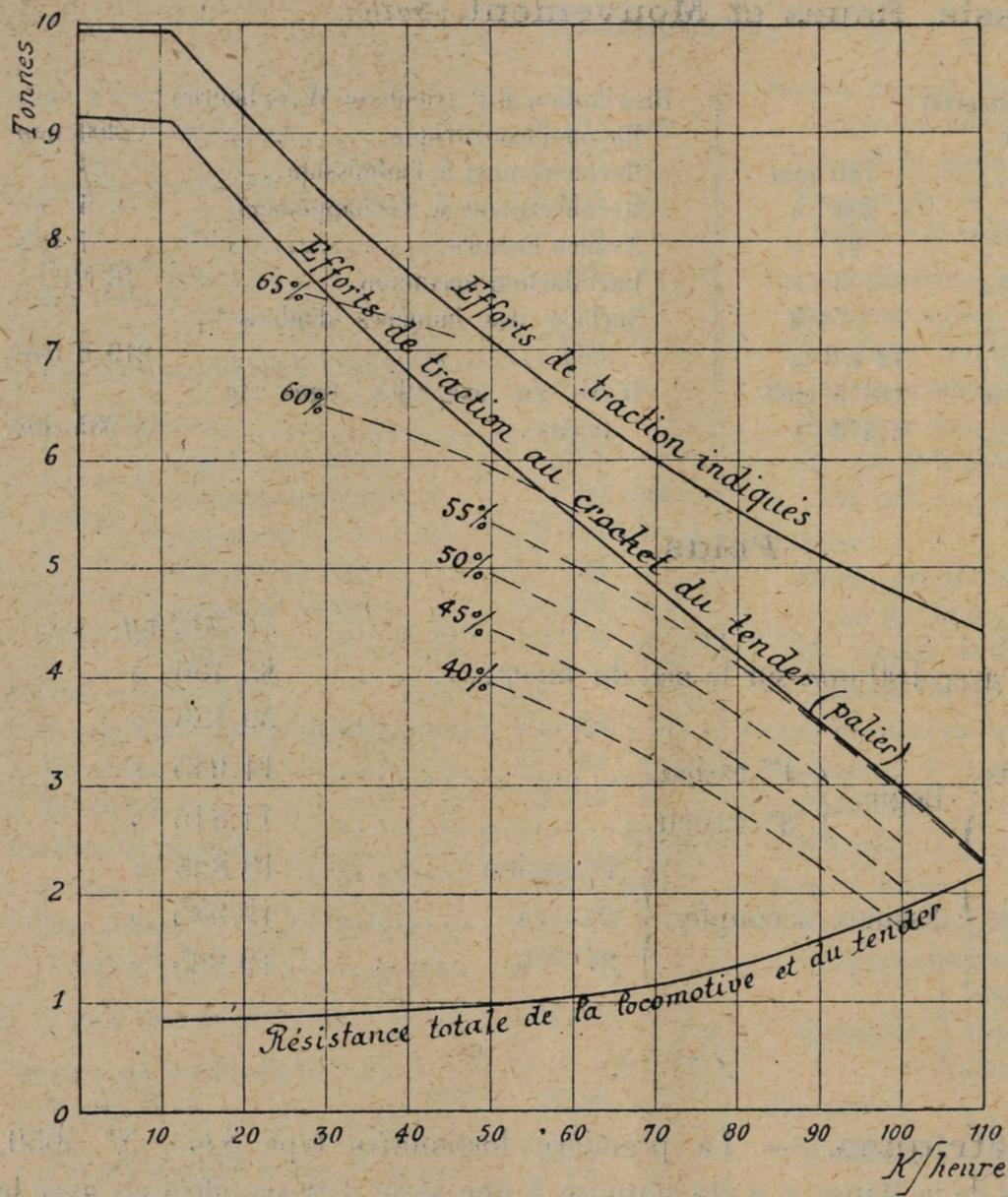
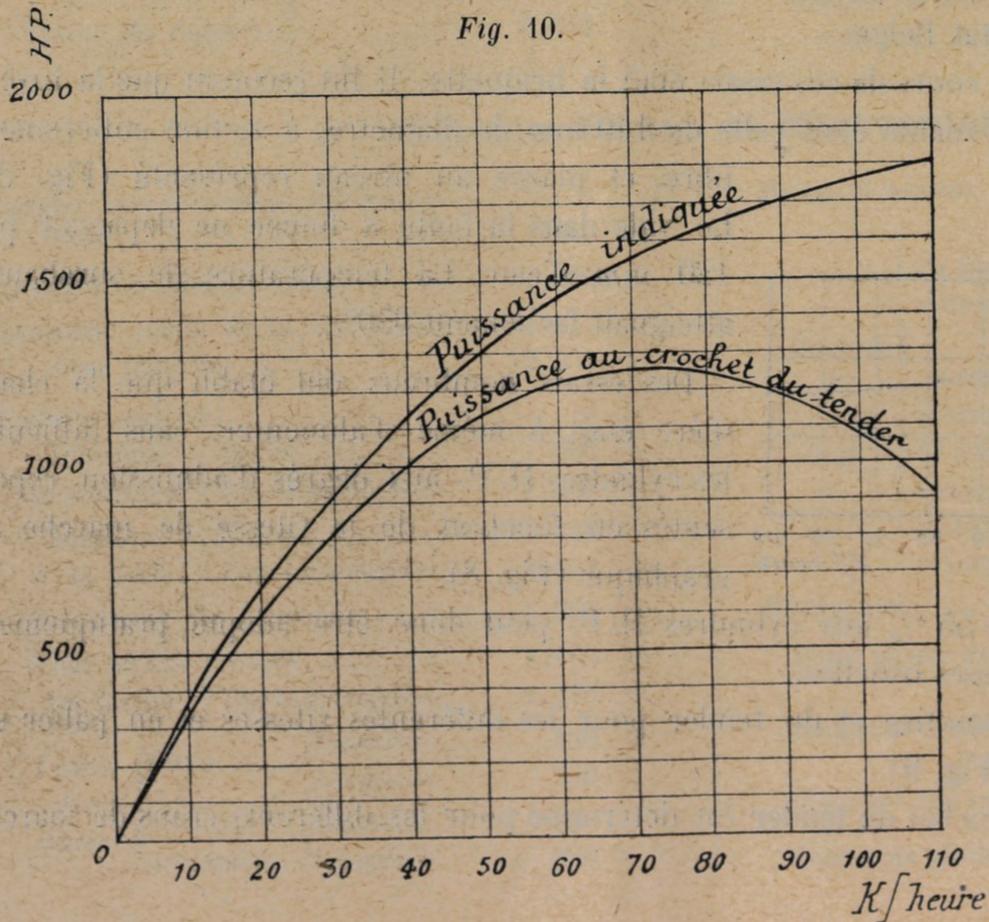


Fig. 10.



des cylindres H. P., l'admission au cylindre B. P. étant réglée dans les conditions les plus avantageuses. Ces efforts de traction ont évidemment été réduits au palier.

Le graphique (Fig. 9) donne ces courbes d'efforts de traction pour les différents degrés d'admission aux cylindres H. P.

Ces courbes dépendent uniquement du moteur et peuvent être considérées comme le caractérisant d'une manière précise, la puissance de vaporisation de la chaudière, la qualité du charbon étant sans influence sur elles.

Si l'on porte sur chacune des courbes d'efforts de traction le point correspondant à la capacité normale de la chaudière, qui est indiquée plus haut, on obtient la courbe des efforts de traction maximum normaux au crochet du tender tracée (Fig. 9).

Si l'on ajoute aux ordonnées de cette courbe la résistance de la machine et du tender, on obtient la courbe des efforts de traction indiqués maximum.

La combinaison des résultats obtenus permet d'ailleurs de tracer les courbes de puissance utile et de puissance indiquée maximum (Fig. 10).

Ces résultats qualifiés de maximum ont été obtenus sans exagération aucune de l'activité du feu, avec la tuyère libre de 140 mm de diamètre ; ils peuvent être réalisés d'une façon soutenue en utilisant bien entendu le combustible indiqué (briquettes).

Si l'on rapporte le degré d'admission aux cylindres B. P. tenant compte du rapport des volumes des cylindres 2,25 on trouve pour le coefficient α de la formule :

$$T_i = \alpha \frac{p d^2 l}{D}$$

p étant le timbre de la chaudière ou 16 kg cm²

d le diamètre des cylindres B. P. ou 600 mm

l la course des pistons ou 640 »

D le diamètre des roues motrices ou 1.800 »

Les valeurs consignées au tableau ci-dessous :

RÉVOLUTIONS par minute	VITESSE en kilomètre - heure	ADMISSIONS EN % AUX CYLINDRES H. P.					
		40	45	50	55	60	65
		Correspondant aux admissions en % aux cylindres B. P.					
		17,76	20,00	22,00	24,45	26,70	28,90
100	33,8	—	—	—	—	0,3580	0,4070
120	40,7	—	—	—	—	0,3505	0,4000
140	47,4	—	—	—	—	0,3425	—
160	54,2	0,2355	0,2590	0,2825	0,3070	0,3315	—
180	61,0	0,2270	0,2500	0,2730	0,2975	0,3205	—
200	67,8	0,2175	0,2400	0,2625	0,2860	0,3085	—
220	74,5	0,2090	0,2310	0,2525	0,2755	0,2955	—
240	81,1	0,1990	0,2210	0,2420	0,2645	—	—
260	88,1	0,1890	0,2100	0,2305	0,2525	—	—
280	94,9	0,1790	0,1990	0,2190	0,2390	—	—
300	101,6	0,1700	0,1900	0,2085	0,2290	—	—
320	108,4	0,1616	0,1815	0,1995	0,2200	—	—

Ces chiffres permettent d'établir certaines comparaisons et peuvent servir de base pour l'étude de moteurs de même type.

*
*
*

Les essais ont montré que ce type de locomotive était extrêmement économique. Dans les conditions de marche les plus avantageuses, la consommation de vapeur par cheval-heure a été estimée à 6 kg, 7. L'application d'un injecteur à vapeur d'échappement réduit encore ce chiffre de 10 % environ.

Au cours des essais, ces locomotives ont remorqué facilement un train de 600 tonnes sur la ligne de Bruxelles à Ostende. Le trajet de 42 km entre Gand et Bruges, qui ne comporte que des déclivités inférieures à 2 mm par mètre, l'ensemble de la ligne étant sensiblement de

niveau, a été effectué en 30 minutes, entre deux arrêts, c'est-à-dire à une vitesse moyenne de 84 km à l'heure, la vitesse maximum atteignant 103 km à l'heure.

Avec une charge de 440 tonnes, la même section a été parcourue en 28 minutes, la vitesse moyenne montant à 90 km à l'heure et la vitesse maximum à 120 km.

D'autre part, sur la rampe de 5 mm longue de 9.500 m entre Schaerbeek et Nosseghem, la machine passant à 30 kmh au pied de la rampe avec un train de 500 tonnes, atteignait le sommet à 62 kmh.

Dans tous ces essais, la pression et le niveau ont été facilement maintenus.

Les locomotives types 8 bis assurent régulièrement le service des express et trains directs à forte composition des lignes Bruxelles-Ostende. Bruxelles-Herbestal. La charge de ces trains atteint fréquemment 600 tonnes sur la ligne d'Ostende et 450 tonnes sur celle de Herbestal.

L'expérience récente de ce nouveau type de locomotive est tout en faveur de la compound 4 cylindres à surchauffe, lorsqu'elle est utilisée sur des lignes de faibles déclivités et où les vitesses de marche en travail sont relativement élevées. Le degré d'admission rapporté aux grands cylindres varie alors de 17 à 25 %, ce qui correspond à une marche fort économique. La disposition éprouvée des mécanismes assure d'ailleurs un équilibrage presque parfait, une répartition rationnelle des efforts, une fatigue réduite des longerons, d'où résultent des frais d'entretien modérés.

Ce type de machine permet de faire face, dans les conditions les plus avantageuses au point de vue économique, aux exigences de la traction en lignes à déclivités modérées, la composition des trains de voyageurs pouvant y atteindre le maximum autorisé, soit 60 essieux.

Pour les lignes où les rampes atteignent fréquemment 16 mm par mètre comme celle de Bruxelles à Arlon, la traction de trains de voyageurs de forte composition exigera des moteurs de puissance notablement supérieure pour lesquels la compound quatre cylindres semble ne plus pouvoir être prise en considération, pour faire place aux machines à simple expansion à trois ou à quatre cylindres.