

LOCOMOTIVES COMPOUND

A QUATRE ESSIEUX COUPLÉS

ET A QUATRE CYLINDRES AGISSANT SUR LE MÊME ESSIEU

DE LA COMPAGNIE PARIS-LYON-MÉDITERRANÉE

Par M. VALLANCIEN,

INSPECTEUR DU BUREAU DES ÉTUDES.

(Pl. XVIII à XXI).

Le type de locomotive à marchandises que je vais décrire a été mis en service par la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, dans le courant de 1892. J'en avais étudié les détails sous la direction de M. Henry, alors Ingénieur en chef du Matériel et de la Traction, d'après le programme suivant :

PROGRAMME

POUR L'ÉTUDE DU NOUVEAU TYPE DE LOCOMOTIVE.

Chacune des nouvelles machines devait venir en remplacement d'une machine n^{os} 1513-2457, du type Bourbonnais, à trois essieux couplés, qu'on démolirait au moment où sa chaudière serait usée; et on devait utiliser pour le nouveau type le plus grand nombre possible d'éléments de la machine démolie.

Les nouvelles machines à quatre essieux couplés devaient être aussi puissantes que le comportait l'obligation de ne pas surcharger les quatre essieux dont deux, provenant d'une machine 1513-2457 démolie, avaient leurs dimensions déterminées d'avance.

Pour donner aux nouvelles machines toute la puissance possible, on devait leur faire des chaudières entièrement neuves, construites en tôle d'acier et timbrées à 15 kg., comme celles des machines exposées par la Compagnie P.-L.-M. en 1889. On devait, de plus, les munir de tubes à ailettes, système Serve, récemment étudiés au P.-L.-M. (1), afin de réduire la longueur et par suite le poids des chaudières à puissance égale.

(1) Voir : Note de M. Baudry, Ingénieur en chef du Matériel et de la Traction, sur les machines à grande vitesse P.-L.-M. (*Revue Générale*, Numéro d'Avril 1893).

Étude expérimentale de la vaporisation dans les chaudières de locomotives faite sous la direction de M. Henry (*Annales des Mines*, août 1894).

Pour bien utiliser la vapeur à la pression de 15 kg, on devait, comme pour les machines de 1889, employer le système compound avec quatre cylindres, dont deux à haute pression et deux à basse pression.

D'après ce programme, on comprend que les nouvelles machines doivent avoir un grand air de parenté avec les différents types de machines construites par le P.-L.-M. depuis 1888. Elles s'en distinguent principalement par ce fait que les quatre cylindres attaquent le même essieu, et que l'on a pu donner au corps cylindrique de leurs chaudières un plus grand diamètre (1^m,500).

Dix machines, n^{os} 4501-4510, ont été construites d'après les premiers plans étudiés sous la direction de M. Henry. Dix autres machines, n^{os} 4511-4520, ont été faites à peu près semblables, mais avec des foyers en acier. Pour ces dix machines, M. l'Ingénieur en chef Baudry a fait modifier l'attache des cylindres et sur dix autres machines, n^{os} 4521-4530, pour lesquelles on est revenu aux foyers en cuivre, il a fait apporter certaines autres modifications de détail suggérées par l'expérience et dont les principales se rapportent à l'appareil de changement de marche, à la position de la cheminée par rapport à la boîte à fumée, à la grille à flammèches, à la disposition des tuyaux de communication entre l'échappement des cylindres à haute pression et la boîte à vapeur des cylindres à basse pression.

Les Planches XVIII à XXI représentent les machines de la dernière série 4521-4530; les dimensions principales de ces machines sont mises dans le tableau suivant en comparaison avec celles des machines n^{os} 1513 à 2457 dont elles utilisent une partie des éléments et avec celles des anciennes machines de montagne n^{os} 4001 à 4159, qui font le même service que les nouvelles machines 4501-4530.

	LOCOMOTIVES.				
	NON COMPOUND.		COMPOUND.		
	1513-2457	4135-4159	4521-4530		
Grille.					
Longueur réelle, mesurée dans le plan de la grille.....	1 ^m 355	1 ^m 541	2 ^m 060		
Largeur.....	1,001	1,350	1,018		
Surface.....	1 ^m 236	2 ^m 208	2 ^m 210		
Inclinaison.....	10°	10°	17°		
Foyer.					
Hauteur intérieure (comptée jusqu'au-dessous du cadre).	à l'avant.....	1 ^m 520	1 ^m 795	1 ^m 902	
	à l'arrière.....	1,404	1,624	1,510	
Longueur intérieure.....	en haut.....	1,290	1,390	1,968	
	en bas.....	1,3405	1,5335	2,015	
Largeur intérieure.....	en haut.....	1,060	1,290	1,240	
	en bas.....	1,001	1,350	1,018	
Épaisseur du cuivre. {	des parois latérales et de la plaque de porte.....	0,015	0,015	0,015	
	de la plaque tubulaire.. {	dans la région des tubes.....	0,025	0,025	0,025
		en bas.....	0,015	0,017	0,017
Tubes.					
Type des tubes.....	lisses	lisses	à ailettes		
Nature du métal.....	fer	fer	acier		
Nombre.....	177	245	184		
Diamètre extérieur.....	0 ^m 050	0 ^m 050	0 ^m 065		
Épaisseur.....	0,0022	0,0022	0,0025		
Nombre d'ailettes de chaque tube.....	»	»	8		
Hauteur des ailettes.....	»	»	0 ^m 012		
Épaisseur moyenne des ailettes.....	»	»	0,0025		
Longueur entre les plaques tubulaires.....	4,252	5,360	3 ^m 007		

	LOCOMOTIVES.				
	NON COMPOUND.		COMPOUND.		
	1513-2457	4135-4159	4521-4530		
Surface de chauffe.					
Foyer (au-dessus de la grille)	F	7 ^m 200	9 ^m 254	11 ^m 221	
Tubes (développement intérieur)	T	108,94	189,76	191,67	
Total	S	115,94	199,30	202,88	
Rapport de la surface des tubes à celle du foyer	$\frac{T}{F}$	15,56	19,89	17,10	
Rapport de la surface totale à celle de la grille	$\frac{S}{G}$	85,25	95,82	96,61	
Chaudière.					
Longueur extérieure de la boîte à feu		1 ^m 520	1 ^m 720	2 ^m 241	
Largeur extérieure de la boîte à feu	} en haut	1,386	1,534	1,532	
		en bas		1,180	1,200
Diamètre intérieur de la grande virole du corps cylindrique		1,357	1,500	1,500	
Longueur du corps cylindrique		4,178	5,260	2,889	
Épaisseur des tôles du corps cylindrique		0,0145	0,017	0,016	
Longueur intérieure de la boîte à fumée		0,922	1,180	2,295	
Diamètre intérieur de la boîte à fumée		1,357	1,534	1,732	
Du dessus du rail à l'axe de la chaudière		1,830	1,990	2,260	
Du dessus du rail au dessous du cadre de foyer à l'avant		0,530	0,470	0,688	
Niveau de l'eau au-dessus du ciel du foyer		0,100	0,150	0,100	
Volume d'eau		3 ^m 3960	6 ^m 3150	3 ^m 3630	
Volume de vapeur		2,050	2,100	2,460	
Capacité totale de la chaudière		6,010	8,250	6,090	
Timbre de la chaudière		10 ^k	11 ^k	15 ^k	
Cheminée.					
Diamètre intérieur de la cheminée		0 ^m 450	0 ^m 540	0 ^m 580	
Diamètre maximum du noyau central de la cheminée		0,160	»	0,240	
Hauteur du dessus de la boîte à fumée au-dessus de la cheminée		1,758	1,490	1,108	
Hauteur du dessus du rail au-dessus de la cheminée		4,277	4,260	4,242	
Sections de passage d'air.					
A travers de la grille	0,500 G	0 ^m 268	1 ^m 204	1 ^m 205	
A travers les tubes	} aux viroles de boîte à feu	0,207	0,287	0,376	
		au milieu	0,289	0,400	0,475
Section intérieure libre de la cheminée	c	0,1384	0,2040	0,2164	
Rapport	$\frac{t}{c}$	1,50	1,41	1,74	
Châssis.					
Écartement intérieur des longerons		1 ^m 230	à l'A/ 1 ^m 210 à l'R/ 1,630	1 ^m 230	
Épaisseur des longerons		0,028	0 ^m 030	0,028	
Largeur extérieure du tablier		2,600	2,800	2,820	
Longueur de la machine à l'extrémité des tampons		8,272	9,840	9,091	
Écartement des essieux	} 1 ^{er} et 2 ^{me}	1,970	1,350	1,970	
		2 ^{me} et 3 ^{me}	1,400	1,350	1,400
		3 ^{me} et 4 ^{me}	»	1,350	1,400
		extrêmes	3,370	4,050	4,770
Roues montées et essieux.					
Diamètre des roues		1 ^m 300	1 ^m 260	1 ^m 300	
Jeu latéral des roues de chaque côté de la machine	} 1 ^{er} essieu	0,001	0,0275	0,016	
		2 ^o et 3 ^o essieu	0,001	0,0025	0,001
		4 ^o essieu	»	0,0275	0,001
Écartement intérieur des bandages		1,360	1,360	1,360	
Avances des manivelles de l'essieu coudé sur celles des roues		»	»	180°	

	LOCOMOTIVES.				
	NON COMPOUND.		COMPOUND.		
	1513-2457	4135-4159	4521-4530		
			Haute pression.	Basse pression.	
Mouvement.					
Nombre des cylindres.....	2	2	2	2	
Diamètre des cylindres.....	0 ^m 450	0 ^m 540	0 ^m 340	0 ^m 520	
Course des pistons.....	0,650	0,660	0,650	0,650	
Section des cylindres..... C	0 ^m 21590	0 ^m 22290	0 ^m 20908	0 ^m 22124	
Volume d'une cylindrée.....	0 ^m 3103	0 ^m 3151	0 ^m 3059	0 ^m 3138	
Écartement d'axe en axe des cylindres.....	2 ^m 090	2 ^m 100	2 ^m 090	0 ^m 600	
Longueur des bielles motrices..... L	1,725	2,560	1,725	1,760	
Rayon des manivelles..... R	0,325	0,330	0,325	0,325	
Rapport de la longueur des bielles aux manivelles... $\frac{L}{R}$	5,31	7,76	5,31	5,42	
Inclinaison des cylindres.....	»	»	0°	6°,57	
Distribution.					
Type de la distribution.....	Stephenson	Gooch	Walschaert		
Type du tiroir.....	à simple admission	à simple admission	à double admission		
Tiroir.....	Longueur....	0 ^m 250	0 ^m 288	0 ^m 278	0 ^m 290
	Largeur....	0,410	0,440	0,320	0,440
	Surface....	0 ^m 21025	0 ^m 21267	0 ^m 20890	0 ^m 21276
Course maxima du tiroir.....	0 ^m 104	0 ^m 140	0 ^m 1495	0 ^m 107	
Recouvrement extérieur.....	0,025	0,029	0,029	0,028	
Recouvrement intérieur.....	0,005	0,0005	0	0,001	
Introduction moyenne maxima sur les deux faces du piston %	74,4	80,3	78	67,5	
Angle d'oscillation de la coulisse.....	32°,20'	43°,40'	46°	43°,20'	
Sections de passage de vapeur.					
Largeur des lumières.....	0 ^m 310	0 ^m 360	0 ^m 250	0 ^m 360	
Sections des lumières d'admission..... A	0 ^m 20124	0 ^m 20162	0 ^m 20100	0 ^m 20162	
Sections des lumières d'échappement..... E	0,0223	0,0288	0,0150	0,0288	
Tuyau d'admission..... a	0,0095	0,0113	0,0113	0,0154	
Tuyau d'échappement..... e	0,0177	0,0227	0,0154	0,0177	
Rapports.....	$\frac{C}{A}$	12,82	14,13	9,08	13,11
	$\frac{C}{E}$	7,13	7,95	6,05	7,38
	$\frac{C}{a}$	16,74	20,26	8,04	13,79
	$\frac{C}{e}$	8,98	10,08	5,89	12,00
Échappement variable.					
Section pour l'ouverture maxima.....	0 ^m 20200	0 ^m 20220	0 ^m 20200		
Section pour l'ouverture minima.....	0,0046	0,0051	0,0046		
Réservoir intermédiaire de vapeur.					
Volume.....	»	»	0 ^m 3157		

Poids.	LOCOMOTIVES.		
	NON COMPOUND.		COMPOUND.
	1513-2457	4135-4159	4521-4530
Machine vide.....	31.220 ^{kg.}	(1) 47.650 ^{kg.}	47.730 ^{kg.}
Machine en ordre de marche.....	1 ^{er} essieu.....	11.120	12.400
	2 ^e essieu.....	12.130	12.620
	3 ^e essieu.....	12.130	14.650
	4 ^e essieu.....	»	14.380
Total.....	35.380	54.050	51.660
Poids suspendu.....	27.040	42.680	39.930
Poids non suspendu.....	8.340	11.370	11.730
Poids adhérent.....	35.380	54.050	51.660

(1) Poids des locomotives 4135-4159 non munies du frein à air comprimé.

Description du nouveau type.

La nouvelle machine est donc une machine compound à quatre cylindres et à quatre essieux couplés avec roues de 1^m,300 de diamètre, dont les parties les plus intéressantes sont décrites ci-après :

1^o CHAUDIÈRE.

Ainsi qu'il a été déjà dit, la chaudière est construite en tôle d'acier; la boîte à feu est du système Belpaire.

L'acier employé pour la chaudière est celui de la 1^{re} catégorie définie par le cahier des charges de 1892; pour les tôles embouties d'avant et d'arrière de la boîte à feu, on a adopté le même métal que celui que la C^{ie} P.L.M. a employé pour ses essais de foyers en acier et pour lequel elle demande des conditions spéciales de fabrication.

On trouvera tous les détails sur la qualité de l'acier de 1^{re} catégorie, le mode de travail, le recuit des tôles, dans la brochure publiée par M. Baudry, Ingénieur en chef du Matériel et de la Traction à l'occasion du Congrès des Chemins de fer en 1889 et reproduite dans N^o d'Avril 1890 du bulletin de la Commission internationale de ce Congrès; et ceux pour la spécification des tôles en acier pour foyers, dans la Revue générale des chemins de fer N^o de mars 1893, article de M. Chabal, Ingénieur en chef adjoint, intitulé « *De l'emploi de l'acier pour la construction des foyers de locomotives.* »

Comme pour les machines de 1889, le corps cylindrique a les coutures transversales à clins et à deux files de rivets et les coutures longitudinales, celles qui fatiguent le plus, sont à francs-bords avec double couvre-joint et à 4 files de rivets. Les rivets des files extérieures sont deux fois plus espacés que ceux des files centrales qui, prenant seuls le couvre-joint extérieur, permettent le matage de ce couvre-joint. La fatigue du joint est d'environ 1,25 fois la fatigue en pleine tôle.

Le foyer est muni d'une voûte en briques, d'une porte à registre avec déflecteur, et d'un regard situé au-dessus de la porte.

La grille du foyer est à jette-feu à l'avant.

Les tubes sont en acier et à ailettes.

La boîte à fumée est d'un plus grand diamètre que le corps cylindrique auquel elle est reliée au moyen d'une cornière : cette disposition a été adoptée pour loger plus facilement les tuyaux d'arrivée de vapeur et d'échappement sans gêner les tubes à fumée.

Ces nouvelles machines ont la boîte à fumée fort longue, 2 m. 295. Pour les 20 premières, la cheminée a été placée à 1 m. 775 de la plaque tubulaire, mais pour les machines suivantes, Nos 4521-4530, l'axe de la cheminée a été ramené à 1 mètre de cette plaque ; cette modification a eu pour but d'empêcher l'entraînement des flammèches par les coups d'échappement.

Une grille à flammèches située un peu au-dessus des tubes, et de surface plane, tient toute la longueur de la boîte à fumée.

Les soupapes de sûreté surmontent le dôme de prise de vapeur où leur siège forme autoclave pour fermer le trou d'homme. Leur diamètre est de 90^m/_m ; elles sont à disque et leurs dimensions ont été déterminées expérimentalement de manière à permettre, *lorsque la soupape est bien réglée*, de débiter par une seule soupape toute la vapeur produite par la chaudière, quelle que soit l'activité du feu (souffleur ouvert) sans que la surpression dépasse 1 kilog. par centimètre carré.

Le diamètre des roues, 1^m 300, est nécessairement celui des machines 1513-2457 puisque, ainsi que nous l'avons déjà dit, on utilisait des essieux montés provenant de ces dernières machines.

Deux essieux ont été utilisés sans modification, le 1^{er} et le 3^e essieu : le 1^{er} essieu, dont l'axe en fer aurait été trop chargé s'il avait été réemployé à la même place est devenu le 4^e essieu de la nouvelle machine. Le 1^{er} essieu de la nouvelle machine a été fait aux mêmes dimensions que celui des machines 1513-2457, mais avec axe en acier, en admettant pour les essieux en acier un coefficient de fatigue égal aux 4/3 de celui qui est adopté pour les essieux en fer.

Les centres de roues du 2^e essieu ont reçu un essieu coudé en acier en place de leur essieu droit ; pour équilibrer convenablement cet essieu, au point de vue des efforts dûs à l'inertie des pièces excentrées qui tendent à soulever chaque roue, après avoir réduit l'épaisseur du contrepoids venu de forge avec le centre actuel, on a ajouté un contrepoids dans deux intervalles des bras. En outre les boutons de manivelles ont été remplacés par d'autres portant l'excentrique de la distribution extérieure.

Ainsi qu'il a été déjà dit les 4 cylindres attaquent le même essieu, qui est le 2^e : les cylindres à haute pression, situés à l'extérieur des longerons, attaquent les boutons de manivelles des roues ; les cylindres à basse pression, situés à l'intérieur des longerons, attaquent les manivelles de l'essieu coudé. La manivelle du côté droit est en avance de 90° sur celle du côté gauche, pour les roues comme pour l'essieu coudé.

Chaque manivelle de l'essieu coudé est directement opposée à celle de la roue du même côté ; autrement dit, les manivelles des cylindres à basse pression sont en avance de 180° sur celles des cylindres à haute pression.

Pour déterminer le calage à 180° des manivelles des deux sortes de cylindres, on a cherché pour différents angles de calage :

- les moments moteurs en cours de route,
- les moments moteurs au démarrage,

2° ROUES
ET ESSIEUX.

3° CALAGE
DES ESSIEUX.
MOMENTS
MOTEURS
EN ROUTE
ET AU
DÉMARRAGE.
PERTURBATIONS.

— les moments des forces qui produisent le mouvement de lacet ainsi que l'amplitude de ce mouvement.

— les efforts produisant le tangage ainsi que l'amplitude de ce mouvement.

Pour les moments moteurs en cours de route, on s'est donné les pressions dans les cylindres d'après des diagrammes relevés à l'indicateur sur une machine compound au cran 4 d'admission; on a tracé séparément les moments moteurs pour les cylindres à haute pression et pour ceux à basse pression et on a totalisé ces moments pour différents angles de calage.

Pour les moments moteurs au démarrage on a supposé les deux distributions à fond de course du changement de marche, et la vapeur arrivant dans les cylindres à haute pression avec la pression de la chaudière et dans les cylindres à basse pression avec 6 kilog. par centimètre carré. Puis on a calculé les moments minima pour la marche en avant, pour la marche en arrière et pour les deux marches réunies.

Le tableau suivant donne les principaux résultats du calcul pour les deux angles de calage qui d'après un premier examen ont paru susceptibles d'être adoptés.

		PRINCIPALES CONDITIONS réalisées lorsque la manivelle du coude a, sur celle de la roue de même côté, une avance de		
		180°	145°	
Moments moteurs.				
Moments moteurs en cours de route au cran 4/10.....	}	maximum.....	3.560 kgm.	3.630 kgm.
		minimum.....	2.780	2.710
		moyen.....	3.210	3.210
Moments moteurs minima au démarrage.....	}	marche en avant.....	2.655	4.425
		des deux marches réunies..	3.550	4.897
Perturbations dues aux forces d'inertie.				
Effort tendant à soulever chaque roue à la vitesse de 55 kilomètres à l'heure.....	}	1 ^{er} essieu.....	488 kgm.	488 kgm.
		2 ^e essieu, côté D.....	113	971
		2 ^e essieu, côté G.....	113	1.384
		3 ^e essieu.....	205	205
		4 ^e essieu.....	606	606
LACET. — Maximum du moment des forces qui produisent le lacet, à 55 kilomètres à l'heure.....			3.103 kgm.	3.325 kgm.
Amplitude du mouvement de lacet.....	}	à un mètre du centre de gravité...	0 ^m /m 31	0 ^m /m 32
		à l'essieu d'avant.....	0, 76	0, 81
TANGAGE. — Maximum de l'effort des forces qui produisent le tangage à 55 kilomètres à l'heure.....			2.494 kg.	6.072 kg.
Amplitude du mouvement.....			1 ^m /m 70	4 ^m /m 18

Le tableau précédent montre que pour les moments moteurs en cours de route, les deux calages se valent, mais que pour les moments moteurs au démarrage l'avantage est pour le calage à 145°.

Pour les perturbations dues aux forces d'inertie, l'avantage est nettement indiqué pour le calage à 180°; avec ce calage on constate notamment que les efforts qui tendent à produire le

tangage sont bien inférieurs ainsi que les amplitudes de ce mouvement qui tendent à fatiguer les attelages.

C'est cette dernière considération qui a fait adopter le calage à 180°.

Les tableaux suivants donnent la comparaison des nouvelles machines aux machines 1513-2457, ainsi qu'aux anciennes machines de montagnes de la Compagnie P.-L.-M., n^{os} 4001-4159, au point de vue des perturbations dues aux forces d'inertie.

	LOCOMOTIVES non compound		LOCOMOTIVES compound	
	1513-2457	4001-4159	4501-4530	
Perturbations dues aux forces d'inertie.				
Vitesse limite en kilomètres à l'heure.....	55 km	50 km	55 km	
LACET.				
Maximum du moment produisant le lacet à la vitesse limite.....	7.103 kg.	12.041 kg.	3.103 kg.	
Amplitude, indépendante de la vitesse, du mouvement de lacet à un mètre du centre de gravité.....	1 ^m /m 45	1 ^m /m 28	0 ^m /m 31	
Amplitude, indépendante de la vitesse, du mouvement de lacet à l'essieu d'avant.....	2, 65	2, 68	0, 76	
TANGAGE.				
Maximum de l'effort produisant le tangage à la vitesse limite.....	5.206 kg.	10.410 kg.	2.494 kg.	
Amplitude, indépendante de la vitesse, du mouvement de tangage...	5 ^m /m 23	8 ^m /m 06	1 ^m /m 70	
Effort tendant à soulever chaque roue	1 ^{er} essieu....	387 kg.	67 kg.	488 kg.
	2 ^e essieu....	916	266	113
	° essieu....	451	2.858	205
	4 ^e essieu....	»	67	606

4^e CYLINDRES.

Les diamètres des cylindres sont de 0^m,340 pour la haute pression et 0^m,520 pour la basse pression, la course des pistons étant de 0^m650.

Le rapport entre le volume des cylindres à haute pression et celui de ceux à basse pression, est de 0,427.

Dans les machines 4501 à 4520, la communication entre l'échappement des cylindres à haute pression et la boîte à vapeur des cylindres à basse pression se fait par des tuyaux en cuivre passant dans la boîte à fumée comme pour nos premières machines compound. Cette disposition, qui avait pour but de réchauffer la vapeur du réservoir intermédiaire dont ces tuyaux en cuivre font partie, a été abandonnée par M. Baudry pour les machines 4521-4530 et remplacée par celle qui a été adoptée pour nos dernières machines compound à grande vitesse, en faisant communiquer les deux sortes de cylindres par le plus court chemin au moyen d'un tuyau en fonte.

5^e CHANGEMENT DE MARCHE.

Les machines 4501-4510 et cinq des machines 4511-4520 ont reçu un changement de marche à deux cames tracées de manière à maintenir entre la distribution des cylindres à haute pression et celle de ceux à basse pression un rapport voulu; ce changement de marche est à

CHARGEMENT DE MARCHE.

Fig. 1. — Élévation

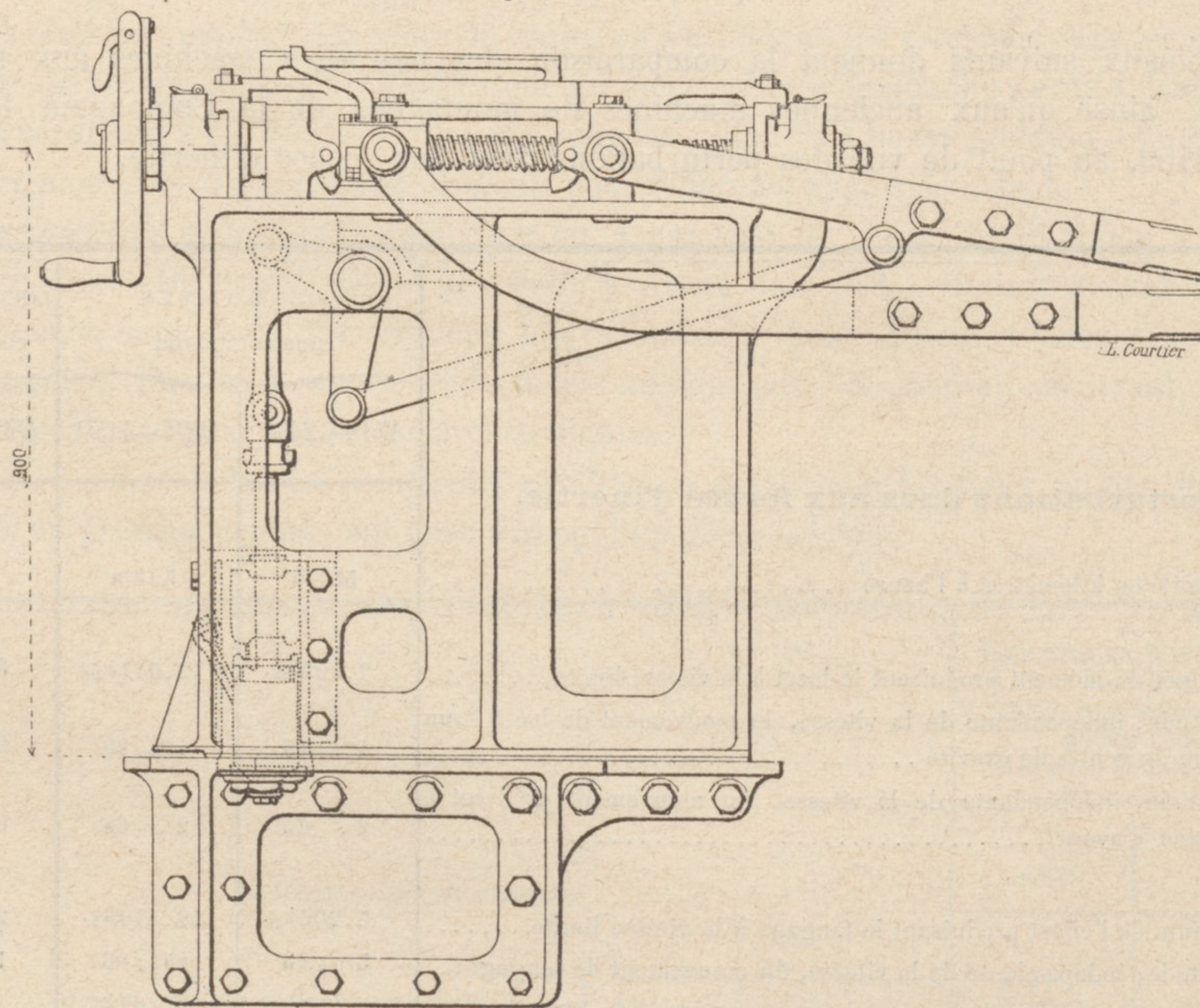


Fig. 2. — Plan.

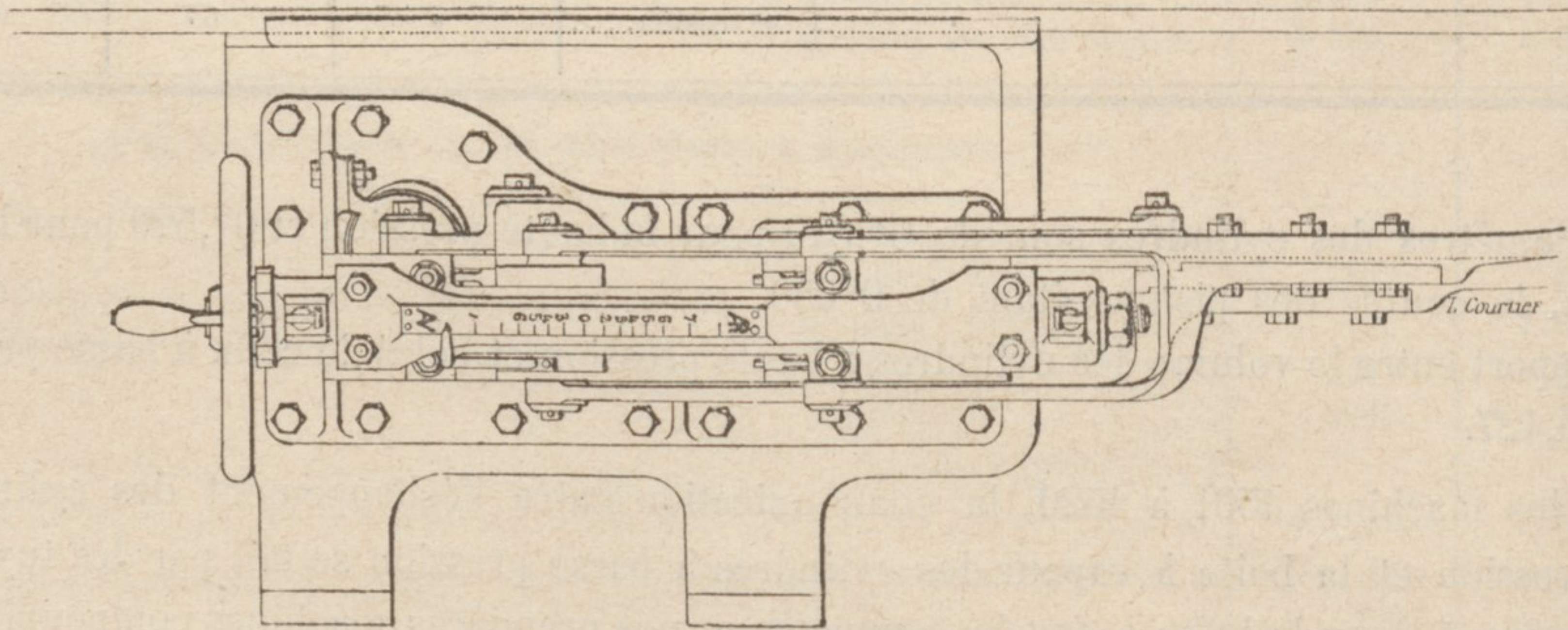
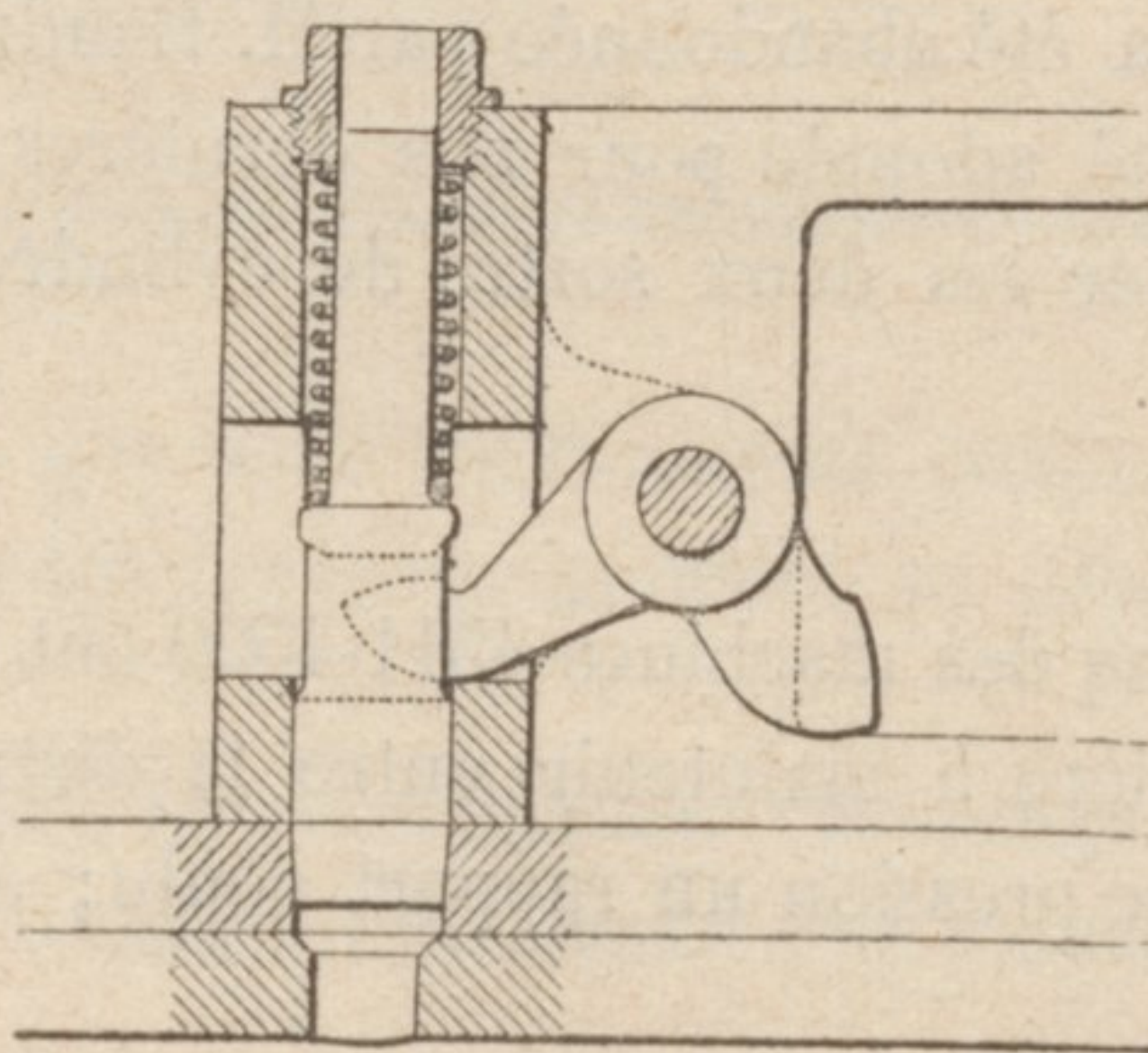


Fig. 3. — Détail d'un verrou.



contrepoids de vapeur et verrouillage à huile comme celui des autres machines compound de la Compagnie P.-L.-M. (1).

Sur ces entrefaites, les expériences de M. Privat décrites dans le N° de mars 1896 de la *Revue Générale*, ayant démontré que la marche la plus avantageuse pour les machines compound à quatre cylindres était celle avec une introduction constante aux grands cylindres, il a paru possible de simplifier le mécanisme de changement de marche usité jusqu'alors, tout en ne laissant pas au mécanicien la liberté de combiner à sa volonté les introductions aux grands et aux petits cylindres.

Le nouveau mécanisme de changement de marche a été appliqué aux cinq dernières machines n^{os} 4511-4520 et aux machines n^{os} 4521-4530, il ne comporte pas de contrepoids de vapeur.

Ce changement de marche, qui est représenté figures 1, 2 et 3, se compose des principales pièces suivantes :

Un bâti porte une vis sur laquelle est calé un volant de manœuvre ordinaire.

Un cadre, avec tourillons, dans lequel passe la vis sans l'actionner, peut se déplacer sur le bâti. Aux deux extrémités de sa course, ce cadre est maintenu en place au moyen de verrous avec taquets.

Un écrou à tourillons, actionné par la vis, peut se déplacer dans l'intérieur du cadre, d'une certaine quantité sans l'entraîner.

Un ralentisseur composé d'un cylindre renfermant un liquide, dans lequel peut se mouvoir un piston percé de trous; le piston est relié à la barre de relevage de la distribution des grands cylindres au moyen de leviers.

Les barres de relevage des distributions sont attachées, celle des cylindres à haute pression aux tourillons de l'écrou et celle des cylindres à basse pression aux tourillons du cadre.

Quand le cadre étant à une des extrémités de sa course on veut l'entraîner à l'autre extrémité, on fait mouvoir l'écrou au moyen du volant de la vis dans le sens du mouvement que l'on veut obtenir, l'écrou rencontre les taquets qui déclenchent les verrous du cadre, puis le cadre qu'il entraîne à partir de ce moment et qui continue à marcher avec lui jusqu'à la fin de la course, où il est fixé par les deux autres verrous qui tombent dans le logement qui leur a été préparé pour cette position du cadre. On peut alors, sans déplacer le cadre, faire revenir l'écrou en arrière pour lui faire occuper une position intermédiaire quelconque entre la fin de sa course et sa position milieu.

On voit d'après cela que la distribution des grands cylindres, reliée au cadre, n'a que deux positions stables, celles de fin de course à l'avant et à l'arrière, et que celle des petits cylindres reliée à l'écrou peut varier à volonté.

Il y a lieu de remarquer que pendant la manœuvre du changement de marche, le cadre n'est pas lié rigidement à l'écrou, ni par conséquent, à la vis et à son bâti; il est seulement entraîné. Cela n'a pas d'inconvénient au repos, mais en marche cela pourrait en avoir, le cadre étant susceptible à certains moments d'être entraîné violemment par la distribution qu'il commande et de venir heurter le bâti: c'est pour cette raison que la barre de relevage qui lui est attachée, est reliée au piston du ralentisseur.

(1) Ce mécanisme a été décrit dans l'article de M. Baudry sur les machines compound à quatre cylindres et à grande vitesse P.-L.-M. (*Revue Générale*, N° d'Avril 1893).

6° DÉMARREUR. Les machines 4501-4530 portent comme les autres machines compound P.-L.-M. un robinet qui permet au mécanicien d'envoyer directement la vapeur de la chaudière dans le réservoir intermédiaire entre les petits et les grands cylindres ; une soupape de sûreté placée sur le réservoir et débouchant à l'atmosphère ne permet pas à la pression d'y monter au delà de 6 kg.

7° INJECTION D'EAU ET DE VAPEUR DANS LES CYLINDRES. Pour battre à contre-vapeur dans les longues pentes, les machines 4501-4530 ont reçu, comme les autres machines compound à marchandises de la Compagnie P.-L.-M., deux robinets d'injection d'eau et de vapeur dont l'un envoie le mélange d'eau et de vapeur dans l'échappement des grands cylindres, et l'autre dans le réservoir intermédiaire, afin d'éviter la détérioration des garnitures de tiges de pistons des cylindres à haute pression.

8° DÉTAILS DIVERS. La cheminée est munie d'un noyau central destiné à épanouir convenablement la vapeur de l'échappement.

L'échappement est à valves mobiles.

Le souffleur lance la vapeur dans la cheminée par une couronne de petits trous percés dans le noyau central.

Un robinet de prise de vapeur auxiliaire, qui sert entre autres choses au ramonage des tubes par la vapeur, est branché sur le tuyau souffleur.

L'alimentation de la chaudière est assurée au moyen de deux injecteurs.

Les distributions sont du type Walschaert, à un seul excentrique.

Le graissage des cylindres se fait au moyen d'un compresseur à vis, dont la poignée est à la portée de la main du mécanicien.

Le premier essieu a son axe en acier ; ses boîtes à huile sont munies de plans inclinés qui lui permettent un déplacement de 15^m/_m de chaque côté de la machine en plus du jeu de 1^m/_m qu'il a dans le coussinet de chaque côté des fusées.

Le deuxième essieu a un axe coudé en acier dont les manivelles sont frettées en acier et les tourillons sont traversés, suivant l'axe, par un boulon de sûreté en fer.

Les boîtes à huiles de cet essieu sont à trois coussinets système Raymond et Henrard.

La sablière est à vapeur du type Gresham.

Économie de la transformation.

Bien que les nouvelles machines soient très différentes de celles qu'elles remplacent, on a pu utiliser dans leur construction beaucoup des éléments de celles-ci.

Dans le poids total à vide qui est de	47.730 ^{kg.}
les pièces des machines 1513-2457 qui ont été utilisées entrent pour.....	19.500 ^{kg.}
Dans le prix total de la machine qui est de.....	70.500 ^{fr.}
ces pièces entrent pour.	14.700 ^{fr.}

Les principales pièces utilisées, outre le premier et le troisième essieu monté et les roues du deuxième essieu dont il a déjà été parlé, sont : les bielles d'accouplement et motrices en partie, les têtes de pistons et leurs glissières, les boîtes à huile du troisième essieu, les guides de boîtes à huile, partie de l'attelage d'avant, l'attelage d'arrière, les ressorts de suspension, les marche-pieds, les couvre-roues, le régulateur en partie, les supports de chaudière, la porte de la boîte à fumée, l'enveloppe de la chaudière en partie et presque toute la robinetterie.

Les machines N^{os} 4501-4530 ont donné d'excellents résultats en service.

Elles ont une très grande stabilité de marche même à des vitesses supérieures au maximum de 55 km. à l'heure qu'elles ne dépassent pas en service.

Aux vitesses ordinaires de trains de marchandises, elles traînent des charges d'environ 75 % supérieures à celles des machines 1513-2457, ainsi que cela résulte du tableau ci-après.

Aux petites vitesses elles traînent facilement les mêmes charges que les anciennes machines 4.000, et aux vitesses de 20 kilomètres et au-dessus, elles traînent des charges plus fortes.

COMPARAISON DES CHARGES EN TONNES DES MACHINES 4501-4530
A CELLES DES MACHINES 1513-2457 ET 4001-4205.

	MACHINES			RAPPORTS	
	1513-2457	4001-4205	4501-4530	$\frac{c}{a}$	$\frac{c}{b}$
	(a)	(b)	(c)		
VITESSE DE 15 KILOMÈTRES A L'HEURE.					
Rampe fictive de 10 m/m.....	T 302	T 569	T 569	1,88	1,00
d° 15	202	390	390	1,93	1,00
d° 20	144	287	287	1,98	1,00
d° 25	108	222	222	2,06	1,00
VITESSE DE 20 KILOMÈTRES A L'HEURE.					
Rampe fictive de 10 m/m.....	289	484	506	1,75	1,05
d° 15	195	332	349	1,79	1,05
d° 20	140	243	259	1,85	1,07
d° 25	105	187	200	1,90	1,07
VITESSE DE 25 KILOMÈTRES A L'HEURE.					
Rampe fictive de 10 m/m.....	264	395	450	1,70	1,14
d° 15	178	270	311	1,75	1,15
d° 20	129	196	231	1,79	1,18
d° 25	95	148	177	1,86	1,20
VITESSE DE 30 KILOMÈTRES A L'HEURE.					
Rampe fictive de 10 m/m.....	236	344	393	1,66	1,14
d° 15	159	234	271	1,70	1,16
d° 20	114	169	199	1,75	1,18
d° 25	84	125	152	1,81	1,22

Au point de vue de la consommation de combustible, les machines 4501-4530 ont été comparées de deux manières différentes aux anciennes machines 4001-4159 qui font le même service.

En premier lieu, on a comparé les dépenses totales de combustible par tonne kilométrique remorquée des machines 4000 ayant fait pendant les 5 mois de juin à octobre 1892 le service des marchandises sur la ligne de Lyon à Grenoble, avec celles des machines 4500 les ayant remplacées dans ce service de juin à octobre 1893.

En 1892, les machines 4000 avaient remorqué en moyenne 297 T.

et consommé..... 5 k.,85
par 100 tonnes kilométriques brutes.

En 1893, les machines 4500 ont remorqué en moyenne 300 T,
et consommé..... 4 k. 69
par 100 tonnes kilométriques brutes. Elles ont donc réalisé une économie de 19,8 % par rapport aux anciennes machines 4000.

Pour serrer de plus près la question, on a mis dans une même équipe du dépôt de Grenoble 8 machines 4000 et 8 machines 4500 et on leur a fait faire le même service en roulement du 18 juillet au 27 octobre 1896, en ayant soin de faire alterner périodiquement les mécaniciens des machines 4500 avec ceux des machines 4000, de manière que chacun d'eux ait fait autant de parcours avec chaque type de machine.

La charge moyenne remorquée a été sensiblement la même pour les deux types : 294 T. pour les 4500, et 296 T., pour les 4000.

La consommation moyenne par 100 tonnes kilométriques brutes a été, pour les machines 4000 : 5 k. 609, et pour les machines 4500 : 4 k. 708.

L'économie en faveur des machines 4500 ressort à 16,1 %.

D'après ce qui précède, et en supposant que la consommation par tonne kilométrique ne soit pas moindre pour une machine 1500 que pour une machine 4000 ancienne, le remplacement d'une machine 1513 à 2457 par une machine 4501-4530 sur une ligne où la charge de cette dernière série est bien utilisée, donne une double économie de personnel et de combustible.

L'économie annuelle de personnel est des 3/4 d'une équipe de mécanicien et de chauffeur, soit 3/4 de 6.800 fr. (1)..... 5.100 fr. »

L'économie annuelle de combustible est de 15 à 20 % de la valeur du charbon que consommeraient des machines 1513-2457 pour remorquer ce que remorque une machine 4501, en d'autres termes, 17,6 à 25 % de la consommation d'une machine 4501 qui est d'environ 9.000 fr.

$$\frac{9.000 \times 17,6 \text{ à } 25}{100} = \frac{1.570 \text{ fr. } \gg \text{ à } 2.250 \text{ fr. } \gg}{\text{Total..... 6.670 fr. } \gg \text{ à } 7.350 \text{ fr. } \gg}$$

soit en nombre rond..... 7.000 fr. »

Les machines 1513 à 2457 qui ont été transformées figuraient à l'inventaire pour 54.700 fr.
en moyenne. Les machines transformées (avec foyers en cuivre) sont entrées à l'inventaire pour 71.000 fr.
en nombre rond. L'augmentation d'inventaire n'a donc été que de 16.300 fr.

(1) La dépense causée à la Compagnie par le salaire d'un mécanicien et d'un chauffeur est la suivante :

Mécanicien...	{ Salaires et primes..... 3.288 fr. }	} 3.737 fr. {	D'après les relevés faits en 1889 pour l'Office du travail.
	{ Déplacements..... 449 » }		
Chauffeur...	{ Salaires et primes..... 1.919 » }	} 2.273 » {	
	{ Déplacements..... 354 » }		
Versements pour la retraite (12 % des salaires et primes).....	569 »		
Remplacement des agents malades.....	104 »		
Remplacement des agents en congé.....	138 »		
Total.....	<u>6.821 fr.</u>		

par machine, soit 30 % environ, bien que l'augmentation en puissance ait été, comme il a été dit plus haut, de 75 %.

D'autre part, la transformation a entraîné une dépense d'exploitation d'environ 35.000 fr. par machine, mais comme les machines prises pour la transformation ont été choisies parmi celles qui entraient aux ateliers pour grandes réparations, il y a lieu de déduire de cette somme celle qu'il aurait fallu dépenser pour réparer une machine sans la transformer. On peut évaluer celle-ci à 8.000 fr.

La différence, soit 35.000 fr. — 8.000 fr. = 27.000 fr., représente donc seule la dépense causée par la transformation d'une machine.

Si l'on rapproche ce chiffre de l'économie de 7.000 fr., par machine et par an due à l'emploi des machines transformées, on voit que la dépense de transformation est amortie en 4 ans.

L'opération est donc avantageuse au point de vue financier. Les nouvelles machines ont de plus le grand avantage de permettre de faire des trains plus lourds et par conséquent d'augmenter la capacité des lignes très chargées sur lesquelles elles sont employées.

Aussi la Compagnie P.L.M. a-t-elle décidé de poursuivre sur 30 nouvelles machines la transformation que nous venons de décrire.

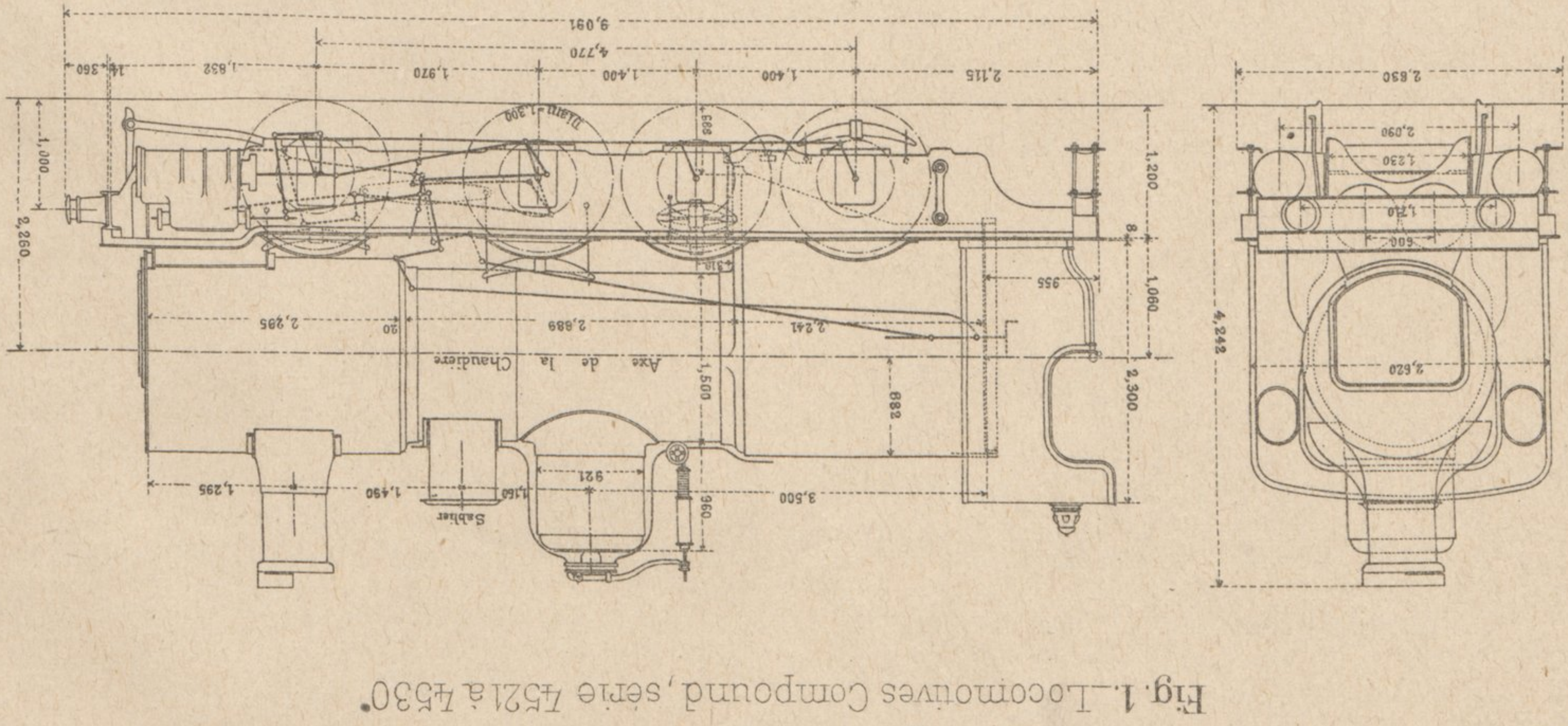


Fig. 2. Locomotives non Compound, série 1513-2457

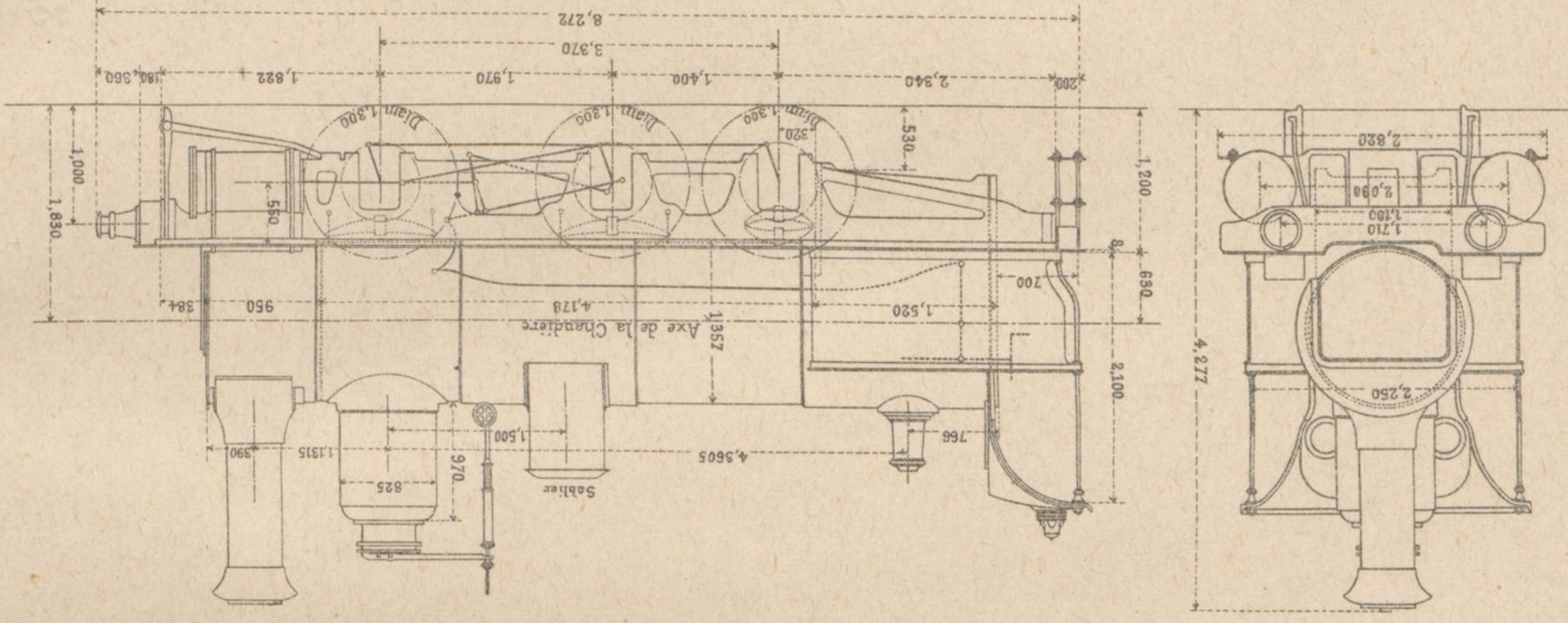


Fig. 3. Locomotives Compound, série 4001-4159

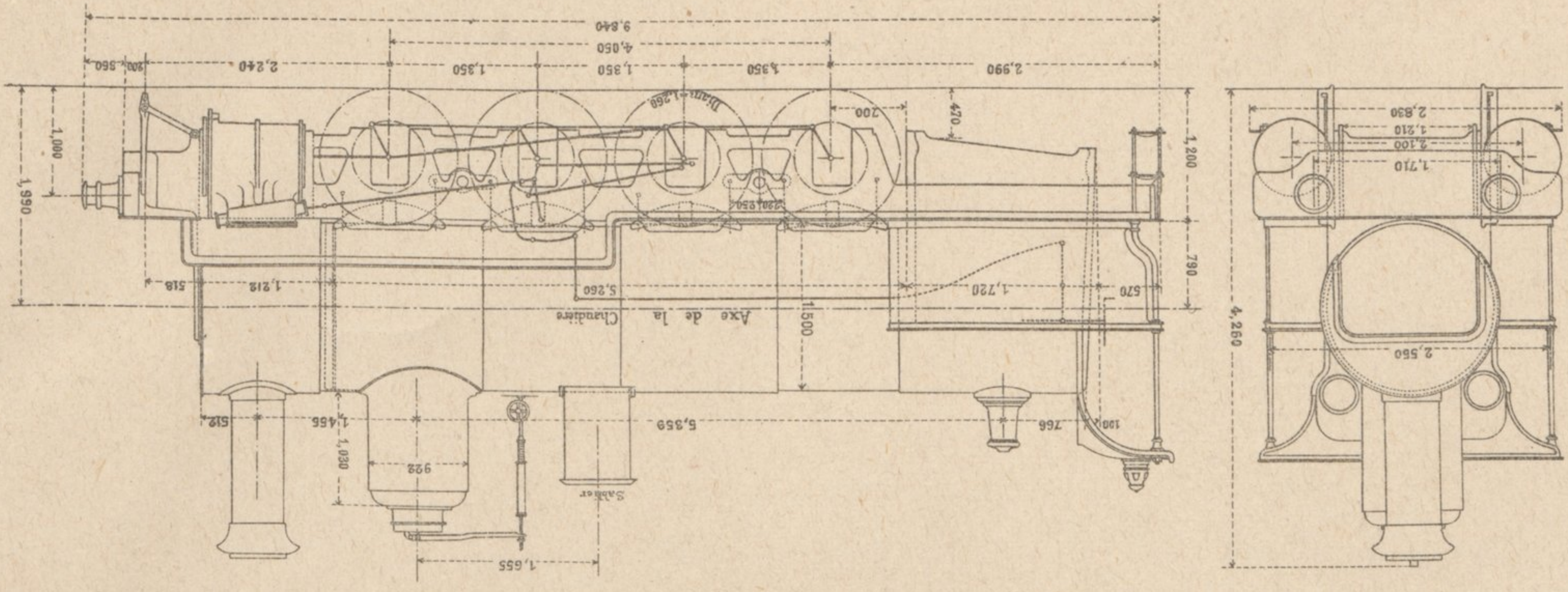
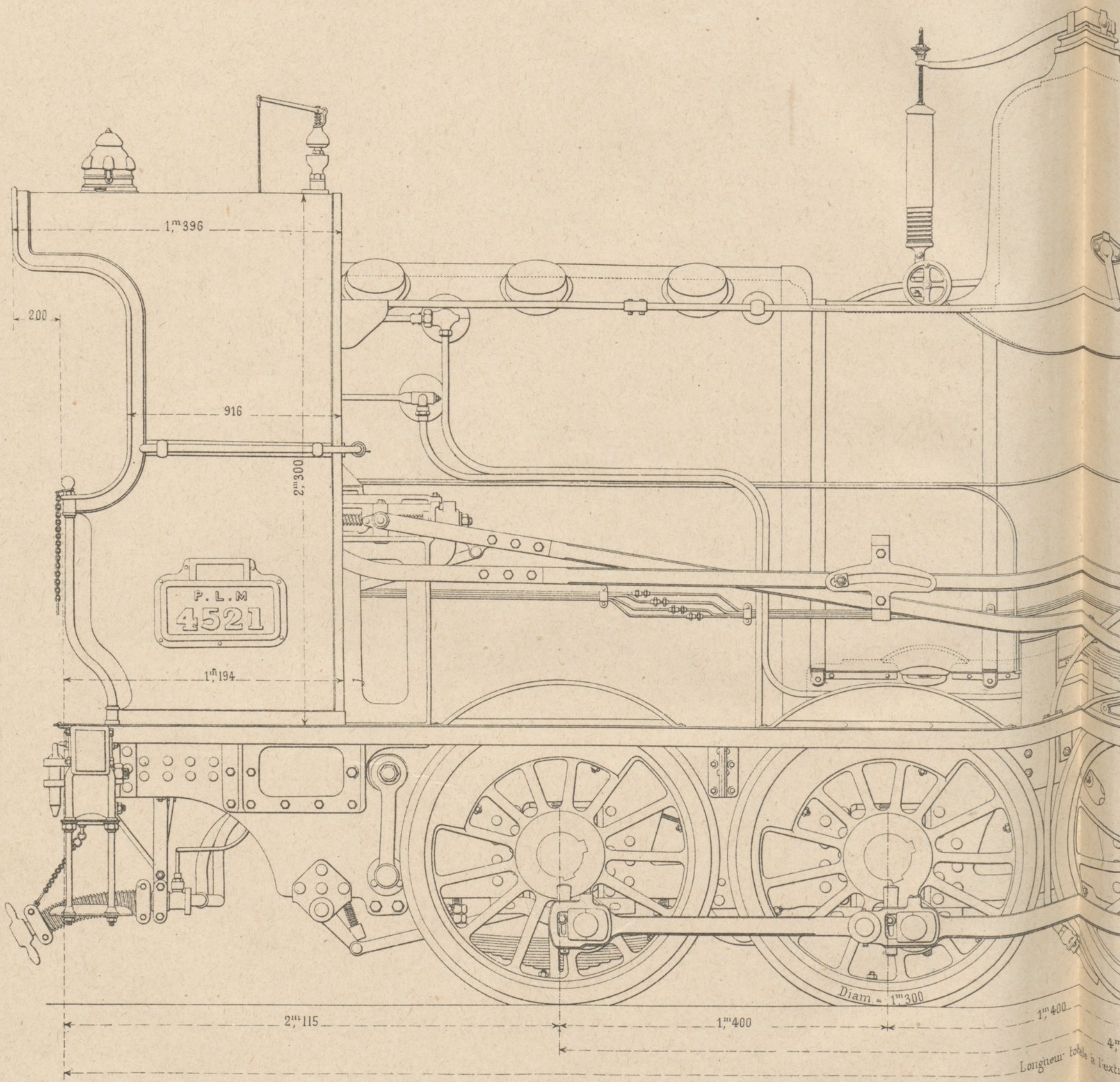


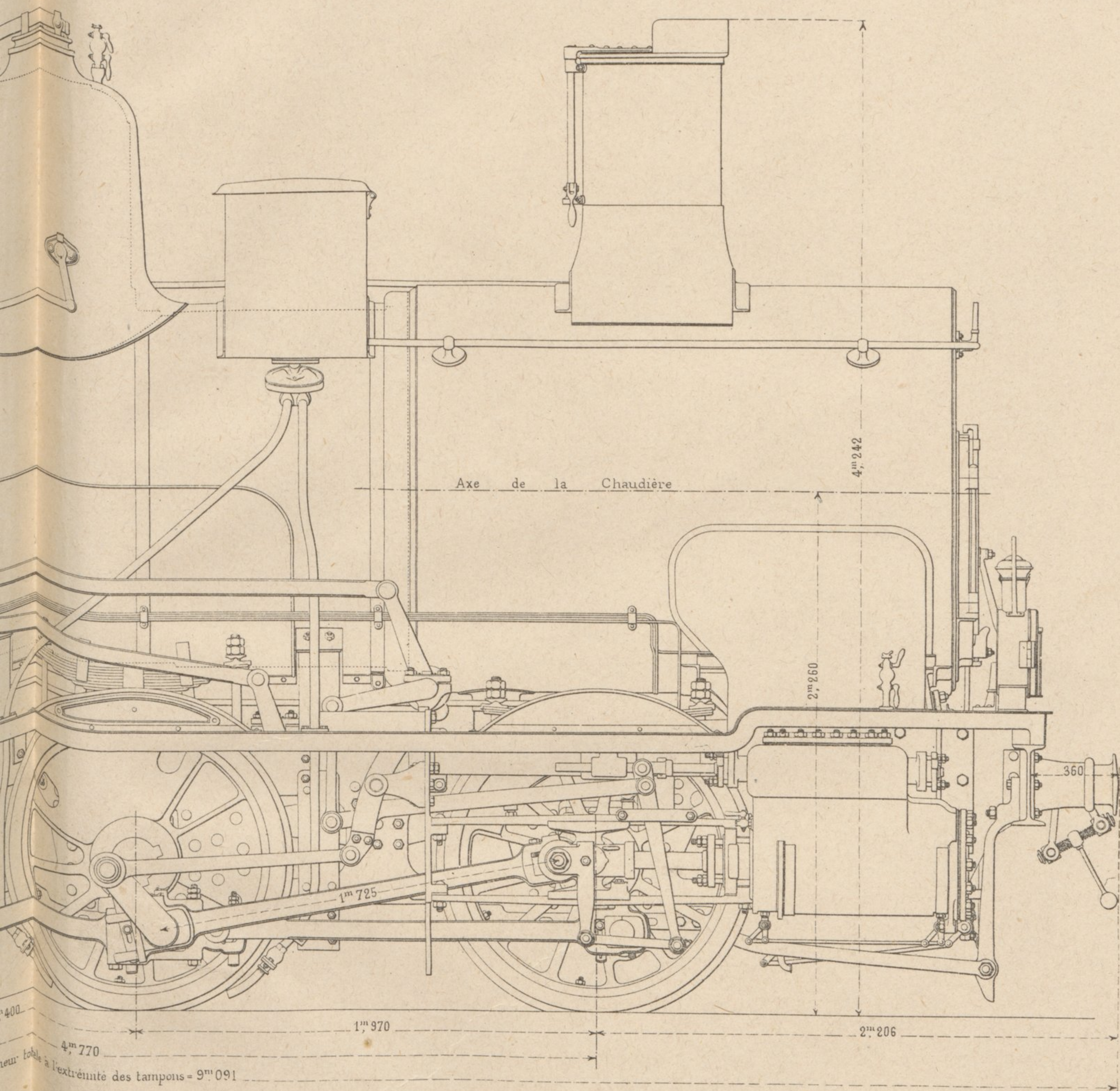
Fig. 1. - Vue d'en



Dimensions

Poids de la machine à vide	47.730 kg ^s	Timbre de la chaudière	15 kg ^s	Surface de chauffe des tubes (int ^{re})
— 3° — en service	51.660 kg ^s	Nombre de tubes	184	— 1° — du foyer
Diamètre intérieur de la grande vitole		Longueur des tubes	3 ^m ,007	— 2° — totale
de la chaudière	1 ^m ,500	Diamètre extérieur des tubes	0 ^m ,065	Surface de grille

Vue d'ensemble



Caractéristiques principales.

Surface des tubes (inter.)	191 ^m 67	Diamètre des cylindres	à haute pression — 0 ^m 340	Diamètre des roues	1 ^m 300
Surface du foyer	11, 21		à basse pression — 0 ^m 520	Ecartement des essieux extrêmes	4. 770
Surface totale	202, 88	Course des pistons	0 ^m 650	Longueur totale de la machine	9. 091
	2, 10	Nombre de cylindres	4	Largeur	2. 830

Fig.1. — Coupe long

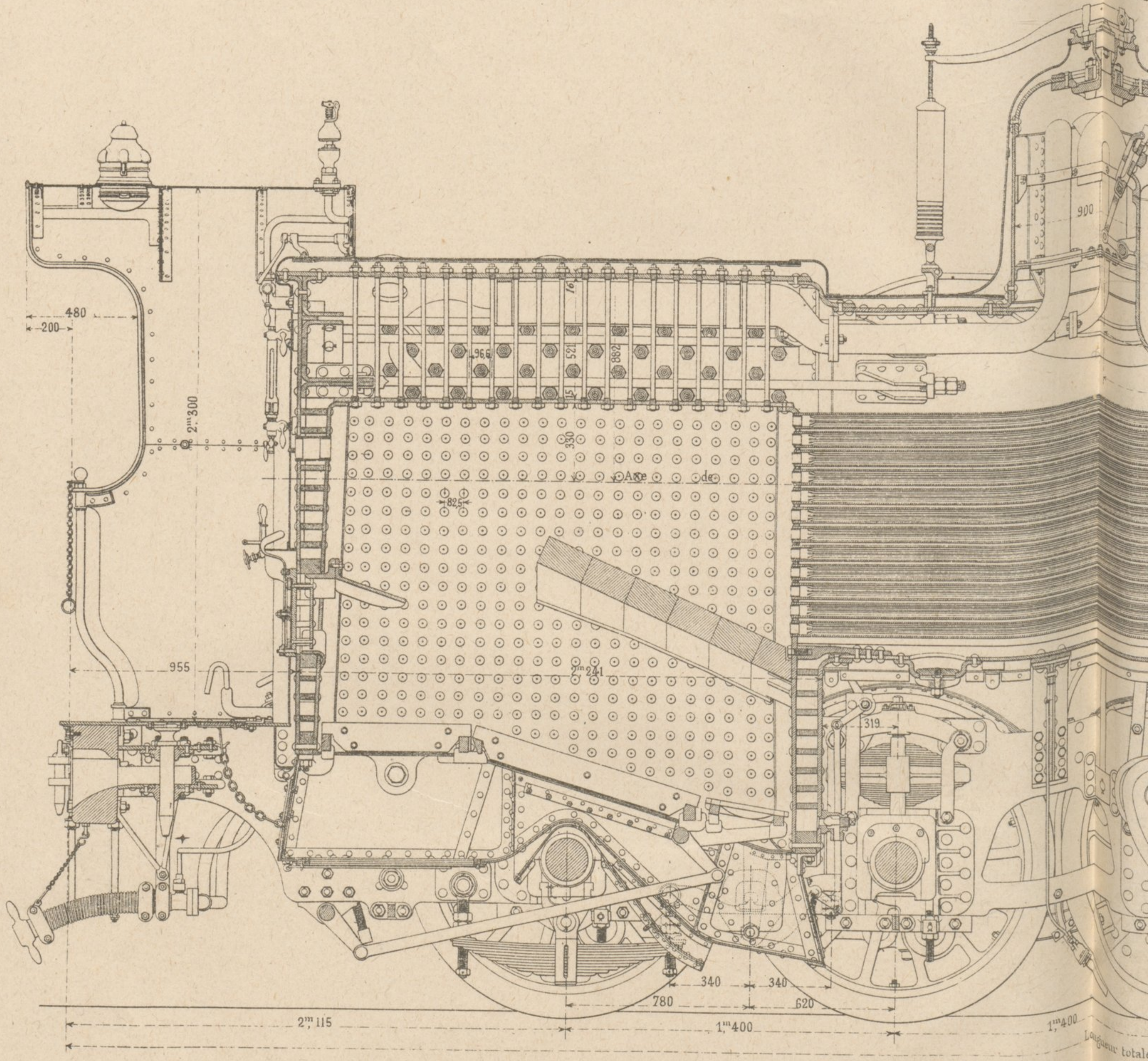
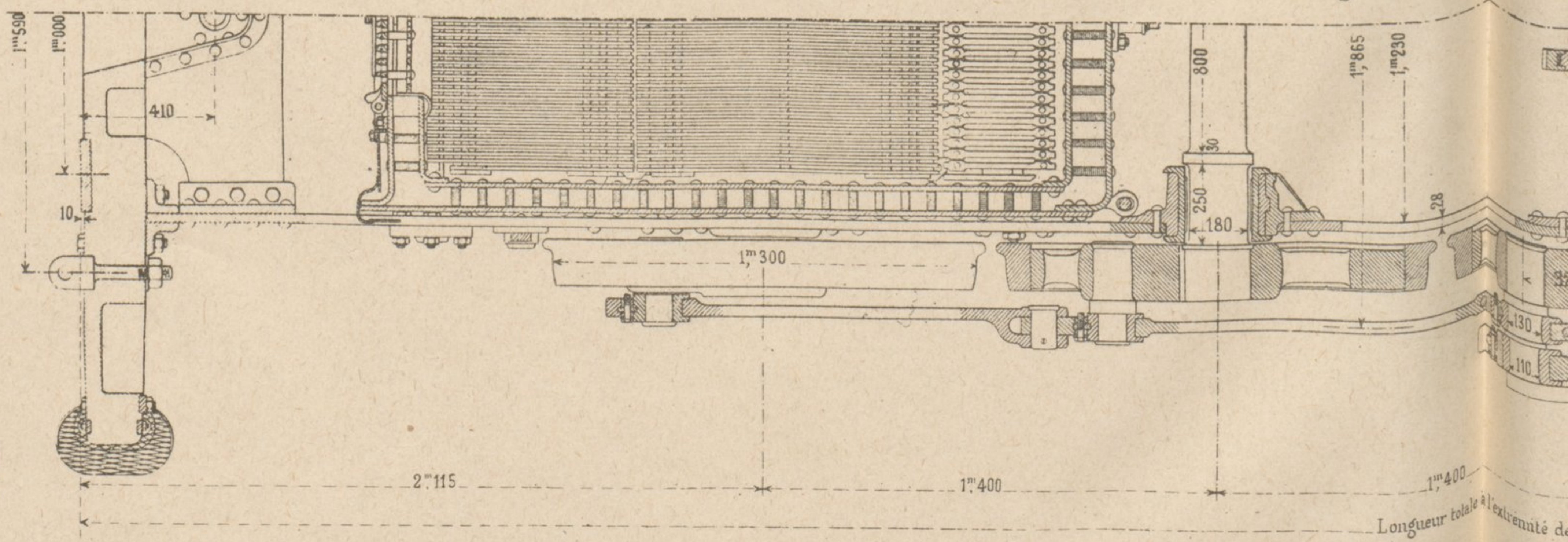
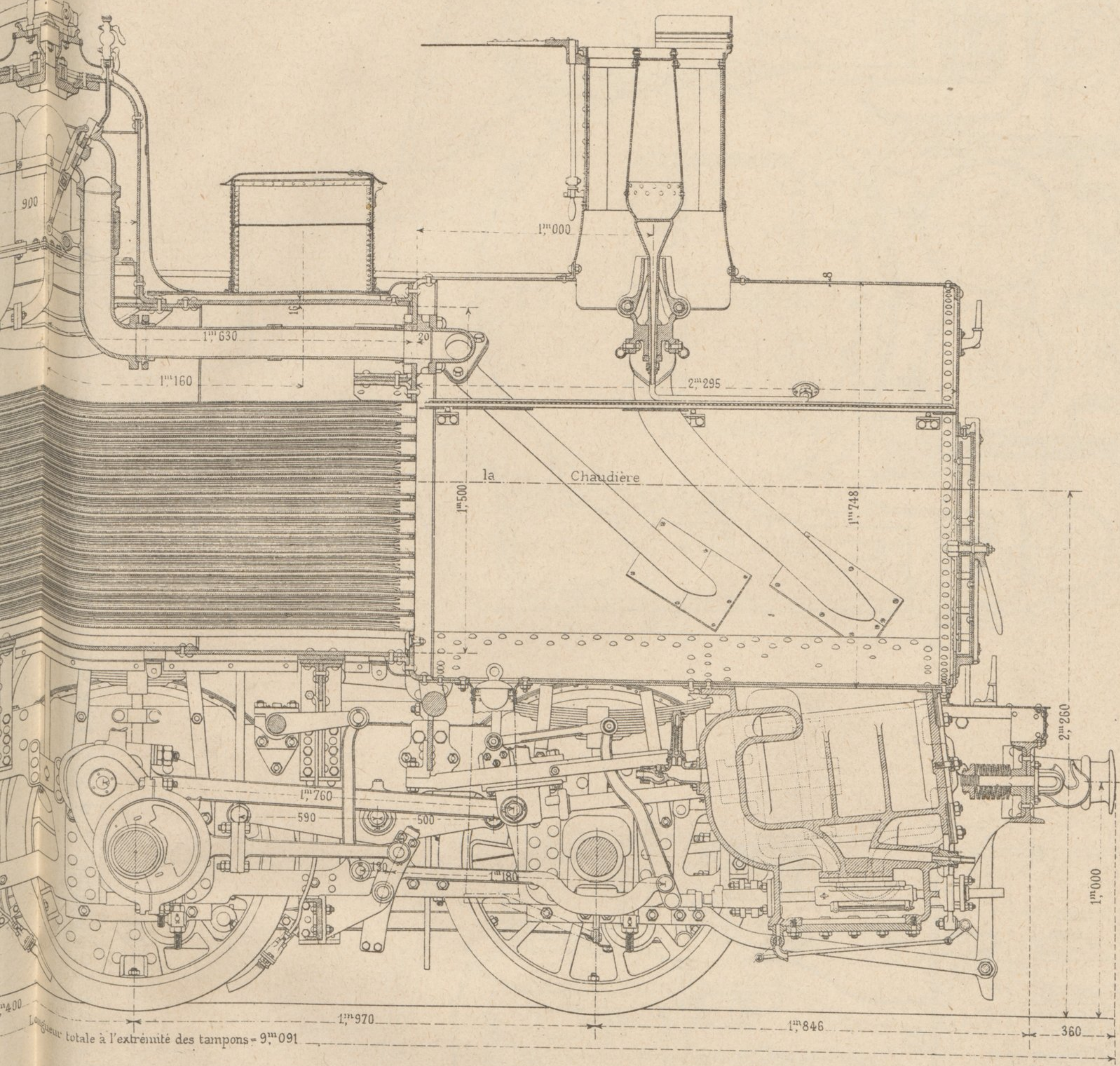


Fig.2. — 1/2 coupe horiz



Coupe longitudinale



Coupe horizontale

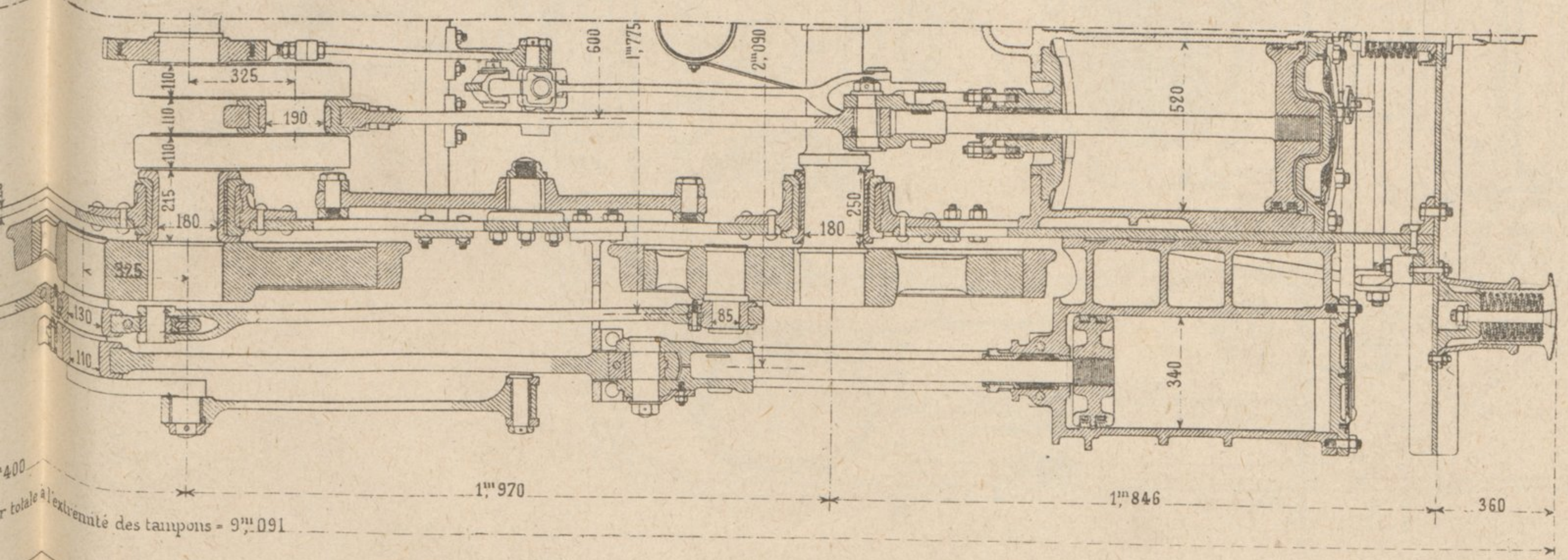


Fig. 1. — Coupe transversale par les cylindres
Vue de l'avant

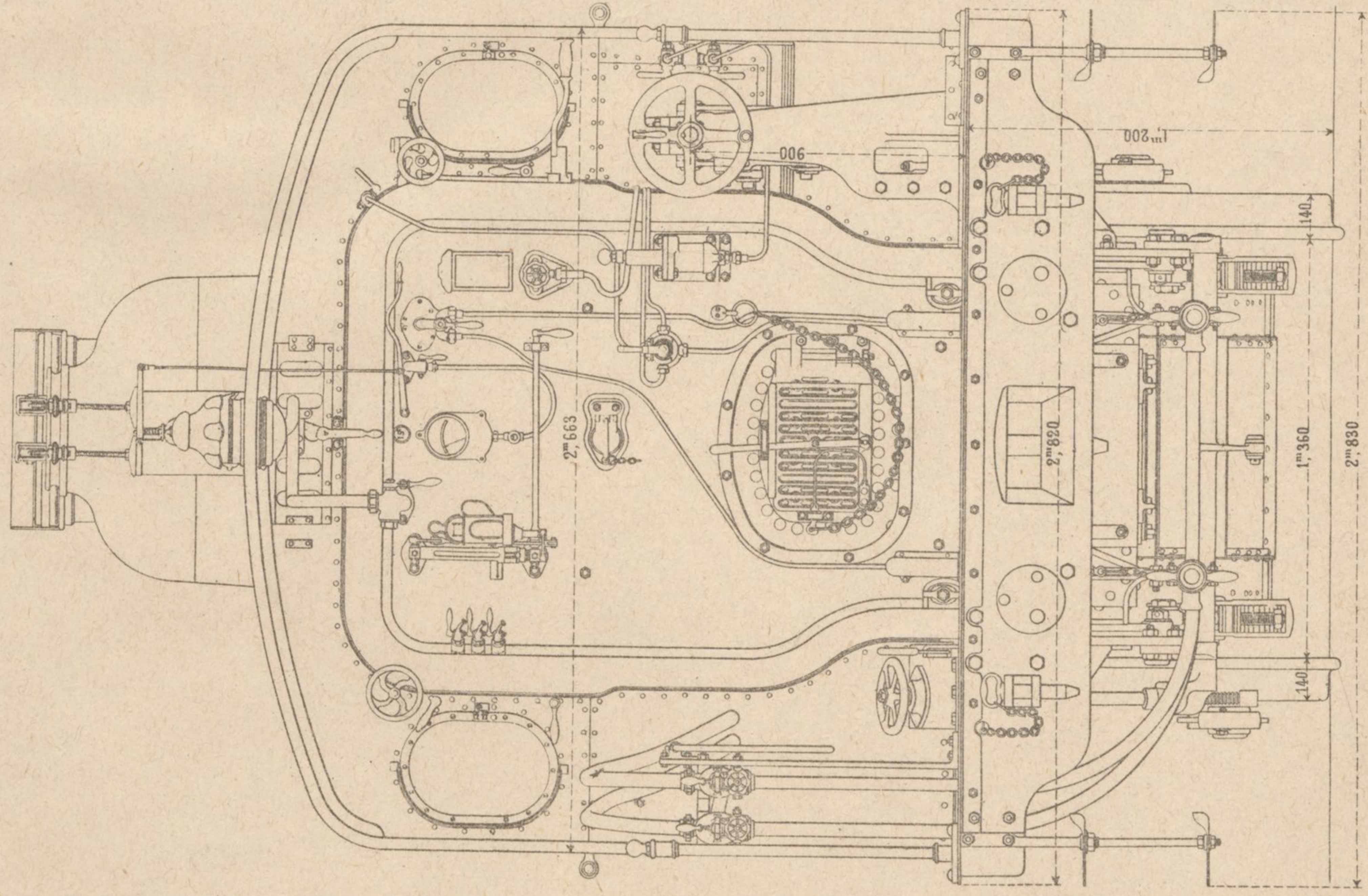


Fig. 2. — Vue d'arrière

