EXPÉRIENCES

SUR LE

RENDEMENT DES LOCOMOTIVES

Suite (1)

Par M. Joseph NADAL,

INGÉNIEUR EN CHEF ADJOINT DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION
DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT.

LOCOMOTIVE A DISTRIBUTION BONNEFOND

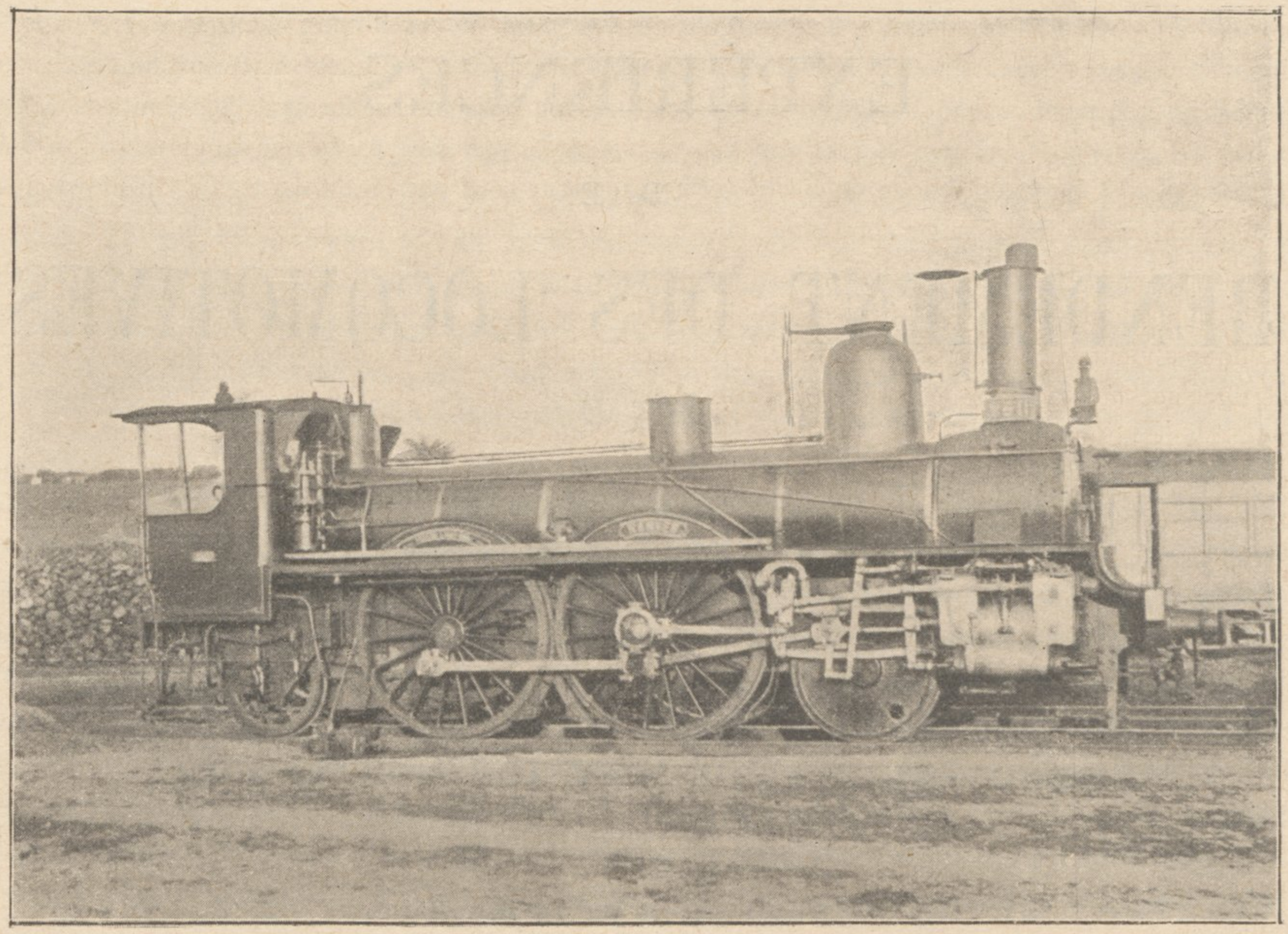
1. — Description de la machine.

La distribution Bonnefond (voir les photographies, Fig. 1 et 2) est une adaptation aux locomotives du système à quatre distributeurs et à déclic qui est si répandu dans les machines fixes et qui présente au point de vue de l'emploi de la vapeur des avantages incontestables dont les principaux sont : une compression faible et fixe pour tous les crans de marche, l'absence à peu près complète de laminage pendant l'admission, la réduction au minimum du volume et de la surface de l'espace nuisible, la possibilité de marcher à de très faibles admissions.

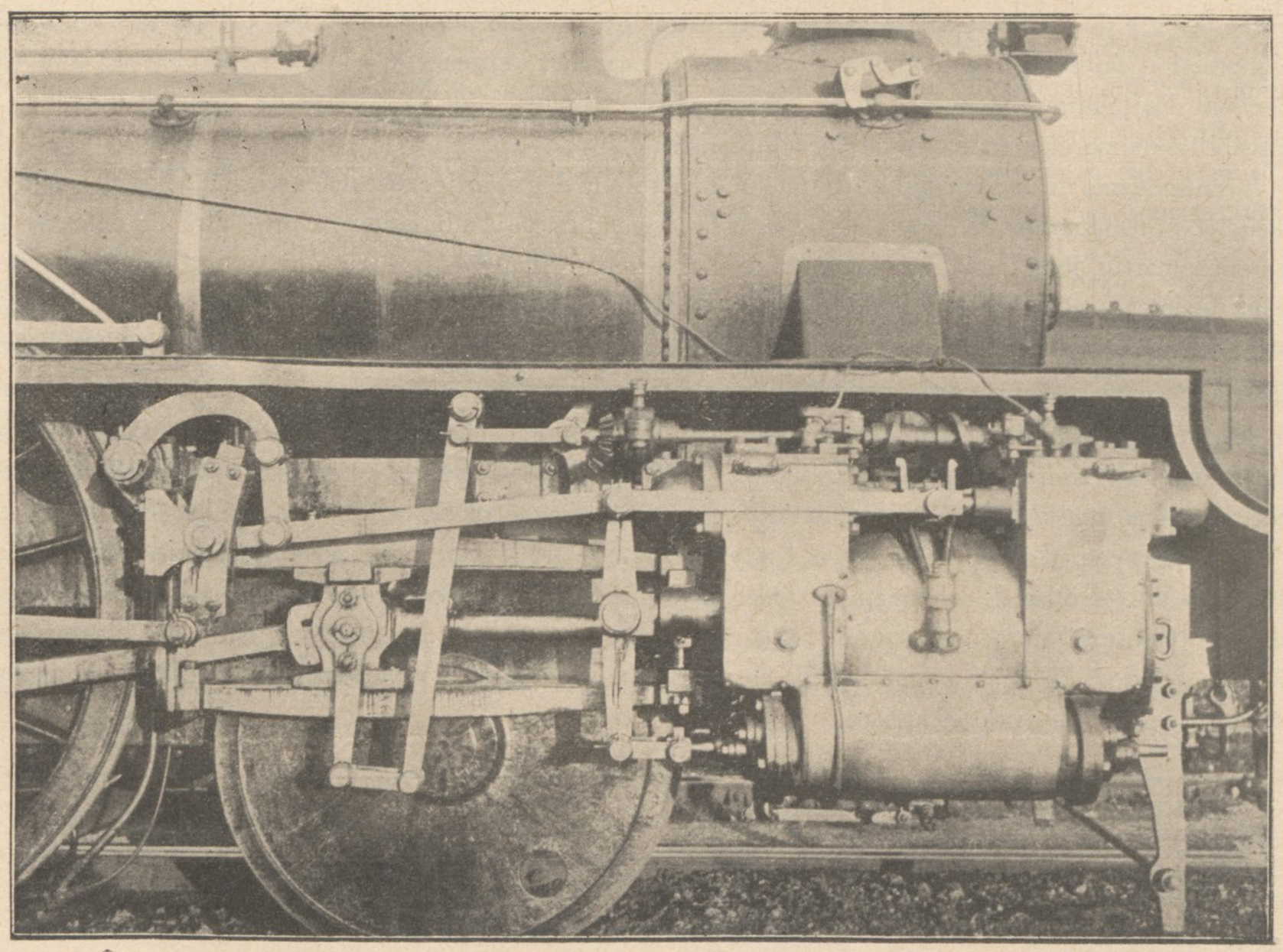
Le mécanisme de la distribution Bonnefond comprend deux parties distinctes réglant : l'une l'échappement et l'introduction de la vapeur, l'autre la fermeture de l'admission, c'est-à-dire la détente. La première partie, fonctionnant comme une distribution ordinaire à coulisse qui serait toujours placée à fond de course, se compose d'un excentrique dont la bielle actionne une coulisse suspendue au bâti par son milieu ; la bielle du coulisseau agit sur l'extrémité d'un balancier vertical dont le point d'oscillation fixé au cylindre est tel que le rapport des bras de levier supérieur et inférieur est de $\frac{300}{355}$. A l'extrémité inférieure du balancier est articulée la tige des tiroirs-piston d'échappement, qui sont ainsi conduits par un excentrique simple et ne produiraient ni échappement anticipé ni compression, (réserve faite des perturbations dues à l'obliquité des bielles) s'il n'y avait un découvrement du côté de l'arête par laquelle s'écoule la vapeur d'échappement et si les lumières ne se trouvaient à une certaine distance (87 millim.) des fonds du cylindre. L'échappement anticipé est réglé par le découvrement des pistons distributeurs et la compression commence lorsque le piston moteur vient obturer les lumières. En fait l'échappement anticipé est de 5,85 % de la course et la compression, y compris le refoulement, de 9,33 %, pour tous les crans de marche avant et arrière.

(1) Voir le numéro de Mai 1903 de la *Revue Générale*.

Fig. 1



Fig, 2.



A l'extrémité supérieure du balancier est articulée une bielle conduisant, par l'intermédiaire d'un dispositif à déclic, les tiroirs plats d'admission avant et arrière placés dans des boîtes à vapeur distinctes mais communiquant entre elles. Le dispositif consiste en un petit chariot placé entre les deux boîtes à vapeur, mû par l'extrémité de la bielle du balancier et portant deux cliquets verticaux munis chacun d'une touche horizontale laquelle se trouve vis-à-vis d'une touche analogue formant l'extrémité de la tige du tiroir. Les touches du cliquet sont normalement maintenues dans la position horizontale, c'est-à-dire en prise avec les touches des tiges de tiroir, au moyen de ressorts en spirale. La tige de tiroir est aussi munie d'un ressort de rappel en spirale qui tend à appuyer sa touche contre la touche de cliquet correspondante. Les tiroirs d'admission seraient donc, comme ceux d'échappement, conduits par un excentrique simple et il n'y aurait pas de détente, si les touches restaient constamment en prise. Mais les cliquets viennent à un moment donné de la course heurter les hélices de déclenchement portées par une tige spéciale placée au-dessus d'eux et dite « tige de détente », laquelle se meut horizontalement, comme le piston moteur, avec une course réduite, par l'intermédiaire d'un pendule articulé sur la crosse du piston et semblable au levier d'avance de la distribution Walschaert, mais avec articulation supérieure fixe sur le bâti. Grâce à ce déclic, la touche d'un cliquet échappe au contact de la tige du tiroir et celui-ci, repoussé par son ressort de rappel, ferme brusquement l'introduction. Le choc est amorti au moyen d'un piston de retour placé sur la tige du tiroir, lequel piston se meut dans un petit cylindre situé au fond de la boîte à vapeur du côté des touches et ne communiquant avec elle que par un étroit orifice. C'est ce cylindre rempli de vapeur aspirée pendant l'ouverture du tiroir qui forme dash-pot.

La tige de détente peut, au moyen d'un pignon engrenant avec un secteur denté actionné par un arbre et un levier de changement de détente à la disposition du mécanicien, tourner sur elle-même de façon à placer les hélices de déclenchement dans la position convenable pour produire le déclic au moment voulu et obtenir une admission déterminée, variable entre 5 et 73 %. Le renversement de la marche s'obtient au moyen d'un changement de marche ordinaire en déplaçant le coulisseau dans la coulisse.

Cette distribution assurément compliquée a donné lieu, dans les débuts de la mise en service (1893-94) des 20 machines qui en sont munies, à des difficultés pratiques sérieuses, qui ont pu être surmontées à mesure que le personnel s'est familiarisé avec ce mécanisme. D'autre part elle réalise parfaitement, au point de vue de l'emploi économique de la vapeur, les avantages qu'on en attendait. Les machines Bonnefond font depuis plusieurs années un excellent service et sont, comme on le verra par la suite, au moins aussi économiques que les locomotives compound à quatre cylindres.

Ce sont des locomotives d'express à deux essieux accouplés, du type démodé à essieux porteurs à l'avant et à l'arrière. Leurs données caractéristiques sont les suivantes :

Diamètre des roues motrices		$2^{m}020$
Écartement des essieux extrêmes		6,000
Cylindres...	diamètre	0,440
	course du piston	0,650
Timbre		13 kg.
Surface de grille		$1^{m2}91$
Surface de chauffe...	du foyer	$9^{m2}62$
	des tubes	$111^{m2}95$
	totale	$121^{m2}57$
Poids sur les rails de la locomotive en feu..	1er essieu, porteur	$13^{t}700$
	2e » moteur	14,900
	3e » accouplé	14,600
	4e » porteur	5,200
	Total	$48^{t}400$

Les essais ont été effectués sur la locomotive n° 2617, au moyen de l'appareil à relever les diagrammes décrit antérieurement et aux trains indiqués ci-après :

DATE	NUMÉROS DES TRAINS.	TRAJET	TONNAGE REMORQUÉ.	NOMBRE de diagrammes relevés sur le cylindre côté droit avant et arrière.
			tonnes.	
5 Juin 1902.....	86	Bordeaux à Saintes.....	215	46
6 Juin 1902.....	86	Niort à Thouars.....	152	49
11 Juin 1902.....	86	Niort à Thouars.....	150	52
		Nombre total de diagrammes.....		147

Les principaux résultats déduits de ces diagrammes sont reproduits dans le tableau A.

2. — Circulation de la vapeur.

Chute de pression de la chaudière à la boîte à vapeur. — Le régulateur est du type ordinaire à double tiroir plat (petit et grand régulateur). Des divisions numérotées avaient été tracées sur le secteur du levier afin de pouvoir noter les ouvertures. Comme l'indique le tableau suivant, les sections de passage de la vapeur sont différentes pour une même position du levier suivant qu'on a manœuvré celui-ci dans le sens de l'ouverture ou dans le sens de la fermeture.

DIVISIONS DU SECTEUR.	SECTIONS EN CENTIMÈTRES CARRÉS quand le levier est manœuvré à partir de sa position de fermeture.	SECTIONS EN CENTIMÈTRES CARRÉS quand le levier est manœuvré à partir de sa position extrême d'ouverture.
0	régulateur fermé.	régulateur fermé.
1	6,60	41,00
2	6,60	70,50
3	20,30	84,00
4	36,50	87,50
5	49,50	87,50
6	62,50	90,50
7	79,00	92,00
8	94,00	94,00

Le volume total des tuyaux et des boîtes à vapeur des deux cylindres est de 112 litres.

L'oscillation de la pression dans la boîte à vapeur est faible, 1/2 kg. au plus, même quand le régulateur est ouvert en grand (voir les diagrammes N°s 212, 149, 125 etc. fig. 3) et pour des vitesses au plus égales à 100 kilomètres à l'heure. Quand le petit régulateur est seul ouvert (6^{cm2},60 de section) la chute de pression entre la chaudière et la boîte à vapeur atteint 8 kg. à 80 kilomètres à l'heure ; la pression dans la boîte à vapeur et sur le piston n'est donc dans ce cas que de 4 à 5 kg. Lorsque la section d'ouverture atteint 50^{cm2}, il n'y a pas de chute de pression appréciable même aux grandes vitesses. Il n'y a donc aucun intérêt à ouvrir complètement le régulateur.

Tableau A. — Locomotive n° 2617, effort moteur et consommation de vapeur.

Train 86 du 5 juin 1902.

N°s des diagrammes	Points kilométriques où les diagrammes ont été relevés	Vitesse en kilomètres à l'heure	Admission % de la course	Pression effective de régime dans la boîte à vapeur — kilogr. par cm2	Contre-pression à l'échappement — kilogr. par cm2	Effort moteur indiqué — kilogr.	Puissance indiquée en chevaux-vapeur	Consommation par cheval et par heure			Consommation de vapeur par kilomètre — kilogr.	Consommation d'eau par heure — kilogr.	Vaporisation par m2 de surface de chauffe et par heure — kilogr.	Consommation de charbon par m2 de grille et par heure — kilogr.
								de vapeur indiquée — kilogr.	de vapeur condensée — kilogr.	de vapeur totale — kilogr.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	573,5	14	65	8,0	0,15	4.119	229	11,58	3,82	15,40	235	3.290	27,1	254
2	572,4	45	25	12,2	0,50	3.245	539	8,34	2,24	10,58	127	5.715	47	441
3	570,5	58	25	11,0	0,60	3.069	660	8,78	2,26	11,04	126	7.308	60,1	564
4	569,5	64	25	10,0	0,40	2.397	571	8,46	2,78	11,24	99,7	6.380	52,5	493
5	568,0	64	22	10,2	0,50	2.387	568	8,36	2,70	11,06	97,5	6.240	51,3	482
6	565,5	73	25	11,3	0,65	2.545	687	8,15	2,43	10,58	99,4	7.250	59,6	560
7	564,7	70	25	11,3	0,65	2.546	659	8,49	2,56	11,05	104	7.280	59,9	562
8	562,5	65	25	11,5	0,60	2.777	666	8,30	2,43	10,73	110	7.150	58,8	552
9	560,8	70	22	12,2	0,50	2.454	636	8,25	2,71	10,96	99,4	6.950	57,2	537
10	559,2	74	22	12,0	0,65	2.573	705	8,31	2,30	10,61	101	7.470	61,4	577
11	557,8	69	22	12,6	0,60	2.405	613	8,10	2,91	11,01	98	6.760	55,6	522
12	556,7	74	22	12,0	0,65	2.508	687	8,73	2,51	11,24	104,4	7.730	63,6	597
13	554,8	73	28	6,3	0,40	1.420	383	9,86	3,13	12,99	68	4.970	40,9	383
14	553,0	66	25	12,2	0,80	2.804	685	8,63	2,50	11,13	115,6	7.630	62,8	589
15	551,8	70	20	11,8	0,60	2.130	552	7,84	3,04	10,88	85,8	6.000	49,3	464
16	549,0	80	30	6,0	0,50	1.369	405	10,06	3,09	13,15	66,4	5.310	43,7	410
17	547,4	75	15	12,8	0,70	2.249	623	7,94	2,81	10,75	89,6	6.720	55,3	519
18	545,7	63	15	13,1	0,60	2.260	527	7,83	3,25	11,08	87,9	5.540	45,6	428
19	544,6	71	18	12,5	0,60	2.149	563	7,68	2,84	10,52	77,5	5.500	45,2	425
20	543,2	82	18	13,0	0,70	2.268	687	7,93	2,70	10,63	89,5	7.340	60,4	567
21	534,5	15	25	12,5	0,40	3.747	208	7,77	3,75	11,52	155	2.320	19,1	180
22	533,8	48	25	12,8	0,60	3.234	572	7,86	2,52	10,38	124	5.950	49	460
23	532,8	62	22	13,1	0,85	2.925	672	8,29	2,44	10,73	116	7.190	59,1	555
24	531,6	70	22	12,8	0,70	2.804	726	8,52	2,40	10,92	114	7.980	65,6	616
25	529,5	83	22	12,0	0,60	2.324	713	8,77	2,67	11,44	98,7	8.190	67,4	633
26	528,4	85	25	10,8	0,80	2.125	667	9,61	2,60	12,21	96,1	8.170	67.2	631
27	523,2	69	12	11,4	0,50	1.862	475	8,26	3,30	11,56	72,6	5.010	41,2	387
28	521,3	80	22	11,4	0,65	2.296	679	8,96	2,61	11,57	98,5	7.880	64,8	608
29	519,7	84	22	11,5	0,70	2.139	663	8,18	2,64	10,82	85,7	7.200	59,2	556
30	518,3	81	20	12,5	0,90	2.239	669	8,71	2,58	11,29	94	7.610	62,6	588
31	515,4	10	50	12,0	0,30	5.164	191	10,03	3,97	14,00	268	2.680	22	207
32	514,6	52	20	12,0	0,60	2.874	555	7,82	2,65	10,47	111,5	5.800	47,7	448
33	513,0	71	22	12,3	0,80	2.653	695	8,65	2,41	11,06	109	7.740	63,7	598
34	511,0	80	22	10,0	0,90	2.213	655	9,12	2,35	11,47	94	7.520	61,9	581
35	509,0	80	22	11,0	0,80	2.139	633	9,23	2,59	11,82	93,6	7.490	61,6	578
36	508,0	80	22	11,1	0,70	2.069	613	8,80	2,73	11,53	88,8	7.100	58,4	548
37	504,7	70	15	12,0	0,60	1.751	453	7,80	3,64	11,44	74,3	5.200	42,8	402
38	503,5	72	15	11,6	0,50	1.779	474	8,02	3,49	11,51	76	5.470	45	423
39	502,5	74	20	12,0	0,80	2.397	657	8,76	2,73	11,49	102	7.550	62,1	583
40	501,1	10	50	12,8	0,20	5.291	196	9,73	4,10	13,83	271	2.710	22,3	209
41	500,0	54	25	12,7	0,70	3.472	694	8,33	2,33	10,66	137	7.400	60,9	571
42	499,3	70	25	12,5	0,70	3.283	706	8,42	2,13	10,55	128	8.960	73,7	692
43	497,8	73	20	12,0	0,70	2.345	633	8,48	2,67	11,15	97	7,080	58,2	547
44	495,7	14	70	9,2	0,30	4.431	226	11,61	4,17	15,78	259	3.620	29,8	280
45	494,4	50	25	12,0	0,60	3.434	635	7,98	2,25	10,23	130	6.500	53,5	502
46	493,7	50	25	11,7	0,60	3.300	610	8,50	2,28	10,78	132	6.600	54,3	510

Tableau A. — *(Suite)*

Nos des diagrammes	Points kilométriques où les diagrammes ont été relevés	Vitesse en kilomètres à l'heure	Admission % de la course	Pression effective de régime dans la boîte à vapeur — kilogr. par cm2	Contre-pression à l'échappement — kilogr. par cm2	Effort moteur indiqué — kilogr.	Puissance indiquée en chevaux-vapeur	Consommation par cheval et par heure			Consommation de vapeur par kilomètre — kilogr.	Consommation d'eau par heure — kilogr.	Vaporisation par m2 de surface de chauffe et par heure — kilogr.	Consommation de charbon par m2 de grille et par heure — kilogr.
								de vapeur indiquée — kilogr.	de vapeur condensée — kilogr.	de vapeur totale — kilogr.				
1	2	3	4	5	6	7	2	9	10	11	12	13	14	15
Train 86 du 6 juin 1902.														
101	414,2	5	20	12,5	0,35	3.500	64	7,34	2,92	10,26	133	723	5,9	53
102	413,3	40	25	13,0	0,35	3.821	561	7,86	2,46	10,32	146	6.350	52,2	468
103	412,4	49	25	12,5	0,50	3.452	625	7,84	2,36	10,20	130,5	6.960	57,2	513
104	411,5	50	28	12,5	0,70	3.535	654	8,15	2,21	10,36	136	7.400	60,9	545
105	410,5	53	30	12,8	0,70	3.583	702	8,67	2,10	10,77	143	8.240	67,8	608
106	409,5	65	20	13,0	0,50	2.794	671	7,43	2,62	10,05	104	7.350	60,4	542
107	408,3	62	18	12,3	0,50	2.425	558	7,98	2,95	10,93	98,3	6.630	54,6	489
108	403,7	65	20	11,0	0,50	2.420	581	8,11	2,83	10,94	98	6.930	57,0	511
109	402,7	58	20	12,7	0,65	2.612	561	7,69	2,83	10,51	101,7	6.420	52,8	473
110	401,7	54	25	13,0	0,70	3.441	687	8,30	2,24	10,54	134,4	7.900	65	582
111	400,6	52	25	12,3	0,70	3.124	603	8,44	2,41	10,85	125,7	7.110	58,5	524
112	399,7	56	25	12,5	0,70	3.265	679	8,04	2,25	10,29	124,3	7.570	62,3	558
113	398,8	57	20	13,0	0,70	3.070	651	7,64	2,43	10,07	114,6	7.110	58,5	524
114	397,9	59	22	12,7	0,70	2.976	652	7,98	2,41	10,39	114,4	7.340	60,4	544
115	396,9	58	22	13,0	0,80	3.036	653	7,94	2,40	10,34	116,2	7.330	60,3	541
116	395,9	59	22	13,0	0,80	3.023	662	8,02	2,41	10,43	116,7	7.490	61,6	552
117	394,9	64	30	10,8	0,80	2.750	652	9,00	1,74	10,74	109,4	7.620	62,7	562
118	392,9	57	30	10,3	1,00	2.641	560	8,92	2,24	11,16	109,1	6.770	55,7	499
119	392,0	51	30	10,4	0,70	2.977	563	8,73	2,32	11,05	121,8	6.760	55,6	498
120	391,2	50	30	11	0,70	3.121	577	8,42	2,28	10,70	124	6.740	55,4	497
121	389,8	50	28	12	0,80	3.273	606	8,27	2,26	10,53	126,4	6.870	56,5	507
122	389,1	51	28	12,5	0,90	3.387	640	8,61	2,15	10,76	135,1	7.500	61,7	553
123	387,9	55	28	13	1,10	3.556	725	8,83	1,98	10,81	142,3	8.510	70	628
124	387,0	54	25	13	1,00	3.405	681	8,67	2,07	10,74	135,7	7.970	65,6	588
125	386,2	53	25	13	1,00	3.302	648	8,30	2,17	10,47	128	7.380	60,7	545
126	380,0	71	20	10,8	0,80	2.056	539	8,81	2,66	11,47	87,2	6.730	55,4	497
127	379,1	70	35	5,6	0,60	1.278	331	12,20	3,16	15,36	72,6	5.530	45,5	408
128	374,5	79	14	11,5	1,00	1.823	533	9,42	3,01	12,43	83	7.130	58,6	526
129	373,1	60	20	12,4	0,90	2.295	510	8,89	2,82	11,71	99,4	6.490	53,4	478
130	370,0	10	20	13,2	0,60	3.432	126	7,79	2,96	10,75	136,7	1.510	12,4	111
131	368,4	70	20	13	0,80	2.480	642	8,37	2,71	11,08	101,7	7.880	64,8	581
132	367,3	75	20	13	0,80	2.286	549	8,09	3,02	11,11	94	6.760	55,6	499
133	366,0	82	12	11,8	0,70	1.833	555	8,32	3,21	11,53	78,2	7.100	58,4	523
134	363,6	86	50	3,3	0,40	762	243	14,00	3,58	17,58	49,6	4.720	38,8	348
135	361,9	90	18	11,4	0,90	1.918	639	9,07	2,66	11,73	82,1	8.180	67,3	603
136	360,4	94	18	11	1,00	1.732	603	9,07	2,75	11,82	75,3	7.830	64,4	577
137	359,2	91	18	11,2	1,00	1.763	592	8,91	2,74	11,65	75,8	7.630	62,8	561
138	351,6	76	45	4,2	0,50	1.020	287	13,60	3,12	16,72	63,3	5.320	43,8	393
139	348,7	57	20	11,6	0,80	2.442	518	8,15	2,81	10,96	99,2	6.050	49,8	445
140	347,3	77	18	11	0,80	1.936	552	8,69	2,85	11,54	82,8	6.830	56,2	503
141	345,6	81	20	10,8	0,70	2.161	646	8,12	2,56	10,68	85,6	7.420	61	548
142	344,4	68	20	12,7	0,80	2.490	628	8,20	2,61	10,81	99,6	7.250	59,6	535
143	343,2	81	20	12,5	1,20	2.268	678	8,16	2,44	10,60	89	7.720	63,5	569
144	341,3	68	20	13,2	0,60	2.327	587	7,59	2,98	10,44	89,9	6.550	53,9	483
145	339,3	85	20	12,1	1,00	2.155	676	8,38	2,43	10,81	86,4	7.870	64,7	580
146	337,3	91	20	13	0,90	1.823	613	8,77	2,98	11,75	79	7.700	63,3	568
147	335,1	89	20	13	1,00	2.042	672	8,43	2,66	11,09	83,3	7.940	65,3	585
148	333,5	91	20	13	1,00	2.321	780	8,32	2,37	10,69	92	8.960	73,7	661
149	332,2	90	20	12,5	1,00	1.940	646	9,50	2,68	12,18	87,4	8.420	69,2	621

Tableau A. — *(Suite).*

Train 86 du 11 juin 1902.

Nos des diagrammes	Points kilométriques où les diagrammes ont été relevés	Vitesse en kilomètres à l'heure	Admission % de la course	Pression effective de régime dans la boite à vapeur — kilogr. par cm2	Contre-pression à l'échappement — kilogr. par cm2	Effort moteur indiqué — kilogr.	Puissance indiquée en chevaux-vapeur	Consommation par cheval et par heure			Consommation de vapeur par kilomètre — kilogr.	Consommation d'eau par heure — kilogr.	Vaporisation par m2 de surface de chauffe et par heure — kilogr.	Consommation de charbon par m2 de grille et par heure — kilogr.
								de vapeur indiquée — kilogr.	de vapeur condensée — kilogr.	de vapeur totale — kilogr.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
201														
202	414,4	19	65	10,8	0,30	5.008	346	11,00	3,06	14,06	258	5.270	43,4	363
203	413,8	33	28	12,5	0,20	3.691	446	7,98	3,38	11,,6	155	5.500	45,2	379
204	412,9	44	25	12,8	0,40	3.501	571	7,66	2,77	10,43	135	6.390	52,6	440
205	411,7	49	30	13	0,50	3.641	659	8,37	2,60	10,97	147	7.750	63,7	533
206	410,7	51	25	12,9	0,50	3.433	649	7,66	2,56	10,22	129	7.070	58,2	487
207	409,5	62	22	12,5	0,60	2.500	575	8,04	3,00	11,04	101,8	6.790	55,8	467
208	408,4	63	22	12,2	0,45	2.789	650	8,03	2,71	10,74	110,5	7.490	53,4	515
209	404,0	68	23	11,8	0,60	2.379	599	8,22	2,82	11,04	96,7	7.080	58,2	487
210	402,8	56	22	11,8	0,40	2.726	567	7,93	2,73	10,66	107,1	6.450	53,1	444
211	401,8	50	22	12,2	0,50	2.904	538	7,60	2,73	10,33	110,5	5.940	48,9	409
212	401,0	49	22	13	0,50	2.971	538	7,46	2,77	10,23	112	5,900	48,5	406
213	400,3	49	20	13	0,35	3.073	556	7,50	2,74	10,24	116	6.110	50,3	421
214	399,4	51	20	13	0,50	2.943	556	7,77	2,80	10,57	114,6	6.290	51,7	433
215	398,4	54	22	12,8	0,50	2.949	589	7,96	2,57	10,53	114,4	6.640	54,6	457
216	396,7	56	22	12,8	0,50	3.004	625	8,08	2,53	10,61	117,4	7.070	58,2	487
217	395,9	58	25	12	0,50	2.737	588	8,38	2,60	10,98	111	6.930	57	477
218	394,6	63	22	12	0,80	2.378	554	8,02	2,84	10,86	95,2	6.450	53,1	444
219	393,5	57	20	12,5	0,60	2.518	534	7,65	2,96	10,61	98,5	6.040	49,7	415
220	392,4	50	20	13	0,60	3.018	558	7,72	2,66	10,38	115,4	6.210	51,1	427
221	391,4	47	20	13	0,50	3.013	524	7,54	2,82	10,36	115,1	5.820	47,9	400
222	390,2	45	20	13	0,45	2.970	493	7,67	3,00	10,67	116,6	5.650	46,5	388
223	389,3	45	20	13	0,50	2.933	487	7,78	3,01	10,79	116,5	5.640	46,4	388
224	388,4	45	25	12,6	0,50	3.246	539	8,05	2,61	10,66	127,5	6.170	50,7	425
225	387,6	45	25	13	0,60	3.188	529	8,00	2,77	10,77	126,4	6.120	50,3	421
226	387,0	45	25	12,8	0,60	3.217	534	7,86	2,75	10,61	126	6.100	50,2	420
227	385,8	47	10	12,4	0;35	2.008	350	7,40	3,81	11,21	80,6	4.070	33,5	280
228	380,5	72	22	10	0,60	1.892	503	8,02	2,98	11,00	76,8	5.950	48,9	409
229	374,6	76	22	10,3	0,65	2.269	637	8,36	2,42	10,78	90,1	7.370	60,6	507
230	373,3	60	22	11,6	0,50	2.435	540	8,02	2,93	10,95	98,2	6.340	52,1	436
231	370,2	11	55	9	0,20	4.054	162	10,34	4,37	14,71	219,8	2.810	23,1	193
232	369,2	52	25	11,3	0,60	2.583	496	8,10	3,11	11,21	106,6	6.450	53,1	443
233	368,3	58	25	10,5	0,60	2.270	488	8,40	3,11	11,51	96,3	6.490	53,4	447
234	367,3	55	25	11	0,60	2.343	478	8,29	3,17	11,46	99	6.330	52,1	436
235	363,7	81	50	4	0,35	1.014	303	14,26	4,13	18,39	68,4	6.440	53	443
236	362,0	77	50	3,6	0,35	903	258	15,24	4,12	19,36	64,3	5.760	47,4	396
237	361,0	80	50	4	0,35	1.012	300	14,60	4,14	18,74	69,8	6.490	53,4	446
238	359,3	77	50	4	0,40	1.004	286	14,34	4,17	18,51	68,4	6.120	50,3	421
239	349,5	5	60	7,5	0,30	3.394	120	10,94	5,35	16,29	203,9	1.030	8,4	70
240	349,1	38	22	12	0,40	2.574	360	7,96	3,72	11,68	110,8	4.240	34,9	292
241	348,2	63	22	11,4	0,60	2.000	466	8,29	3,37	11,66	86	5.450	44,8	375
242	347,0	76	22	10	0,60	1.935	544	8,47	2,87	11,34	81,1	6.210	51,1	427
243	345,7	79	22	10,3	0,60	1.899	554	8,11	3,01	11,12	77,7	6.180	50,8	425
244	344,4	76	22	10,5	0,60	1.963	551	8,16	3,03	11,19	81,2	6.210	51,1	428
245	343,4	73	22	10	0,70	2.101	567	8,63	2,64	11,27	87,3	6.420	52,8	441
246	342,4	71	22	10,5	0,60	2.246	588	8,33	2,68	11,01	91,3	6.520	53,6	449
247	341,3	65	25	9,4	0,70	2.185	524	8,61	2,79	11,40	92,4	6.050	49,8	416
248	336,7	72	40	5	0,40	1.204	320	10,50	4,09	14,59	70,3	5.100	42	351
249	335,7	73	40	4,3	0,40	1.123	303	12,21	3,88	16,09	66,3	4.880	40,1	335
250	334,0	73	40	4,6	0,40	1.168	315	11,83	3,91	15,74	67,3	4.950	40,7	340
251	333,0	71	20	12	0,60	1.936	507	7,88	3,39	11,27	80,4	5.750	47,3	395
252	331,8	73	20	10,7	0,70	2.090	564	8,09	2,85	10,95	84,3	6.200	51	426
		82	20	10,3	0,70	1.739	527	8,91	3,08	11,99	76,1	6.280	51,7	432

Laminage pendant l'admission. — Le mécanisme de changement de détente permet de faire varier le degré d'admission par centièmes de la course du piston. Les tiroirs d'admission sont à double entrée. La longueur totalisée des lumières est de $280^{m}/_{m}$; leur largeur de $35^{m}/_{m}$. L'ouverture maxima des lumières et la section correspondante sont indiquées ci-après :

	DIVISIONS DE LA RÈGLE								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Admission en centièmes de course.....	5	8,9	14,2	21 »	28,5	36,4	47,8	59,6	71,7
Ouverture maxima en millimètres.....	18 »	21 »	24 »	27,2	29,2	30,7	31,7	32 »	32 »
Section correspondante en centimètres carrés.	50,40	58,40	67,20	76 16	81,76	85,96	88,76	89,60	89,60

On voit que, même pour une très faible admission, l'ouverture des lumières est déjà relativement grande. En outre, grâce au déclic, le tiroir se ferme rapidement. Aussi la chute de pression entre la boîte à vapeur et le cylindre, à la fin de l'admission est-elle très faible, de 1 à 2 kg. seulement, soit 10 à 15 %, tout au moins jusqu'à 70 kilomètres à l'heure (diagrammes N°s 101 à 142 et 226 à 123 de la Figure 3). On remarque sur les diagrammes, lorsque la vitesse est un peu élevée, une dépression peu après le commencement de l'admisssion ; cette dépression se produit lorsque le piston moteur, arrivé à 9,33 % de sa course, découvre le conduit d'échappement dont le volume n'est pas tout-à-fait égal à deux litres.

Lorsque la vitesse dépasse 70 kilomètres, le laminage semble s'accroître très vite, mais il n'est plus susceptible d'évaluation d'après des règles précises, car on ne connaît plus exactement la loi d'ouverture des lumières. On a constaté depuis longtemps sur les machines fixes à déclic que, lorsque la vitesse dépasse 120 tours à la minute, il y a un retard à l'ouverture et à la fermeture des distributeurs ainsi qu'une diminution de leur ouverture. Le retard à l'admission est mis parfaitement en évidence sur le diagramme N° 149 (Fig. 3) à 90 kilomètres à l'heure, soit 236 tours à la minute. Le trouble dans le fonctionnement de la distribution n'est pas appréciable jusqu'à 70 kilomètres à l'heure, c'est-à-dire jusqu'à 180 tours par minute. La pratique des machines Bonnefond montre donc que, au point de vue mécanique, le déclic et les organes élastiques qui en sont la conséquence ne conviennent pas à une distribution pour locomotives, la vitesse dépassant normalement 200 tours à la minute.

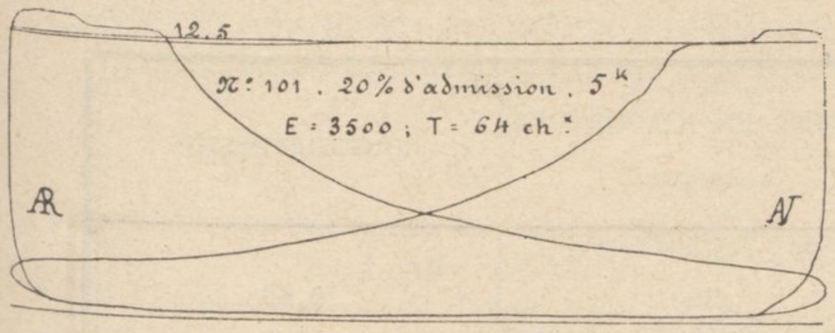
Contrepression. — La contrepression obéit à des règles assez complexes, d'autant plus difficiles à saisir qu'elle varie en somme entre d'assez faibles limites. Elle dépend de l'ouverture du régulateur, du degré d'admission, de la vitesse et surtout du serrage de l'échappement variable. Lorsque l'échappement est serré à fond, la section de la valve est de 40^{cm2} ;

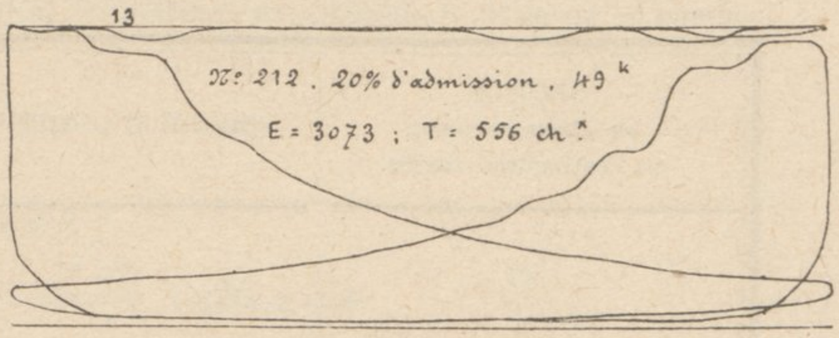
Pour un desserrage d'un tour de volant, la section est de..... 47^{cm2}
— de deux tours — ..... 90^{cm2}
— de trois tours (échappement ouvert en grand)..... 111^{cm2}

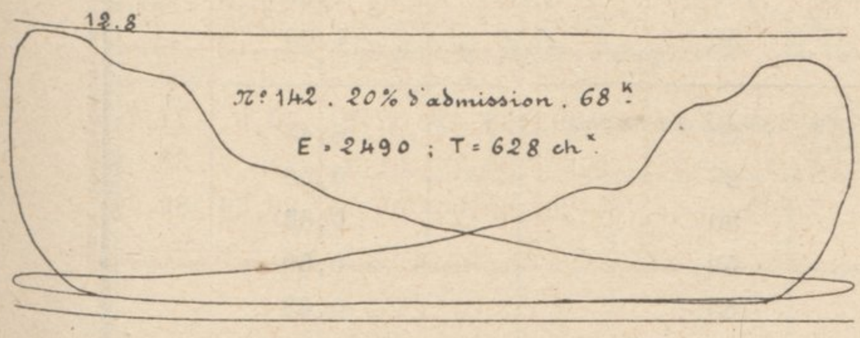
Dans les trains expérimentés, assez durs pour la machine 2617, surtout le train 86 de Bordeaux à Saintes où la vitesse de marche a presque constamment dépassé 70 kilomètres à l'heure avec un tonnage de 215 tonnes, le serrage de l'échappement a varié de 8/10 de tour à 2 tours et par suite la section de 45^{cm2} à 90^{cm2}.

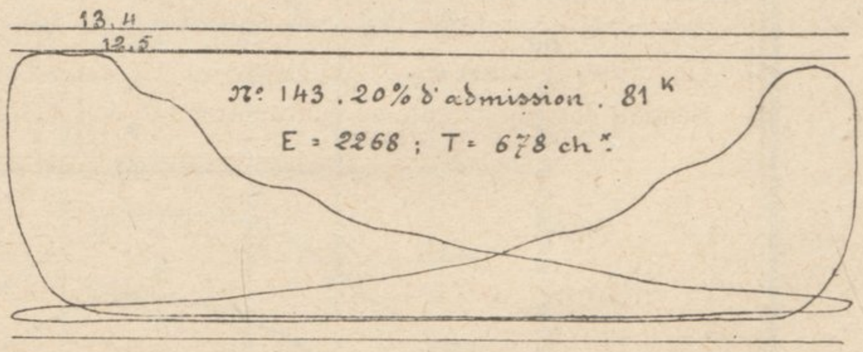
Quant à la section des lumières d'échappement du cylindre, elle est de 116^{cm2}.

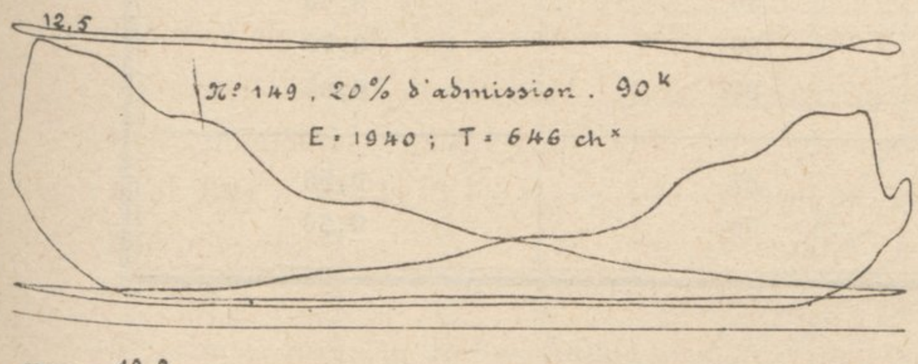
Fig. 3.

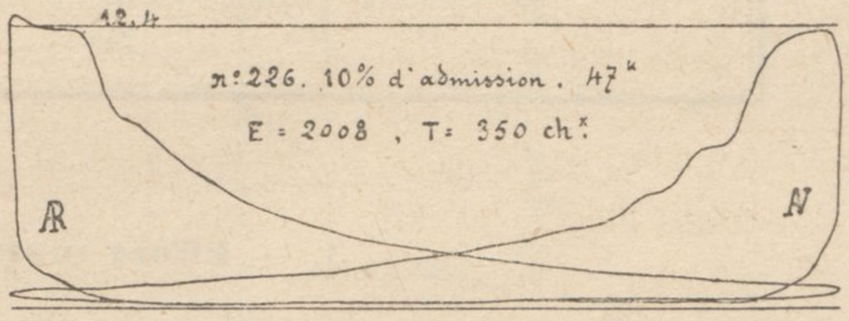

12.5
n° 101 . 20% d'admission . 5 k
E = 3500 ; T = 64 ch x
R
V

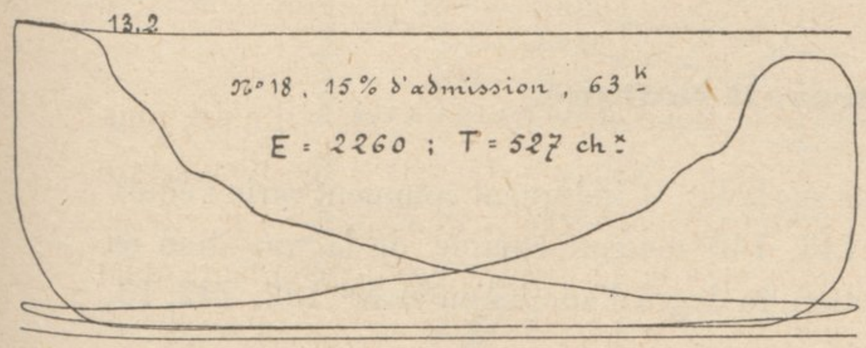

13
n° 212 . 20% d'admission . 49 k
E = 3073 ; T = 556 ch x

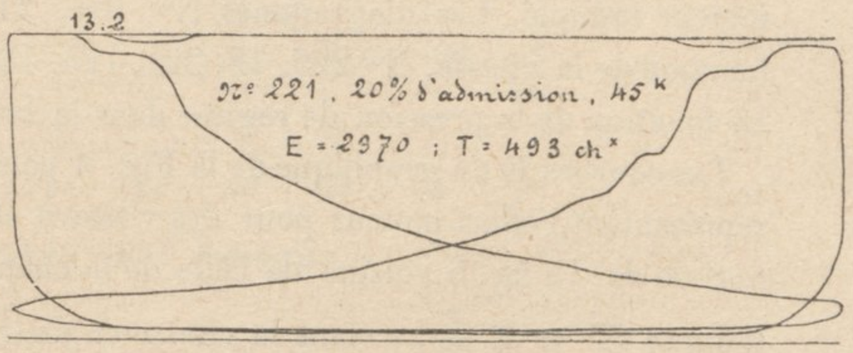

12.8
n° 142 . 20% d'admission . 68 k
E = 2490 ; T = 628 ch x

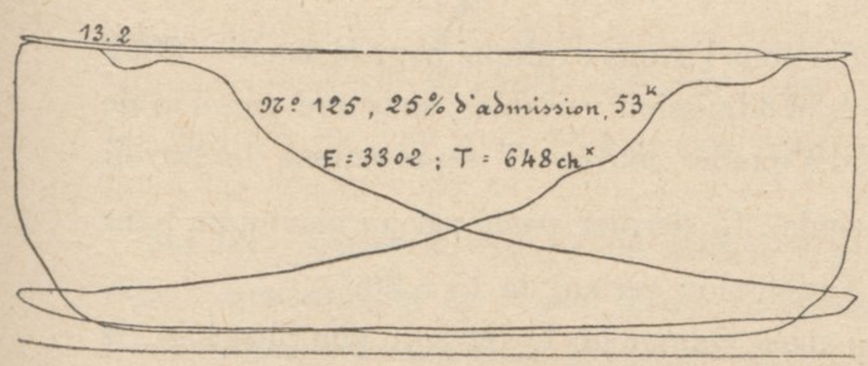

13.4
12.5
n° 143 . 20% d'admission . 81 k
E = 2268 ; T = 678 ch x

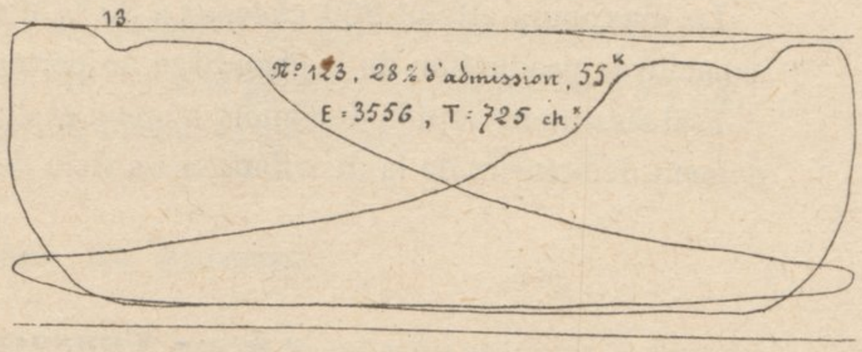

12.5
n° 149 . 20% d'admission . 90 k
E = 1940 ; T = 646 ch x

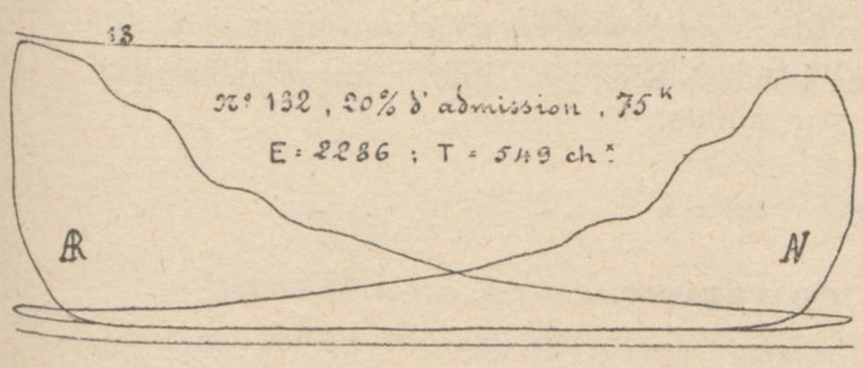

12.4
n° 226 . 10% d'admission . 47 k
E = 2008 , T = 350 ch x
R
N

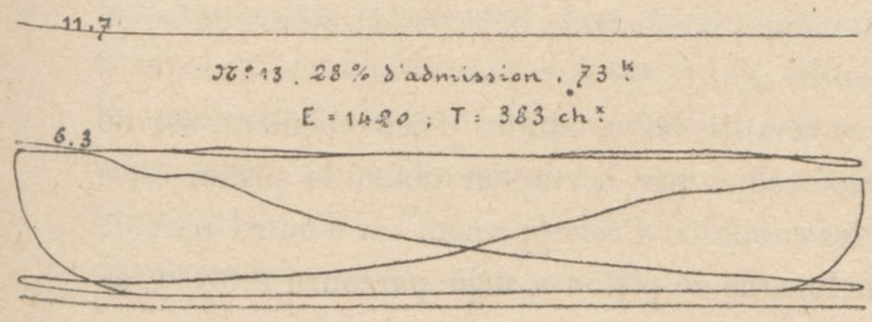

13.2
n° 18 . 15% d'admission , 63 k
E = 2260 ; T = 527 ch x

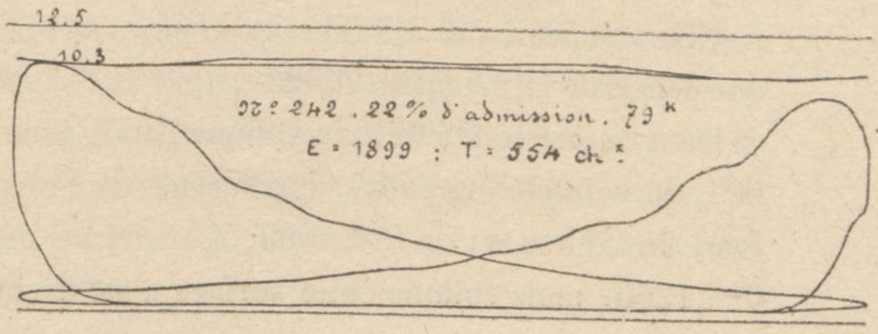

13.2
n° 221 . 20% d'admission , 45 k
E = 2970 ; T = 493 ch x


13.2
n° 125 , 25% d'admission, 53 k
E = 3302 ; T = 648 ch x


13
n° 123 . 28% d'admission , 55 k
E = 3556 , T = 725 ch x


13
n° 132 , 20% d'admission , 75 k
E = 2286 ; T = 549 ch x
R
N


11.7
n° 13 . 28% d'admission , 73 k
E = 1420 ; T = 383 ch x
6.3


12.5
10.3
n° 242 . 22% d'admission . 79 k
E = 1899 ; T = 554 ch x

Les valeurs moyennes de la contrepression sont indiquées dans le tableau suivant :

SECTION DE L'ÉCHAPPEMENT. en centimétres carrés.	DEGRÉ D'ADMISSION	VITESSE EN KILOMÈTRES A L'HEURE.	CONTREPRESSION
47	16 %	60	0,60
»	»	100	1,00
»	25	50	1,00
60	16	50	0,45
»	»	65	0,50
»	»	80	0,65
»	20	50	0,50
»	»	65	0,60
»	»	80	0,70
»	25	50	0,70
»	»	65	0,85
90	20	65	0,50
»	25	50	0,60

3. — Effort moteur et travail indiqué.

La colonne 7 du tableau A et les diagrammes reproduits sur la fig, 3 indiquent comment varie l'effort moteur indiqué. Les diagrammes N°s 101, 212, 142, 143, 149 rendent compte de la variation en fonction de la vitesse, N°s 226, 18, 221, 125, 123, en fonction du degré d'admission et N°s 132, 242, 13, en fonction de la pression de régime dans la boîte à vapeur.

Les courbes E du graphique de la Fig. 4 construit comme nous l'avons expliqué pour la machine 2802 représentent l'effort moteur pour des vitesses et des degrés d'admission variables, sous une pression de régime de 12 kg. 5 voisine de celle de la chaudière, tandis que les courbes T représentent le travail indiqué ($T = E\frac{v}{75}$, v étant la vitesse en mètres par seconde). Ce dernier passe par un maximum pour une vitesse comprise entre 75 et 90 kilomètres à l'heure, l'admission variant de 15 à 30 %.

Le maximum atteint 860 chevaux à 30 % d'admission ; mais comme on le verra un peu plus loin, la capacité de production de la chaudière ne permet pas de dépasser 700 chevaux.

L'abaissement rapide de l'effort moteur et du travail indiqué aux grandes vitesses tient au fonctionnement défectueux de la distribution au delà de 180 tours par minute.

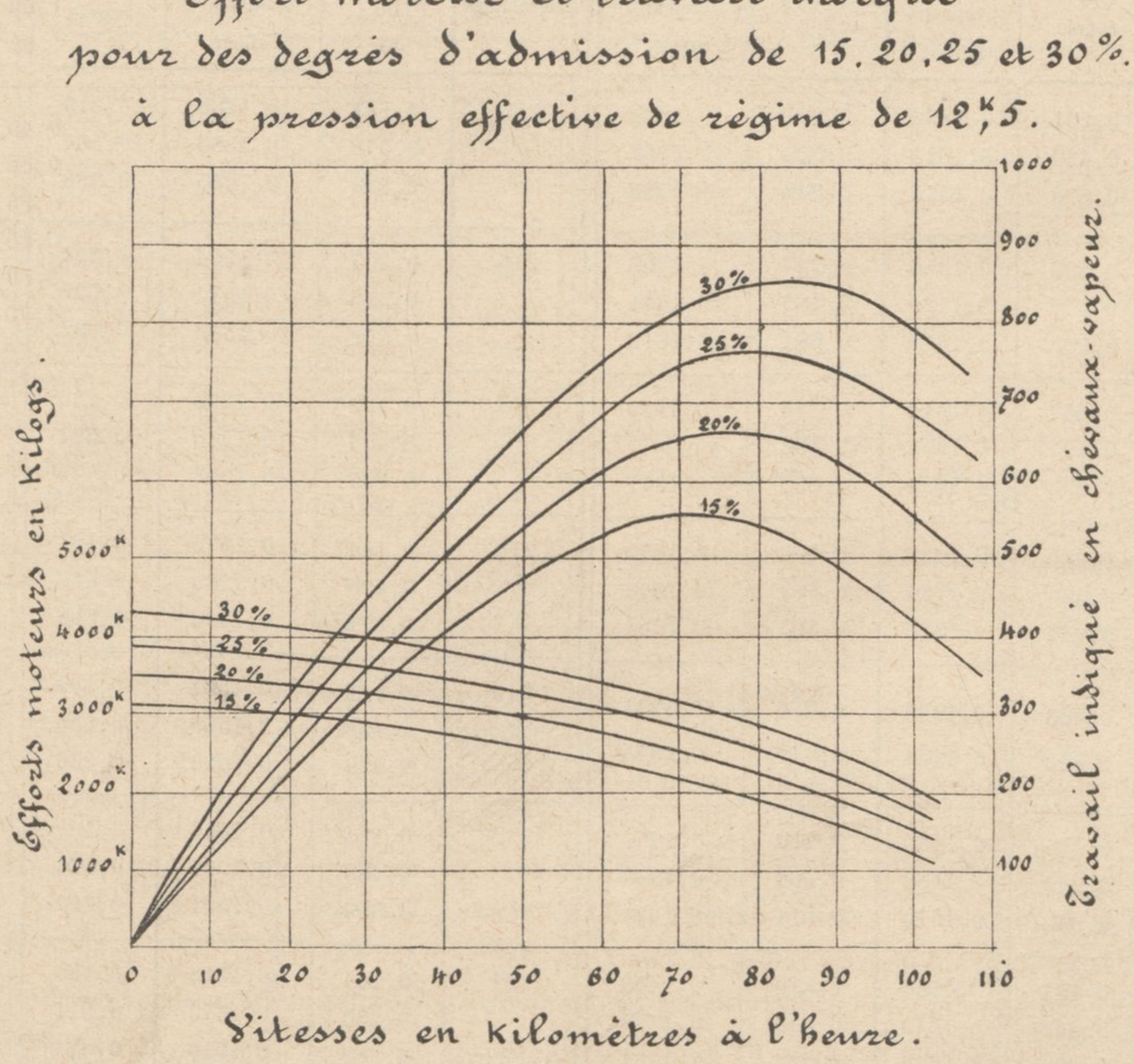
4. — Consommation de vapeur.

Elle a été calculée à l'aide des mêmes formules et des mêmes coefficients des condensations qu'en ce qui concerne la machine 2802.

Dans la machine 2617, le volume de l'espace nuisible, y compris les conduites d'échappement, est de 6 % du volume engendré. La surface de l'espace nuisible occupé par la vapeur quand le piston est à fond de course est de $0^{m2},5007$. La surface de chacun des conduits d'ééhappement est d'autre part de $0^{m2},1265$. mais comme cette surface n'est découverte que lorsque le piston a déjà parcouru 9,33 % de

sa course, elle ne reste au contact de la vapeur vive d'admission que pendant la moitié environ de la durée de cette phase ; son activité condensante est diminuée d'autant et assimilable à celle de la portion cylindrique découverte pendant l'admission.

Fig. 4.



Sur les colonnes 9, 10, 11 du tableau A sont indiquées, les consommations de vapeur apparente, de vapeur condensée et de vapeur totale par cheval et par heure. Celle-ci varie de 10 kg. 5 à 11 kg. entre 50 et 70 km. à l'heure et de 11 kg. à 11 kg. 5 aux vitesses supérieures à 70 km. ou inférieures à 50 km. Dans la marche au petit régulateur avec admission allongée (40 %), une pression de régime de 4 à 5 kg., à grande vitesse (80 km.), la consommation atteint 15 kg. par cheval et par heure.

5. — Forme de la courbe de détente.

Le tableau B donne la variation de la quantité de vapeur présente dans le cylindre pendant la détente (diagrammes du train 86 du 11 juin). Dans la cylindrée d'arrière le poids de vapeur augmente légèrement pendant la détente ; dans la cylindrée avant, il reste sensiblement constant. Il se dégage de ces chiffres cette conclusion que la courbe de détente n'est pas adiabatique, mais se rapproche beaucoup de la courbe de Mariotte : $p\,v =$ constante ; dans celle-ci en effet le poids de vapeur apparente augmente légèrement. La condensation de vapeur due au travail produit est donc un peu plus qu'équilibrée par la réévaporation de l'eau déposée sur les parois. Les tiroirs plats d'admission et les tiroirs-piston d'échappement, soigneusement ajustés, étaient d'ailleurs étanches.

Tableau B. — VARIATION DE LA QUANTITÉ DE VAPEUR PRÉSENTE DANS LE CYLINDRE PENDANT LA DÉTENTE (diagrammes du train 86 du 11 Juin).

NUMÉROS des diagrammes	Cylindrée arrière		Cylindrée avant		NUMÉROS des diagrammes	Cylindrée arrière		Cylindrée avant	
	fraction de course	quantité de vapeur kilogr.	fraction de course	quantité de vapeur kilogr.		fraction de course	quantité de vapeur kilogr.	fraction de course	quantité de vapeur kilogr.
202	0,261	0,1852	0,261	0,1823	215	0,191	0,1533	0,219	0,1596
	0,489	0,1811	0,530	0,1767		0,578	0,1588	0,564	0,1547
	0,888	0,1875	0,842	0,1783		0,883	0,1655	0,888	0,1583
203	0,223	0,1656	0,247	0,1756	216	0,207	0,1504	0,221	0,1480
	0,577	0,1720	0,586	0,1761		0,585	0,1512	0,522	0,1455
	0,912	0,1847	0,884	0,1818		0,878	0,1583	0,882	0,1498
204	0,267	0,1914	0,276	0,1939	217	0,185	0,1290	0,203	0,1245
	0,497	0,1955	0,552	»		0,477	0,1310	0,522	0,1220
	0,893	0,1994	0,883	0,1947		0,837	0,1358	0,842	0,1301
205	0,230	0,1687	0,230	0,1673	218	0,164	0,1279	0,191	0,1269
	0,589	0,1784	0,589	0,1660		0,446	0,1269	0,510	0,1222
	0,902	0,1828	0,865	0,1754		0,874	0,1342	0,869	0,1285
206	0,185	0,1300	0,216	0,1331	219	0,193	0,1561	0,189	0,1458
	0,828	0,1344	0,842	0,1345		0,488	0,1559	0,635	0,1490
						0,920	0,1626	0,906	0,1565
207	0,195	0,1430	0,219	0,1456	220	0,184	0,1506	0,181	0,1426
	0,446	0,1430	0,569	0,1348		0,488	0,1501	0,546	0,1437
	0,865	0,1410	0,874	0,1394		0,893	0,1581	0,902	0,1454
209	0,191	0,1368	0,219	0,1433	221	0,184	0,1522	0,180	0,1434
	0,442	0,1419	0,546	0,1395		0,488	0,1575	0,511	0,1438
	0,869	0,1470	0,892	0,1401		0,883	0,1610	0,874	0,1411
210	0,193	0,1437	0,203	0,1405	222	0,184	0,1522	0,180	0,1442
	0,437	0,1524	0,534	0,1426		0,497	0,1585	0,561	0,1491
	0,879	0,1620	0,893	0,1403		0,874	0,1612	0,902	0,1454
211	0,189	0,1448	0,193	0,1412	223	0,226	0,1740	0,212	0,1626
	0,506	0,1545	0,520	0,1438		0,479	0,1751	0,543	0,1668
	0,888	0,1600	0,874	0,1440		0,893	0,1810	0,902	0,1730
212	0,186	0,1510	0,186	0,1453	224	0,212	0,1692	0,203	0,1590
	0,577	0,1567	0,577	5,1416		0,492	0,1714	0,520	0,1620
	0,916	0,1647	0,879	0,1466		0,874	0,1775	0,893	0,1561
213	0,180	0,1437	0,212	0,1520	225	0,212	0,1655	0,212	0,1615
	0,598	0,1555	0,525	0,1450		0,488	0,1702	0,552	0,1620
	0,893	0,1608	0,893	0,1478		0,888	0,1801	0,893	0,1685
214	0,191	0,1498	0,210	0,1534	227	0,189	0,1133	0,198	0,0936
	0,428	0,1567	0,573	0,1501		0,464	0,1142	0,819	0,0990
	0,901	0,1622	0,901	0,1557		0,878	0,1194	»	»

Tableau B (*suite*).

NUMÉROS des diagrammes	Cylindrée arrière		Cylindrée avant	
	fraction de course	quantité de vapeur kilogr.	fraction de course	quantité de vapeur kilogr.
229	0,185 0,495 0,860	0,1287 0,1343 0,1366	0,207 0,549 0,864	0,1274 0,1234 0,1278
230	0,521 0,716 0,882	0,2695 0,2597 0,2508	0,497 0,688 0,912	0,2433 0,2342 0,2381
231	0,207 0,554 0,851	0,1385 0,1439 0,1459	0,216 0,554 0,873	0,1336 0,1353 0,1364
232	0,194 0,545 0,873	0,1242 0,1272 0,1340	0,225 0,549 0,864	0,1272 0,1221 0,1278
233	0,194 0,491 0,864	0,1289 0,1318 0,1345	0,225 0,540 0,837	0,1272 0,1239 0,1267
234	0,445 0,810	0,0960 0,0982	0,467 0,820	0,0953 0,0904
235	0,464 0,873	0,0945 0,0990	0,455 0,842	0,0890 0,0864
236	0,459 0,887	0,1006 0,1014	0,432 0,855	0,0948 0,0958
237	0,454 0,872	0,0977 0,1025	0,472 0,873	0,0941 0,0931
238	0,577 0,865	0,2316 0,2257	0,489 0,921	0,2278 0,2161
239	0,180 0,540 0,882	0,1340 0,1308 0,1390	0,207 0,585 0,882	0,1320 0,1236 0,1313

NUMÉROS des diagrammes	Cylindrée arrière		Cylindrée avant	
	fraction de course	quantité de vapeur kilogr.	fraction de course	quantité de vapeur kilogr.
240	0,212 0,873	0,1204 0,1215	0,216 0,810	0,1020 0,1057
241	0,225 0,864	0,1253 0,1274	0,216 0,828	0,0954 0,1080
242	0,203 0,855	0,1093 0,1165	0,216 0,770	0,0979 0,1025
243	0,194 0,851	0,1174 0,1239	0,207 0,711	0,0981 0,1028
244	0,225 0,842	0,1295 0,1314	0,221 0,824	0,1107 0,1179
245	0,198 0,824	0,1257 0,1304	0,221 0,815	0,1221 0,1236
246	0,234 0,810	0,1378 0,1401	0,225 0,837	0,1129 0,1196
247	0,330 0,846	0,0923 0,1022	0,383 0,855	0,0963 0,0940
248	0,356 0,846	0,0907 0,1022	0,418 0,766	0,0930 0,0930
249	0,326 0,828	0,0905 0,1020	0,396 0,788	0,0941 0,0930
250	0,198 0,828	0,1125 0,1250	0,221 0,756	0,0927 0,0983
251	0,216 0,815	0,1257 0,1325	0,216 0,680	0,1000 0,1067

Tableau C. — Travail moteur totalisé.

TRAJET entre Stations d'arrêt.	Distance totale. km.	Durée totale du parcours en minutes.	Vitesse moyenne en km. à l'heure.	Points kilométriques où le régulateur a été ouvert.	Points kilométriques où le régulateur a été fermé.	Distance parcourue à régulateur ouvert. km.	Durée du parcours à régulateur ouvert en minutes.	Vitesse moyenne en km. à l'heure.	Travail moteur en milliers de kilogram-mètres.	Puissance moyenne en chevaux-vapeur.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Train 86 du 5 Juin 1902.										
St-Mariens à Jonzac.....	37,8	34	66,7	572,8	556,5	16,3	15 6/10	62,7	42.440	604
				555,5	551,3	4,2	3 5/10	72,0	8.150	520
				549,6	542,0	7,6	6 2/10	73,5	15.540	556
Jonzac à Pons.....	19,4	17 4/10	66,9	535,0	528,3	6,7	6 7/10	60	17.800	590
				526,6	525,6	1,0	0 9/10	66,7	2.310	570
				524,3	518,0	6,3	4 8/10	78,6	12.740	590
Pons à Beillant....	14,4	13 4/10	64,5	515,6	507,9	7,7	7 5/10	61,5	18.830	560
				505,8	502,4	3,4	2 9/10	70,2	6.150	470
Beillant à Saintes .. arrêt de l'3/10 au poste [sémaphorique du km. 496).	9,7	13	44,8	501,2	497,5	3,7	4 6/10	48	11.210	541
				496,0	493,2	2,8	3 9/10	43	8.880	506
Totaux et moyennes.	81,3	77 8/10	62,7			59,7	56 6/10	63,3	144.050	565
Train 86 du 6 Juin 1902.										
Niort à Parthenay .. (deux arrêts sur signaux aux kilomètres 372 et 371,1).	44,7	49 8/10	53,8	414,9	407,7	7,2	9 3/10	46,5	23.270	556
				404,5	384,5	20,0	21 2/10	56,6	59.660	625
				380,6	379,0	1,6	1 4/10	68,4	2.810	446
				375,2	372,5	2,7	2 3/10	70,8	5.490	530
				372,0	371,4	0,6	1 6/10	22,5	1.200	166
				371,1	370,6	0,5	1 7/10	18	800	105

NOTA. — Le travail moteur a été notablement plus élevé au train 86 du 6 juin qu'à celui du 11 juin, malgré que le tonnage et les conditions atmosphériques fussent les mêmes. Cela tient à ce que le train du 6 juin a été arrêté deux fois sur signaux, d'où deux démarrages de plus; il a ensuite fait le parcours de Parthenay à Airvault à la vitesse moyenne de 79 km. 8 et d'Airvault à Thouars à la vitesse moyenne de 74 km. 2 tandis que le 11 juin les vitesses moyennes correspondantes n'ont été que de 68 km. 6 et 66 km. 5.

Tableau C. — Travail moteur totalisé (*suite*).

TRAJET entre Stations d'arrêt.	Distance totale. km.	Durée totale du parcours en minutes.	Vitesse moyenne en km. à l'heure.	Points kilométriques où le régulateur a été ouvert.	Points kilométriques où le régulateur a été fermé.	Distance parcourue à régulateur ouvert. km.	Durée du parcours à régulateur ouvert en minutes.	Vitesse moyenne en km. à l'heure.	Travail moteur en milliers de kilogrammètres.	Puissance moyenne en chevaux-vapeur.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Train 86 du 6 Juin 1902 (*suite*).										
Parthenay à Airvault.....	20,6	15 5/10	79,8	370,2	365,2	5,0	4 8/10	62,5	12.010	556
				364,5	359,0	5,5	3 7/10	89,1	8.580	515
				352,6	350,3	2,3	2	69	2.990	332
Airvault à Thouars.	24,5	19 8/10	74,2	349,6	340,5	9,1	8 6/10	63,5	21.140	547
				339,3	330,0	9,3	6 3/10	88,8	18.480	652
				326,5	326,0	0,5	0 5/10	60	1.150	383
Totaux et moyennes.	89,8	85 1/10	63,3			64,3	63,4	60,8	157.580	552
Train 86 du 11 Juin 1902.										
Niort à Parthenay..	44,7	48 4/10	55,4	414,9	407,8	7,1	9 2/10	46,3	23.950	578
				404,4	384,6	19,8	23 3/10	51,0	55.890	533
				380,8	379,0	1,8	1 7/10	63,5	3.520	460
				374,7	372,2	2,5	2 4/10	62,4	6.020	557
Parthenay à Airvault	20,6	18	68,6	370,2	366,0	4,2	5	50,4	10.460	465
				363,8	358,2	5,6	4 4/10	76,3	5.560	281
Airvault à Thouars.	24,5	22 1/10	66,5	349,6	340,5	9,1	.9	60,7	19.270	475
				338,1	330,4	7,7	6 2/10	74,5	12.790	458
Totaux et moyennes.	89,8	88 5/10	60,8			57,8	61 2/10	56,6	137.460	500

Tableau D. — Travail résistant totalisé.

Du point kilométrique	Au point kilométrique	Le régulateur est	Vitesse en kilom. à l'heure au début	Vitesse en kilom. à l'heure à la fin	Différence d'altitude — mètres	Travail résistant en milliers de kilogrammètres Train	Travail résistant en milliers de kilogrammètres Machine	Travail dû à la gravité — milliers de kilogram.	Variation de force vive — milliers de kilogram.	Travail résistant total — milliers de kilogram.	Travail moteur — milliers de kilogram.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Train 86 du 5 juin 1902 beau temps, calme.					Poids de la machine et du tender ..... 70t tonnage remorqué, en matériel à grand écartement.. 215t						
572,8	556,5	ouvert	0	75	+ 31,50	13.720	11.380	+ 8.977	+ 6.311	40.388	42.440
556,5	555,5	fermé	75	70	— 2,90	940	702	— 826	— 813	3	0
555,5	551,3	ouvert	70	77	— 1,68	3.795	3.185	— 479	+ 1.154	7.655	8.150
551,3	549,6	fermé	77	76	— 8,12	1.775	1.320	— 2.314	— 172	609	0
549,6	542,0	ouvert	76	88	+ 2,95	7.435	6.193	+ 840	+ 2.208	16.676	15.540
535,0	528,3	ouvert	0	85	— 6,52	5.750	4.775	— 1.858	+ 8.106	16.773	17.800
528,3	526,6	fermé	85	80	— 8,48	1.810	1.346	— 2.416	— 925	— 185	0
526,6	524,3	»	80	67	— 0,15	2.095	1.719	— 43	— 2.143	1.614	2.310
524,3	518,0	ouvert	67	81	— 5,80	6.290	5.215	— 1.653	+ 2.325	12.177	12.740
515,6	505,8	»	0	69	— 10,10	9.055	7.318	— 2.878	+ 5.341	18.836	18.830
505,8	502,4	ouvert	69	73	— 0,20	3.105	2.595	— 57	+ 637	6.280	6.150
501,2	497,5	ouvert	0	74	— 0,50	2.835	2.300	— 142	+ 6.144	11.137	11.210
496	493,3	ouvert	0	50	+ 11,00	1.735	1.460	+ 3.135	+ 2.805	9.135	8.880
					Totaux.....	60.340	49.508	+ 286	+ 30.978	141.112	144.050
Train 86 du 6 juin 1902 beau temps, calme.					tonnage remorqué : matériel à grand écartement.. 117t ; matériel ordinaire ..... 35t ; Total 152t						
414,9	407,7	ouvert	0	78	+ 36,78	3.680	4.145	+ 8.165	+ 5.305	21.295	23.270
407,7	404,5	fermé	78	74	— 19,00	2.420	2.462	— 4.218	— 530	134	0
404,5	384,5	ouvert	74	68	+ 162,79	10.980	12.425	+ 36.139	— 743	58.801	59.660
384,5	380,6	fermé	68	80	— 29,50	2.760	2.710	— 6.549	+ 1.548	469	0
380,6	379,0	ouvert	80	74	+ 6,19	1.090	1.200	+ 1.374	— 805	2.859	2.810
379,0	375,2	fermé	74	81	— 30,29	3.010	3.094	— 6.723	+ 946	327	0
375,2	372,5	ouvert	81	60	+ 17,98	1.820	2.010	+ 3.990	— 2.582	5.238	5.490
372,0	371,4	ouvert	0	38	— 2,00	205	210	— 444	+ 1.258	1.229	1.200
371,1	370,7	ouvert	0	40	— 4,10	180	140	— 910	+ 1.395	745	800
370,2	365,2	ouvert	0	95	— 12,82	3.230	3.645	— 2.845	+ 7.869	11.900	12.010
365,2	364,5	fermé	95	95	— 5,20	630	644	— 1.154	0	120	0
364,5	359,0	ouvert	95	95	— 7,28	4.840	5.345	— 1.615	0	8.570	8.580
359,0	352,6	fermé	95	92	— 49,70	5.920	6.000	— 11.033	— 489	400	0
352,6	350,3	ouvert	92	72	+ 8,70	1.670	1.884	+ 1.931	— 2.859	2.626	2.990
349,6	340,5	ouvert	0	82	+ 11,85	6.260	6.930	+ 2.630	+ 5.863	21.683	21.140
340,5	339,3	fermé	82	82	— 8,10	950	936	— 1.798	0	88	0
339,3	330,0	ouvert	82	100	— 6,47	8.250	9.110	— 1.436	+ 2.855	18.779	18.480
330,0	326,5	fermé	100	62	— 2,78	3,110	3.110	— 617	— 5.368	235	0
326,5	326,0	ouvert	62	70	— 1,80	355	390	— 400	+ 921	1.266	1.150
					Totaux.....	61.200	66.386	+ 14.487	+ 14.584	156.657	157.580
Train 86 du 11 juin 1902 beau temps, calme.					tonnage remorqué : matériel à grand écartement.. 117t ; matériel ordinaire ..... 33t ; Total..... 150t						
414,9	407,8	ouvert	0	80	+ 37,78	3.550	3.977	+ 8.311	+ 5.568	21.406	23.950
407,8	404,4	fermé	80	72	— 18,80	2.530	2.576	— 4.136	— 1.144	— 174	0
404,4	384,6	ouvert	72	60	+ 162,10	10.290	11.490	+ 35.662	— 1.378	56.064	55.880
384,6	380,8	fermé	60	75	— 31,20	2.675	2.680	— 6.864	+ 1.762	253	0
380,8	379,0	ouvert	75	68	+ 7,39	1.130	1.280	+ 1.626	— 870	3.166	3.520
379,0	374,7	fermé	68	74	— 30,89	3.130	3.173	— 6.795	+ 741	249	0
374,7	372,2	ouvert	74	60	+ 19,90	1.535	1.745	+ 4.378	— 1.631	6.027	6.020
370,2	366,0	ouvert	0	86	— 4,72	2.320	2.630	— 1.038	+ 6.434	10.346	10.460
366,0	363,8	fermé	86	82	— 13,88	1.780	1.778	— 3.053	— 584	— 79	0
363,8	358,2	ouvert	82	82	— 14,00	4.185	4.633	— 3.080	0	5.738	5.560
349,6	340,5	ouvert	0	80	+ 11,85	6.015	6.695	+ 2.607	+ 5.568	20.885	19.270
340,5	338,1	fermé	80	73	— 9,85	1.795	1.795	— 2.167	— 932	492	0
338,1	330,4	ouvert	73	91	— 3,04	5.650	6.190	— 669	+ 2.568	13.739	12.790
					Totaux.....	46.585	50.640	+ 24.782	+ 16.187	138.194	137.460

Tableau E. — Consommation d'Eau.

PARCOURS, NUMÉRO et DATES DU TRAIN	DISTANCE TOTALE — Kilom.	TEMPS pendant lequel le régulateur a été ouvert — Minutes	PUISSANCE MOYENNE — Chevaux-Vapeur	CONSOMMATION RÉELLE D'EAU EN KILOGR. totale	CONSOMMATION RÉELLE D'EAU EN KILOGR. par kilom. du parcours total	CONSOMMATION RÉELLE D'EAU EN KILOGR. par cheval et par heure	CONSOMMATION calculée DE VAPEUR SÈCHE en kilogr. totale	CONSOMMATION calculée DE VAPEUR SÈCHE en kilogr. par cheval et par heure	Pourcentage de la différence entre la consommation réelle d'eau et la consommation calculée de vapeur	POUR LE PARCOURS A RÉGULATEUR OUVERT Consommation moyenne réelle d'eau par heure, — Kilogr.	POUR LE PARCOURS A RÉGULATEUR OUVERT Vaporisation moyenne par m2 de surface de chauffe et par heure — Kilogr.	POUR LE PARCOURS A RÉGULATEUR OUVERT Consommation moyenne de charbon par m2 de surface de grille et par heure — Kilogr.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Train N° 86 du 5 juin 1902.												
St-Mariens à Jonzac...	37,8	25 3/10	589	2.820	74,6	11,38	2.991	12,04	»	6.688	55	517
Jonzac à Pons.....	19,4	12 4/10	589	1.307	67,3	10,73	1.366	11,22	»	6.320	52	488
Pons à Saintes.....	24,1	18 9/10	531	2.071	85,9	12,37	2.053	12,27	»	6.574	54,1	507
Totaux et Moyennes ..	81,3	56 6/10	565	6.198	76,2	11,62	6.410	12,02	»	6.570	54	508
Train N° 86 du 6 juin 1902.												
Niort à Parthenay	44,7	37 5/10	553	4.074	91,1	11,78	3.743	10,85	8,1%	6.520	53,6	481
Parthenay à Airvault..	20,6	10 5/10	500	1.171	56,8	13,38	1.058	12,09	9,7	6.690	55	493
Airvault à Thouars....	24,5	15 4/10	588	1.855	75,7	12,28	1.732	11,46	6,6	7.230	59,5	533
Totaux et Moyennes ..	89,8	63 4/10	552	7.100	79,»	12,17	6.533	11,19	8,»	6.720	55,2	496
Train N° 86 du 11 juin 1902.												
Niort à Parthenay	44,7	36 6/10	543	3.831	85,7	11,56	3.559	10,73	7,1	6.280	51,6	432
Parthenay à Airvault..	20,6	9 4/10	380	960	46,6	16,10	825	13,85	14,1	6.130	50,4	422
Airvault à Thouars ...	24,5	15 2/10	468	1.430	58,4	12,06	1.420	11,97	0,1	5.640	46,4	388
Totaux et Moyennes...	89,8	61 2/10	499	6.221	69,3	12,22	5.804	11,40	6,7	6.100	50,2	420
Totaux et Moyennes pour tous les trains..	260,9	181 2/10	538	19.519	74,8	12,00	18.747	11,54	4,»	6.460	53,1	472

6. — **Résultats obtenus en service.**

Travail moteur. — Le travail moteur a été totalisé sur la courbe des vitesses en fonction de l'espace en partant des chiffres de la colonne 7 du tableau A ; les résultats en sont donnés au tableau C.

Travail résistant. — Pour évaluer le travail résistant, on a admis, comme pour la machine 2802 (les trains remorqués étaient les mêmes), que la résistance par tonne du matériel ordinaire est donnée par la formule :

$$r = 1{,}6 + 0{,}30\ V\ \left(\frac{V + 90}{1.000}\right)$$

et la résistance du matériel à grand écartement d'essieux (8^m environ pour des voitures pesant 19 tonnes) par :

$$r = 1{,}5 + 0{,}25\ V\ \left(\frac{V + 80}{1.000}\right)$$

V étant la vitesse en kilomètres à l'heure.

Quant à la résistance de la machine, elle a été déterminée en faisant la différence entre le travail moteur indiqué (tableau C) et le travail résistant du train remorqué. La locomotive 2617 pèse en feu 48 t. 400 ; le poids moyen du tender au cours des essais a été de 21 t. 600 ; cela donne un poids total de 70 tonnes. La résistance moyenne par tonne à régulateur ouvert est représentée, tout au moins jusqu'à 100 kilomètres à l'heure, par la formule :

$$\rho = 3{,}8 + 0{,}7\ V\ \left(\frac{V + 70}{1.000}\right)$$

A régulateur fermé, la résistance est d'environ 10 % plus faible qu'à régulateur ouvert.

Le tableau D donne l'évaluation détaillée du travail résistant.

Consommation d'eau. — La consommation réelle d'eau est relevée à tous les arrêts. On déduit 4 % pour les pertes diverses et on obtient ainsi les chiffres portés à la colonne 5 du tableau E. La consommation de vapeur (colonne 8 du tableau E) est obtenue en totalisant sur la courbe des vitesses les chiffres de la colonne 12 du tableau A. Pour le train 86, du 5 juin, la consommation calculée de vapeur se trouve un peu supérieure (de 3 %) à la consommation réelle d'eau, ce qui n'est pas possible et indique qu'il a été commis quelque erreur dans les mesures. Pour les trains des 6 et 11 juin, la consommation réelle d'eau dépasse de 6 à 8 % la consommation calculée. En déduisant de ce pourcentage, la proportion de vapeur consommée par la pompe à air du frein, soit environ 3 %, la différence représente la proportion d'humidité contenue dans la vapeur ; elle ne s'élève qu'à 3 ou 4 % et la vapeur est donc pratiquement sèche.

Consommation de charbon. — Les chiffres de la colonne 5 du tableau F donnent la consommation de combustible, comprenant, comme pour la machine 2802, la quantité employée à la préparation du feu au départ moins ce qui reste sur la grille à l'arrivée. Le tableau F indique en outre le taux de vaporisation qui est en moyenne de 7 kg. 16 et la consommation par kilomètre qui est en moyenne de 10 kg. 57.

Tableau F. — CONSOMMATION DE CHARBON.

NUMÉRO ET DATE DU TRAIN	TRAJET TOTAL de la machine	DISTANCE — kilom.	Consommation totale d'eau — kilogr.	Consommation totale de charbon — kilogr.	NATURE DU COMBUSTIBLE Briquette proportion %	NATURE DU COMBUSTIBLE Menu Cardiff %	TAUX de vaporisation	Consommation moyenne de charbon par kilomètre — kilogr.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tr. 86 du 5 juin 1902..	Bordeaux à Saintes . . .	121,1	9.630	1.430	100	»	6,78	11,81
Tr. 86 du 6 juin 1902..	Saintes à Thouars	166,4	13.158	1.848	100	»	7,10	11,10
Tr. 86 du 11 juin 1902.	Saintes à Thouars	166,4	11.571	1.520	58	42	7,61	9,14
	Totaux et moyennes. . . .	453,9	34.359	4.798			7,16	10,57

Puissance de la machine. — Sur le tableau E (colonnes 11, 12, 13) on a porté la consommation moyenne d'eau par heure, la vaporisation moyenne par mètre carré de surface de chauffe et la consommation moyenne de charbon par mètre carré de grille et par heure, tandis que dans les colonnes 13, 14 et 15 du tableau A, ces données sont indiquées pour chaque diagramme. Celles-ci n'ont d'ailleurs de signification réelle qu'en régime permanent, c'est-à-dire lorsque la marche est maintenue dans les mêmes conditions pendant une durée assez longue. Par exemple, on peut estimer que, au train 86 du 6 juin, le régime permanent a été réalisé et maintenu sur le parcours en rampe de dix millièmes du kilomètre 404,500 au kilomètre 384,500 effectué en 21 minutes 2/10 (diagrammes N°s 108 à 126 du tableau A); il était visible en outre que la machine donnait tout ce dont elle était capable. La vaporisation s'est élevée sur ce parcours au chiffre moyen de 7,300 kg. d'eau par heure, soit 60 litres par mètre carré de surface de chauffe et par heure, tandis que la consommation moyenne de combustible a été de 540 kg. par mètre carré de grille et par heure et la puissance moyenne développée de 650 chevaux, avec un maximum de 725 chevaux. Ces chiffres caractérisent les conditions de marche au maximum de puissance de la machine, en régime régulier.

La formule usuelle de vaporisation : $q = 460\ \sqrt{cg}$, où $c = 121^{m2},57$ et $g = 1^{m2},91$ donnerait $q = 7.010$ litres d'eau par heure, chiffre légèrement inférieur à celui de l'expérience.

LOCOMOTIVE A TIROIRS CYLINDRIQUES DU SYSTÈME RICOUR.

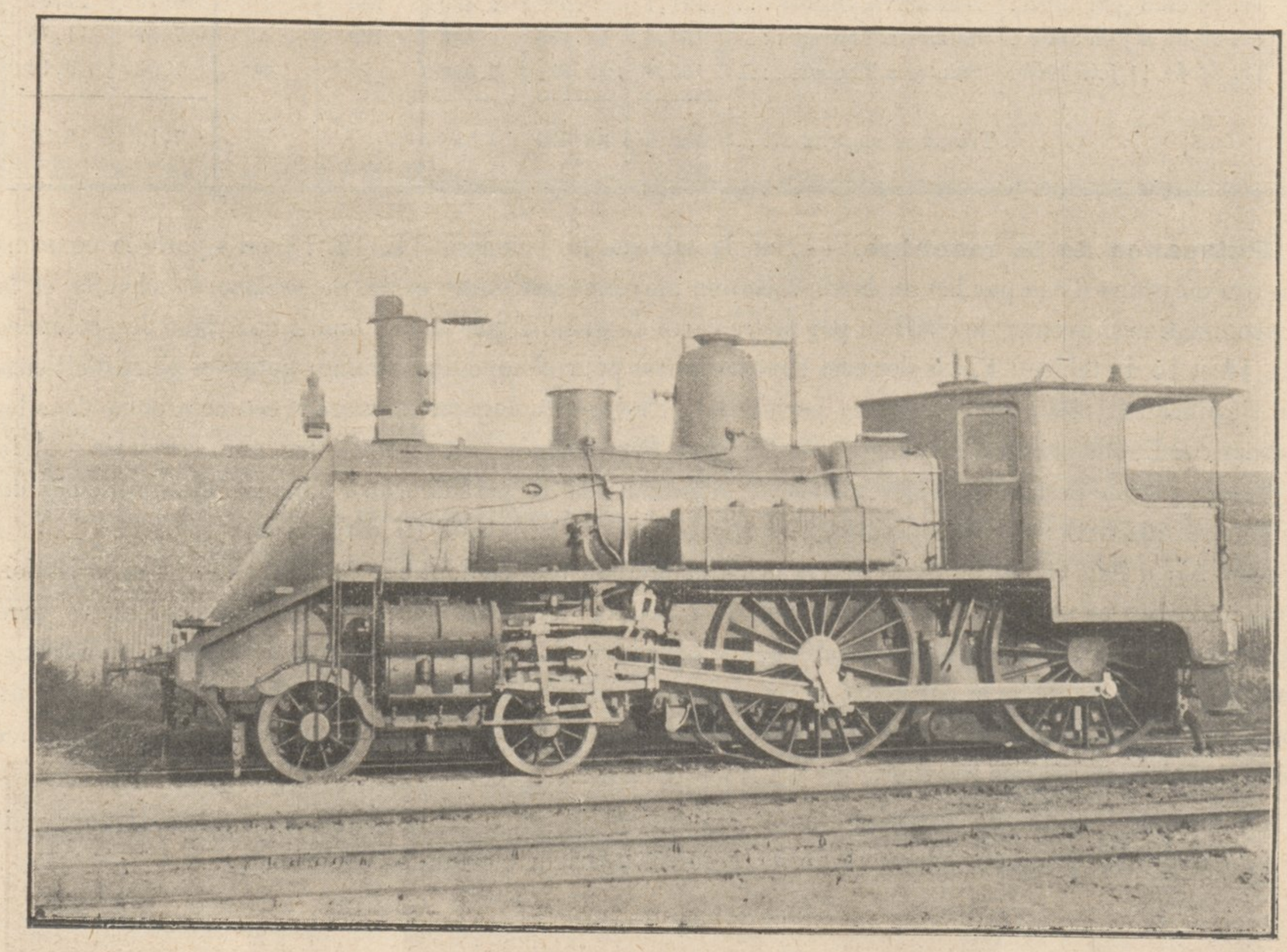
1. — **Description de la machine.**

Ce type de machine à simple expansion a été décrit et étudié par Desdouits dans la *Revue Générale*, numéros de Mars et Avril 1900 (voir la photographie Fig. 5). Les dimensions caractéristiques sont les suivantes :

Diamètre des roues motrices	$2^{m}.030$
Ecartement des essieux extrêmes	$7^{m},250$
Diamètre des cylindres	$0^{m},420$
Course du piston	$0^{m},650$
Timbre de la chaudière	14^{kg}.
Surface de grille	2^{m2}

Surface de chauffe	de foyer	11m2,10
	des tubes Serve	147m2,00
	totale	158m2,10
Poids sur les rails de la machine en feu	bogie	20t,600
	3e essieu	14t,700
	4e «	14t,700
Total		50t,000

Fig. 5.



Les essais de la machine N° 2754 ont été effectués aux trains ci-après indiqués :

DATES.	Nos des trains.	TRAJET.	TONNAGE remorqué.	NOMBRE de diagrammes relevés sur le cylindre côté gauche, avant et arrière.
			tonnes.	
9 octobre 1902	98	Niort à Thouars	117	49
Id.	99	Thouars à Niort	117	42
21 octobre 1902	86	Saumur à Pont-de-Braye	141	56
24 octobre 1902	86	Id.	141	64
24 juin 1903	98	Niort à Thouars	113	47
1er juillet 1903	Id.	Id.	136	60
2 juillet 1903	Id.	Id.	136	48
		Nombre total de diagrammes		366

Fig. 6.

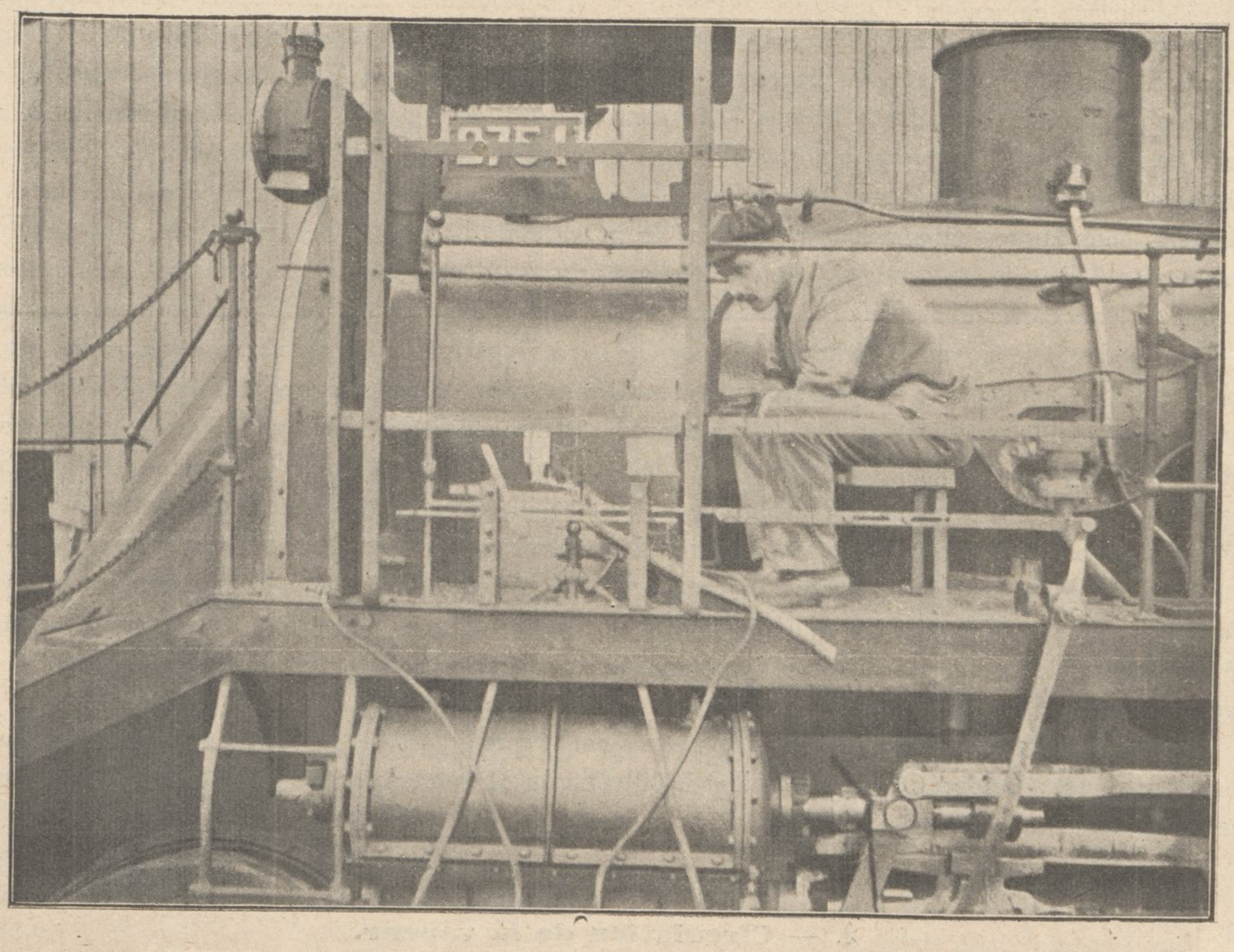
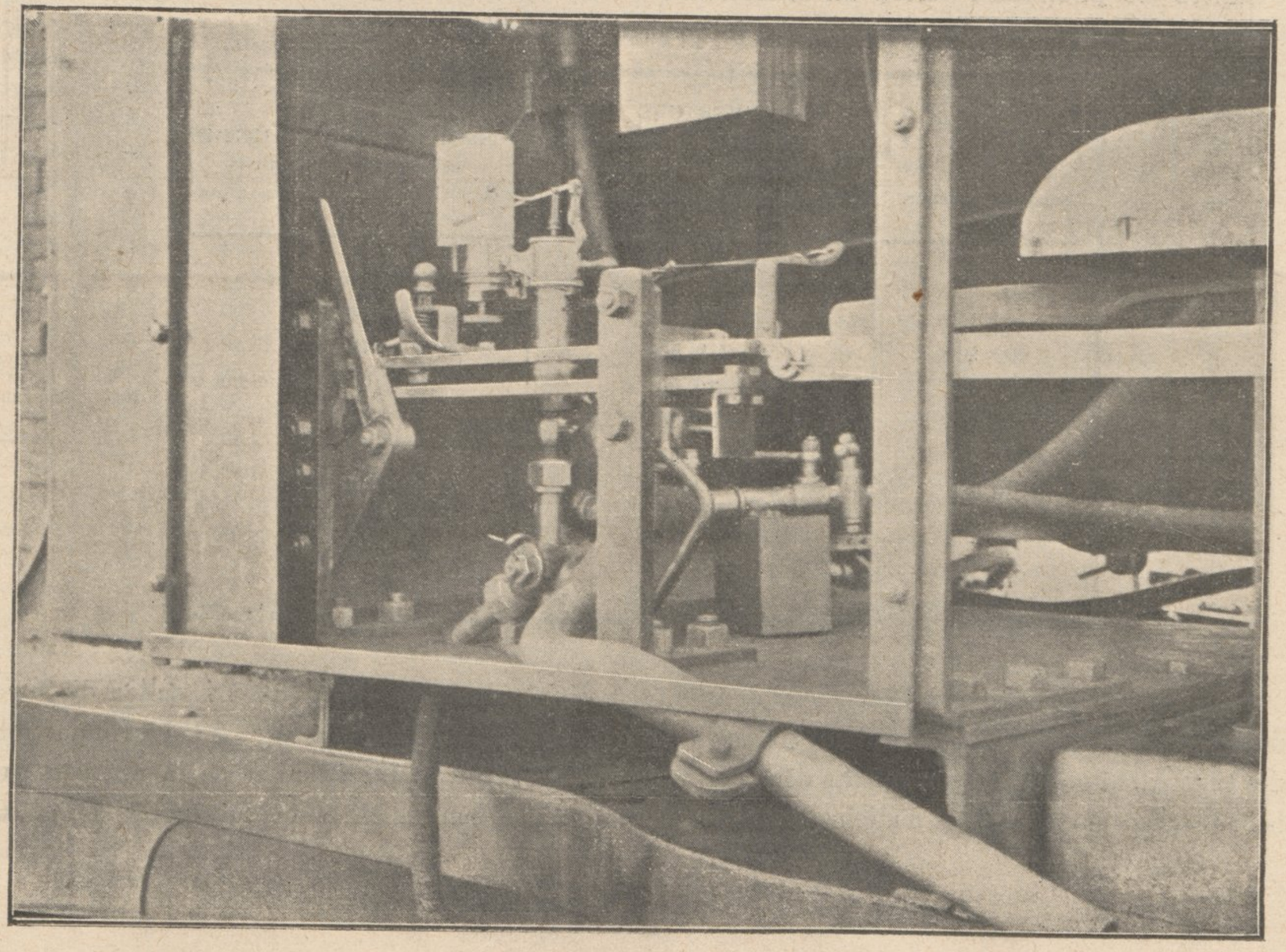


Fig. 7.



Dans les essais d'octobre 1902, on s'est servi du même indicateur de pression que dans ceux effectués sur les machines 2802 et 2617 ; la tare du ressort de cet indicateur est de 3 millimètres par kilog. Dans les essais de 1903, on s'est servi d'un indicateur neuf dont la tare du ressort est de 5 millimètres par kilog. A part cette différence de tare, les diagrammes relevés sur les deux appareils sont absolument semblables.

Les photographies ci-contre (Fig. 6 et 7) donnent les détails de l'installation de l'indicateur et de sa prise de mouvement. Rappelons que chaque diagramme porte cinq lignes de pression qui indiquent respectivement les pressions dans la chaudière, dans la boîte à vapeur, dans le cylindre à l'avant et à l'arrière, enfin la pression atmosphérique. Il nous paraît essentiel que toutes ces lignes soient réunies sur un même diagramme et relevées, à peu de chose près, en même temps, au point de vue des indications à tirer de leurs corrélations. En fait, elles sont toutes tracées dans un intervalle généralement inférieur à dix secondes et le crayon de l'indicateur passe de cinq à vingt fois, suivant la vitesse de marche, sur le même trait ; néanmoins, le trait est ordinairement très net même dans les lignes plus ou moins sinueuses qui représentent la pression dans la boîte à vapeur ou dans le cylindre. Les cylindrées de vapeur sont donc bien identiques dans un intervalle de quelques secondes, lorsque l'allure de la machine est régulière ; dans le cas contraire, par exemple au démarrage, on recueille quelquefois sur le même papier toute une série de courbes de pression légèrement différentes les unes des autres. Il a été pris également, dans toutes les machines essayées, plusieurs diagrammes à régulateur fermé, lesquels montrent qu'il n'y a dans le cylindre aucune pression ou dépression appréciables ; c'est à peine si le trait correspondant à la pression dans le cylindre se distingue de la ligne atmosphérique pendant les phases de détente et de compression, d'ailleurs très courtes avec la marche à fond de course.

Les principaux résultats déduits des diagrammes sont reproduits dans le tableau A, seulement pour les trains 98 des 9 Octobre 1902 et 1er Juillet 1903 et 86 du 24 Octobre 1902, afin de ne pas trop allonger ce tableau.

2. — Circulation de la vapeur.

Chute de pression entre la chaudière et la boîte à vapeur. — Le régulateur est à double tiroir plat. La loi des ouvertures est indiquée dans le tableau suivant :

DIVISIONS du secteur du levier.	OUVERTURE en centimètres carrés quand le levier est manœuvré à partir de sa position de fermeture.	OUVERTURE en centimètres carrés quand le levier est manœuvré à partir de sa position d'ouverture en grand.
0	régulateur fermé	régulateur fermé
1	9,50	24,50
2	9,50	45,00
3	20,00	66,00
4	36,00	84,00
5	53,00	106,50
6	74,00	106,50
7	91,50	106,50
8	106,50	106,50

La section de passage peut donc varier de $9^{cm2},50$ (petit régulateur) à $106^{cm2},50$. La section du tuyau de vapeur de $0^{m},08$ de diamètre allant à chacun des cylindres est d'ailleurs de $78^{cm2},53$. Le volume total des tuyaux et des boîtes à vapeur des deux cylindres est de 141 litres. L'oscillation de la pression dans la boîte à vapeur est faible et n'atteint jamais 1 kg. (voir les diagrammes Nos 344 et suivants de la Fig, 10).

Tableau A. — Machine n° 2754, effort moteur et consommation de vapeur.

Nos des diagrammes	Points kilométriques où les diagrammes ont été relevés	Vitesse en kilomètres à l'heure	Admission % de la course	Pression effective de régime dans la boîte à vapeur — kilogr. par cm2	Contre-pression à l'échappement — kilogr. par cm2	Effort moteur indiqué — kilogr.	Puissance indiquée en chevaux-vapeur	Consommation par cheval et par heure			Consommation de vapeur par kilomètre — kilogr.	Consommation d'eau par heure — kilogr.	Vaporisation par m2 de surface de chauffe et par heure — kilogr.	Consommation de charbon par m2 de grille et par heure — kilogr.
								de vapeur indiquée — kilogr.	de vapeur condensée — kilogr.	de vapeur totale — kilogr.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Train 98 du 9 octobre 1902.														
1	414,7	5	46	12,0	0,50	4.887	92	10,19	4,81	15,00	272	1.420	9	111
2	414,0	40	46	13,4	1,20	4.134	616	9,81	2,55	12,36	189	7.930	50,2	615
3	413,1	54	42	12,5	0,80	3.895	779	9,31	2,58	11,89	172	9.750	61,7	756
4	412,2	60	42	12,7	0,80	3.668	807	9,30	2,63	11,93	162	10.200	64,5	791
5	411,1	60	38	12,1	0,70	3.302	727	9,25	2,89	12,14	148	9.320	59,0	723
6	410,2	62	26	12,0	0,50	2.317	507	8,03	3,42	11,45	98	6.370	40,3	494
7	409,0	69	34	11,0	0,60	2.685	685	8,58	3,04	11,62	115	8.330	52,7	646
8	404,3	85	34	10,5	0,70	2.399	756	9,01	2,89	11,90	106	9.460	59,8	733
9	403,3	76	34	11,5	1,20	2.438	685	9,59	2,70	12,29	111	8.850	56	687
10	402,1	65	34	12,0	1,10	2.775	666	9,10	2,70	11,80	121	8.260	52,2	640
11	400,7	59	34	12,7	1,10	3.161	689	8,97	2,67	11,64	136	8.420	53,3	653
12	399,7	52	34	12,7	1,10	3.259	629	9,00	2,85	11,85	143	7.810	49,4	605
13	398,7	54	34	13,0	1,20	3.125	625	8,90	2,94	11,84	137	7.760	49,1	602
14	397,6	62	34	12,0	0,70	2.863	656	9,21	3,02	12,23	130	8.460	53,5	656
15	396,6	58	34	12,3	1,10	2.862	615	9,02	2,85	11,87	126	7.670	48,5	595
16	395,4	64	34	12,7	1,20	2.841	673	9,40	2,84	12,24	129	8.660	54,8	672
17	394,3	67	34	12,5	1,10	3.016	748	9,39	2,61	12,00	134	9.420	59,6	731
18	392,8	60	34	12,7	1,10	3.199	710	9,50	2,59	12,09	143	9.000	57	698
19	392,1	58	34	13,0	1,20	3.286	706	9,76	2,65	12,41	151	9.190	58,1	713
20	391,2	59	34	13,0	1,00	3.289	717	9,46	2,73	12,19	148	9.160	58	711
21	390,0	57	34	13,0	1,10	3.394	716	9,14	2,65	11,79	148	8.850	56	686
22	389,0	57	34	12,6	1,20	3.208	677	9,51	2,61	12,12	144	8.610	54,5	668
23	387,6	55	34	12,5	1,00	3.267	666	8,75	2,80	11,55	140	8.080	51,1	627
24	386,9	54	34	12,0	1,10	3.142	628	8,74	2,78	11,52	134	7.600	48	589
25	385,7	55	34	11,5	1,10	2.667	544	8,61	3,02	11,63	115	6.640	42	515
26	384,3	76	22	10,5	1,00	1.586	446	8,36	3,59	11,95	63,4	5.060	32	392
27	380,8	83	22	8,7	0,70	1.436	441	9,39	3,69	13,08	69,5	6.060	38,3	469
28	379,6	75	26	10,5	1,00	1.931	537	9,22	3,20	12,42	88,8	6.990	44,2	542
29	375,3	89	22	10,2	0,70	1.332	440	9,16	4,02	13,18	64,4	6.010	38	466
30	373,8	78	26	10,7	0,70	2.077	600	8,91	3,94	12,85	92,8	7.600	48	589
31	372,6	70	26	11,1	0,70	2.149	556	8,82	3,21	12,03	95,7	7.030	44,5	545
32	369,6	74	22	9,7	0,60	1.444	396	9,25	4,15	13,40	71,4	5.550	35,1	430
33	367,7	73	26	9,7	0,50	1.798	486	9,42	3,59	13,01	86,7	6.640	42	519
34	366,4	73	26	9,8	0,70	1.494	403	9,21	4,00	13,21	73,1	5.600	35,4	434
35	364,3	93	22	10,8	0,60	1.291	445	9,46	4,22	13,68	65,2	6.360	40,3	493
36	361,5	95	22	10,5	0,60	1.429	503	9,49	3,64	13,23	70,0	6.980	44,1	541
37	360,0	87	22	10,4	0,60	1.371	441	9,53	4,00	13,53	68,5	6.250	39,6	485
38	352,3	95	22	9,8	0,70	1.234	434	10,15	3,97	14,12	64,5	6.430	40,7	499
39	350,0	85	26	10,9	0,70	1.614	508	8,61	3,60	12,21	73,1	6.520	41,2	506
40	347,6	83	26	10,7	0,60	1.478	453	8,80	4,08	12,88	70,3	6.120	38,7	475
41	345,0	78	26	12,0	0,80	1.852	535	8,53	3,58	12,11	83,0	6.800	43	527
42	344,3	68	26	12,6	0,80	2.378	599	8,20	3,14	11,34	100,0	7.140	45,2	553
43	343,1	79	26	12,0	0,80	1.829	536	9,15	3,71	12,86	87,6	7.260	46	563
44	341,2	73	26	12,4	0,60	2.307	623	8,42	3,25	11,67	99,6	7.630	48,3	592
45	340,0	94	22	10,8	0,55	1.397	486	9,42	3,96	13,38	69,4	6.850	43,3	531
46	337,3	80	22	11,0	0,70	1.562	462	9,50	3,64	13,14	75,9	6.370	40,3	494
47	335,8	90	22	11,0	0,60	1.568	522	9,07	3,61	12,68	73,5	6.940	43,5	538
48	334,0	86	22	11,0	0,60	1.633	519	8,81	3,46	12,27	74,1	6.690	42,3	518
49	331,9	89	22	11,0	0,50	1.549	511	9,12	3,68	12,80	73,3	6.850	43,3	531

Tableau A. — *(Suite).*

N^os^ des diagrammes	Points kilométriques où les diagrammes ont été relevés	Vitesse en kilomètres à l'heure	Admission % de la course	Pression effective de régime dans la boîte à vapeur — kilogr. par cm2	Contre-pression à l'échappement — kilogr. par cm2	Effort moteur indiqué — kilogr.	Puissance indiquée en chevaux-vapeur	Consommation par cheval et par heure			Consommation de vapeur par kilomètre — kilogr.	Consommation d'eau par heure — kilogr.	Vaporisation par m2 de surface de chauffe et par heure — kilogr.	Consommation de charbon par m2 de grille et par heure — kilogr.
								de vapeur indiquée — kilogr.	de vapeur condensée — kilogr.	de vapeur totale — kilogr.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Train 86 du 24 octobre 1902.														
101	285,6	6	42	11,0	0,30	4.106	94	9,74	5,08	14,82	225	1.510	9,5	107
102	285,0	36	30	8,9	0,30	2.215	294	9,04	4,53	13,57	111	4.460	28,2	317
103	283,4	61	30	8,7	0,35	2.165	489	8,93	3,62	12,55	104	7.080	44,8	503
104	280,8	77	26	11,3	0,60	1.915	546	8,33	3,59	11,92	84,4	7.260	45,9	515
105	279,6	73	26	10,8	0,35	1.847	498	8,43	3,97	12,40	84,7	6.900	43,7	490
106	278,4	77	26	11,0	0,50	1.906	543	8,26	3,71	11,97	84,2	7.240	45.8	514
107	275,9	74	26	10,5	0,50	1.922	527	8,54	3,77	12,31	87,1	7.230	45,8	514
108	274,6	64	30	10,0	0,60	2.122	503	8,84	3,50	12,34	97,5	6.940	43,9	493
109	273,6	67	30	12,0	0,45	2.191	543	8,28	3,72	12,00	91,6	6.850	43,3	487
110	272,1	78	26	10,9	0,50	1.689	488	8,24	4,18	12,42	77,6	6.760	42,8	480
111	270,8	80	26	11,1	0,50	1.740	515	8,00	4,28	12,28	79	7.060	44,6	501
112	269,4	71	30	9,5	0,50	1.963	516	8,48	3,65	12,13	88,3	7.000	44,3	497
113	268,2	65	26	11,0	0,55	1.814	435	7,81	4,27	11,98	80,4	5.840	36,9	414
114	267,0	67	26	11,0	0,60	1.829	453	7,93	4,17	11,90	81,1	6.070	38,4	431
115	266,7	71	26	11,0	0,50	1.794	472	8,03	4,27	12,30	81,7	6.480	41	460
116	264,5	77	18	11,5	0,55	1.429	407	8,16	5,19	13,35	67,6	5.810	36,8	413
117	262,0	73	26	10,6	0,70	1.645	444	8,25	4,21	12,46	75,8	6.180	39,1	439
118	259,9	66	26	12,0	0,75	1.880	458	8,51	4,11	12,62	88	6.490	41	460
119	258,6	70	30	10,3	0,75	2.077	538	8,86	3,34	12,20	94	7.350	46,5	522
120	257,5	61	30	9,8	0,75	2.011	454	9,37	3,54	12,91	96,3	6.560	41,5	466
121	256,6	52	34	10,3	0,80	2.463	473	9,34	3,31	12,65	115	6.680	42,2	474
122	255,4	52	34	10,8	0,70	2.773	532	9,40	3,14	12,54	128	7.440	47	528
123	254,4	60	34	9,6	0,80	2.242	502	9,31	3,25	12,56	105	7.030	44,5	500
124	252,8	6	48	12,6	0,35	4.709	108	10,65	4,65	15,30	267	1.610	10,2	115
125	251,8	45	34	10,3	0,65	2.775	463	9,22	3,37	12,59	129	5.850	37	415
126	251,0	61	30	11,0	0,65	2.112	477	8,77	3,82	12,59	98,5	6.050	38,3	430
127	250,2	63	30	12,0	0,60	2.031	473	8,03	4,05	12,08	90,8	5.760	36,5	409
128	248,9	62	30	11,3	0,70	2.034	466	8,56	3,93	12,49	94,1	5.880	37,2	417
129	247,7	68	26	11,1	0,70	1.897	478	8,04	3,95	12,99	84,2	5.770	36,5	410
130	246,5	75	26	11,3	0,60	1.803	501	8,61	4,03	12,64	85	6.420	40,6	456
131	245,3	76	18	11,3	0,40	1.513	425	8,00	5,26	13,26	72,7	5.560	35,2	395
132	242,5	79	18	11,0	0,60	1.330	390	8,33	5,15	13,48	63,7	5.070	32,1	360
133	241,2	73	30	10,0	1,15	1.733	468	9,.8	3,35	12,53	83,1	6.110	38,7	434
134	239,7	64	30	10,8	0,80	2.170	514	9,54	3,38	12,92	104	6.710	42,4	476
135	238,5	58	30	10,7	0,70	2.323	500	9,03	3,44	12,47	107	6.250	39,5	444
136	238,0	62	26	11,0	0,70	1.817	416	8,22	4,36	12,58	84,6	5.280	33,4	375
137	235,9	5	45	12,5	0,30	4.865	92	11,56	4,62	16,18	279	1.430	9	101
138	235,3	35	34	11,0	0,55	2,985	385	8,76	3,86	12,62	140	5.020	31,8	357
139	234,4	61	30	11,6	0,55	2.193	496	8,12	3,80	11,92	94,2	5.900	37,3	419
140	233,3	70	22	12,5	1,00	1.674	434	8,20	4,43	11,80	69,5	4.990	31,5	354
141	231,9	75	22	11,5	0,55	1.564	435	8,37	4,85	13,22	72,3	5.560	35,2	395
142	230,8	68	30	11,2	0,80	2.469	597	8,26	3,20	11,46	100	6.970	44,1	495
143	229,5	60	30	12,0	0,70	2.695	598	8,47	3,17	11,64	116	7.130	45,1	507
144	228,4	61	30	12,0	0,70	2.779	628	8,62	3,16	11,78	121	7.570	47,9	537
145	227,3	56	30	11,4	0,70	2.689	556	8,70	3,27	11,97	119	6.830	43,2	485
146	219,0	70	18	10,5	0,50	1.367	354	7,87	5,39	13,16	63,7	4.570	28,9	325
147	216,0	5	48	12,0	0,30	4.854	92	13,08	4,53	17,61	207	1.140	7,2	81
148	215,8	50	34	11,6	0,65	2.918	540	8,74	3,16	11,90	128	7.060	44,7	502
149	214,6	62	30	10,7	0,70	2.286	523	9,50	3,42	12,92	109	7.460	47,2	530
150	213,5	71	26	11,8	1,00	1.978	520	7,91	3,56	11,47	83,9	6.570	41,6	467
151	212,4	71	26	11,3	0,60	1.808	475	8,50	4,10	12,60	84,1	6.590	41,7	468
152	211,0	71	22	11,3	0,55	1.722	453	7,93	4,45	12,38	75,3	5.900	37,3	419
153	209,8	74	22	11,4	0,55	1.747	479	8,20	4,33	12,53	77,2	6.300	39,9	448
154	208,7	69	26	11,0	0,55	1.881	480	8,49	4,02	12,51	87	6.620	41,9	471
155	207,4	81	26	11,0	0,60	1.702	511	8,60	4,06	12,66	79,7	7.120	45,1	506
156	206,0	78	22	11,0	0,50	1.619	468	8,17	4,56	12,73	76,4	6.570	41,6	467
157	204,8	80	22	10,7	0,50	1.586	469	8,02	4,59	12,61	73,8	6.520	41,2	463
158	203,5	80	22	11,0	0,55	1.620	469	8,90	4,43	12,33	73,8	6.520	41,2	463
159	201,2	5	40	13,4	0,30	4.178	79	8,80	5,56	14,36	222	1.220	7,7	87
160	199,8	56	34	12,0	0,70	3.078	637	9,03	3,01	12,04	137	8.470	53,6	601
161	198,6	69	30	11,0	0,70	2.107	537	8,80	3,55	12,35	96,4	7.340	46,4	521
162	196,4	73	22	11,0	0,55	1.611	435	8,18	4,64	12,82	76,2	6.140	38,8	436
163	194,6	76	22	11,0	0,55	1.733	487	7,85	4,23	12,08	77,3	6.480	41	460
164	193,8	75	22	10,8	0,55	1.646	457	7,58	4,57	12,15	74,1	6 130	38,8	436

Tableau A. — *(Suite).*

Nos des diagrammes	Points kilométriques où les diagrammes ont été relevés	Vitesse en kilomètres à l'heure	Admission % de la course	Pression effective de régime dans la boîte à vapeur — kilogr. par cm2	Contre-pression à l'échappement — kilogr. par cm2	Effort moteur indiqué — kilogr.	Puissance indiquée en chevaux-vapeur	Consommation par cheval et par heure			Consommation de vapeur par kilomètre — kilogr.	Consommation d'eau par heure — kilogr.	Vaporisation par m2 de surface de chauffe et par heure — kilogr.	Consommation de charbon par m2 de grille et par heure — kilogr.
								de vapeur indiquée — kilogr.	de vapeur condensée — kilogr.	de vapeur totale — kilogr.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
						Train 98 du 1er juillet 1903.								
201	414,0	37	38	11,8	0,70	3.730	514	9,67	3,25	12,92	178	7.300	46,2	538
202	413,3	44	38	12,6	0,70	3.690	605	9,20	3,08	12,28	168	8.200	51,8	604
203	412,6	46	38	11,8	0,80	3.340	570	9,38	3,14	12,52	155	7.900	50	582
204	411,7	51	38	12,3	0,80	3.390	640	9,54	2,94	12,48	157	8.880	56,1	654
205	411,2	52	34	12	0,80	3.260	630	9,52	3,00	12,52	151	8.710	55,1	641
206	410,5	54	34	12	0,80	3.310	662	9,37	2,90	12,27	150	8.980	56,8	661
207	409,5	65	34	12	0,80	2.850	686	9,45	3,10	12,55	132	9.515	60,2	700
208	408,4	65	34	9,2	0,50	2.240	541	9,95	3,67	13,62	113	8.140	51,5	600
209	405,2	80	26	9,8	0,60	1.640	488	9,20	3,94	13,14	80	7.100	44,9	522
210	404	76	26	10,6	0,50	1.850	523	8,26	3,86	12,12	83,3	7.020	44,4	517
211	402,8	62	26	12,2	0,80	2.650	610	8,88	3,00	11,88	116	7.970	50,4	587
212	401,8	57	30	12	0,80	2.970	627	9,15	2,91	12,06	133	8.400	53,2	619
213	400,9	54	30	12,2	0,50	3.050	610	9,05	3,21	12,26	139	8.320	52,6	613
214	399,9	56	30	12,2	0,70	3.100	645	9	2,95	11,95	138	8.570	54,2	631
215	399	60	30	12,4	0,80	3.090	686	8,87	2,86	11,73	134	8.920	56,4	656
216	398	60	30	12,2	0,80	2.960	657	8,92	2,95	11,87	130	8.650	54,7	637
217	397,2	61	30	12,2	0,80	2.890	653	9,16	3,02	12,18	130	8.800	55,6	647
218	396,4	61	30	12,5	0,90	2.950	667	8,96	2,94	11,90	132	8.930	56,5	657
219	395,5	64	30	12	0,80	2.760	657	9,08	2,98	12,06	123	8.730	55,2	643
220	394,5	68	30	12,5	1,00	2.800	705	9,43	2,83	12,26	127	9.580	60,6	705
221	393,2	61	30	12	0,80	2.770	625	9,20	3,05	12,25	125	8.460	53,5	623
222	392,2	58	34	12,7	0,80	3.110	669	9,16	2,78	11,94	138	8.870	56,1	653
223	391,3	56	34	12,5	0,80	3.260	678	9,18	2,78	11,96	144	8.940	56,5	658
224	390,4	56	34	12,5	0,80	3.260	677	9,46	2,78	12,24	148	9.190	58,1	677
225	389,5	55	34	12,2	0,80	3.200	653	9,39	2,78	12,17	144	8.780	55,5	646
226	388,5	55	34	12,2	1,00	3.210	655	9,60	2,66	12,26	146	8.900	56,3	655
227	387,5	54	34	12	0,80	3.130	626	9,42	2,88	12,30	143	8.560	54,2	630
228	386,2	54	34	12	0,80	3.210	641	9,14	2,82	11,96	142	8.500	53,8	626
229	385,6	58	34	11,4	0,70	3.010	646	9,52	2,87	12,39	138	8.870	56,1	653
230	384,8	69	30	9,6	0,70	1.790	459	9,53	3,97	13,50	89,7	6.860	43,4	505
231	380,1	74	30	9	0,80	1.580	435	10,30	4,08	14,38	84,3	6.920	43,8	510
232	379	77	30	9,8	0,80	2.030	581	10,04	3,27	13,31	100	8.540	54	629
233	375	85	22	10,2	0,80	1.520	478	8,53	4,02	12,55	70,7	6.660	42,2	491
234	373,9	80	26	10	0,80	1.920	566	9,29	4,08	13,37	89	7.890	49,9	581
235	373	75	30	12	1,00	2.310	665	9,34	3,20	12,54	107	8.900	56,3	655
236	372,2	68	30	12	0,90	2.330	589	9,13	3,15	12,28	106	7.990	50,6	589
237	369,7	80	22	9,7	0,80	1.520	451	8,85	3,78	12,63	71,3	6.320	40	466
238	367,1	73	30	8,7	0,80	1.690	459	10,07	3,46	13,53	84,9	6.870	43,5	506
239	366,3	76	30	9	0,80	1.720	485	9,95	3,38	13,33	84,9	7.150	45,3	527
240	364	84	22	9,3	0,80	1.310	408	9,33	4,15	13,48	65,4	6.110	38,6	450
241	362,5	81	22	10	0,80	1.470	442	9,17	3,87	13,04	71,1	6.380	40,4	470
242	361	87	22	9,7	0,80	1.420	458	8,60	3,81	12,41	65,4	6.310	39,9	464
243	359,7	79	22	9,7	0,70	1.410	415	9,24	4,21	13,45	70,3	6.160	39	453
244	352	85	22	9,2	0,70	1.250	392	8,55	4,35	12,90	59,6	5.620	35,5	414
645	350,7	77	22	9,5	0,70	1.470	420	9,15	4,00	13,15	71,5	6.100	38,6	450
246	349,5	71	22	10	0,70	1.660	440	9,09	3,74	12,83	79	6.220	39,3	458
247	348,5	80	22	10,5	0,70	1.700	503	9,10	3,55	12,65	79,6	7.060	44,7	520
248	346,8	81	22	9,5	0,70	1.420	427	8,82	4,00	12,82	67,6	6.070	38,4	447
249	345,9	79	22	9,2	0,60	1.240	364	9,67	4,61	14,28	65,7	5.750	36,4	424
250	344	67	30	9,4	0,80	2.000	497	9,42	3,50	12,92	95,5	7.100	44,9	522
251	342,6	68	30	9,4	0,80	1.700	420	9,92	3,82	13,74	86,4	6.510	41,2	480
252	341,6	60	30	8,8	0,50	1.850	410	9,71	3,87	13,58	92,8	6.170	39,1	455
253	340,5	71	30	9,5	0,80	1.850	486	9,83	3,45	13,28	90,6	7.130	45,1	525
254	337,4	74	26	9,6	0,80	1.460	403	9,40	4,02	13,42	72,9	5.980	37,8	440
255	336,1	75	26	9,6	0,80	1.540	430	9,37	3,82	13,19	75,4	6.270	39,7	462
256	334,4	75	26	8,6	0,80	1.550	433	10,14	3,54	13,68	78,7	6.540	41,4	482
257	333	70	26	8,5	0,80	1.560	405	10,29	3,60	13,89	80,1	6.220	39,3	458
258	332	75	26	8,6	0,80	1.570	437	10,44	3,70	14,14	82,1	6.830	43,2	503
259	331	79	26	8	0,80	1.350	395	10,02	4,01	14,03	70	6.130	38,8	451
260	329,5	81	26	8,3	0,80	1.390	418	10,03	3,98	14,01	72,2	6.480	41	477

Fig. 8.

Locomotive N° 2754
Coëfficients de laminage
pour des admissions de 22. 26. 30 et 34%
et une pression de régime comprise entre 9 et 13 K.

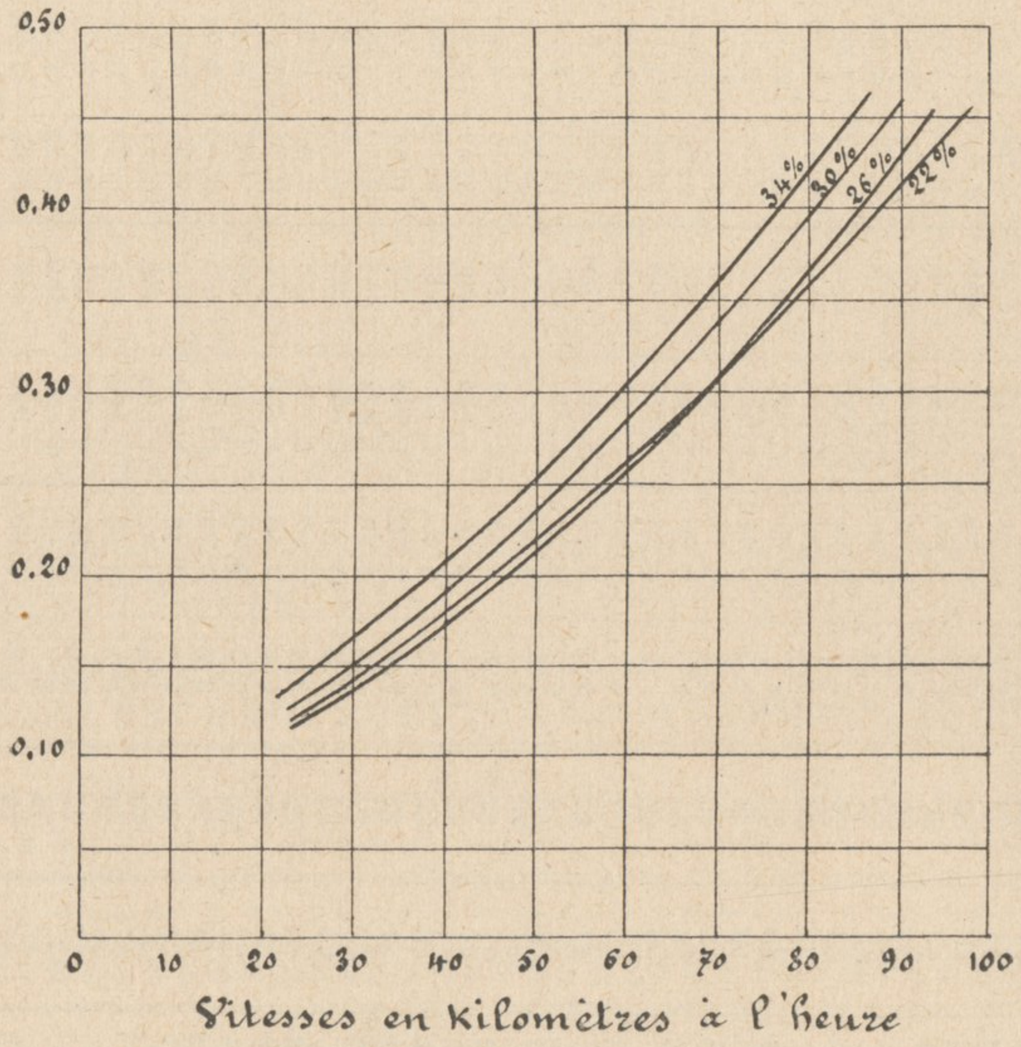
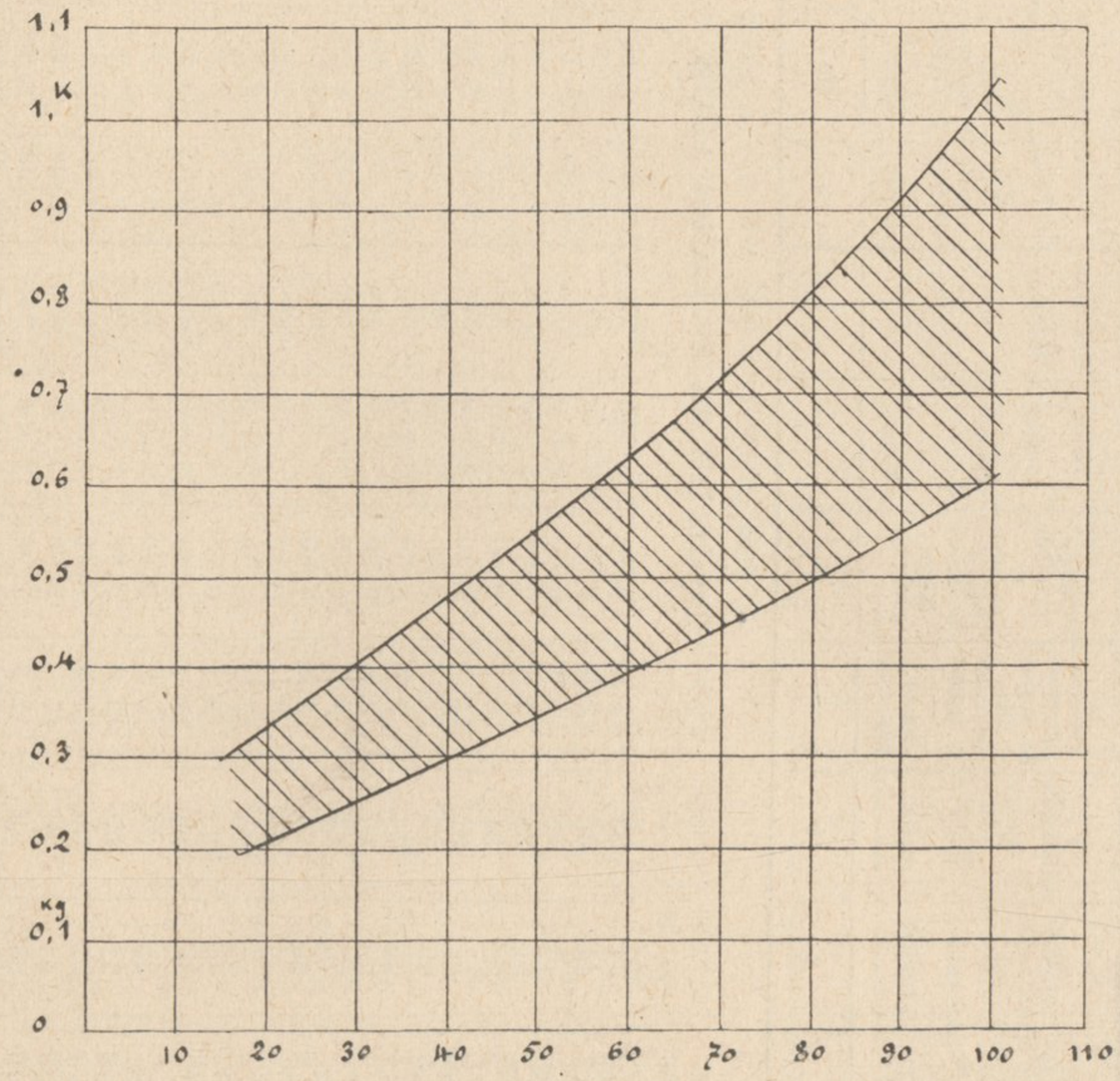


Fig. 9.

Locomotive N° 2754
Contrepression
pour des admissions de 20 à 30%
et des ouvertures de la valve d'échappement
de 37 à 78 cm²



La chute de pression entre la chaudière et la boîte à vapeur dépend surtout de l'ouverture du régulateur. Elle est de 6 à 8 kg. quand on marche au petit régulateur, de 4 à 5 kg. quand le régulateur est ouvert au cran 3 (20^{cm2} de section), de 2 à 3 kg. quand le levier est au cran 4, c'est-à-dire dans la position verticale (36^{cm2} de section) ; enfin, elle devient inférieure à 1 kg. dès que le levier atteint le cran 5 (53^{cm2} de section).

Les chiffres de la colonne 5 du tableau A (pression effective dans la boîte à vapeur) montrent qu'on n'utilise presque jamais dans les cylindres la haute pression (14 kg.) de la chaudière et cela parce que le fonctionnement de la distribution est défectueux aux admissions inférieures à 20 %.

Laminage pendant l'admission. — Le diamètre des cylindres distributeurs est de 180$^{m}/_{m}$, la longueur des lumières s'élève à 300$^{m}/_{m}$ et leur largeur à 75$^{m}/_{m}$, dans la machine N° 2754. L'ouverture maxima des lumières pendant l'admission et la section de passage correspondante sont indiquées ci-après :

	DIVISIONS DE LA RÈGLE							
	0	2	3	4	5	6	7	8
Admission en centièmes de course.....	8	21	29,8	39,5	50,8	63,5	70,7	75
Ouverture maxima des lumières en millimètres.....	4,9	6,3	8,4	11,2	15,3	22,9	29,8	35
Section de passage en centimètres carrés.....	14,70	18,90	25,20	33,60	45,90	68,70	87,40	105

L'admission usuelle étant toujours comprise, sauf au démarrage, entre 20 et 40 %, la section maxima de passage de la vapeur varie entre 18^{cm2},90 et 33^{cm2}.60 ; elle est donc faible et il en résulte que la chute de pression pendant l'admission est très prononcée comme on le voit sur les diagrammes de la Fig, 10. Le graphique de la Fig. 8 représente les variations du coefficient de laminage, c'est-à-dire du rapport de la chute de pression pendant l'admission à la pression dans la boîte à vapeur, en fonction de la vitesse et pour les admissions de 22, 26, 30 et 34 %. Aux vitesses supérieures à 90 km. à l'heure, la pression à la fin de l'admission n'est plus guère que la moitié de la pression dans la boîte à vapeur.

L'allure des courbes de la Fig. 8 présente une particularité assez curieuse. Aux vitesses inférieures à 70 km., le coefficient de laminage diminuerait un peu quand l'admission passe de 22 à 26 %, pour augmenter de nouveau quand l'admission est plus longue, tandis qu'aux vitesses supérieures à 70 km., le coefficient de laminage augmenterait uniformément en même temps que l'admission. Il est fort possible que cette inversion assez singulière ne soit pas la conséquence d'erreurs de calcul mais traduise un phénomène réel. En effet, quand, pour une vitesse donnée, on allonge l'admission, l'ouverture totale du tiroir ainsi que la durée de l'écoulement de la vapeur s'accroissent, ce qui tend à diminuer le coefficient de laminage, mais la quantité de vapeur passant dans le cylindre augmente aussi, ce qui tend à augmenter ce coefficient. Ces deux effets se compensant plus ou moins, le sens de la variation finale reste douteux et peut être différent suivant la vitesse de marche.

Contrepression. — Lorsque l'échappement variable est serré à fond, la section de la valve est de 31^{cm2},30 ; après desserrage d'un tour de volant, la section est de..... 44^{cm2},50
de deux tours..... 77^{cm2},50
de trois tours..... 113^{cm2},80
de quatre tours (ouverture en grand)..... 134^{cm2},70

Dans les essais effectués, la position du volant a généralement été maintenue entre 1/2 tour et 2 tours et, par suite, la section de la valve entre 37^{cm2} et 78^{cm2}.

Les contrepressions dans le cylindre se trouvent comprises dans le fuseau représenté sur la Fig. 9 pour des admissions variant de 20 à 30 %. Aux vitesses usuelles de 60 à 80 km. à l'heure, la contre-pression varie donc de $0^{kg.},5$ à $0^{kg.},8$.

3. — **Effort moteur et travail indiqué.**

La colonne 7 du tableau A et les diagrammes reproduits sur la Fig. 10 indiquent comment varie l'effort moteur ; les diagrammes N°s 344, 331, 330 donnent la variation en fonction de la vitesse, N°s 429, 412, 217, 228 en fonction du degré d'admission et N°s 118, 119, 422, 132, 348 en fonction de la pression de régime. L'effort maximum produit au démarrage a été de 4.887 kg. avec 45 % d'admission et $12^{kg.},8$ de pression dans la boîte à vapeur, mais on pourrait avec une admission plus longue obtenir un effort de 6.000 kg. environ.

Fig. 10.

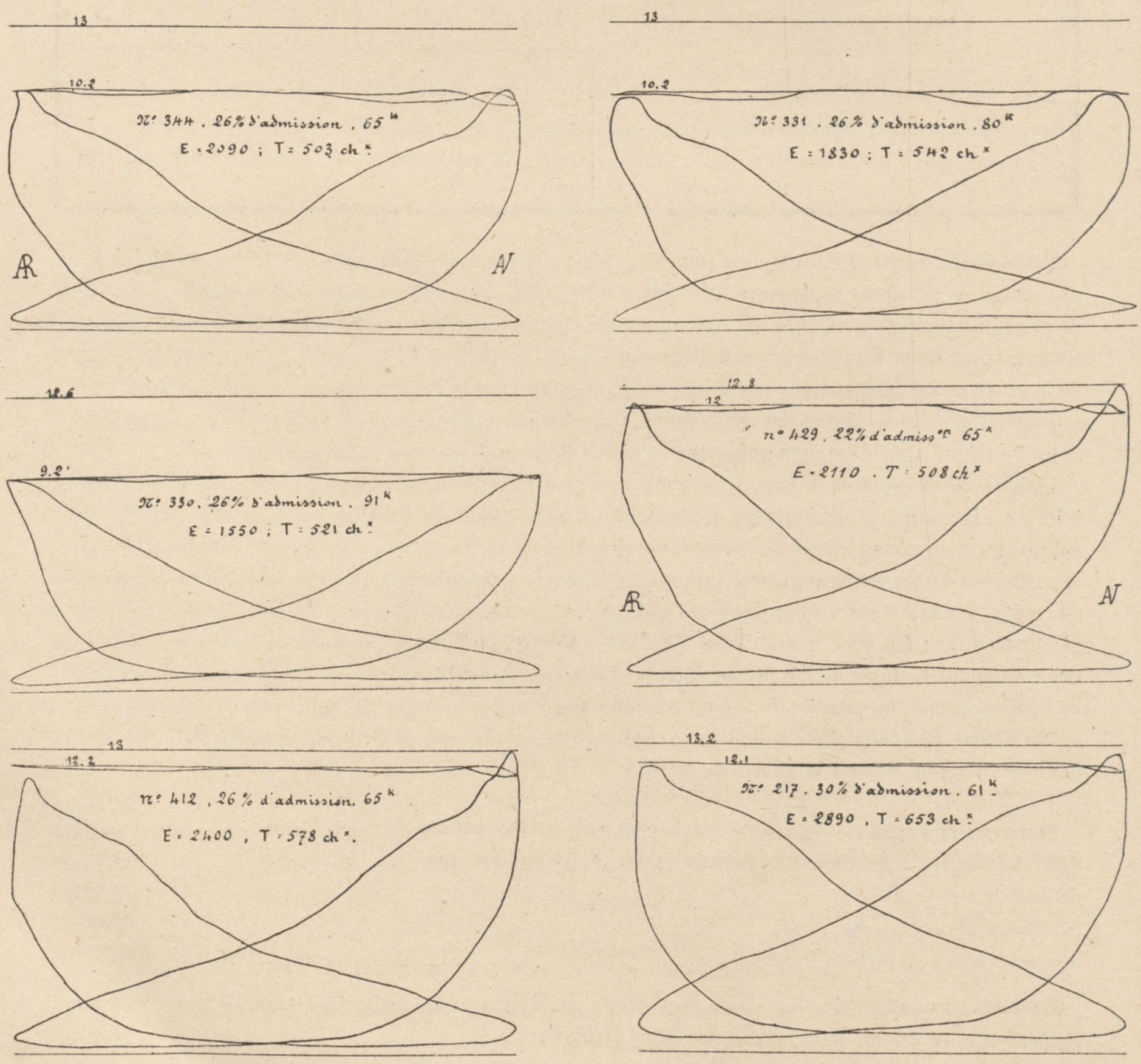
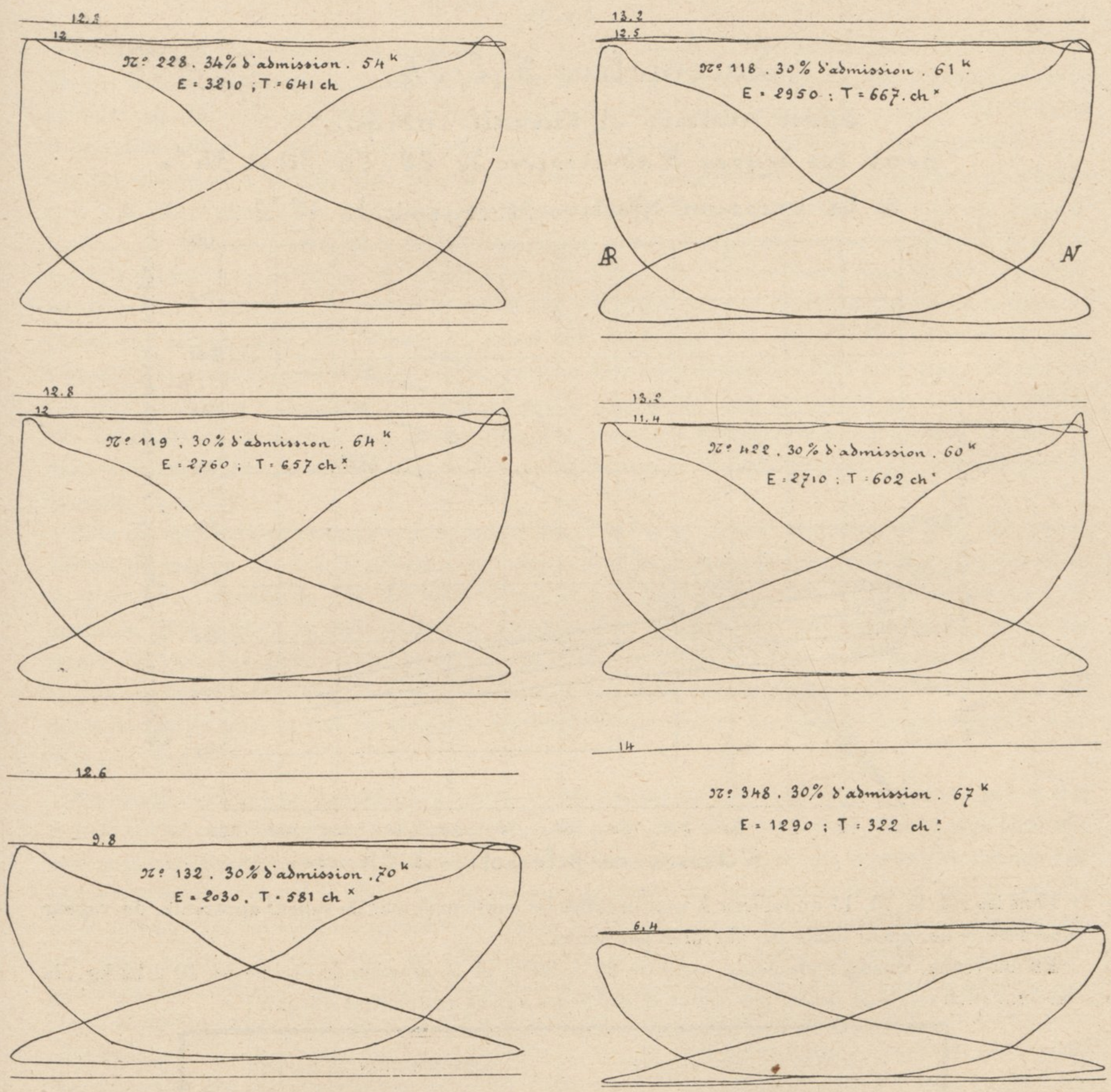


Fig. 10 (*Suite*).



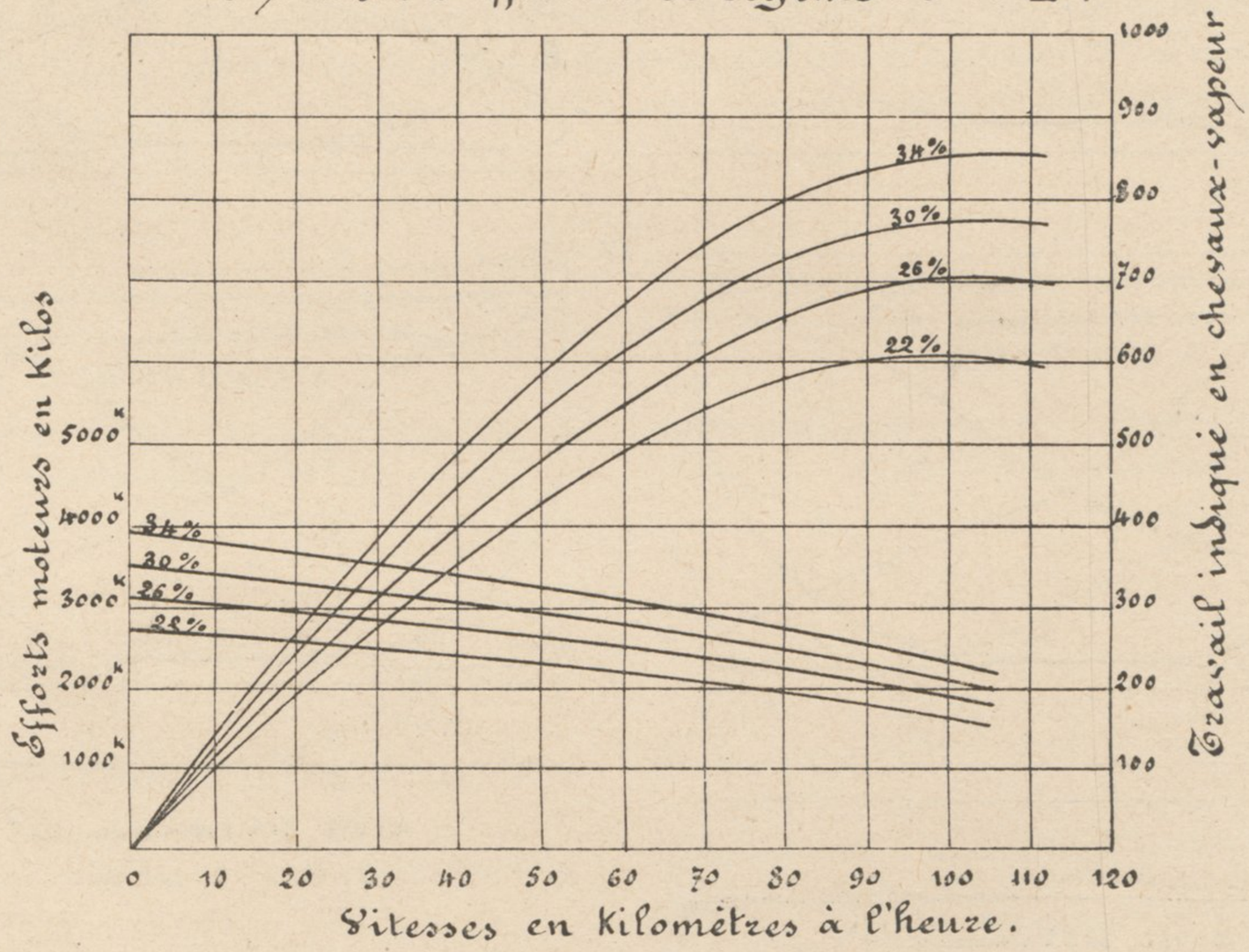
Les courbes E et T de la Fig. 11 représentent l'effort moteur et le travail indiqué en fonction de la vitesse et du degré d'admission pour la pression de régime de 12 kg. Le travail indiqué passe par un maximum pour des vitesses comprises entre 90 et 110 km. à l'heure suivant le degré d'admission. Avec 34 % d'admission, le maximum de puissance est de 850 chevaux, mais, comme on le verra plus loin, la capacité de production de la chaudière ne permet d'atteindre au plus que 700 chevaux.

4. — **Consommation de vapeur.**

Elle a été calculée à l'aide des mêmes formules et des mêmes coefficients des condensations que pour les machines précédemment étudiées N°s 2802 et 2617.

Dans la machine **2754**, le volume de l'espace nuisible est de 10 % du volume engendré ; sa surface est égale à $0^{m2},5986$.

Fig. 11.



Dans les col. 9, 10, 11 du tableau A sont inscrites les consommations de vapeur apparente, de vapeur condensée et de vapeur totale par cheval et par heure.

En moyenne, quand l'admission varie de 20 à 30 % et la pression de régime de 10 à 12 kg., la consommation totale de vapeur par cheval et par heure s'élève aux chiffres suivants :

VITESSE EN KILOMÈTRES à l'heure.	CONSOMMATION DE VAPEUR par cheval indiqué et par heure.
	kg.
démarrage	14,5
40	12,5
50	12,0
60	11,8
70	12,0
80	12,3
90	13,0
100	14,0

Cette consommation moyenne est obtenue en portant sur un graphique les chiffres de la colonne 11 du tableau A et en traçant la courbe moyenne.

5. — **Forme de la courbe de détente.**

Le tableau B (diagrammes du train 98 du 2 juillet) indique pour différents points de la courbe de détente voisins du début, du milieu et de la fin de cette phase le poids de vapeur apparente dans le cylindre. On déduit de ce tableau les mêmes conclusions qu'en ce qui concerne la machine 2617. Dans la cylindrée arrière, le poids de vapeur augmente légèrement pendant la détente, d'une quantité presque toujours inférieure à 10 grammes. Dans la cylindrée avant, l'augmentation est en moyenne plus faible et il y a même diminution dans beaucoup de cas. Cette différence peut tenir soit à ce que l'espace nuisible n'a pas, contrairement à ce que nous avons admis dans le calcul, rigoureusement la même valeur à l'avant et à l'arrière, soit plutôt à ce que, l'avant du cylindre étant beaucoup plus exposé au refroidissement extérieur, la vapeur continue à se condenser pendant une bonne partie de la détente. Quant aux écarts qu'on observe pour un même côté du piston d'un diagramme à un autre, ils proviennent très probablement, en dehors de la question de vitesse de rotation dont nous dirons un mot un peu plus loin, de la quantité d'eau entraînée par la vapeur, qui peut être tantôt assez élevée, tantôt très faible. Dans le premier cas, la réévaporation, lorsque la température baisse pendant la détente, doit évidemment être beaucoup plus importante que dans le second, puisqu'il y a une plus grande quantité d'eau.

Si la courbe de détente suivait exactement la loi de Mariotte : $p\,v =$ constante, le poids de vapeur devrait augmenter de 4 à 5 grammes en moyenne. La moyenne de l'augmentation sur les deux faces du piston dépasse de très peu cette valeur. Il y a analogie complète des résultats dans les deux machines 2754 et 2617, ce qui semble fixer définitivement la forme de la courbe de détente, quand les tiroirs sont étanches. Donc, toutes les fois que la courbe de détente se trouvera au-dessus de la courbe donnée par la loi de Mariotte, on pourra conclure ou que la vapeur est très humide, ou qu'il y a des fuites au distributeur, ou bien encore que le crayon de l'indicateur ne trace pas fidèlement ce qui se passe dans le cylindre.

En ce qui concerne ce dernier point, nous devons ajouter en effet que les diagrammes pris à très grande vitesse semblent accuser une augmentation du poids de vapeur pendant la détente plus forte que ceux pris aux vitesses moyennes. Cette différence provient sans doute de ce que la courbe de détente doit cesser d'être exacte quand la vitesse de rotation est très élevée. La variation de pression dans le cylindre ne se propage pas, en effet, instantanément dans le tuyau, de 1 mètre de longueur dans le cas présent, qui relie le cylindre à l'indicateur ; au delà d'une certaine vitesse de rotation, la durée de cette propagation peut devenir appréciable et il en résulterait alors un certain retard entre la pression agissant sur le piston de l'indicateur et la pression réelle dans le cylindre au même moment, retard qui aurait pour effet, puisque la pression va en diminuant dans le cylindre, de faire marquer par le crayon de l'indicateur des valeurs un peu plus grandes que la réalité. Nous reviendrons ultérieurement sur cette question de l'influence de la longueur du tuyau de communication sur l'exactitude de certaines parties des diagrammes, ayant eu l'occasion, dans les essais d'autres machines, d'opérer avec des tuyaux de longueur variable et parfois assez élevée.

6. — **Résultats obtenus en service.**

Travail moteur. — Le travail moteur a été totalisé sur la courbe des vitesses en fonction des espaces à l'aide des chiffres de la colonne 7 du tableau A. Les résultats en sont donnés au tableau C.

Travail résistant. — Pour calculer la résistance du train remorqué, on s'est servi comme toujours des formules de résistance rappelées plus haut à propos de la machine 2617.

Tableau B. — VARIATION DE LA QUANTITÉ DE VAPEUR PRÉSENTE DANS LES CYLINDRES PENDANT LA DÉTENTE (diagrammes du train 98 du 2 Juillet 1903).

NUMÉROS des diagrammes	Cylindrée arrière		Cylindrée avant		NUMÉROS des diagrammes	Cylindrée arrière		Cylindrée avant	
	fraction de course	quantité de vapeur kilogr.	fraction de course	quantité de vapeur kilogr.		fraction de course	quantité de vapeur kilogr.	fraction de course	quantité de vapeur kilogr.
1	0,389	0,2110	0,399	0,2259	13	0,370	0,2168	0,403	0,2358
	0,510	0,2087	0,555	0,2246		0,533	0,2194	0,586	0,2383
	0,671	0,2173	0,757	0,2236		0,720	0,2144	0,759	0,2304
2	0,380	0,2029	0,405	0,2195	14	0,339	0,1967	0,367	0,2110
	0,520	0,2045	0,580	0,2179		0,508	0,1980	0,560	0,2180
	0,700	0,2065	0,780	0,2162		0,686	0,2057	0,747	0,2157
3	0,366	0,1912	0,396	0,2093	15	0,350	0,1600	0,405	0,1754
	0,530	0,2023	0,540	0,2114		0,538	0,1608	0,561	0,1713
	0,690	0,2026	0,762	0,2118		0,718	0,1668	0,745	0,1726
4	0,400	0,1925	0,400	0,2015	16	0,348	0,1592	0,385	0,1728
	0,540	0,1944	0,590	0,2030		0,522	0,1622	0,564	0,1757
	0,690	0,1970	0,750	0,2005		0,691	0,1682	0,733	0,1784
5	0,380	0,1907	0,405	0,2095	17	0,357	0,1576	0,385	0,1663
	0,540	0,1971	0,570	0,2080		0,512	0,1569	0,573	0,1684
	0,705	0,1951	0,770	0,2052		0,686	0,1617	0,752	0,1710
6	0,360	0,1840	0,396	0,2009	18	0,404	0,1628	0,395	0,1720
	0,518	0,1904	0,550	0,2019		0,569	0,1628	0,573	0,1714
	0,693	0,1908	0,762	0,1978		0,717	0,1666	0,743	0,1745
7	0,296	0,1608	0,364	0,1896	19	0,375	0,1617	0,389	0,1708
	0,475	0,1645	0,572	0,1947		0,562	0,1669	0,567	0,1729
	0,675	0,1764	0,791	0,1948		0,720	0,1672	0,754	0,1752
8	0,377	0,1624	0,368	0,1710	20	0,355	0,2114	0,384	0,2304
	0,558	0,1612	0,567	0,1729		0,514	0,2192	0,547	0,2347
	0,712	0,1649	0,749	0,1757		0,701	0,2230	0,730	0,2368
9	0,290	0,1317	0,321	0,1463	21	0,375	0,2108	0,395	0,2281
	0,500	0,1381	0,561	0,1487		0,518	0,2087	0,584	0,2314
	0,677	0,1476	0,757	0,1481		0,684	0,2182	0,774	0,2226
10	0,308	0,1432	0,368	0,1605	22	0,365	0,2084	0,375	0,2205
	0,470	0,1462	0,543	0,1551		0,547	0,2146	0,567	0,2317
	0,690	0,1500	0,750	0,1583		0,730	0,2129	0,768	0,2250
11	0,366	0,1635	0,400	0,1759	23	0,355	0,2114	0,408	0,2395
	0,527	0,1684	0,600	0,1783		0,519	0,2200	0,576	0,2421
	0,698	0,1697	0,737	0,1785		0,696	0,2243	0,768	0,2406
12	0,378	0,1736	0,412	0,1871	24	0,380	0,2029	0,380	0,2173
	0,563	0,1781	0,568	0,1911		0,542	0,2119	0,551	0,2220
	0,708	0,1824	0,776	0,1868		0,725	0,2079	0,722	0,2315

Tableau B (*suite*).

NUMÉROS des diagrammes	Cylindrée arrière		Cylindrée avant		NUMÉROS des diagrammes	Cylindrée arrière		Cylindrée avant	
	fraction de course	quantité de vapeur kilogr.	fraction de course	quantité de vapeur kilogr.		fraction de course	quantité de vapeur kilogr.	fraction de course	quantité de vapeur kilogr.
25	0,365	0,1302	0,368	0,1340	37	0,268	0,1182	0,365	0,1453
	0,528	0,1336	0,576	0,1387		0,444	0,1228	0,567	0,1369
	0,720	0,1342	0,778	0,1351		0,668	0,1257	0,743	0,1381
26	0,353	0,1665	0,402	0,1834	38	0,239	0,1368	0,338	0,1466
	0,525	0,1750	0,588	0,1845		0,517	0,1350	0,548	0,1487
	0,706	0,1764	0,765	0,1814		0,668	0,1425	0,749	0,1503
27	0,390	0,1844	0,415	0,1937	39	0,275	0,1307	0,315	0,1423
	0,550	0,1889	0,580	0,1952		0,468	0,1332	0,495	0,1435
	0,715	0,1912	0,765	0,1931		0,680	0,1365	0,720	0,1491
28	0,342	0,1427	0,385	0,1580	40	0,266	0,1377	»	»
	0,532	0,1538	0,551	0,1570		0,471	0,1389		
	0,703	0,1525	0,725	0,1618		0,680	0,1413		
29	0,272	0,1211	»	»	41	0,252	0,1337	0,282	0,1444
	0,475	0,1248				0,465	0,1325	0,469	0,1424
	0,660	0,1301				0,617	0,1331	0,691	0,1459
30	0,298	0,1174	0,339	0,1272	42	0,326	0,1476	0,335	0,1570
	0,472	0,1217	0,543	0,1820		0,502	0,1412	0,535	0,1532
	0,659	0,1242	0,717	0,1375		0,679	0,1446	0,726	0,1539
31	0,288	0,1311	0,365	0,1494	43	0,303	0,1313	0,285	0,1379
	0,459	0,1321	0,550	0,1480		0,463	0,1281	0,500	0,1458
	0,693	0,1367	0,750	0,1507		0,663	0,1316	0,712	0,1461
32	0,335	0,1416	0,353	0,1516	44	0,290	0,1352	0,368	0,1567
	0,502	0,1412	0,554	0,1519		0,520	0,1400	0,538	0,1511
	0,688	0,1463	0,730	0,1486		0,676	0,1440	0,732	0,1535
33	0,321	0,1006	0,347	0,1078	45	0,269	0,1311	0,323	0,1397
	0,463	0,0986	0,561	0,1083		0,464	0,1323	0,537	0,1376
	0,628	0,1026	0,730	0,1053		0,655	0,1354	0,728	0,1371
34	0,341	0,1436	0,377	0,1597	46	0,279	0,1251	0,307	0,1395
	0,497	0,1411	0,571	0,1558		0,461	0,1292	0,538	0,1378
	0,672	0,1466	0,745	0,1574		0,634	0,1329	0,711	0,1401
35	0,288	0,1304	0,315	0,1389	47	0,279	0,1101	0,336	0,1248
	0,464	0,1347	0,540	0,1428		0,471	0,1124	0,557	0,1224
	0,639	0,1339	0,707	0,1467		5,648	0,1159	0,730	0,1240
36	0,297	0,1247	0,338	0,1368					
	0,504	0,1269	0,545	0,1381					
	0,675	0,1268	0,725	0,1351					

Tableau C. — Travail moteur totalisé.

TRAJET entre Stations d'arrêt.	Distance totale. km.	Durée totale du parcours — minutes.	Vitesse moyenne en km. à l'heure.	Points kilométriques où le régulateur a été ouvert.	Points kilométriques où le régulateur a été fermé.	Distance parcourue à régulateur ouvert. km.	Durée du parcours à régulateur ouvert — minutes.	Vitesse moyenne en km. à l'heure.	Travail moteur en milliers de kilogrammètres.	Puissance moyenne en chevaux-vapeur.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Train 98 du 9 Octobre 1902.										
				414,9	407,7	7,2	7 8/10	55,4	24.410	695
				405,4	400,3	5,1	4 3/10	71,1	12.810	662
				400	384,2	15,8	16 1/10	58,8	47.830	660
				381,1	379	2,1	1 6/10	78,6	3.520	490
				375,6	371,7	3,9	3	78	7.460	553
				370,6	365,9	4,7	3 8/10	74,2	7.670	448
Niort à Thouars...	89,8	74	72,8	364,4	359,4	5,0	3 5/10	85,8	6.770	430
				353,2	348,8	4,4	3	88,2	5,970	442
				348	339,1	8,9	6 9/10	78	17.210	554
				338	330,4	7,6	5 2/10	87,6	11.680	500
				328,5	327,8	0,7	0 4/10	»	1,050	»
				326,9	326,2	0,7	0 4/10	»	1.050	»
Totaux et moyennes.....						66,1	56 3/10	70,4	147.430	582
Train 99 du 9 Octobre 1902.										
				325,1	344,4	19,3	17 2/10	67,3	37.530	485
				346,8	367,7	20,9	17 6/10	71,1	42.520	537
Thouars à Niort...	89,8	77	70	369,3	387	17,7	17 5/10	60,6	35.900	456
				405,5	409,5	4	3 1/10	78	5.000	358
Totaux et moyennes.....						61,9	55 4/10	67	120.950	485

Tableau C (*Suite*).

TRAJET entre Stations d'arrêt.	Distance totale. km.	Durée totale du parcours — minutes.	Vitesse moyenne en km. à l'heure	Ponts kilométriques où le régulateur a été ouvert.	Ponts kilométriques où le régulateur a été fermé.	Distance parcourue à régulateur ouvert. km.	Durée du parcours à régulateur ouvert — minutes.	Vitesse moyenne en km. à l'heure.	Travail moteur en milliers de kilogram-mètres.	Puissance moyenne en chevaux-vapeur.
1	2	3	4	5	6	6	8	9	10	11
Train 86 du 21 Octobre 1902.										
				285,7	279	6,7	7	57,4	13.780	437
Saumur à Noyant..	32,7	30 5/10	64,3	278,5	264,8	13,7	11 9/10	69	24.950	466
				263,1	254,3	8,8	8 3/10	63,6	17.660	473
Noyant à Château-la-Vallière.....	16,9	16	63,3	253	245,7	7,3	7 7/10	56,9	15,360	443
				243	238,2	4,8	4	72	10,730	596
Château-la-Vallière à Château-du-Loir.	19,1	18 3/10	62,6	236,1	226,7	9,4	9 8/10	57,6	22.320	506
Château-du-Loir à Pont-de-Braye....	24,6	20 9/10	70,8	217	194	23	19 2/10	72	41.220	477
Totaux et moyennes.	93,3	85 7/10	65,3			73,7	67 9/10	65,1	146.020	478
Train 86 du 24 Octobre 1902.										
				285,7	264,3	21,4	19 4/10	66,2	41.760	478
Saumur à Noyant..	32,7	30 1/10	65,2	263,2	254,2	9	8 6/10	62,8	18.490	477
Noyant à Château-la-Vallière.....	16,9	16 6/10	61	253	244,8	8,2	8 7/10	56,6	17.740	453
				243,2	237,8	5,4	4 7/10	69	10.220	483
Château-la-Vallière à Château-du-Loir.	19,1	18	63,6	236,1	226,5	9,6	10 1/10	57	22.690	500
				220,2	218,4	1,8	1 5/10	72	2.430	360
Château-du-Loir à Pont-de-Braye (1).	24,6	24 6/10	60	217	203 (1)	14	13	64,6	27.470	469
				201,4	193,6	7,8	8 5/10	55	17.140	448
Totaux et moyennes.	93,3	89 3/10	62,7			77,2	74 5/10	62,2	157.940	471

(1) arrêt sur un signal fermé.

Tableau C (*Suite*).

TRAJET entre Stations d'arrêt.	Distance totale. km.	Durée totale du parcours — minutes.	Vitesse moyenne en km. à l'heure.	Points kilométriques où le régulateur a été ouvert.	Points kilométriques où le régulateur a été fermé.	Distance parcourue à régulateur ouvert. km.	Durée du parcours à régulateur ouvert — minutes.	Vitesse moyenne en km. à l'heure.	Travail moteur en milliers de kilogrammètres.	Puissance moyenne en chevaux-vapeur.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Train 98 du 24 Juin 1903.										
Niort à Thouars...	89.8	76	70.9	414,9	408	6,9	8 4/10	49,3	19.400	513
				405,9	384,8	21,1	18 7/10	67,7	51.140	608
				381,3	379,3	2	1 5/10	80	2.750	408
				375,5	371,8	3,7	2 9/10	76,5	7.040	540
				369,2	366,7	2,5	2	75	4.840	538
				364,1	361,5	2,6	1 9/10	82	3.900	456
				353,2	349,4	3,8	2 8/10	81,4	5.150	409
				347,9	341	6,9	5 3/10	78	13.770	580
				338	332,3	5,7	4 3/10	79,5	9.190	470
				330,6	328,1	2,5	2 2/10	68,3	3.800	384
Totaux et moyennes.....						57,7	50	69,2	120.980	538
Train 98 du 1er Juillet 1903.										
Niort à Thouars...	89,8	77	70	414,9	408,2	6,7	8 7/10	46,2	21.920	560
				406,2	384,4	21,8	21 4/10	61,1	60.680	630
				381,5	378,6	2,9	2 2/10	77,4	5.120	505
				375,8	371,5	4,3	3 5/10	75	8.060	520
				370	366,3	3,7	2 9/10	76,5	5.900	450
				365	359,7	5,3	3 8/10	83,7	7.370	430
				353,4	340,1	13,3	10 7/10	74,2	20.570	425
				338,2	329	9,2	7 5/10	74	13.530	404
				327,4	326	1,4	1 2/10	70	2.100	390
Totaux et moyennes.....						68,6	61 9/10	66,5	145.250	522
Train 98 du 2 Juillet 1903.										
Niort à Thouars...	89,8	77	70	414,9	408,2	6,7	8 8/10	45,7	20.190	510
				406	384,4	21,6	20 5/10	63,2	55.620	603
				381,3	378,7	2,6	2 1/10	76,2	4.680	507
				376	371,7	4,3	3 2/10	80,6	7.730	537
				369,7	366	3,7	2 9/10	76,5	7.950	609
				363,5	360	3,5	2 4/10	87,5	5.990	555
				352,8	349,4	3,4	2 3/10	86,7	6.280	594
				347	341	6	4 8/10	75	12,610	584
				338,7	325,9	6,9	6 5/10	63,7	12.420	424
Totaux et moyennes						58,7	53 5/10	65,8	133.470	554

La résistance spéciale de la machine 2754 a été obtenue en faisant la différence entre le travail moteur (tableau C) et le travail résistant dû au train. La machine, dont le poids en ordre de marche est de 50 tonnes, était accouplée, dans les quatre essais de 1902, avec un tender à bogie de 20^{m3} de capacité dont le poids moyen s'élevait à 40 tonnes et dans les trois essais de 1903 avec un petit tender de 10^{m3} dont le poids moyen était de 26 tonnes. Malgré cela, on trouve que la résistance par tonne de machine et tender a été la même dans les deux cas et correspond à la formule :

$$\rho = 3{,}8 + 0{,}66\ V\ \left(\frac{V + 40}{1.000}\right)$$

A régulateur fermé, la résistance est d'environ 10 % plus faible qu'à régulateur ouvert.

Le tableau D donne, d'après ces bases, l'évaluation détaillée du travail résistant total.

Le train rapide N° 98, sur le parcours de Niort à Thouars, a été fait quatre fois dans des conditions légèrement différentes. Le 9 octobre 1902, le travail moteur s'est élevé en nombres ronds à 147 millions de kilogrammètres, avec un train de 117 tonnes, la machine et le tender pesant 92 tonnes ; le 24 juin 1903, toujours par un temps beau et calme, le travail moteur n'a été que de 121 millions de kilogrammètres avec un train de 113 tonnes, soit 4 tonnes de moins seulement, mais la machine et le tender ne pesant que 76 tonnes. Le travail nécessaire pour remorquer un grand tender au lieu d'un petit représente donc dans l'espèce environ 22 millions de kilogrammètres, c'est-à-dire 15 % du travail total développé par la machine.

Le 2 juillet 1903, le travail moteur s'est élevé à 133 millions de kilogrammètres avec un train de 136 tonnes et un petit tender. L'augmentation par rapport au train du 24 juin est due, jusqu'à concurrence de 10 millions et demi de kilogrammètres, à l'augmentation du tonnage remorqué. En outre, dans l'essai du 2 juillet, le coupe-vent qui se trouve à l'avant de la boîte à fumée avait été retiré. Le travail moteur a, de ce fait, été augmenté d'environ 1 million de kilogrammètres, soit d'un peu moins de 1 %.

Le 1er juillet, avec un train identiqne à celui du 2 juillet, le travail moteur, à cause d'un assez fort vent contraire de 8 à 10 mètres par seconde, s'est élevé à 145 millions de kilogrammètres, soit 9 % de plus que le 2 juillet.

Le 9 octobre 1902, on a fait successivement le parcours de Niort à Thouars et le retour aux trains rapides N° 98, qui part de Niort à 12 h. 44′ et N° 99, qui part de Thouars à 2 h. 48′ du soir. Il est alloué 77 minutes pour effectuer sans arrêt ce trajet de 89 km., 800, qui est assez accidenté, puisque de Niort, qui est à la cote $28^{m},13$, et de Thouars, qui est à la cote $87^{m},60$, on s'élève jusqu'à la cote $213^{m},70$ par de longues déclivités de 10 millièmes. L'action de la gravité est au total résistante dans le sens pair et motrice dans le sens impair. Elle a été (voir tableau D) de + 13 millions de kilogrammètres au train 98 et de —11 millions de kilogrammètres au train 99. Si on fait abstraction de la gravité, on vérifie que le travail moteur a bien été le même pour les deux trains, à 2 % près.

Quant aux trains de même tonnage des 21 et 24 octobre, la marche du second a été contrariée par le vent, ce qui a exigé un travail supplémentaire de 8 % environ.

Les comparaisons ci-dessus démontrent l'exactitude des résultats obtenus, tant en ce qui concerne le travail moteur totalisé qu'en ce qui concerne la résistance du matériel et de la machine.

Consommation d'eau et de charbon. — La consommation réelle d'eau, moins 4 % pour les pertes, est indiquée sur le tableau E (colonne 5). La consommation de vapeur, obtenue théoriquement en totalisant sur la courbe des vitesses en fonction des espaces les nombres portés à la colonne 12 du tableau A, est inscrite aux colonnes 8 et 9 du tableau E. Il y a accord à 8 % près entre la consommation réelle d'eau et la consommation calculée de vapeur. Or, si on tient compte de la dépense de la pompe à air (environ 3 %), il ne reste plus qu'un écart de 5 % entre la consommation d'eau et celle de vapeur, écart qui représente la teneur en humidité de la vapeur.

Tableau D. — Travail résistant totalisé.

Du point kilométrique	Au point kilométrique	Le régulateur est	Vitesse en kilom. à l'heure au début	Vitesse en kilom. à l'heure à la fin	Différence d'altitude — mètres	Travail résistant en milliers de kilogrammètres Train	Travail résistant en milliers de kilogrammètres Machine et tender	Travail dû à la gravité — milliers de kilogram.	Variation de force vive — milliers de kilogram.	Travail résistant total — milliers de kilogram.	Travail moteur — milliers de kilogram.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Train 98 du 9 octobre 1902 (beau temps, calme.) poids moyen de la machine et du tender ..... 92t ; tonnage remorqué, en matériel à grand écartement.. 117t											
414,9	407,7	ouvert	0	78	+ 37,18	3.009	5.346	+ 7.882	+ 5.050	22.093	24.410
407,7	405,4	fermé	78	82	— 17,40	1.403	2.196	— 3.688	+ 511	— 364	0
405,4	384,2	»	82	80	+ 155,19	9.572	16.540	+ 32.900	— 269	59.012	60.640
384,2	359,4	»	80	89	— 62,80	14.528	24.131	— 13.312	+ 1.262	26.488	26.200
359,4	353,2	fermé	89	89	— 47,80	4.110	6.310	— 10.133	0	898	0
353,2	348	»	89	81	— 5,00	3.250	5.280	— 1.048	— 1.129	5.866	5.970
348	339,1	ouvert	81	92	+ 14,00	5.063	8.791	+ 2.968	+ 1.579	18.913	17.210
339,1	330,4	»	92	93	— 4,36	5.438	9.200	— 924	+ 154	13.083	11.680
330,4	326,2	»	93	58	— 4,74	2.435	4.330	— 1.005	— 4.385	3.053	2.100
		Totaux.....			+ 64,27	48.808	81.924	+ 13.132	+ 2.773	146.637	147,430
Train 99 du 9 octobre 1902 (beau temps, calme.) poids moyen de la machine et du tender ..... 87t ; tonnage remorqué, en matériel à grand écartement.. 117t											
325,1	344,4	ouvert	0	83	+ 16,09	10.130	17.520	+ 3.411	+ 5.717	36.778	37.530
344,4	346,8	fermé	83	71	— 12,79	1.455	2.170	— 2.711	— 1.533	— 619	0
346,8	367,7	ouvert	71	71	+ 70,18	10.521	18.625	+ 14.877	0	44.023	42.520
367,7	369,3	fermé	71	57	— 2,70	772	1.180	— 572	— 1.487	— 107	0
369,3	387	ouvert	57	64	+ 43,12	7.868	14.000	+ 9.141	+ 703	31.712	35.900
387	405	fermé	64	94	— 157,59	11.325	17.105	— 33.409	+ 3.934	— 1.230	0
405	413,5	»	94	90	— 6,77	4.120	6.715	— 1.433	— 610	8.791	5.000
		Totaux.....			— 50,46	45.191	77.315	— 10.697	+ 6.723	118.532	120.950
Train 86 du 21 octobre 1902 (beau temps, calme.) poids moyen de la machine et du tender ..... 90t ; tonnage remorqué : matériel à grand écartement. 117t ; matériel ordinaire ..... 24t ; Total 141t											
285,7	279	ouvert	0	77	0	3.710	5.026	0	+ 5.484	14.220	13.780
279	278,5	fermé	77	72	0	295	364	0	— 689	— 30	0
278,5	264,8	ouvert	72	75	+ 26,23	8.055	10.883	+ 6.190	+ 408	25.536	24.950
264,8	263,1	fermé	75	72	— 6,47	1.065	1.293	— 1.527	— 408	423	0
263,1	254,3	ouvert	72	65	+ 35,79	4.845	6.561	+ 8.446	— 887	18.965	17.660
253	245,7	ouvert	0	77	+ 4,44	4.055	5.349	+ 1.048	+ 5.484	15.936	15.360
245,7	243	fermé	77	74	— 13,14	1.640	1.989	— 3.101	— 419	109	0
243	238,2	ouvert	74	66	+ 22,10	2.885	3.895	+ 5.215	— 1.036	10.959	10.730
236,1	226,7	ouvert	0	69	+ 22,36	5.110	6.921	+ 5.277	+ 4.404	21.712	22.320
226,7	218	fermé	69	48	— 48,38	5.520	6.726	— 11.417	— 2.272	— 1.443	0
217	194	ouvert	0	81	+ 9,40	14.795	20.145	+ 2.218	+ 6.069	43.227	41.220
		Totaux.....				51.975	69.152	+ 12.349	+ 16.138	149.614	146.020

Tableau D (*suite*).

Du point kilométrique	Au point kilométrique	Le régulateur est	Vitesse en kilom. à l'heure au début	Vitesse en kilom. à l'heure à la fin	Différence d'altitude — mètres	Travail résistant en milliers de kilogrammètres Train	Travail résistant en milliers de kilogrammètres Machine et tender	Travail dû à la gravité — milliers de kilogram.	Variation de force vive — milliers de kilogram.	Travail résistant total — milliers de kilogram.	Travail moteur — milliers de kilogram.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Train 86 du 24 octobre 1902 — beau temps, assez fort vent contraire à 45°. — poids total de la machine et du tender..... 90t ; tonnage remorqué : matériel à grand écartement . 117 ; matériel ordinaire ..... 24t ; Total 141t											
285,7	264,3	ouvert	0	82	+ 22,42	12.624	17.208	+ 5.291	+ 6.220	41.343	41.760
264,3	263,2	fermé	82	71	— 2,52	712	864	— 594	— 1.556	— 574	0
263,2	254,2	ouvert	71	60	+ 36,09	5.000	6.755	+ 8.517	— 1.323	18.949	18.490
253	244,8	ouvert	0	77	+ 2,50	4.392	5.928	+ 590	+ 5.484	16.394	17.740
244,8	243,2	fermé	77	78	— 11,20	1.056	1.292	— 2.643	+ 143	— 152	0
243,2	237,8	ouvert	78	70	+ 17,80	3.130	4.280	+ 4.200	— 1.095	10.515	10.220
236,1	226,5	ouvert	0	73	+ 20,56	5.065	6.893	+ 4.852	+ 4.929	21.739	22.690
226,5	220,2	fermé	73	70	— 46,58	4.320	5.216	— 10.993	— 396	— 1.853	0
220,2	218,4	ouvert	70	70	0	1.085	1.463	0	0	2.548	2.430
217	203	ouvert	0	78	+ 5,14	8.360	11.272	+ 1.213	+ 5.628	26.473	27.470
201,4	193,6	ouvert	0	76	+ 0,67	4.475	6.052	+ 158	+ 5.343	16.028	17.140
				Totaux.....		50.219	67.223	+ 10.591	+ 23.377	151.410	157.940
Train 98 du 24 juin 1903 — beau, calme. — poids moyen de la machine et du tender ..... 76t ; tonnage remorqué, en matériel à grand écartement.. 113t											
414,9	408	ouvert	0	83	+ 39,78	2.650	3.759	+ 7.518	+ 5.125	19.051	19.400
408	405,9	fermé	83	86	— 19,10	1.174	1.483	— 3.610	+ 377	— 576	0
405,9	384,8	ouvert	86	73	+ 160,89	9.985	14.043	+ 30.408	— 1.538	52.898	51.140
384,8	361,5	»	73	101	— 71,00	12.536	17.287	— 13.412	+ 3.624	20.035	18.530
361,5	347,9	»	101	84	— 52,70	7.296	9.676	— 9.960	— 2.340	4.672	5.150
347,9	341	ouvert	84	80	+ 28,05	3.659	5.246	+ 5.301	— 488	13.718	13.770
341	329,5	»	80	83	— 20,95	6.220	8.491	— 3.957	+ 364	11.118	12.990
				Totaux.....	+ 64,97	43.520	59.985	+ 12.288	+ 5.124	120.917	120.980
Train 98 du 1er juillet 1903 — beau, fort vent debout. — poids moyen de la machine et du tender ..... 76t ; tonnage remorqué, en matériel à grand écartement.. 136t											
414,9	408,2	ouvert	0	67	+ 41,78	2.865	3.496	+ 8.856	+ 3.744	18.961	21.920
408,2	406,2	fermé	67	77	— 19,00	1.272	1.280	— 4.028	+ 1.200	— 276	0
406,2	384,4	ouvert	77	76	+ 154,79	11.335	13.061	+ 32.814	— 127	57.083	60.680
384,4	359,7	»	76	79	— 64,20	17.274	18.443	— 13.609	+ 388	22.496	26.450
359,7	353,4	fermé	79	80	— 47,30	4.456	4.437	— 10.027	+ 133	— 1.001	0
353,4	340,1	ouvert	80	75	+ 10,80	8.305	9.674	+ 2.289	— 646	19.622	20.570
340,1	326	»	75	66	— 14,64	9.122	10.009	— 3.103	— 1.058	14.970	15.630
				Totaux.....	+ 62,23	54.629	60.400	+ 13.192	+ 3.634	131.855	145.250
Train 98 du 2 juillet 1903 — beau, calme. — poids moyen de la machine et du tender ..... 76t ; tonnage remorqué, en matériel à grand écartement.. 136t											
414,9	408,2	ouvert	0	65	+ 41,78	2.898	3.489	+ 8.856	+ 3.522	18.765	20.190
408,2	406	fermé	65	80	— 21,00	1.380	1.476	— 4.452	+ 1.813	217	0
406	384,4	ouvert	80	74	+ 156,79	11.588	13.642	+ 33.238	— 770	57.698	55.620
384,4	347	»	74	79	— 115,60	25.724	28.713	— 24.507	+ 641	30.571	32.630
347	341	ouvert	79	72	+ 25,15	3.760	4.508	+ 5.331	— 880	12.719	12.610
341	325,9	»	72	65	— 24,65	8.624	9.760	— 5.226	— 800	12.358	12.420
				Totaux.....	+ 62,47	53.974	61.588	+ 13.240	+ 3.522	132.328	133.470

Tableau E. — Consommation d'eau.

PARCOURS, NUMÉRO et DATE DU TRAIN	DISTANCE TOTALE — Kilom.	TEMPS pendant lequel le régulateur a été ouvert — Minutes	PUISSANCE MOYENNE — Chevaux-Vapeur	CONSOMMATION RÉELLE D'EAU EN KILOGR. totale	CONSOMMATION RÉELLE D'EAU EN KILOGR. par kilom. du parcours total	CONSOMMATION RÉELLE D'EAU EN KILOGR. par cheval et par heure	CONSOMMATION calculée DE VAPEUR SÈCHE en kilogr. totale	CONSOMMATION calculée DE VAPEUR SÈCHE en kilogr. par cheval et par heure	Pourcentage de la différence entre la consommation réelle d'eau et la consommation calculée de vapeur	POUR LE PARCOURS A RÉGULATEUR OUVERT Consommation moyenne réelle d'eau par heure — Kilogr.	POUR LE PARCOURS A RÉGULATEUR OUVERT Vaporisation moyenne par m2 de surface de chauffe et par heure — Kilogr.	POUR LE PARCOURS A RÉGULATEUR OUVERT Consommation moyenne de charbon par m2 de surface de grille et par heure — Kilogr.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Train N° 98 du 9 octobre 1902.												
Niort à Thouars.....	89,8	56 3/10	582	7.100	79	13,00	6.764	12,38	4,7 %	7.560	47,8	586
Train N° 99 du 9 octobre 1902.												
Thouars à Niort.....	89,8	55 4/10	485	6.240	69,5	13,93	5.805	12,96	7 %	6,760	42,8	504
Train N° 86 du 21 octobre 1902.												
Saumur à Noyant.....	32,7	27 2/10	460	2.853	87,2	13,67	2.492	11,96	12,8 %	6.290	39,8	460
Noyant à Château-la-Vallière.....	16,9	11 7/10	496	1.325	78,4	13,70	1.158	11,97	12,6 %	6.800	43,0	496
Château-la-Vallière à Château-du-Loir....	19,1	9 8/10	506	1.110	58,1	13,44	983	11,90	11,4 %	6.796	43,0	496
Château-du-Loir à Pont-de-Braye.....	24,6	19 2/10	477	1.850	75,2	12,11	1.889	12,36	»	5.780	36,6	422
Totaux et Moyennes..	93,3	67 9/10	478	7.138	76,5	13,20	6.522	12,05	8,6 %	6.300	40,0	460
Train N° 86 du 24 octobre 1902												
Saumur à Noyant.....	32,7	28	478	3.086	94,4	13,80	2.762	12,40	10,5 %	6.610	41,8	469
Noyant à Château-la-Vallière.....	16,7	13 4/10	464	1.329	78,7	12,82	1.319	12,71	0,8 %	5.940	37,6	422
Château-la-Vallière à Château-du-Loir...	19,1	11 6/10	481	1.160	60,7	12,48	1.131	12,20	2,5 %	6.000	38	426
Château-du-Loir à Pont-de-Braye.....	24,6	21 5/10	461	2.244	91,2	13,58	2.033	12,32	9,4 %	6.260	39,6	444
Totaux et Moyennes..	93,3	74 5/10	471	7.819	83,8	13,40	7.245	12,38	7,3 %	6.300	40,0	447
Train N° 98 du 24 juin 1903.												
Niort à Thouars.....	89,8	50	538	5.972	66,5	13,32	5.528	12,33	7,5 %	7.170	45,3	581
Train N° 98 du 1er juillet 1903.												
Niort à Thouars.....	89,8	61 9/10	522	7.640	85,1	14,18	6.885	12,77	9,9 %	7.400	46,8	545
Train N° 98 du 2 juiilet 1903.												
Niort à Thouars.....	89,8	53 5/10	554	6.800	75,7	13,7	6.182	12,51	9,1 %	7.630	48,3	548
Totaux et Moyennes pour tous les trains..	635,6	419 5/10	515	48.709	76,6	13,52	44.931	12,48	7,7 %	6.960	44,0	513

Le tableau F donne la consommation de charbon et le taux de vaporisation ; on en déduit la consommation de charbon par mètre carré de grille et par heure inscrite aux colonnes 14 du tableau A et 13 du tableau E.

Puissance maxima. — La machine a développé sa puissance maxima en régime permanent aux trains 98 des 9 octobre et 1er juillet entre les points kilométriques 403 et 385, trajet en rampe de 10 millièmes. La consommation moyenne d'eau par heure s'est élevée à 8.500 kg, celle de charbon par mètre carré de grille et par heure à 650 kg., la vaporisation moyenne par mètre carré de surface de chauffe à 54 litres et la puissance moyenne à 670 chevaux, avec un maximum de 748 chevaux.

La formule de vaporisation : $q = 460\ \sqrt{cg}$, où $g = 2^{m2}$, $c = 158^{m2},10$, donne $q = 8.180$ kgs, chiffre légèrement inférieur à celui de l'expérience.

Tableau F. — CONSOMMATION DE CHARBON.

NUMÉRO ET DATE DU TRAIN	TRAJET TOTAL de la machine	DISTANCE — kilom.	Consommation totale d'eau — kilogr.	Consommation totale de charbon — kilogr.	NATURE DU COMBUSTIBLE Briquette proportion %	NATURE DU COMBUSTIBLE Menu Cardiff %	Coëfficient de vaporisation	Consommation moyenne de charbon par kilomètre — kilogr.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tr. 98 du 9 octobre 1902.	Niort à Thouars.....	89,8	7.100	1.100	64	36	6,45	12,25
Tr. 99 du 9 octobre 1902.	Thouars à Niort.....	89,8	6.240	930	60	40	6,71	10,35
Tr. 86 du 21 octob. 1902.	Thouars à Chartres...	238,	16.920	2.470	40	60	6,85	10,38
Tr. 86 du 24 octob. 1902.	Id. ...	238,	18,650	2.650	40	60	7,04	11,13
Tr. 98 du 24 juin 1903..	Niort à Thouars.....	89,8	5.972	970	60	40	6,16	10,80
Tr. 98 du 1er juillet 1903.	Id. ...	89,8	7.640	1.125	60	40	6,79	12,52
Tr. 98 du 2 juillet 1903.	Id. ...	89,8	6.800	975	60	40	6,97	10,85
	Totaux et moyennes....	925,0	69.320	10.220			6,78	11,05

EXPÉRIENCES

SUR LE

RENDEMENT DES LOCOMOTIVES

(*Suite*) (1)

Par M. Joseph **NADAL**,

INGÉNIEUR EN CHEF ADJOINT DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT

LOCOMOTIVES COMPOUND A QUATRE CYLINDRES.

1. **Description de la machine.**

Les locomotives de la série 3700, à six roues accouplées de $1^m,75$ de diamètre (voir la photographie, Fig. 1), ont été mises en service en 1901-1902 et sont identiques à celles de quelques autres réseaux français. Leurs dimensions principales sont les suivantes :

Diamètre des roues motrices		$1^m,750$
Écartement des essieux extrêmes		$7^m,550$
Diamètre des cylindres	H. P.	0,350
	B. P	0,550
Course du piston		0,640
Timbre de la chaudière		15 kg.
Surface de grille		$2^{m2},38$
Surface de chauffe	foyer	$12^{m2},07$
	tubes Serve (surface intérieure)	$157^{m2},66$
	totale	$169^{m2},73$
Poids en ordre de marche	bogie	16T,300
	3e essieu	14T,350
	4e essieu	14T,400
	5e essieu	14T,350
	total	59T,400
	adhérent	43T.100

(1) Voir les numéros de Mai 1903 et de Mars 1904 de la *Revue Générale*.

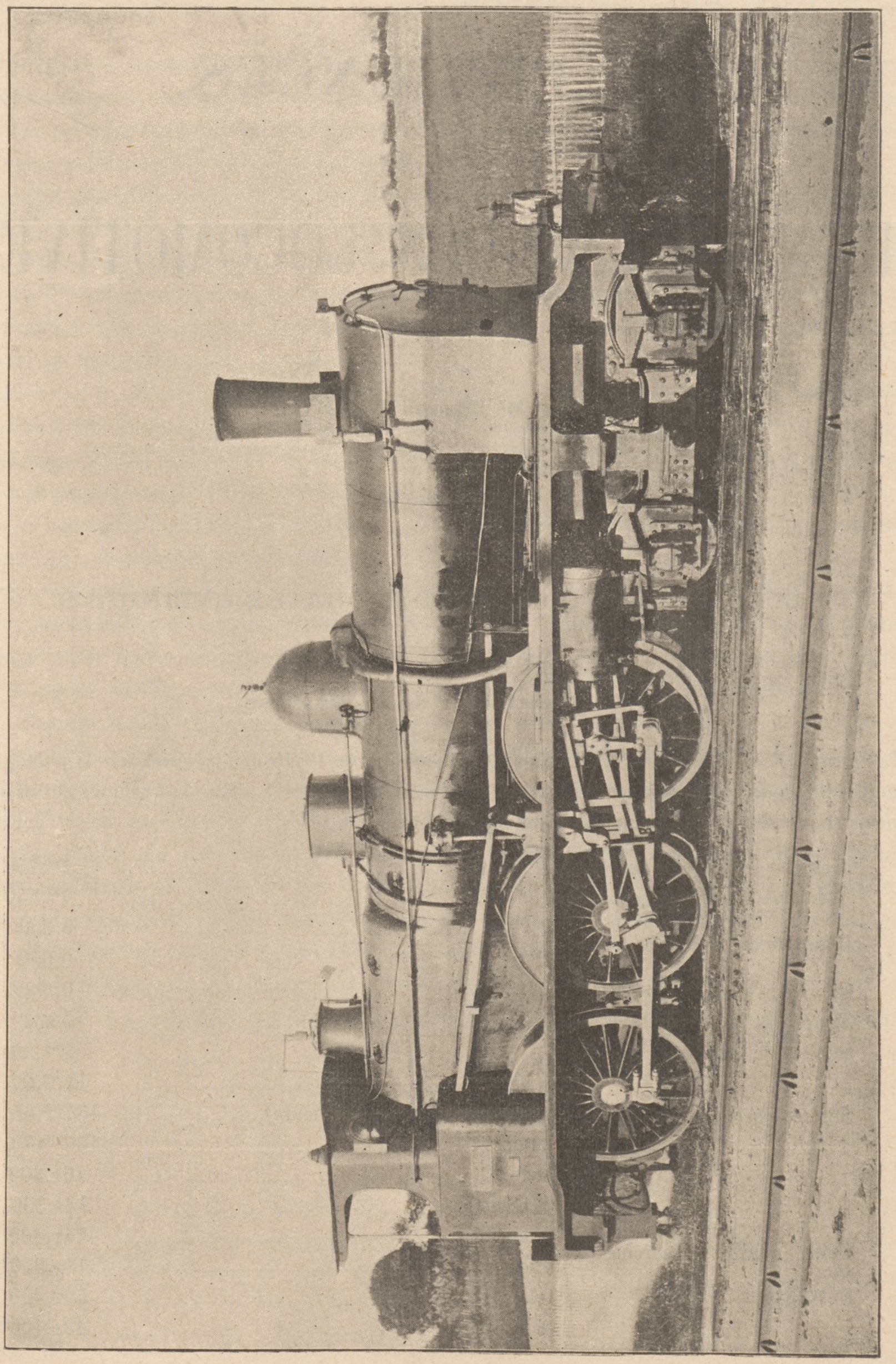


Fig. 1. — Locomotive a trois essieux accouplés.

Les essais ont été effectués avec la machine N° 3729 aux trains indiqués ci-après :

DATE	N^os des TRAINS	NATURE des TRAINS	TRAJET	TONNAGE remorqué	NOMBRE de diagrammes relevés
10 avril 1903	86	express	Saumur à Noyant	172 T	21
28 avril 1903	86	express	Saumur à Pont-de-Braye	147	48
5 mai 1903	1.428	marchandises	Saumur à Pont-de-Braye	271	72
12 mai 1903	98	rapide	Niort à Thouars	117	45
22 mai 1903	86	express	Saumur à Pont-de-Braye	271	59
3 juin 1903	1.428	marchandises	Château-du-Loir à Courtalain	500	75
				Nombre total de diagrammes.....	320

Les diagrammes ont été relevés à l'avant du cylindre H. P. et à l'arrière du cylindre B. P. du côté droit, au moyen d'un unique indicateur, dont la tare est de $5^m/_m$ par kilogr. Toutes les lignes de pression qu'il y a intérêt à connaître se trouvent donc réunies sur chaque diagramme et elles sont tracées dans un intervalle de temps très court, dix à quinze secondes, ce qui, comme nous l'avons déjà dit, nous paraît très utile, sinon indispensable, pour apprécier avec sûreté la relation qui existe entre ces lignes. Celles-ci sont d'ailleurs recueillies dans l'ordre suivant :

1° Ligne atmosphérique ;

2° Pression au réservoir intermédiaire ;

3° Pression à la chaudière ;

4° Pression dans la boîte à vapeur du cylindre H. P.;

5° Diagramme H. P.;

6° Diagramme B. P.

Dès qu'un diagramme est terminé, l'opérateur ouvre aussitôt le robinet de purge faisant communiquer l'indicateur avec l'atmosphère ; puis il déclenche le mouvement du tambour, retire le papier et en met un autre ; la purge restant ouverte pendant tout cet intervalle de 30 à 45 secondes, l'équilibre de pression entre l'indicateur et l'atmosphère s'établit avec certitude ; la ligne atmosphérique, qui est ensuite tracée la première, la purge restant toujours ouverte, paraît donc offrir la plus complète authenticité. L'indicateur étant ensuite réchauffé par sa mise en communication successive avec les milieux à pression constante ou à peu près : réservoir intermédiaire, chaudière et boîte à vapeur H. P. se trouve dans les conditions voulues pour ne pas exercer d'influence calorifique sur les lignes de pression aux cylindres H. P. et B. P.

Le tableau A indique les principaux résultats numériques qui se déduisent des diagrammes pris aux trains 98 du 12 Mai, 86 du 22 Mai et 1428 du 3 Juin.

2. — **Circulation de la vapeur.**

Chute de pression de la chaudière à la boîte à vapeur H. P. — Le régulateur est à double tiroir (petit et grand régulateur). Lorsque le petit régulateur est seul ouvert, la section de passage est de 9^{cm2} ; elle atteint 90^{cm2} quand le grand régulateur est ouvert à fond. La section du tuyau d'admis-

sion au cylindre H. P. est de 63^{cm2},61 et son volume entre la culotte et la boîte à vapeur est de 29$^{lit.}$,80 tandis que le volume de cette dernière est de 22$^{lit.}$,57. Le volume total occupé par la vapeur entre le régulateur et les tiroirs H.P. est de 111 litres, donc inférieur au volume des deux cylindres H.P. qui est de 141 litres. Lorsque l'admission est de 50 %, et que par suite le volume d'une cylindrée de vapeur à la fin de l'admission est de 39$^{lit.}$,80, la dernière molécule de vapeur entrant dans le cylindre vient d'un point situé à peu près à mi-distance entre le dôme et la boîte à vapeur.

Les diagrammes N°s III, VII, etc. de la Fig. 2 montrent que l'oscillation de la pression dans la boîte à vapeur est très considérable et atteint jusqu'à 2$^{kg.}$,5 à 240 tours par seconde avec une ouverture du régulateur de 50^{cm2}.

La pression dans la boîte à vapeur étant loin d'être constante, les chiffres inscrits à la col. 5 du tableau A représentent simplement la pression moyenne pendant la première moitié de l'admission.

Quand l'admission H. P. est comprise entre 30 et 50 %, la chute de pression entre la chaudière et la boîte à vapeur varie de 1$^{kg.}$,6 à 2$^{kg.}$ pour des ouvertures de régulateur de :

20^{cm2} à 40 km. à l'heure.
50^{cm2} à 80 km. à l'heure.

En pratique les mécaniciens n'ouvrent pas, en général, le régulateur au delà de la position verticale du levier et cette pratique paraît être la meilleure ; la dépression entre la chaudière et la boîte à vapeur est dans ce cas aux trains express voisine de 2 kgs.

Laminage pendant l'admission. — La longueur des lumières et leur largeur sont respectivement de 270$^{m}/_{m}$ et 35$^{m}/_{m}$ au cylindre H. P. et de 420$^{m}/_{m}$ et 40$^{m}/_{m}$ au cylindre B. P. Leur ouverture maxima pendant l'admission et la section correspondante sont indiquées ci-après pour les crans de marche habituels :

H. P.	admission en centièmes de course	30	40	50
	ouverture maximum des lumières en millimètres	9	11,5	15,5
	section correspondante en centimètres carrés	24,30	31,5	41,85
B P.	admission en centièmes de course	50	60	70
	ouverture maximum des lumières en millimètres	15,5	20	27
	section correspondante en centimètres carrés	65,10	80	113,40

Les diagrammes N°s VI, VII, VIII, X, XI de la Fig. 2 montrent que la pression dans le cylindre diminue très rapidement pendant l'admission, à grande vitesse. Le rapport de la chute de pression à la pression dans la boîte à vapeur, ou coëfficient de laminage, pour une admission H. P. comprise entre 30 et 50 %, est égal à 0,20 à 45 km. à l'heure et dépasse 0,30 à 80 km. Dans le cylindre B. P., le coëfficient de laminage atteint des valeurs analogues, aux mêmes vitesses, pour une admission comprise entre 50 et 70 %.

A cause du laminage, la surface des diagrammes décroît rapidement quand la vitesse augmente.

Compression. — Les courbes d'échappement sont, tant au cylindre H. P. qu'au cylindre B. P, à peu près horizontales et ne commencent à se relever qu'un peu avant la fermeture de l'échappement ; cependant, au cylindre B. P., dès que la vitesse dépasse 80 km. à l'heure, c'est-à-dire 240 tours à a minute, la ligne d'échappement se relève uniformément presque dès le début de la course de retour.

Tableau A. — Effort moteur et consommation de vapeur,

Nos des diagrammes	Points kilométriques où les diagrammes ont été relevés	Vitesse en kilomètres à l'heure	Admission H. P. et B. P. % de la course	Pression effective de régime dans la boîte à vapeur H.P. kilogr. par cm2	Pression effective au réservoir kilogr. par cm2	Chute de pression entre l'échappement H.P. et l'admission B.P.	Contre-pression à l'échappement B.P. kilogr. par cm2	Effort moteur indiqué kilogr.	Puissance indiquée en chevaux-vapeur	Rapport du travail B. P. au travail total	Consommation par cheval et par heure			Consommation de vapeur par kilomètre kilogr.	Consommation d'eau par heure kilogr.	Vaporisation par m2 de surface de chauffe et par heure kilogr.	Consommation de charbon par m2 de grille et par heure kilogr.
											de vapeur indiquée kilogr.	de vapeur condensée kilogr.	Totale kilogr.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Train 98 du 12 mai 1903.																	
2	414,3	34	40–65	12	2,5	0,4	0,2	3.951	498	0,41	7,24	2,24	9,48	126,4	4.300	25,3	278
3	413,3	50	55–65	12	2,6	0,6	0,2	4.208	779	0,45	8,32	1,97	10,29	160,4	8.020	47,2	518
4	412,3	57	55–65	12,2	2,9	0,6	0,3	3.880	817	0,48	7,73	1,95	9,68	138,9	7.910	46,6	512
5	411	58	45-65	13,2	2,7	0,6	0,4	3.522	757	0,44	7,49	2,15	9,64	125,8	7.300	43	472
6	409,8	76	40–65	12,9	2,7	0,7	0,4	2.798	786	0,45	7,77	2,32	10,09	104,6	7.950	46,8	514
7	408,7	64	40–65	12,4	2,5	0,6	0,4	2.903	688	0,45	7,61	2,36	9,97	107,2	6.860	40,4	443
8	404	74	30–60	12	2,2	0,8	0.4	1.960	537	0,46	8,23	3,31	11,54	83,8	6.200	36,5	401
9	403	63	40–60	12,4	2,5	0,7	0,4	2.590	603	0,44	7,75	2,66	10,41	99,8	6.290	37	406
10	402	60	50–65	13,8	2,9	0,6	0,4	3.622	804	0,45	7,49	2,04	9,53	128	7.680	45,2	496
11	401	65	50–65	13,6	3,2	0,6	0,4	3.830	920	0,49	7,17	1,83	9,00	127,8	8.310	49	537
12	399,4	66	50–65	12,4	2,9	0,6	0,4	3.190	778	0,48	7,55	2,13	9,68	114,3	7.540	44,4	488
13	398	70	50–65	12,7	3	0,7	0,4	3.025	783	0,46	8,12	2,05	10,17	114	7.980	47	516
14	396,5	65	50–65	12,6	3,1	0,6	0,5	3 206	770	0,47	7,81	2,11	9,92	117,8	7.660	45,1	495
15	394,8	77	50–65	12,4	3	0,7	0,5	3.010	858	0,49	7,42	1,98	9,40	104,8	8.070	47,5	521
16	393,3	72	50–65	13	3,2	0,7	0,6	3.090	822	0,47	7,88	1,94	9,82	112,5	8.100	47,7	523
17	392	65	50–65	12,4	3	0,5	0,4	3.197	767	0,48	7,82	2,07	9,89	117,2	7.620	44,9	492
18	391	63	50–65	13	3	0,5	0,5	3.533	823	0,47	7,54	1,95	9,49	124,2	7.820	46,1	506
19	389,4	63	50–65	12,4	3	0,4	0,5	3.572	832	0,48	7,61	1,97	9,58	126,8	7.990	47,1	516
20	388,3	63	50–65	13,1	2,8	0,6	0,4	3.688	860	0,44	7,73	1,93	9,66	132	8.310	49	537
21	387,3	63	50–65	13	2,9	0,6	0,5	3.493	814	0,43	8,07	2,01	10,08	130,7	8.230	48,5	532
22	386,4	60	50–65	11,4	2,6	0,5	0,4	3.041	675	0,43	8,40	2,27	10,67	120,3	7.220	42,5	466
23	385,2	68	45–65	10,7	2,4	0,7	0,6	2.431	613	0,45	9,24	2,68	11,92	107,4	7.300	43	472
24	380,5	71	35–60	12,4	2,1	0,6	0,4	2.133	561	0,41	7,60	3,08	10,68	84,5	6.000	35,3	388
25	379	77	30–60	12	2	0,7	0,5	1.801	513	0,43	7,89	3,43	11,32	75,6	5.820	34,3	376
26	374,2	60	40–65	10,3	2	0,5	0,3	2.495	554	0,43	7,67	2,76	10,43	96,5	5.790	34,1	374
27	373	56	40–65	11	2,1	0,4	0,4	2.673	553	0,44	7,84	2,66	10,50	104	5.820	34,3	376
28	368,7	70	35–65	11,8	1,8	0,6	0,4	2.117	548	0,41	7,80	3,25	11,05	86,7	6.070	35,7	392
29	367,7	63	40–65	12	1,9	0,4	0,4	2.420	564	0,38	8,11	3,06	11,17	100,2	6.310	37,2	408
30	366,4	71	25–60	12,5	1,9	0,6	0,5	1.682	442	0,41	7,16	3,64	10,80	67,4	4.780	28,2	309
31	362,6	69	25–60	12	1,7	0,5	0,4	1.687	430	0,38	7,71	3,98	11,69	73,1	5.040	29,7	326
32	359,7	73	25–60	11,3	1,6	0,6	0,4	1.452	392	0,34	8,23	4,60	12,83	69	5.040	29,7	325
33	358,7	86	25–60	11,5	1,6	0,7	0,4	1.515	483	0,36	7,18	4,17	11,35	63,7	5.480	32,3	354
34	350,8	59	30–60	12	1,8	0,4	0,4	2.312	506	0,43	6,85	3,22	10,07	86,3	5.090	30	329
35	349,8	55	35–60	12	1,8	0,4	0,4	2.444	498	0,36	7,15	3,34	10,49	95,2	6.590	38,8	426
36	348,3	77	30–60	12,4	1,7	0,6	0,4	1.603	457	0,38	7,53	4,08	11,61	69	5.310	31,3	343
37	347	81	30–60	12,8	1,8	0,6	0,4	1.670	501	0,35	7,55	3,81	11,36	70,3	5.690	33,5	368
38	345,5	74	35–60	12	2	0,6	0,4	2.055	563	0,41	7,98	3,26	11,24	85,6	6.330	37,3	409
39	344,4	59	35–65	13	2,2	0,5	0,4	2.755	603	0,40	7,13	2,75	9,88	101,4	5.980	35,2	387
40	342,8	77	35–65	12,4	2,2	0,7	0,5	2.023	576	0,40	8,29	3,15	11,44	85,8	6.600	38,9	427
41	341,7	63	35–65	12,4	2,1	0,5	0,4	2.377	554	0,42	7,55	2,89	10,44	92	5.800	34,1	374
42	340,5	74	35–65	12	2,1	0,8	0,5	1.738	476	0,40	7,90	3,49	11,39	73,4	5.430	32	351
43	336,6	70	35–65	11,6	2	0,5	0,4	2.117	548	0,38	7,61	3,29	10,90	85,6	5.990	35,3	387
44	335	75	35–65	12	1,9	0,6	0,5	1.982	551	0,34	8,60	3,35	11,95	87,7	6.580	38,7	425
45	333,3	75	35–65	12	2,1	0,7	0,5	2.040	567	0,36	8,21	3,25	11,46	86,6	6.095	35,9	394
	332	85	35–65	12	2	0,4	0,5	1.896	597	0,38	7,80	3,32	11,12	78,1	6.640	39,1	429
Train 86 du 22 mai 1903.																	
102	285																
103	284,3	32	50–65	13,5	3,4	0,4	0,4	5.063	602	0,49	7,28	2,02	9,30	174,5	5.580	32,9	325
104	283,3	50	40–65	14	2,4	0,4	0,4	3.307	612	0,42	7,20	2,56	9,76	119,6	5.980	35,2	348
105	281,2	65	40–65	13,4	2,2	0,6	0,4	2.711	652	0,38	7,96	2,84	10,80	108,8	7.070	41,7	410
106	279,6	76	40–65	13,8	2,2	0,7	0,4	2.539	714	0,35	8,14	2,82	10,96	103,2	7.840	46,2	456
107	277,1	72	40–65	13,6	2,1	0,8	0,4	2.733	727	0,36	8,68	2,59	11,27	114,2	8.220	48,4	478
108	276	76	40–65	12,5	1,9	0,3	0,4	2.650	745	0,34	8,63	2,74	11,37	111,7	8.490	50	494
109	274,8	72	45–65	13,4	2,3	0,5	0,6	2.887	768	0,35	8,61	2,50	11,16	118,9	8.560	50,5	498
110	273,7	65	45–65	13,2	2,4	0,4	0,2	3.214	771	0,40	7,96	2,45	10,41	124,1	8.070	47,4	469
111	272,2	61	45–65	13,4	2,3	0,5	0,2	3.255	736	0,41	7,63	2,53	10,16	122,6	7.480	44,1	435
112	270,7	81	45–65	13	2,1	0,3	0,2	2.595	778	0,41	7,51	2,73	10,24	98,5	7.980	47	464
113	269,1	76	45–65	13,4	2,2	0,7	0,3	2.848	800	0,40	7,77	2,51	10,28	108,5	8.250	48,6	480
114	268,3	64	45–65	13,5	2,1	0,5	0,2	3.222	764	0,41	7,36	2,39	9,75	115,1	7.360	43,4	429
	266,6	65	45–65	13,4	2,2	0,5	0,3	3.124	750	0,40	7,50	2,42	9,92	115,2	7.490	44,1	436
		68	40–65	13,4	1,9	0,3	0,4	2.725	687	0,37	7,48	2,82	10,30	104,1	7.080	41,7	412

Tableau A (*Suite*).

Nos des diagrammes	Points kilométriques ou les diagrammes ont été relevés	Vitesse en kilomètres à l'heure	Admission H. P. et B. P. % de la course	Pression effective de régime dans la boîte à vapeur H.P. kilogr. par cm2	Pression effective au réservoir kilogr. par cm2	Chute de pression entre l'échappement H.P. et l'admission B.P.	Contre-pression à l'échappement B.P. kilogr. par cm2	Effort moteur indiqué kilogr.	Puissance indiquée en chevaux-vapeur	Rapport du travail B. P. au travail total	Consommation par cheval et par heure			Consommation de vapeur par kilomètre kilogr.	Consommation d'eau par heure kilogr.	Vaporisation par m2 de surface de chauffe et par heure kilogr.
											de vapeur indiquée kilogr.	de vapeur condensée kilogr.	Totale kilogr.			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Train 86 du 22 mai 1903 (*suite*).																
115	265,5	71	40–65	13,4	1,9	0,6	0,2	2.612	687	0,37	7,52	2,95	10,47	101,2	7.180	42,3
116	264,2	81	35–60	13,4	1,9	0,6	0,3	2.103	631	0,34	7,73	3,39	11,12	86,6	7.010	41,3
117	262,9	81	35–60	13,2	1,9	0,8	0,3	1.936	581	0,32	8,11	3,68	11,79	84,6	6.850	40,4
118	261,5	79	40–65	12,7	2,2	0,6	0,4	2.500	732	0,37	8,38	2,72	11,10	102,8	8.120	47,9
119	259,9	73	45–65	13,2	2,2	0,7	0,3	3.066	828	0,40	8	2,41	10,41	118,4	8.640	50,9
120	258,4	72	45–65	13	2,3	0,8	0,2	3.220	856	0,41	7,99	2,19	10,18	121,4	8.740	51,5
121	257,2	61	45–45	13,2	2,5	0,5	0,2	3.566	806	0,42	7,83	2,16	9,99	132,1	8.060	47,5
122	256,2	49	45–65	13,4	2,4	0,5	0,2	4.062	735	0,43	7,42	2,21	9,63	145,1	7:110	41,9
123	255,3	54	45–65	13,2	2,4	0,5	0,2	3.672	734	0,43	7,77	2,19	9,96	135,6	7.320	43,1
124	252,8	12	60–70	12,6	3	0,3	0,2	5.700	245	0,46	8,27	2,79	11,06	233,8	2.800	16,5
125	251,9	44	50–65	12,2	2,3	0,2	0,2	4.037	658	0,44	7,64	2,34	9,98	149,4	6.570	38,7
126	250,8	65	45–65	13	2,6	0,5	0,6	3.224	774	0,42	7,62	2,30	9,92	118,5	7.700	45,4
127	249,7	59	45–65	13,4	2,2	0,6	0,3	3.288	720	0,40	7,65	2,51	10,16	123,8	7.300	43
128	248,3	72	45–65	12,6	2,1	0,4	0,3	2.870	763	0,40	7,81	2,56	10,37	110,3	7.940	46,8
129	247,2	71	45–65	13	2,2	0,6	0,4	2.863	753	0,38	8	2,45	10,45	110,8	7.940	46,8
130	246	76	45–65	13	2,1	0,6	0,4	2.730	767	0,39	3,44	2,55	10,99	111,1	8.440	49,8
131	242,5	79	40–65	11,6	1,9	0,6	0,3	2.190	642	0,36	8,66	2,98	11,64	94,5	7.460	44
132	241,2	73	45–65	13	2,2	0,8	0,3	2.856	771	0,38	8,75	2,45	11,20	118,5	8.650	51
133	240	63	50–65	13,2	2,5	0,5	0,2	3.630	846	0,43	7,83	2,02	9,85	132,5	8.350	49,2
134	238,6	52	50–65	12,8	2,5	0,4	0,3	3.597	691	0,43	7,73	2,21	9,94	132,5	6.890	40,6
135	235,8	10	60–70	13,4	4,8	0,1	0,1	6.537	242	0,62	8,19	2,05	10,24	215,2	2.150	12,7
136	235,3	35	50–65	13	3,3	0,5	0,2	4.788	618	0,51	7,43	1,97	9,40	166,9	5.840	34,4
137	234,5	62	45–65	12,5	2,5	0,5	0,4	2.896	663	0,43	8,11	2,60	10,71	114,9	7.120	42
138	233,4	78	45–65	13	2,3	0,9	0,4	2.810	812	0,40	8,25	2,39	10,64	110,8	8.640	50,9
139	232	83	50–65	12,8	2,9	0,8	0,6	3.118	960	0,43	8,13	1,87	10,00	115,5	9.590	56,5
140	230,6	71	60–70	13,2	3,4	0,7	0,5	4.269	1123	0,49	8,25	1,51	9,76	154,3	10.950	64,5
141	229,5	69	60–70	13,2	3,5	0,7	0,4	4.453	1135	0,50	8,25	1,54	9,79	161,5	11.143	65,6
142	228,4	65	60–70	13	3,5	0,4	0,3	4.656	1117	0,50	7,83	1,52	9,35	161,4	10.810	63,7
143	216,1	42	55–65	11,4	2,8	0,3	0,3	4.080	636	0,48	8,02	2,01	10,03	151,6	6.370	37,5
144	214,6	61	50–65	13	2,7	0,6	0,5	3.548	802	0,43	7,90	2,13	10,03	131,9	8.050	47,4
145	213,5	69	40–65	13	2,3	0,6	0,5	2.894	738	0,40	8,01	2,43	10,44	112	7.730	45,5
146	212	74	40–65	13,2	2,2	0,7	0,4	2.761	757	0,38	7,96	2,52	10,48	107,3	7.940	46,8
147	210,8	76	40–65	12,5	2,2	0,3	0,4	2.571	774	0,38	8,38	2,71	11,09	105,7	8.030	47,3
148	209,4	74	40–65	13,4	2,3	0,4	0,4	2.810	770	0,38	7,69	2,55	10,24	106,6	7.890	46,5
149	208,2	71	40–65	13,4	2,3	0,7	0,4	2.524	664	0,36	8,67	2,81	11,48	107,3	7.620	44,9
150	206	81	40–65	12,4	2,1	0,6	0,5	2.410	723	0,37	8,60	2,67	11,27	100,6	8.150	48
151	204,6	77	40–65	13	2,2	0,6	0,5	2.666	760	0,36	8,80	2,50	11,30	111,6	8.590	50,6
152	203,4	81	40–65	13	2,2	0,5	0,6	2.174	652	0,32	8,78	3,07	11,85	95,5	7.730	45,6
153	201,5	77	40–65	12,6	2,1	0,6	0,5	2.542	725	0,36	8,52	2,72	11,24	106	8.160	48,1
154	200,2	77	40–65	12,6	2,4	0,3	0,4	2.511	715	0,42	7,56	2,75	10,31	96	7.390	43,5
155	198,9	85	40–65	13	1,9	0,6	0,3	2.040	653	0,33	8,50	3,44	11,94	90,3	6.860	40,4
156	197,2	25	40–65	13	2,1	0,3	0,1	3.914	352	0,35	7,36	3,72	11,08	160,8	2.410	14,2
157	196,4	20	60–72	13,3	3,3	0,2	0,2	5.770	421	0,48	7,50	2,31	9,81	209,8	4.200	24,7
158	195,6	53	55–70	12,5	3	0,5	0,3	4.140	811	0,46	8,08	1,83	9,91	152	8.050	47,5
159	194,6	63	50–70	12	3	0,5	0,4	3.600	838	0,47	8,26	1,89	10,15	135,4	8.530	50,2
Train 1428 du 3 juin 1903.																
201	216,2	20	60–70	12,4	3,2	0,1	0,1	5.800	424	0,48	7,59	2,20	9,79	210,5	4.370	25,8
202	215,5	31	40–65	13	2,1	0,1	0,1	3.840	556	0,41	7,10	2,22	9,32	134,8	4.340	25,6
203	214,8	33	40–65	13	2,1	0,2	0,2	3.840	589	0,40	7,10	2,19	9,29	134,8	4.620	27,2
204	214,2	40	35–65	12,8	2,1	0,2	0,2	3.330	495	0,38	7,15	2,86	10,01	123,4	5.130	30,2
205	213,4	44	35–65	13,4	1,9	0,3	0,2	3.020	492	0,35	7,26	3,01	10,27	118,5	5.420	31,9
206	212,4	46	35–65	13,8	2	0,4	0,3	3.070	521	0,33	7,54	2,96	10,50	119,4	5.710	33,6
207	211,6	46	30–60	11,7	1,6	0,4	0,2	2.430	413	0,32	7,60	3,72	11,32	101,8	4.860	28,7
208	211	45	30–60	11,4	1,6	0,3	0,2	2.340	392	0,30	7,64	3,72	11,36	98,7	4.610	27,2
209	210,1	46	30–60	13,2	1,9	0,4	0,4	2.930	498	0,32	7,55	3,10	10,65	115,7	5.530	32,6
210	208,7	40	30–60	14	1,9	0,3	0,2	3.010	448	0,36	6,95	3,28	10,23	113,9	4.730	27,9
211	208	41	30–60	14	1,9	0,2	0,2	3.220	489	0,35	6,98	3,15	10,13	120,7	5.140	30,3
212	207,1	49	30–60	13	1,8	0,4	0,3	2.630	475	0,31	7,34	3,30	10,64	103,6	5.270	31,1
213	206	51	30–60	13,5	1,8	0,3	0,3	2.850	538	0,33	6,97	3,05	10,02	105,7	5.600	33
214	205	52	30–60	13,5	1,8	0,2	0,3	2.790	535	0,33	7,04	3,09	10,13	104,6	5.650	33,3
215	204	50	30–60	13,4	1,9	0,2	0,2	2.880	533	0,34	7,24	3,01	10,30	110,1	5.720	33,7

Tableau A (*Suite*).

Nos des diagrammes	Points kilométriques ou les diagrammes ont été relevés	Vitesse en kilomètres à l'heure	Admission H. P. et B. P. % de la course	Pression effective de régime dans la boite à vapeur H. P. kilogr. par cm2	Pression effective au réservoir kilogr. par cm2	Chute de pression entre l'échappement H.P. et l'admission B.P.	Contre-pression à l'échappement B.P. kilogr. par cm2	Effort moteur indiqué kilogr.	Puissance indiquée en chevaux-vapeur	Rapport du travail B. P. au travail total	Consommation par cheval et par heure			Consommation de vapeur par kilomètre kilogr.	Consommation d'eau par heure kilogr.	Vaporisation par m2 de surface de chauffe et par heure kilogr.	Consommation de charbon par m2 de grille et par heure kilogr.
											de vapeur indiquée kilogr.	de vapeur condensée kilogr.	Totale kilogr.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Train 1428 du 3 juin 1903 (*suite*).																	
216																	
217	203,2																
218	201,2	52	30–60	14	1,9	0,3	0,3	2.830	544	0,33	7,07	3,07	10,14	106,4	5.750	33,9	311
219	200,5	23	40–65	13,2	2	0	0,1	4.000	340	0,35	6,81	3,42	10,23	151,4	3.620	21,3	196
220	200	30	32–60	13	2	0,1	0,2	3.580	397	0,35	6,84	3,24	10,08	133,6	4.160	24,5	225
221	199,2	29	32–60	13,8	2	0,2	0,2	3.740	405	0,34	7,15	3,09	10,24	142,3	4.290	25,2	232
222	198,5	40	30–60	14,6	1,8	0,2	0,2	3.320	494	0,34	7,22	3,08	10,30	126,5	5.260	31	284
223	197,5	40	26–60	14,6	1,9	0,1	0,2	3.150	470	0,37	6,60	3,30	9,90	115,7	4.810	28,3	260
224	196,7	47	30–60	14	1,8	0,3	0,4	2.960	516	0,32	7,13	3,14	10,27	112,8	5.510	32,5	298
225	195,4	46	30–60	14,5	1,9	0,3	0,3	3.020	514	0,32	6,91	3,07	9,98	111,8	5.340	31,5	289
226	194,7	46	30–60	13,8	1,8	0,2	0,3	2.790	494	0,32	7,56	3,31	10,87	112,3	5.370	31,6	290
227	191,4	47	30–60	14	1,8	0,2	0,3	2.880	501	0,33	7,58	3,20	10,78	115,1	5.620	33,1	304
228	190,7	18	60–70	11,3	3	0,1	0,1	5.110	337	0,51	7,73	2,31	10,04	190,2	3.560	21	192
229	189,4	22	50–70	13,5	2,8	0,2	0,1	5.230	424	0,43	7,31	2,73	10,04	194,4	4.440	26,2	240
230	188,7	35	34–65	14,2	2,3	0,3	0,3	3.900	503	0,40	6,40	2,82	9,22	133,3	4.850	28,6	262
231	188	34	34–65	14,3	2,4	0,2	0,2	3.860	483	0,41	6,45	2,81	9,26	132,4	4.680	27,6	253
232	187,2	37	34–65	14,8	2,4	0,3	0,2	3.750	514	0,38	6,81	2,69	9,50	132,1	5.080	29,9	274
233	186,4	48	34–65	13,4	2,3	0,1	0,3	3.160	563	0,37	7,13	2,74	9,87	115,7	5.770	34	312
234	183,4	42	34–65	13,6	2,2	0,1	0,2	3.420	534	0,38	6,83	2,81	9,64	122,3	5.340	31,4	289
235	182,8	4	60–70	12,4	3,2	0	0,1	5.800	87	0,48	7,82	2,78	10,60	228	947	5,6	512
236	182	21	50–65	13,2	3,1	0	0,1	5.180	398	0,46	7,19	2,48	9,67	185,4	4.040	23,8	219
237	180,8	32	40–65	13,5	2,9	0,2	0,2	4.500	535	0,47	6,43	2,19	8,62	143,7	4.780	28,2	258
238	180	41	40–65	13,2	2,8	0,2	0,3	4.060	617	0,45	6,93	2,25	9,18	138,1	5.880	34,7	318
239	179,5	40	40–65	13,3	2,7	0,2	0,3	4.060	605	0,45	6,77	2,26	9,03	135,9	5.650	33,3	305
240	178,8	42	35–65	13	2,3	0,2	0,3	3.330	520	0,41	6,90	2,39	9,29	122,4	5.340	31,5	289
241	178	40	35–65	13,5	2,4	0,2	0,3	3.570	532	0,39	6,84	2,16	9,00	126,5	5.260	31	284
242	177,3	44	30–60	14	2	0,2	0,3	3.130	510	0,36	6,78	3,13	9,91	115	5.260	31	284
243	176,5	47	30–60	13,4	1,9	0,3	0,2	2.790	485	0,36	6,92	3,25	10,17	105,1	5.130	30,2	278
244	175,4	47	30–60	13,4	1,9	0,2	0,3	2.860	497	0,35	7,00	3,18	10,18	107,7	5.260	31	284
245	174,7	40	32–60	14,4	1,9	0,3	0,3	3.410	508	0,35	6,75	2,99	9,74	123,2	5.120	30,2	277
246	174,1	31	32–60	14	2,1	0,1	0,2	3.520	405	0,37	6,76	3,35	10,11	132,2	4.260	25,1	230
247	170,9	36	32–60	13,6	2	0,2	0,2	3.370	448	0,36	6,65	3,20	9,85	123	4.600	27,1	249
248	170,3	20	60–75	13,2	3,4	0,1	0,1	6.580	480	0,49	7,82	2,01	9,83	239,7	4.980	29,4	269
249	169,4	34	60–75	13,6	3,7	0,2	0,4	5.950	749	0,49	7,68	1,61	9,29	204,7	7.230	42,6	391
250	168,8	35	52–70	13,4	3,3	0,3	0,4	5.060	653	0,46	7,30	1,92	9,22	173	6.290	37,1	340
251	168	27	58–70	14,8	3,5	0,3	0,3	6.010	601	0,47	7,46	2,00	9,46	211	5.920	34.9	320
252	167,6	32	60–75	15	3,6	0,2	0,4	6.560	780	0,44	7,88	1,70	9,58	232,8	7.740	45,6	419
253	166,4	39	60–75	15	3,9	0,4	0,4	5.820	844	0,47	7,60	1,64	9,24	199,4	8.080	47,6	437
254	165,7	47	50–65	14	3,4	0,3	0,4	4.950	861	0,45	7,47	1,72	9,19	168,5	8.230	48,5	445
255	164,9	45	50–65	14,6	3,2	0,4	0,5	4.740	791	0,44	7,50	1,90	9,40	165,1	7.720	45,5	417
256	164,3	35	45–65	15	3,1	0,2	0,3	4.910	633	0,44	7,05	2,17	9,22	167,7	6.100	35,9	330
257	163,8	30	45–65	15	3,2	0,2	0,3	5.200	577	0,45	7,00	2,18	9,18	177	5 520	34,8	298
258	163,1	37	45–65	14,2	3,1	0,2	0,3	4.880	668	0,45	6,97	2,04	9,01	162,7	6.250	36,9	336
259	162,3	45	45–65	14,4	3	0,3	0,4	4.400	735	0,43	7,36	2,01	9,37	152,7	7.140	42,1	386
260	161,6	47	55–70	14,2	3,3	0,5	0,7	4.940	860	0,45	7,97	1,73	9,70	177,5	8.670	51,1	469
261	160,9	40	60–75	14	3,4	0,4	0,4	5.540	826	0,47	7,82	1,68	9,50	195,3	8.120	47,8	439
262	160,4	31	60–75	15	3,8	0,4	0,3	6.340	729	0,48	7,60	1,73	9,33	219,1	7.050	41,6	382
263	159,9	28	62–75	14,9	4,1	0,2	0,2	6.900	718	0,50	7,72	1,61	9,33	238,6	6.940	40,9	375
264	159,5	24	62–75	15	4,3	0,2	0,2	7.180	639	0,51	7,41	1,97	9,38	249,4	6.220	36,6	336
265	158	23	62–75	15,1	4,5	0,2	0,2	7.740	658	0,51	7,63	1,58	9,21	264,3	6.310	37,2	342
266	158,6	21	65–75	15	4,2	0,1	0,2	7.660	590	0,52	7,56	1,66	9,22	262	5.720	33,7	209
267	158,2	20	65–75	15	4,3	0,1	0,2	7.850	573	0,52	7,55	1,64	9,19	267,2	5.550	32,7	300
268	157,8	19	65–75	15	4,3	0,1	0,2	8.010	560	0,53	7,38	1,61	8,99	266,7	5.260	31	285
269	157,4	18	65–75	15	4,3	0,1	0,2	7.740	511	0,52	7,49	1,72	9,21	264,2	4.940	29,1	267
270	157	18	65–75	15	4,3	0,1	0,2	7.990	527	0,52	7,53	1,67	9,20	272,4	5.100	30	275
271	156,5	18	65–75	15	4,4	0,1	0,2	8.110	535	0,53	7,38	1,65	9,03	271,6	5.080	29,9	275
272	156,1	19	65–75	15	4,5	0,2	0,2	8.220	575	0,53	7,29	1,60	8,89	270,9	5.350	31,5	289
273	155,5	27	65–75	15	4,3	0	0,2	7.700	770	0,54	7,41	1,40	8,81	251,5	7.050	41,6	382
274	154,7	37	65–75	14	4	0,2	0,4	6.620	908	0,51	8,13	1,43	9,56	234,4	9.010	53,1	487
275	154	31	65–75	14,6	4,2	0,2	0,5	6.870	790	0,50	8,25	1,53	9,78	248,8	8.010	47,2	433
	153,4	24	65–75	14,8	4,1	0,1	0,2	7.220	642	0,51	7,77	1,69	9,46	253,2	6.310	37,2	341
		21	65–75	15	4,4	0,1	0,2	7.680	591	0,51	7,67	1,66	9,33	265,6	5.800	34,1	314

Le découvrement du tiroir H. P. est de $3^{m}/_{m}$, l'espace nuisible H. P. de 15 % du volume engendré ; pour des admissions de 30, 40, 50 %, la compression (y compris le refoulement) s'élève respectivement à 26, 21 et 17 % de la course.

Au cylindre B. P. le découvrement du tiroir est aussi de $3\ ^{m}/_{m}$; l'espace nuisible s'élève à 7 % et la compression, pour des admissions de 50, 60, 70 %, à 17, 12 et 10 % de la course.

Les diagrammes de la Fig. 2 montrent que, aux vitesses supérieures à 60 km. à l'heure (180 tours à la minute) et aux crans habituels de marche de 30 à 45 H. P. pour 60 à 65 B. P., les compressions sont excessives aussi bien dans le cylindre H. P. que dans le cylindre B. P., la pression à la fin de la course de retour s'élève de 1 à 2 kgs au-dessus de la pression dans les boîtes à vapeur et il en résulte des claquements des tiroirs sur leur table, claquements qui, si le cadre n'a pas un jeu suffisant sur la coquille du tiroir, peuvent entraîner la rupture des tiges de commande.

Pression et perte au réservoir intermédiaire. — Le réservoir intermédiaire est constitué par la boîte à vapeur commune aux deux cylindres B. P. et par les conduits aussi directs que possible qui la font communiquer avec les cylindres H. P. Le volume total du réservoir intermédiaire est de 235 litres ; la boîte à vapeur B. P. seule a un volume de 171 litres, ce qui représente à peu près deux cylindrées B. P. à 60 % d'admission. Grâce évidemment à ces grandes dimensions, la ligne de pression dans la boîte à vapeur B. P. ne présente pas d'oscillations, sauf aux faibles vitesses, et cette ligne, se trouve sur presque tous les diagrammes à peu près à égale distance de la ligne d'échappement H. P. et de la ligne d'admission B. P. La perte de pression au réservoir est mesurée par la distance entre ces deux dernières lignes ; ce n'est pas une quantité absolument définie puisqu'elles ne sont pas exactement parallèles ; elle a été obtenue en mesurant la pression au milieu de l'échappement H. P. et au milieu de l'admission B. P.; la différence ou perte au réservoir est portée à la colonne 7 du tableau A. On voit que cette perte n'est pas très élevée. Elle oscille entre 0 kg., 3 et 0 kg., 4 à la vitesse de 40 km. à l'heure (train 1428) et entre 0 kg., 6 et 0 kg., 8 pour les vitesses de 70 à 80 km. à l'heure.

La colonne 6 du tableau A donne les valeurs de la pression effective au réservoir intermédiaire. Elle est peu affectée par la variation de vitesse et ne diminue que de 0 kg., 1 à 0 kg., 2, quand la vitesse passe de 40 à 80 km. à l'heure. En fonction de l'admission et pour une pression de régime de 13 kg. effectifs dans la boîte à vapeur H. P., les variations de la pression au réservoir sont indiquées ci-après :

ADMISSION H. P. — B. P. en centièmes de course.	PRESSION EFFECTIVE au réservoir.
	kilogrammes.
30 — 65	1,7
40 — 65	2,2
50 — 65	2,8
60 — 70	3,5
30 — 55	2,2
40 — 55	2,7

Si, pour un même cran H. P., on relève la marche B. P. de 10 % la pression au réservoir s'accroît d'un demi-kilogramme environ.

Une variation de 1 kg. de la pression de régime produit une variation de 0 kg., 25 de la pression au réservoir.

Contrepression au cylindre B. P. — Elle a été mesurée vers le milieu de la ligne d'échappement et les valeurs ainsi obtenues sont portées à la colonne 8 du tableau A.

Au cours de tous les essais, la valve de l'échappement variable est restée ouverte à peu près en grand. La section était de 200 centimètres carrés environ, alors que la section maxima est de 233 centimètres carrés et la section minima de 62 centimètres carrés. On constate sur le tableau A qu'avec cette ouverture d'échappement la contrepression est très faible. Elle oscille à grande vitesse (200 à 280 tours à la minute), entre 0 kg., 4 et 0 kg., 5 et à petite vitesse (100 à 150 tours à la minute) entre 0 kg.. 2 et 0 kg., 3. Dans la locomotive compound Vauclain et dans les machines à simple expansion précédemment étudiées, la contrepression est notablement plus élevée, de 0k., 3 environ. Une diminution de 0 kg., 3 correspond dans la machine compound à quatre cylindres à un gain de puissance de 100 chevaux à la vitesse de 80 km. à l'heure ; d'autre part la chute de pression au réservoir intermédiaire qui est à la même vitesse de 0 kg., 7 équivaut à une perte de puissance de 95 chevaux.

3. **Effort moteur et travail indiqués.**

Nous reproduisons sur la Figure 2 un certain nombre de diagrammes qui donnent une idée de la façon dont varie l'effort moteur en fonction de l'admission, de la pression et de la vitesse. Chaque diagramme porte une inscription, telle que : N° 140 — $\frac{60}{70}$ — 71 km — 4270 kg. — 1123 chevaux signifiant que ce diagramme, qui a le N° 140 sur le tableau A correspond à une admission de 60 % au H. P. et de 70 % au B. P., à une vitesse de 71 km. à l'heure, à un effort moteur de 4,270 kg, et à une puissance de 1,123 chevaux. On a en outre numéroté ces diagrammes en chiffres romains pour permettre de lire plus facilement la figure.

Diagrammes donnant la variation de l'effort en fonction de la vitesse :

I, II, III	pour un cran de marche	de 60/75
IV, V, VI, VII, VIII	id.	de 45/65
IX, X, XI	id.	de 40/65
XII, XIII, XIV, XV, XVI, XVII, XVIII ...	id.	de 35/65

Diagrammes donnant la variation en fonction de la pression :

XIX, XX, XXI	pour un cran de marche de 30/60

En portant les valeurs de l'effort moteur (colonne 9 du tableau A) sur un graphique, où les abcisses sont les vitesses, on obtient des zones de points permettant de tracer des courbes moyennes, telles que les courbes E de la Figure 3 qui se rapportent à une pression de 13 kgs effectifs dans la boîte à vapeur H. P.

La diminution de l'effort moteur en fonction de la vitesse a été, au cours d'un des essais, saisie sur le vif par les deux diagrammes N°s 155 et 156 du train 86 du 22 mai, reproduits isolément sur la Figure 4. Le diagramme N° 155 a été relevé à la vitesse de 85 kilomètres à l'heure, le train étant en pleine marche sur une section en palier ; quelques instants après, la rupture d'un boyau du frein vers la queue du train a déterminé un serrage rapide, tandis que le régulateur restait ouvert ; le diagramme N° 156 a été pris alors que la vitesse était réduite à 25 km. à l'heure, sans qu'il eût été touché ni au régulateur, ni au changement de marche. L'effort moteur qui est de 2.040 kg sur le diagramme N° 155 monte à 3.914 kg, soit presque le double, sur le diagramme N° 156.

Les courbes T de puissance se déduisant des courbes E par la formule : $T = \frac{EV}{270}$ où V est la vitesse en km. à l'heure. On voit sur la Figure 3 que, pour chaque degré d'admission la puissance passe par un maximum pour une vitesse d'environ 75 km. à l'heure. Mais il ne faut pas oublier qu'il s'agit d'une

Fig. 2.

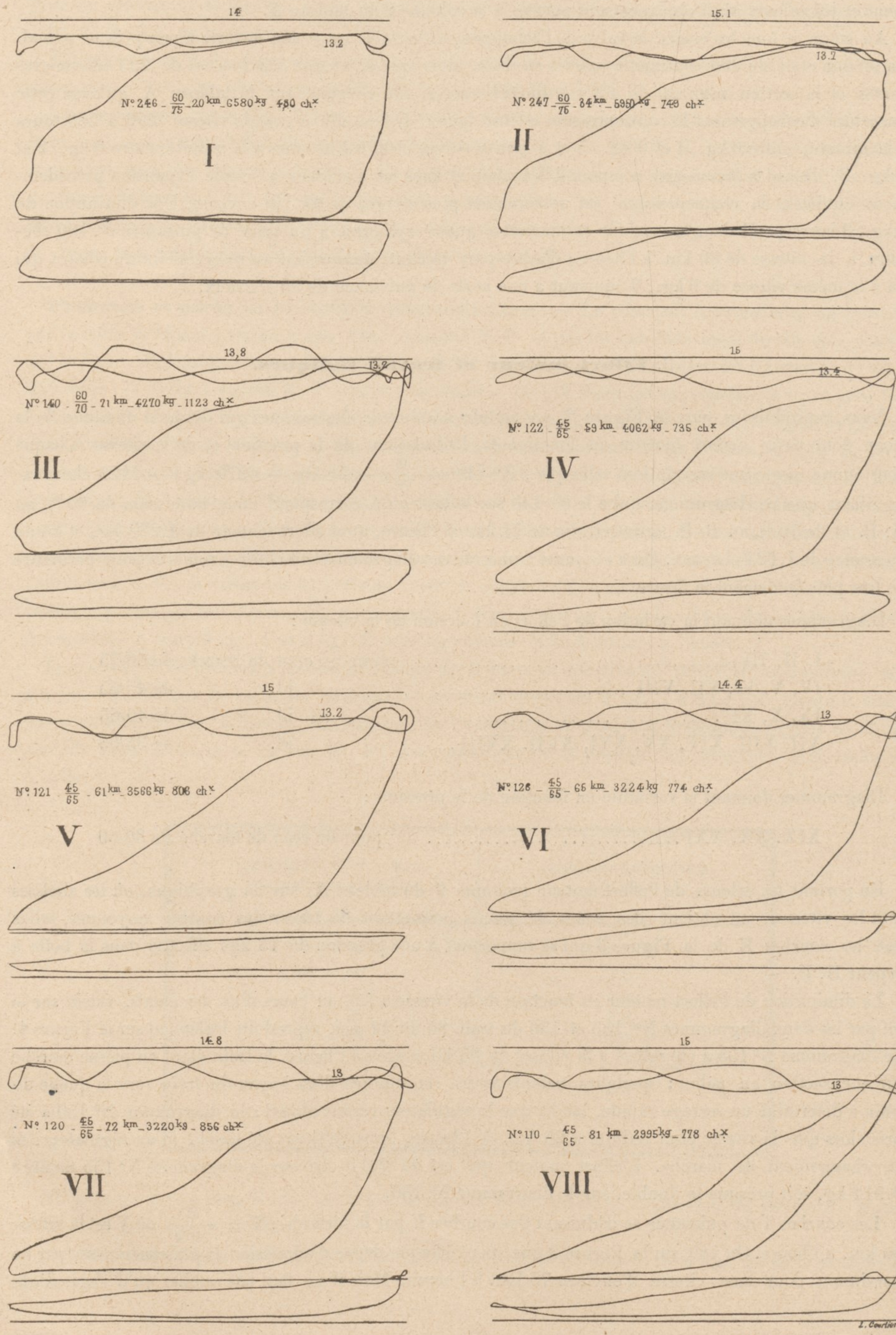
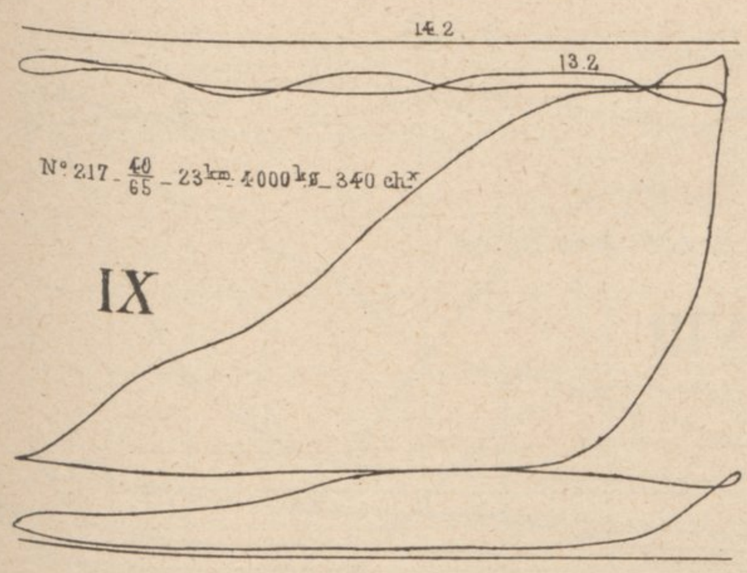
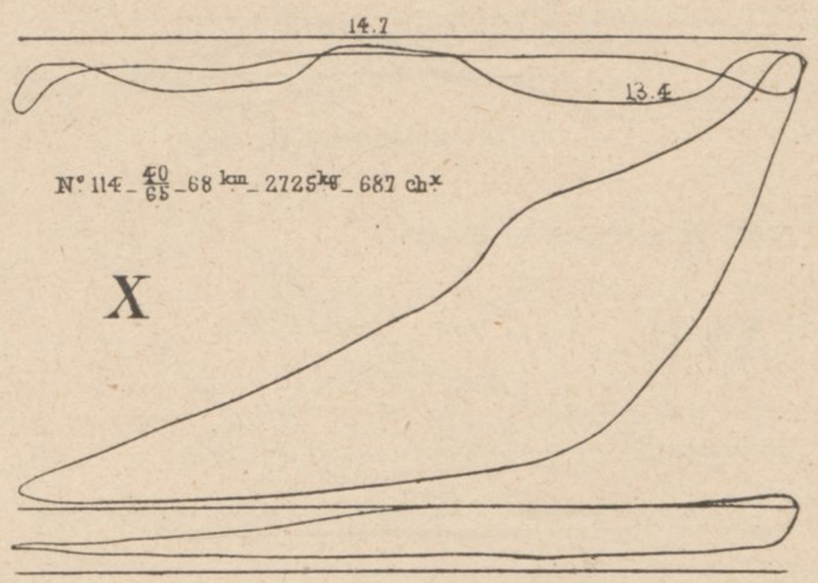
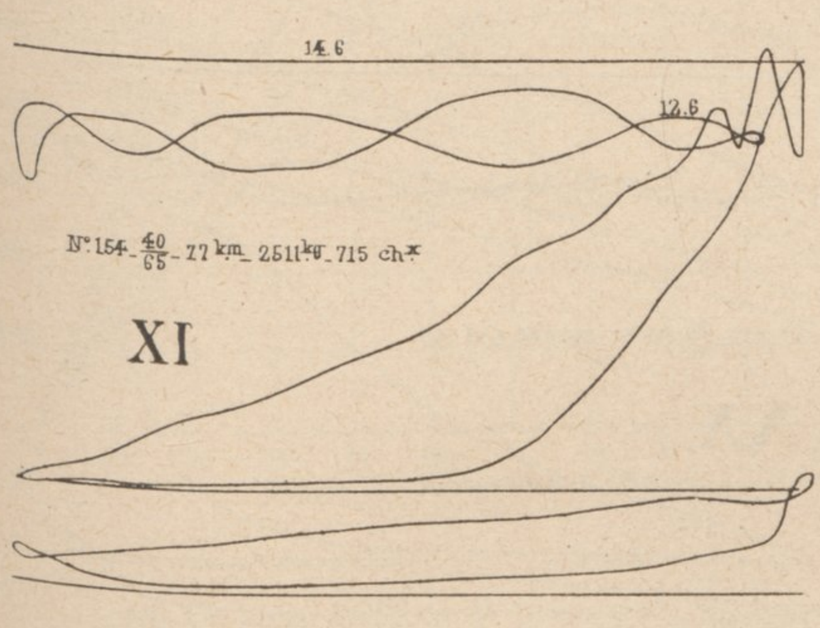
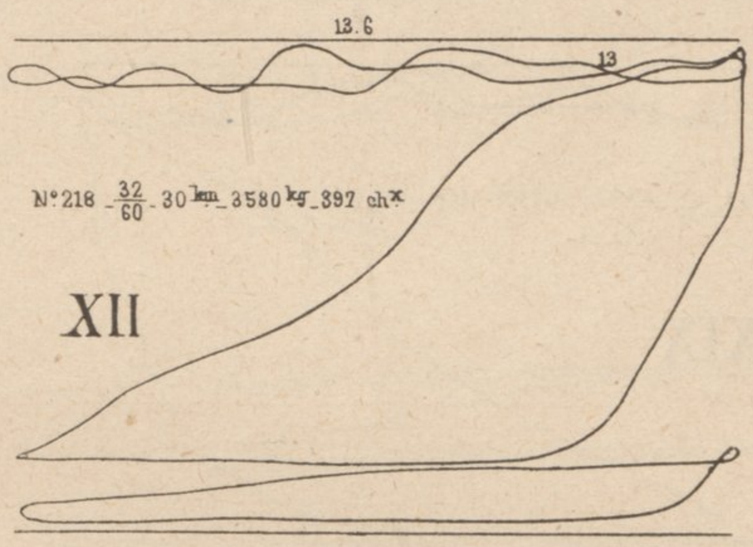

14
13.2
N° 246 - 60/75 - 20 km - 6580 kg - 450 ch x
I
15.1
13.2
N° 247 - 60/76 - 34 km - 5950 kg - 749 ch x
II
13,8
13,2
N° 140 - 60/70 - 21 km - 4270 kg - 1123 ch x
III
15
13.4
N° 122 - 45/65 - 59 km - 4062 kg - 735 ch x
IV
15
13.2
N° 121 - 45/65 - 61 km - 3566 kg - 806 ch x
V
14.4
13
N° 126 - 45/65 - 65 km - 3224 kg - 774 ch x
VI
14.8
13
N° 120 - 45/65 - 72 km - 3220 kg - 856 ch x
VII
15
13
N° 110 - 45/65 - 81 km - 2995 kg - 778 ch x
VIII
L. Courtier

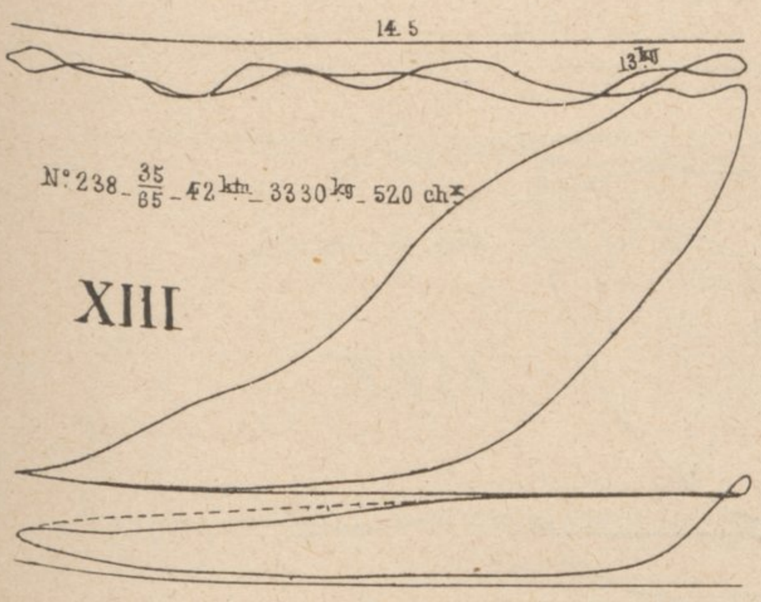
Fig. 2 (Suite).

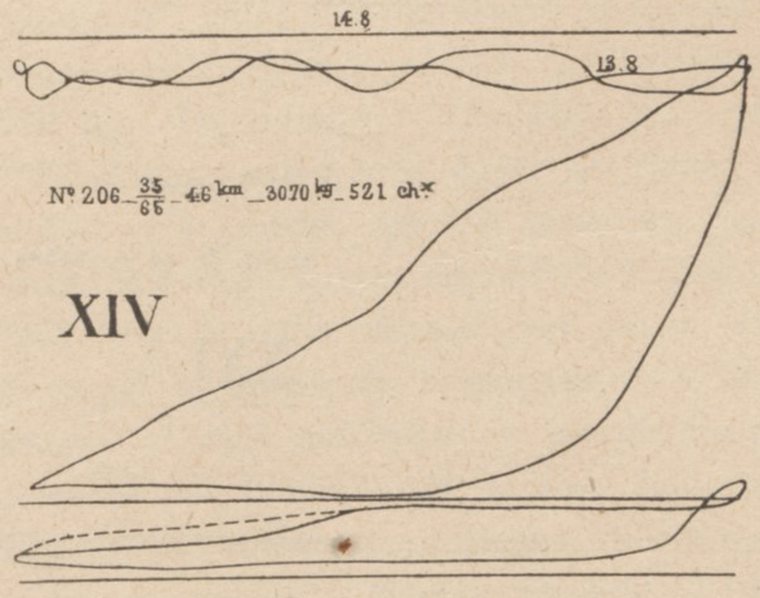

14.2
13.2
N° 217 - 40/65 - 23 km - 4000 kg - 340 ch x
IX

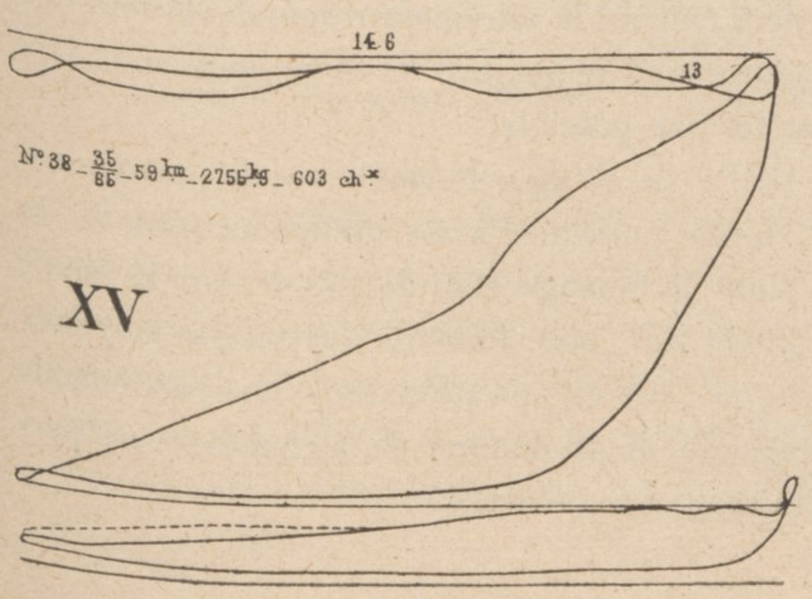

14.7
13.4
N° 114 - 40/65 - 68 km - 2725 kg - 687 ch x
X


14.6
12.6
N° 154 - 40/65 - 27 km - 2511 kg - 715 ch x
XI


13.6
13
N° 218 - 32/60 - 30 km - 3580 kg - 397 ch x
XII


14.5
13
N° 238 - 35/65 - 42 km - 3330 kg - 520 ch x
XIII


14.8
13.8
N° 206 - 35/65 - 46 km - 3070 kg - 521 ch x
XIV


14.6
13
N° 38 - 35/65 - 59 km - 2755 kg - 603 ch x
XV

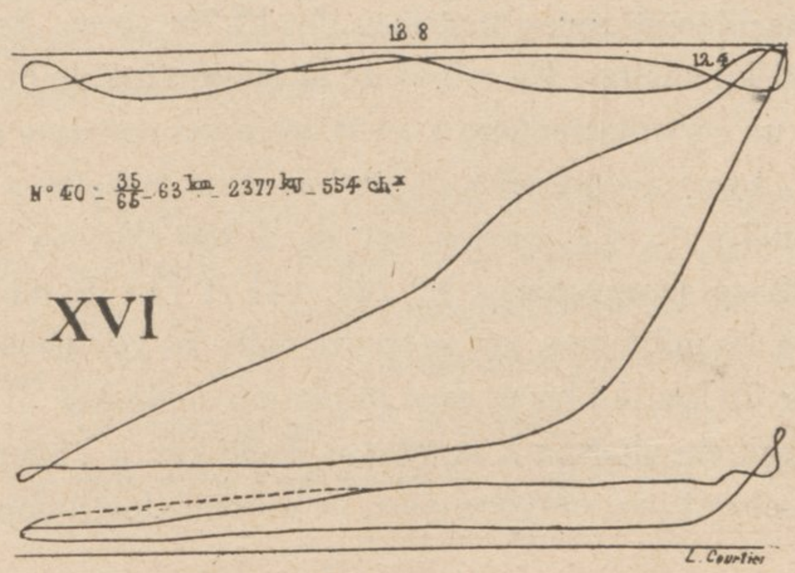
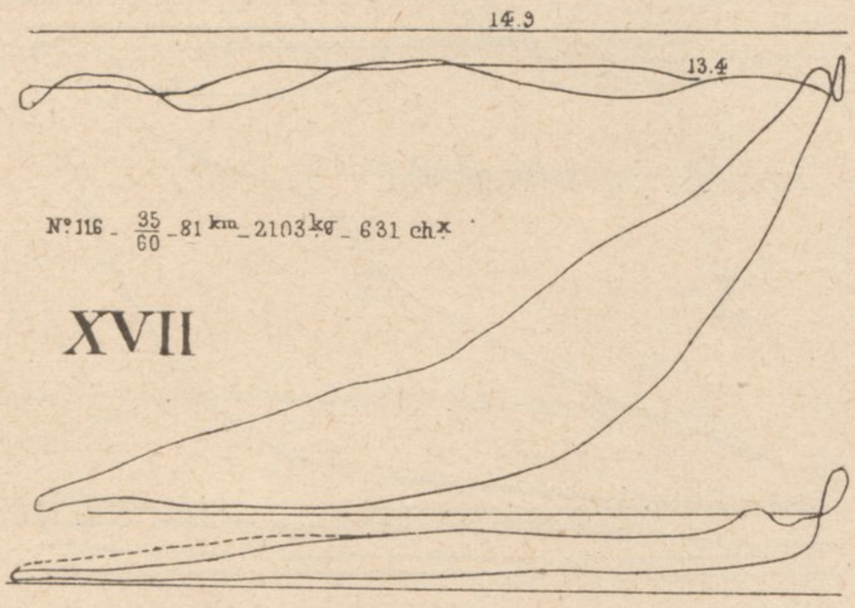
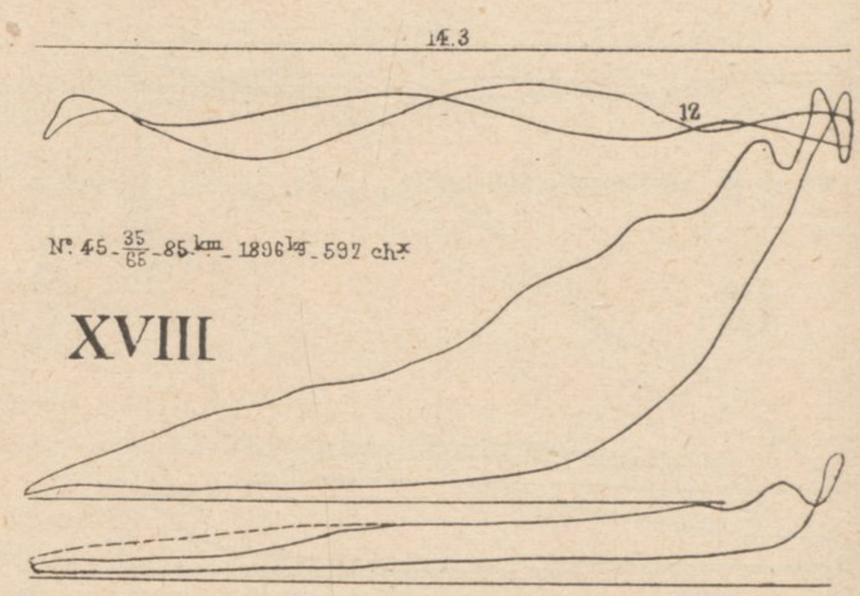
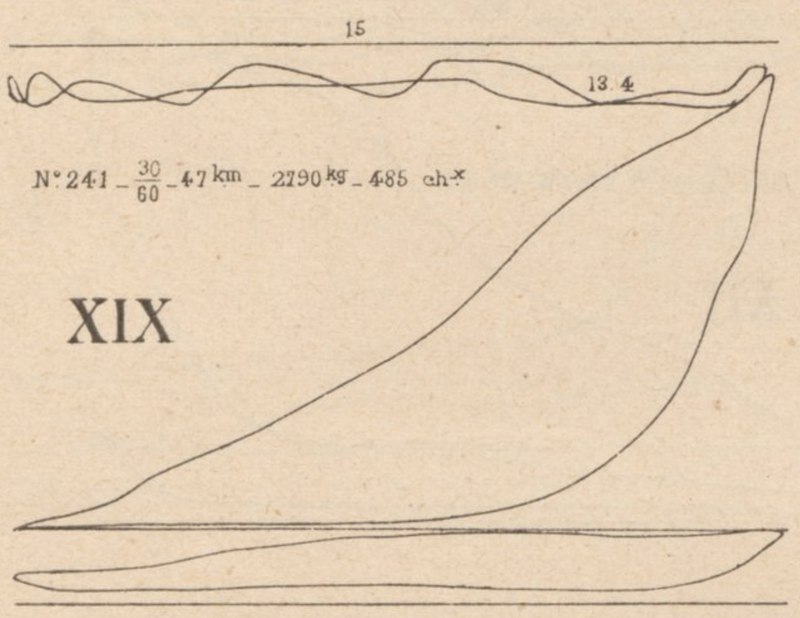
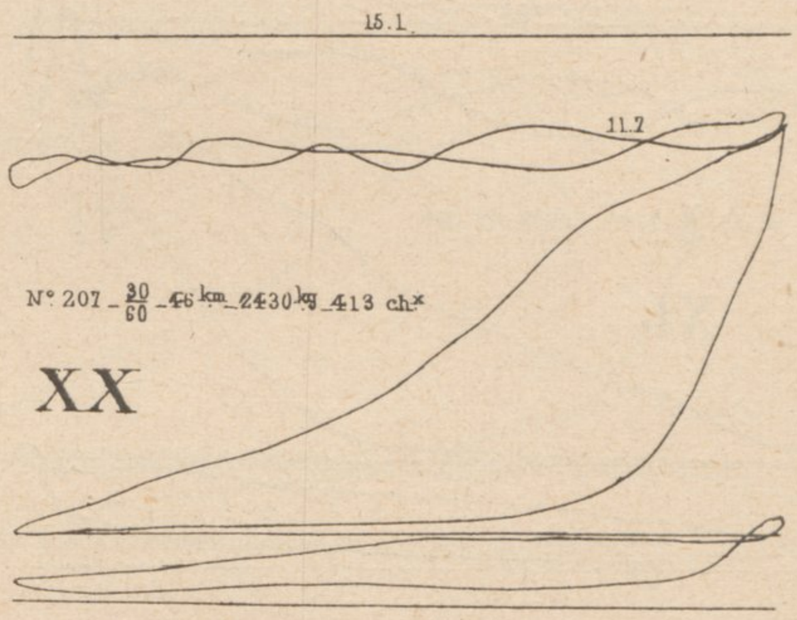

13.8
12.4
N° 40 - 35/65 - 63 km - 2377 kg - 554 ch x
XVI
L. Courtier

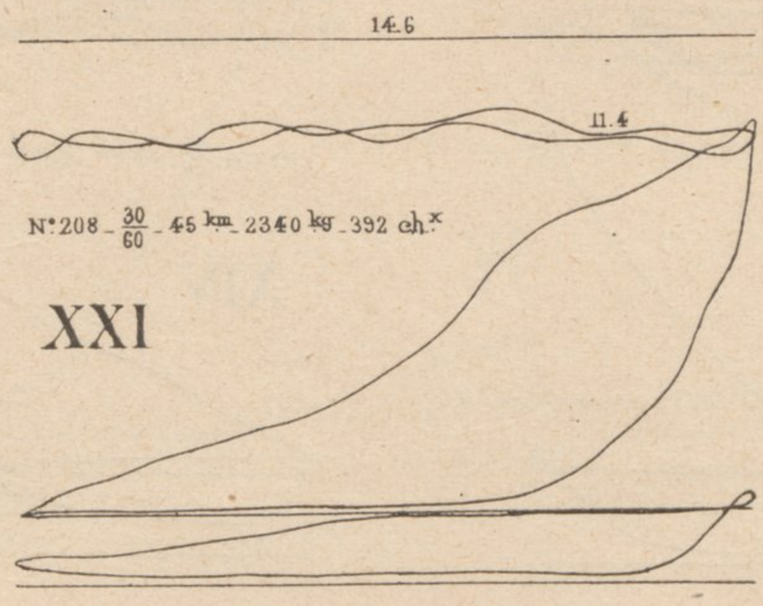
Fig. 2 (*Suite*).











machine à roues motrices de $1^{m},75$; avec des roues de 2 mètres, la vitesse correspondante serait de 86 kilomètres. En raison de la diminution de l'effort moteur quand le nombre de tours augmente, il y a un certain avantage à avoir des roues motrices aussi grandes que possible.

Avec une pression de régime dans la boîte à vapeur H. P. de 13 kg., le maximum de puissance à 60-75 % d'admission est de 1.130 chevaux environ. Cette puissance a été atteinte au train 86 du 22 mai (diagrammes N°s 140, 141 et 142 du tableau A), dont le tonnage était de 271 t., sur la rampe de 10 millièmes, qui se trouve entre les kilomètres 231, 500 et 227, 550, franchie à la vitesse moyenne de 70 km. à l'heure avec minimum de 65 km. Il faut dire que cette rampe précédée d'une partie facile avait été abordée à la vitesse de 88 km. à l'heure. La capacité de production de la chaudière ne permettrait pas, croyons-nous, de soutenir longtemps une puissance aussi élevée.

Fig. 3.

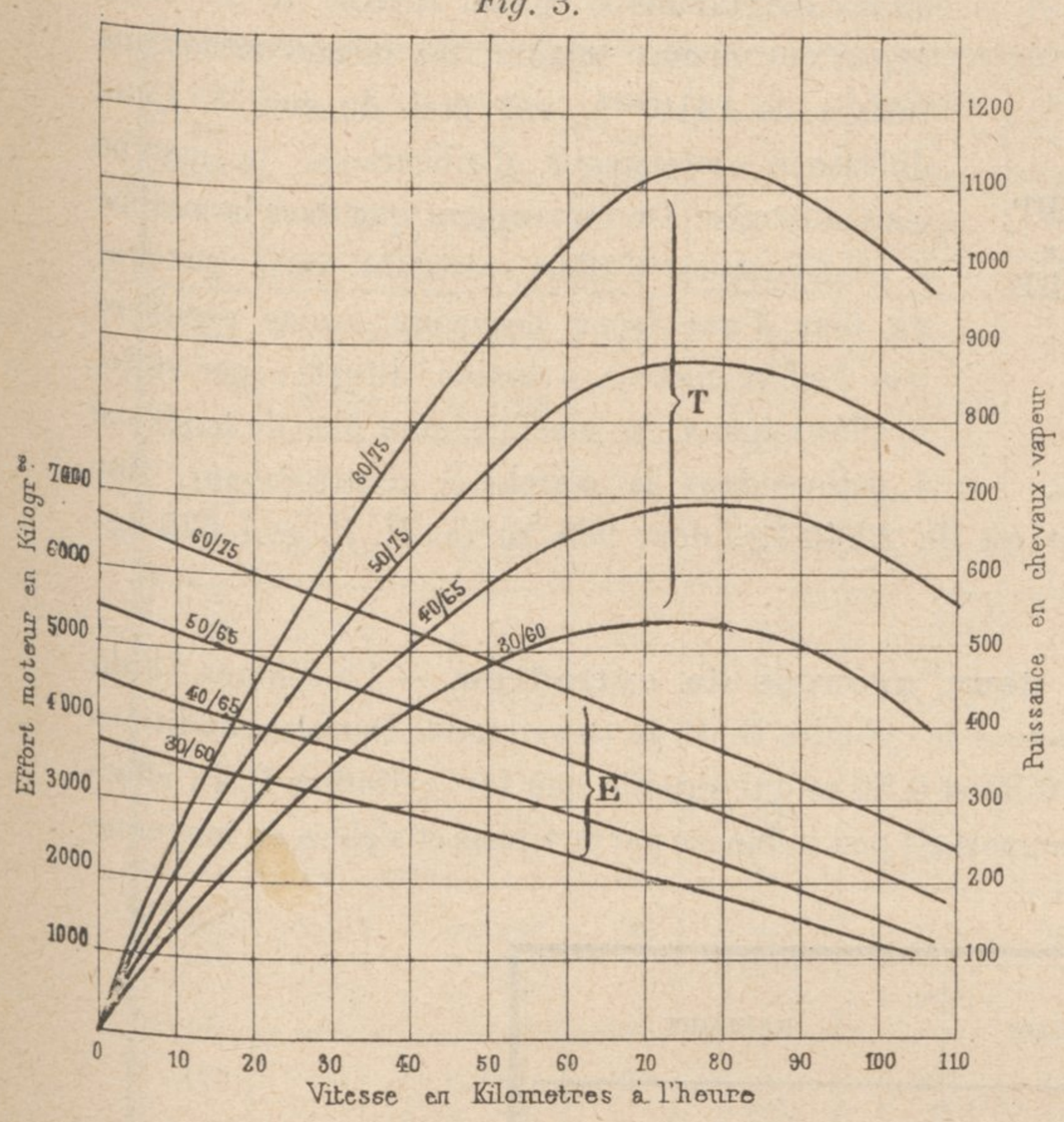
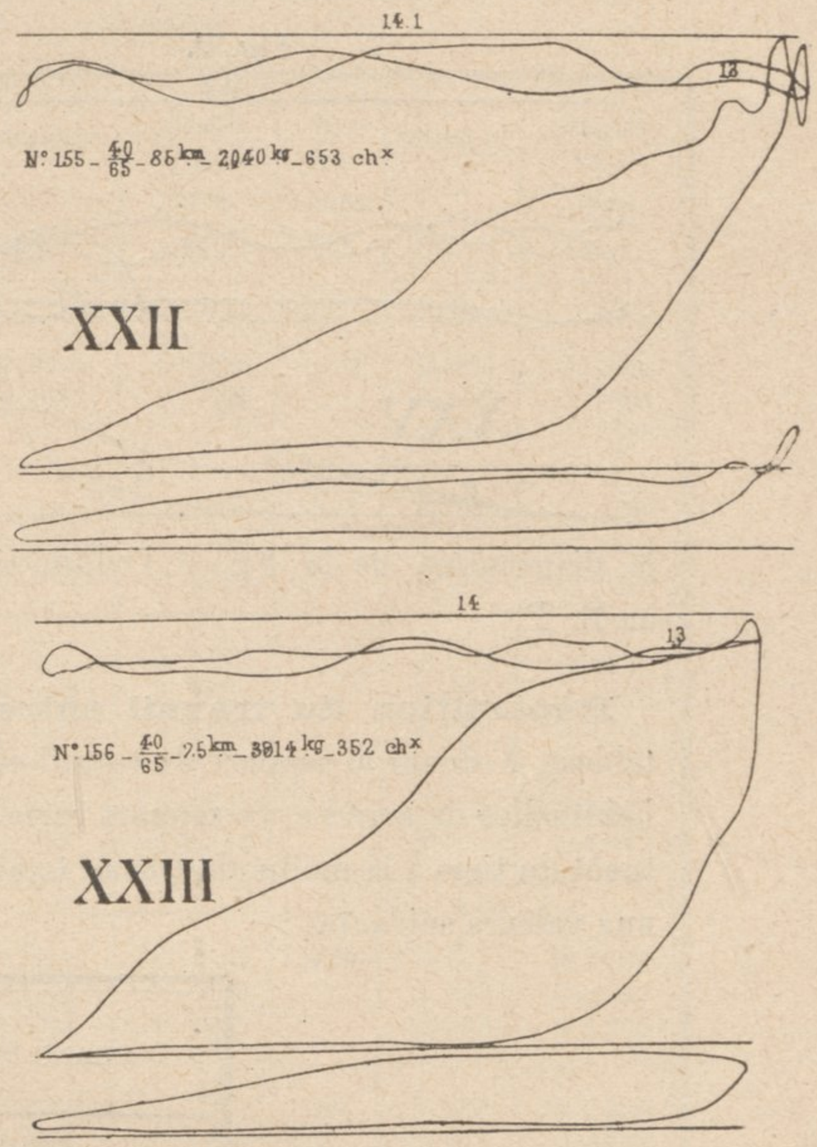
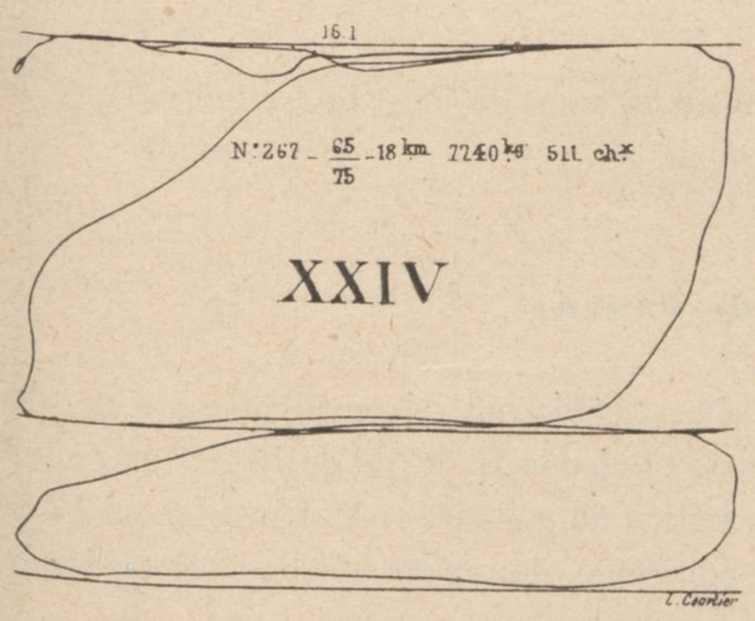


Fig. 4.



C'est au train 1428 du 3 juin, avec un tonnage de 500 t., sur la rampe de 10 millièmes de Mondoubleau à Boursay ayant 7 kg., 700 de longueur, qu'a été réalisé le plus grand effort moteur (diagrammes N°s 263 à 272 du tableau A). Il s'est élevé en moyenne à 7.890 kg. avec un maximum de 8.220 kg. La pression d'admission au cylindre H. P. a été constamment égale au timbre de la chaudière et la pression effective variait au réservoir de 4 kg., 3 à 4 kg., 5. On peut voir sur le diagramme N° 267 (Fig. 5) qu'il resterait fort peu de chose à gagner sur la surface de ce diagramme et que par conséquent l'effort maximum en marche compound dépasse de peu 8.000 kg. Il ne peut d'ailleurs être atteint que si l'adhérence est bonne, voisine de 1/5e, le poids adhérent de la machine étant de 43.100 kg. Avec admission directe au réservoir, l'effort moteur pourrait être porté à 9.200 kg. et, en marche indépendante des deux groupes de cylindres, il atteindrait 11.500 kg.

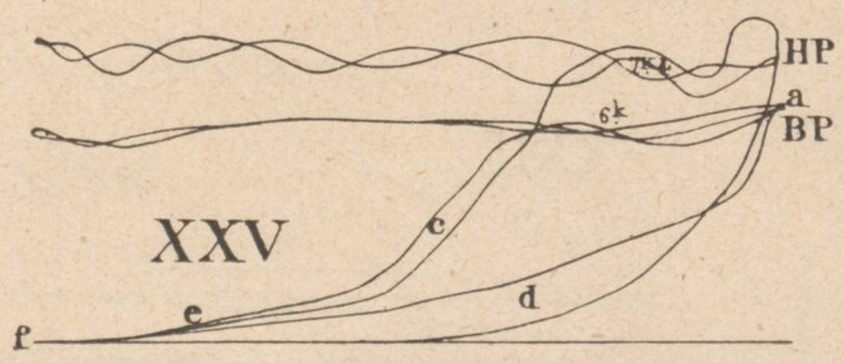
Fig. 5.



Contre-vapeur. — Au même train 1428 du 3 juin, il a été relevé un certain nombre de diagrammes dans la marche à contre-vapeur sur la pente de 10 millièmes de Droué, à la vitesse de 50 km. à l'heure. Nous reproduisons un de ces diagrammes sur la Fig. 6. La contre admission est de 40 % au cylindre H. P. avec une pression dans la boîte à vapeur de 7 kg, 4, le régulateur étant peu ouvert, et de 45 % au cylindre B. P. avec la pression limite de 6 kg. au réservoir ; *a d* est la période de détente, *d f e* d'aspiration, *e c* de compression, *c a* de refoulement. La surface du diagramme B. P. de la Fig. 6 est de

780^{mm2} (la longueur du diagramme étant de 100^{mm} et l'échelle des pressions de 5^{mm} par kg.), tandis qu'un diagramme à action directe B. P. dans lequel les phases seraient les mêmes aurait une surface de 1410^{mm2}, soit près du double. Cette différence s'atténuerait d'ailleurs si la marche était allongée. On remarquera que dans la marche à contre-vapeur l'effort résistant varie pendant un tour d'une façon beaucoup moins régulière que l'effort moteur à action directe ; par suite, à efforts égaux, la machine aura plus de tendance à patiner dans la marche à contre-vapeur. Sur le diagramme de la Fg. 6 l'effort résistant est de 2.640 kg. dont 985 kg. au H. P. et 1.675 kg. au B. P.

Fig. 6.



Répartition du travail entre les deux groupes de cylindres. — La colonne 11 du tableau A donne le rapport du travail effectué dans le cylindre B. P. au travail total. Dans les conditions habituelles de marche, ce rapport varie entre 0,35 et 0,50 ce qui signifie que les cylindres B. P. effectuent du tiers à la moitié du travail total. Ce rapport est peu influencé par la vitesse et s'élève en moyenne aux valeurs suivantes :

CRANS DE MARCHE	RAPPORT
30 — 60	0,35
40 — 62	0,40
50 — 65	0,46
50 — 73	0,52

Au train 86 du 28 avril, on a employé presque constamment les crans 35-52 et les cylindres H. P. ont fait dans ce cas, en moyenne les 48 centièmes du travail total.

4. Consommation de vapeur

Elle a été calculée à l'aide des mêmes formules et des mêmes coëfficients des condensations que dans les machines précédemment étudiées. Le volume de l'espace nuisible H. P. est de 15 % du volume engendré et sa surface de 0^{m2}, 6195 soit 6 fois et demie la section du cylindre H.P. Les colonnes 12, 13 et 14 du tableau A donnent les consommations de vapeur apparente, de vapeur condensée et de vapeur totale par cheval et par heure.

En comparant la consommation de vapeur apparente au train de marchandises 1428 et aux trains de 86 et 98, on peut apprécier l'influence sur la consommation du laminage de la vapeur dans les divers conduits qu'elle traverse de la chaudière à l'échappement. Pour des crans de marche de 30 à 45 H.P. et 60 à 65 B.P. la consommation de vapeur apparente est en moyenne de 7 kg. par cheval et par heure à la vitesse de 40 km. à l'heure et de 8 kg, à la vitesse de 75 km. à l'heure. L'accroissement avec la vitesse de la chute de pression à l'admission H. P., au réservoir, à l'admission et à l'échappement B P produit donc une augmentation de consommation d'environ 15 %. Par compensation, la quantité de vapeur condensée diminue quand la vitesse augmente ; elle atteint en moyenne, à 40 k. à l'heure, 30 % et à

Tableau B. — Variation de la quantité de vapeur présente dans le cylindre H.P. pendant la détente.

Nos des diagrammes	Fraction de course	Quantité de vapeur kilogr.	Nos des diagrammes	Fraction de course	Quantité de vapeur kilogr.	Nos des diagrammes	Fraction de course	Quantité de vapeur kilogr.	Nos des diagrammes	Fraction de course	Quantité de vapeur kilogr.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
101	0,510 0,647 0,794	0,2470 0,2523 0,2463	116	0,343 0,557 0,712	0,1465 0,1467 0,1454	201	0,590 0,830 »	0,2724 0,2787 »	216	0,281 0,582 0,708	0,1600 0,1651 0,1623
102	0,376 0,527 0,672	0,1815 0,1806 0,1775	117	0,460 0,549 0,693	0,1435 0,1407 0,1396	202	0,300 0,440 0,775	0,1695 0,1832 0,1812	217	0,330 0,435 0,735	0,1863 0,1969 0,1916
103	0,400 0,580 0,718	0,1748 0,1664 0,1674	118	0,405 0,612 0,702	0,1707 0,1659 0,1664	203	0,305 0,450 0,745	0,1713 0,1830 0,1802	218	0,312 0,495 0,733	0,1729 0,1776 0,1724
104	0,365 0,437 0,725	0,1718 0,1766 0,1672	119	0,460 0,621 0,755	0,1894 0,1810 0,1795	204	0,356 0,525 0,757	0,1734 0,1740 0,1705	219	0,335 0,510 0,740	0,1863 0,1877 0,1846
105	0,433 0,612 0,755	0,1860 0,1784 0,1767	120	0,469 0,653 0,727	0,1940 0,1880 0,1872	205	0,319 0,544 0,755	0,1687 0,1646 0,1635	220	0,307 0,515 0,723	0,1763 0,1734 0,1705
106	0,414 0,491 0,756	0,1734 0,1765 0,1637	121	0,461 0,623 0,707	0,2023 0,1973 0,1944	206	0,333 0,520 0,745	0,1752 0,1706 0,1694	221	0,265 0,466 0,711	0,1606 0,1644 0,1608
107	0,446 0,621 0,745	0,1883 0,1828 0,1819	122	0,461 0,615 0,792	0,2120 0,2064 0,2040	207	0,301 0,485 0,723	0,1438 0,1448 0,1392	222	0,304 0,480 0,730	0,1619 0,1605 0,1564
108	0,442 0,614 0,745	0,1924 0,1858 0,1852	123	0,461 0,611 0,733	0,2030 0,1961 0,1950	208	0,290 0,485 0,750	0,1385 0,1421 0,1408	223	0,284 0,524 0,735	0,1629 0,1639 0,1626
109	0,428 0,484 0,749	0,1889 0,1903 0,1826	124	0,614 0,748 0,906	0,2835 0,2854 0,2831	209	0,328 0,540 0,724	0,1684 0,1657 0,1670	224	0,310 0,543 0,713	0,1615 0,1563 0,1534
110	0,387 0,571 0,734	0,1638 0,1603 0,1571	125	0,514 0,635 0,810	0,2062 0,2014 0,1980	210	0,280 0,500 0,735	0,1609 0,1616 0,1572	225	0,306 0,553 0,708	0,1634 0,1607 0,1551
111	0,392 0,455 0,755	0,1778 0,1798 0,1729	126	0,442 0,607 0,724	0,1906 0,1887 0,1893	211	0,294 0,490 0,740	0,1700 0,1727 0,1689	226	0,615 0,720 0,895	0,2463 0,2449 0,2573
112	0,382 0,456 0,698	0,1823 0,1849 0,1810	127	0,419 0,577 0,707	0,1905 0,1874 0,1855	212	0,286 0,558 0,742	0,1523 0,1554 0,1542	227	0,505 0,650 0,800	0,2467 0,2411 0,2391
113	0,405 0,479 0,698	0,1834 0,1862 0,1810	128	0,428 0,591 0,735	0,1735 0,1703 0,1707	213	0,286 0,553 0,737	0,1582 0,1601 0,1587	228	0,335 0,515 0,735	0,1836 0,1851 0,1862
114	0,350 0,534 0,700	0,1640 0,1605 0,1614	129	0,423 0,612 0,736	0,1796 0,1761 0,1757	214	0,291 0,572 0,708	0,1572 0,1585 0,1587	229	0,340 0,510 0,730	0,1860 0,1817 0,1852
115	0,359 0,534 0,667	0,1608 0,1552 0,1526	130	0,423 0,621 0,765	0,1814 0,1749 0,1710	215	0,306 0,568 0,718	0,1620 0,1607 0,1569	230	0,332 0,505 0,723	0,1915 0,1911 0,1890

75 km. à l'heure 24 % de la consommation totale. Le quantum des pertes par condensation diminue aussi quand la surface du diagramme augmente en sorte que le fonctionnement est d'autant plus économique que l'effort développé est plus grand. En définitive la consommation totale de vapeur augmente légèrement avec la vitesse et oscille habituellement entre 10 kg. et 10 kg.,5 ; pour des efforts très élevés à des vitesses moyennes, elle s'abaisse à 9 kg,5 et même à moins ; pour de faibles efforts à grande vitesse, elle atteint et dépasse 11 kg.

Dans l'un des trains expérimentés, N° 86 du 28 avril, le cran d'admission B. P. a été maintenu constamment entre 52 et 55 %. Sous ce régime, la consommation totale de vapeur par cheval-heure a été (voir tableau E) plutôt moindre qu'aux autres trains où le cran B. P. a été de 60 % et au-dessus.

5. Forme de la courbe de détente

Le tableau B montre, pour les trente premiers diagrammes des trains 86 du 22 mai et 1428 du 3 juin, comment varie le poids de vapeur pendant la détente dans le cylindre à haute pression et on constate que ce poids diminue en moyenne légèrement du commencement à la fin de la détente.

La ligne de détente est donc comprise entre la courbe Mariotte et la courbe adiabatique, ce qui prouve que la quantité d'eau entraînée par la vapeur est très faible. Dans certains cas particuliers, par exemple au démarrage, la vapeur entraîne au contraire beaucoup d'eau et la courbe de détente s'en trouve profondément affectée, comme on peut le voir sur les deux diagrammes de démarrage N° 1 et 226 de la Fig. 7 ; il y a alors évidemment dans le cylindre une réévaporation considérable pendant la détente.

Dans le cylindre à basse pression, la courbe de détente tracée par le crayon de l'indicateur semble indiquer qu'il y a une augmentation notable du poids de vapeur pendant cette phase ; mais nous pensons que cette courbe est inexacte à cause de la trop grande longueur du tuyau faisant communiquer le cylindre H. P. avec l'indicateur. Ce tuyau a $2^m,025$ de longueur tandis que celui du cylindre à haute pression n'a que $0^m,920$. Dans les diverses machines essayées, les longueurs de tuyaux ont été les suivantes pour un diamètre de 15^{mm} :

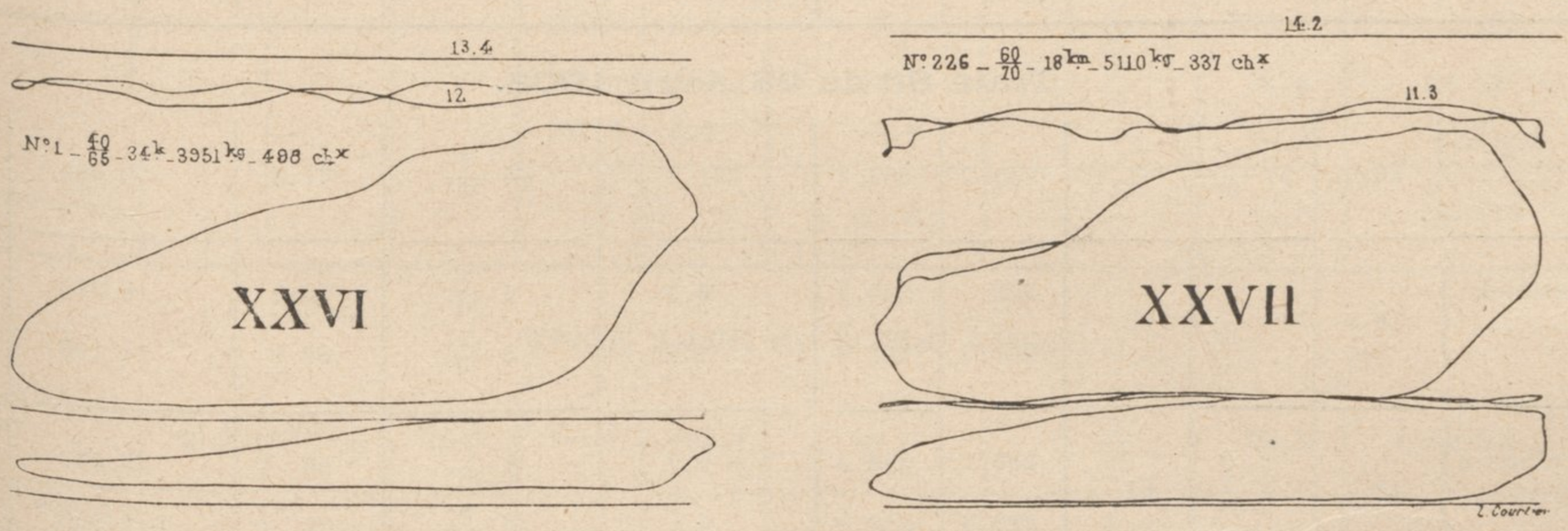
		AVANT du CYLINDRE	ARRIÈRE du CYLINDRE
Simple expansion.....	Machine Bonnefond N° 2617.....	$1^m,020$	$0^m,950$
	» à tiroirs cylindriques N° 2754.....	$1^m,160$	$1^m,145$
	» atlantic américaine N° 2901.....	$0^m,650$	$0^m,600$
		Haute pression	Basse pression
Double expansion.....	Machine américaine Vauclain N° 2802.....	$0^m,750$	$1^m,050$
	» à 4 cylindres de Glehn N° 3729.....	$0^m,920$	$2^m,025$

Avec une longueur de tuyau voisine d'un mètre, nous avons toujours constaté (1) que la courbe de détente suivait à très peu de chose près la loi hyperbolique : $p\,v =$ constante. Dans les diagrammes B.P.

(1) *Revue Générale* N^os^ de Mai 1903 et de Mars 1904.

de la machine 3729, avec une longueur de tuyau à peu près double, la courbe de détente est notablement au-dessus de la courbe hyperbolique, comme on peut le voir sur les diagrammes Nos XIII, XIV, XV, XVI, etc (Fig. 2) où la ligne pointillée est celle tracée réellement par le crayon de l'indicateur et la ligne pleine la courbe hyperbolique. On remarquera que la première est d'autant plus au-dessus de la seconde que la vitesse est plus grande. La variation de pression dans le cylindre ne se transmettant pas instantanément au piston de l'indicateur, la pression accusée par celui-ci est un peu en retard sur la pression dans le cylindre et ce retard est d'autant plus accentué que le tuyau est plus long et la vitesse plus élevée. Il n'a aucune influence sur les parties du diagramme où la pression reste à peu près constante, lignes d'admission et d'échappement ; mais les courbes de la détente et de compression sont plus ou moins déformées. Comme le montrent les diagrammes pris sur les machines à simple expansion, la déformation est négligeable tant que le tuyau n'a pas plus d'un mètre de longueur, ni des coudes brusques ; elle est au contraire très sensible sur les diagrammes B. P. de la machine 3729. En remplaçant sur ces diagrammes la ligne de détente tracée par le crayon de l'indicateur par la ligne hyperbolique, leur surface mesurée au planimètre se trouve diminuée en moyenne de 12 à 14 % pour des vitesses comprises entre 60 et 80 km. à l'heure.

Fig. 7.



Nous avons fait la rectification de la courbe de détente sur tous les diagrammes B. P. et les chiffres portés au tableau A (effort moteur, puissance, etc.) ainsi qu'aux tableaux C et E se rapportent aux diagrammes B. P. rectifiés. L'erreur commise par excès sur l'effort moteur indiqué total serait, si on n'effectuait pas cette rectification, de 6 % en moyenne aux trains express ; sur la consommation de vapeur par cheval et par heure, on commettrait par défaut une erreur de même importance.

6. Résultats obtenus en service.

Travail moteur. — Le travail moteur totalisé est obtenu en traçant par points la courbe de l'effort moteur (col. 9 du tableau A) en fonction de la longueur parcourue et en planimétrant cette courbe. Les résultats en sont donnés dans le tableau C.

Travail résistant. — Pour calculer le travail résistant, on a admis, comme toujours, que la résistance par tonne du matériel des trains express est donnée par la formule :

$$r = 1{,}5 + 0{,}25\ V \left(\frac{V + 80}{1.000}\right)$$

V étant la vitesse en kilomètres à l'heure.

Tableau C. — Travail moteur totalisé.

TRAJET entre stations d'arrêt.	Distance totale. km.	Durée totale du parcours — minutes.	Vitesse moyenne en km. à l'heure.	Points kilométriques où le régulateur a été ouvert.	Points kilométriques où le régulateur a été fermé.	Distance parcourue à régulateur ouvert. km.	Durée du parcours à régulateur ouvert. — minutes,	Vitesse moyenne en km. à l'heure.	Travail moteur en milliers de kilogrammètres.	Puissance moyenne en chevaux-vapeur
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Train 86 du 10 Avril 1903.										
Saumur à Noyant-Méon	32,7	30	65,4	285,7	273,3	12,4	11 6/10	64,1	33.643	645
				272,3	265,2	7,1	6 4/10	66,5	18.749	651
				263,5	254,5	9	8 2/10	65,8	24.741	670
Totaux et moyennes.						28,5	26 2/10	65,2	77.132	654
Train 86 du 28 Avril 1903.										
Saumur à Noyant-Méon	32,7	27 5/10	71,4	285,7	254,3	31,4	26 2/10	71,9	70.020	594
Noyant à Château-la-Vallière	16,9	15 6/10	65	253	246,1	6,9	6 5/10	63,7	18.970	648
				242,7	238,5	4,2	3 7/10	68,1	12.100	727
Château-la-Vallière à Château-du-Loir	19,1	17 1/10	67	236,1	226,4	9,7	8 8/10	66	25.390	640
				220,8	219,8	1	0 8/10	75	2.000	523
Château-du-Loir à Pont-de-Braye	24,6	21 1/10	70	217	193,9	23,1	19 5/10	71	48.420	552
Totaux et moyennes.	93,3	81 1/10	68,8			76,3	65 5/10	69,8	176.900	600
Train 86 du 22 Mai 1903.										
Saumur à Noyant-Méon	32,7	29 8/10	65,8	285,7	254,6	31,1	27 9/10	66,9	90.650	722
Noyant à Château-la-Vallière	16,9	16 5/10	61,5	253	244,9	8,1	8 7/10	55,8	26.710	717
				243	238,5	4,5	3 9/10	69,2	13.900	
Château-la-Vallière à Château-du-Loir	19,1	17 7/10	64,8	236,1	225,6	10,5	10	63	37.480	833
Château-du-Loir à Pont-de-Braye	24,6	23 7/10	62,8	217	197,2	19,8	17 4/10	68,9	54.100	691
				196,7	193,9	2,8	4 2/10	»	11.910	630
				193,4	193	0,4	0 5/10	»	1,120	500
Totaux et moyennes.	93,3	87 7/10	63,8			77,2	72 6/10	63,8	235.870	722

Tableau C (*Suite*).

TRAJET entre stations d'arrêt.	Distance totale. km.	Durée totale du parcours — minutes.	Vitesse moyenne en km. à l'heure.	Points kilométriques où le régulateur a été ouvert.	Points kilométriques où le régulateur a été fermé.	Distance parcourue à régulateur ouvert. bm.	Durée du parcours à régulateur ouvert. — minutes.	Vitesse moyenne en km. à l'heure.	Travail moteur en milliers de kilogrammètres.	Puissance moyenne en chevaux-vapeur.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Train 98 du 12 Mai 1903.										
Niort à Thouars....	89,8	76	70,9	414,9	408,4	6,5	7 6/10	51,3	23.220	680
				405,6	384,8	20,8	18 5/10	67,5	65.220	783
				381,3	378,4	2,9	2 4/10	72,5	5.760	533
				374,7	371,7	3	2 9/10	61,5	7.730	590
				369,2	365	4,2	3 4/10	74,1	8.450	552
				363,3	358,3	5	3 9/10	76,9	7.630	435
				351,4	339,4	12	10 1/10	71,3	24.890	548
				337,4	328	9,4	7	80,6	16.940	538
Totaux et moyennes.						63,8	55 8/10	68,6	159.840	637
Train 1428 du 5 Mai 1903.										
Saumur à Château-la-Vallière.....	49,6	82 1/10	36,2	285,7	238,4	30,6	51 7/10	35,5	96.565	415
Château-la-Vallière à Château-du-Loir..	19,1	36 9/10	31	236,1	217,6	7,1	15 5/10	27,6	28.830	413
Château-du-Loir à Pont-de-Braye....	24,6	39 8/10	37	217	193,2	18,5	27 9/10	39,6	48.400	385
Totaux et moyennes.	93,3	158 8/10	35,2			56,2	95 1/10	35,4	173.795	406
Train 1428 du 3 Juin 1903.										
Château-du-Loir à Pont-de-Braye....	24,6	36 9/10	40	217	203,2	13,8	19 8/10	41,8	44.210	496
				201,5	194,6	6,9	10 3/10	40,2	22.910	494
Pont-de-Braye à Bessé	8,4	20 4/10	16,5	192,4	185,8	6,6	13 5/10	29,3	26.950	443
Bessé à Sargé.....	12,4	22 1/10	33,7	184	173,4	10,6	17 1/10	37,2	40.520	526
Sargé à Courtalain..	30,7	53	34,8	171,6	152,5	19,1	37 5/10	30,6	120.950	717
				147	144	3	3 7/10	48,6	10.500	630
Totaux et moyennes.	76,1	132 4/10	34,5			60	101 9/10	35,3	266.040	580

Tableau D. — Travail résistant totalisé.

Du point kilométrique	Au point kilométrique	Le régulateur est	Vitesse en kilom. à l'heure au début	Vitesse en kilom. à l'heure à la fin	Différence d'altitude — mètres	Travail résistant en milliers de kilogrammètres — Train	Travail résistant en milliers de kilogrammètres — Machine et tender	Travail résistant dû à la gravité — milliers de kilogram.	Résistance due à la variation de force vive — milliers de kilogram.	Travail résistant total — milliers de kilogram.	Travail moteur — milliers de kilogram.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Train 86 du 10 avril 1903 beau temps, calme.					poids moyen de la machine et du tender ..... 92t tonnage remorqué 172t						
285,7	273,3	ouvert	0	67	+ 17,02	8.825	13.135	+ 4.493	+ 4.670	31.123	33.643
273,3	272,3	fermé	67	60	— 4,90	700	1.015	— 1.193	— 925	— 503	0
272,3	265,2	ouvert	60	72	+ 16,25	4.975	7.200	+ 4.290	+ 1.647	18.112	18.749
265,2	263,5	fermé	72	67	— 8,30	1.250	1.965	— 2.191	— 721	303	0
263,5	254,5	ouvert	67	67	+ 35,77	6.215	9.090	+ 9.443	0	24.748	24.741
		Totaux....				21.965	32.405	+ 14.742	+ 4.670	73.782	77.132
Train 86 du 28 avril 1903 beau temps, calme.					poids moyen de la machine et du tender..... 92t tonnage remorqué..... 147t						
285,7	254,3	ouvert	0	66	+ 55,84	21.650	33.958	+ 13.345	+ 4.094	73.047	70.020
253	246,1	ouvert	0	82	+ 4.87	4.320	6.825	+ 1.164	+ 6.320	18.629	18.970
246,1	242,7	fermé	82	67	— 13,57	2.265	3.676	— 3.234	— 2 100	707	0
242,7	238,5	ouvert	67	63	+ 22,50	2.620	4.132	+ 5.377	— 488	11.641	12.100
236,1	226,4	ouvert	0	78	+ 18,86	6.310	9.861	+ 4.507	+ 5.718	26.396	25.390
226,4	220,8	fermé	78	85	— 44,68	4.190	6.731	— 10.726	+ 1.072	— 677	0
220,8	219,8	ouvert	85	85	0	690	1.110	0	0	1.800	2.000
217	193,9	ouvert	0	80	+ 9,80	15.840	24.967	+ 2.342	+ 6.016	49 165	48.420
		Totaux.....				57.880	91.256	+ 12.775	+ 20.632	180.408	176.900
Train 86 du 22 mai 1903 beau temps, calme.					poids moyen de la machine et du tender ..... 92t tonnage remorqué 271t						
285,7	254,6	ouvert	0	60	+ 54,38	35.340	31.488	+ 19.740	+ 5.148	91.716	90.650
253	244,9	ouvert	0	79	+ 2,70	8.465	7.398	+ 980	+ 8.924	25.767	26.710
244,9	243	fermé	79	75	— 11,40	2.485	2.228	— 4.138	— 880	— 305	0
243	238,5	ouvert	75	54	+ 22,50	5.265	4.738	+ 8.167	— 3.874	14.300	13.900
236,1	225,6	ouvert	0	89	+ 10,86	11.980	10.439	+ 3.942	+ 11.327	37.688	37.480
225,6	219,8	fermé	89	66	— 36,88	9.725	8.547	— 13.387	— 5.098	— 213	0
217	197	ouvert	0	78	+ 8,50	23.820	21.056	+ 3.085	+ 8.700	56.661	54.100
		Totaux.....				97.080	85.894	+ 18.389	+ 24.247	225.614	222.840

Tableau D (*suite*).

Du point kilométrique	Au point kilométrique	Le régulateur est	Vitesse en kilom. à l'heure au début	Vitesse en kilom. à l'heure à la fin	Différence d'altitude — mètres	Travail résistant en milliers de kilogrammètres Train	Travail résistant en milliers de kilogrammètres Machine et tender	Travail résistant dû à la gravité — milliers de kilogram.	Résistance due à la variation de force vive — milliers de kilogram.	Travail résistant total — milliers de kilogram.	Travail moteur — milliers de kilogram.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Train 98 du 12 mai 1903 beau temps, calme.											
					poids moyen de la machine et du tender		92t				
					tonnage remorqué		117t				
414,9	408,4	ouvert	0	72	+ 43,78	2.495	5.590	+ 9.150	+ 4.266	21.501	23.220
408,4	405,6	fermé	72	69	— 23,10	1.430	3.265	— 4.828	— 348	— 481	0
405,6	384,8	ouvert	69	77	+160,89	9.480	20.970	+ 33.626	+ 961	65.037	65.220
384,8	358,3	»	77	88	— 79,50	13.285	30.075	— 16.613	+ 1.494	28.241	29.570
358,3	351,4	fermé	88	52	— 37,99	3.790	8.750	— 7.492	— 4.147	901	0
351,4	339,4	ouvert	52	84	+ 9,79	5.670	12.655	+ 2.048	+ 3.581	23.954	24.890
339,4	337,4	fermé	84	60	— 1,70	1.025	2.380	— 355	— 2.844	206	0
337,4	328	ouvert	60	86	— 10,65	5.110	11.715	— 2.225	+ 3.124	17.724	16.940
		Totaux.....				42.285	95.400	+ 12.861	+ 6.037	156.583	159.840
Train de marchandises N° 1428 du 5 mai 1903 beau temps, vent contraire de 20 à 25 kilomètres à l'heure.											
					poids moyen de la machine et du tender.		92t				
					tonnage remorqué : de Saumur à Château-du-Loir..		271t				
					id. de Château-du-Loir à Pt-de-Braye.		300t				
285,7	238,4	»	0	23	+ 66,24	39.195	30.640	+ 24.772	+ 755	95.362	96.565
236,1	227,3	»	0	23	+ 28,06	6.710	5.220	+ 10.185	+ 755	22.870	28.830
217	193,2	»	0	31	+ 11,77	22.760	15.605	+ 4.611	+ 1.480	44.456	48.400
		Totaux.....				68.665	51.465	+ 39.568	+ 2.990	162.688	173.795
Train de marchandises N° 1428 du 3 juin 1903 beau temps, vent contraire de 30 à 35 kilomètres à l'heure.											
					poids moyen de la locomotive et du tender		92t				
					tonnage remorqué : de Château-du-Loir à Pt-de-Braye		446t				
					id. de Pont-de-Braye à Bessé.....		457t				
					id. de Bessé à Sargé.....		454t				
					id. de Sargé à Courtalain		500t				
217	203,2	ouvert	0	53	+ 4,90	20.600	9.750	+ 2.636	+ 5.954	38.940	44.210
203,2	201,5	fermé	53	22	+ 1,65	2.305	1.130	+ 887	— 4.930	— 608	0
201,5	194,4	ouvert	22	50	+ 2,60	10.130	4.765	+ 1.398	+ 4.273	20.566	22.910
192,4	185,8	ouvert	0	54	+ 7,20	8.335	3.885	+ 3.952	+ 6.298	22.470	26.950
184	173,4	ouvert	0	43	+ 17,90	14.630	6.810	+ 9.773	+ 3.996	35.209	40.520
171,6	152,5	ouvert	0	31	+110,84	26.670	11.180	+ 65.616	+ 2.238	105.704	120.950
		Totaux.....				82.670	37.520	+ 84.262	+ 17.832	222.284	255.540

Pour les trains de marchandises, on a admis la formule :

$$r = 1{,}6 + 0{,}30\ V\left(\frac{V + 90}{1.000}\right)$$

La résistance spécifique de la machine et du tender a été évaluée en prenant la différence entre le travail du moteur indiqué (tableau C) et la résistance du train remorqué, après correction de l'influence de la gravité et de la force vive.

Le poids moyen de la machine 3729 avec son tender est de 92 tonnes ; la résistance par tonne est représentée par la formule :

$$\rho = 4 + V\left(\frac{V + 30}{1.000}\right)$$

Pour les machines compound à 4 cylindres et à 4 roues accouplées de $2^m,14$ de diamètre de la Compagnie du Nord, M. Barbier a donné (1) la formule :

$$\rho = 3{,}8 + 0{,}9\ V\left(\frac{V + 30}{1.000}\right)$$

Il n'y a rien d'étonnant à ce que nous trouvions des valeurs un peu plus élevées pour une machine à 6 roues accouplées de $1^m,75$ de diamètre.

A régulateur fermé, la résistance semble être au moins aussi élevée qu'à régulateur ouvert.

Les résultats du calcul du travail résistant à l'aide des formules ci-dessus indiquées sont réunis dans le tableau D. Les trains de voyageurs ayant été faits par beau temps, sans vent, il y a accord satisfaisant entre les travaux moteurs et résistants. Quant aux deux trains de marchandises, leur marche ayant été contrariée par le vent, ils ont exigé respectivement un travail supplémentaire de 7 % et de 15 %.

En comparant les deux trains 86 du 22 mai et 1428 du 5 mai, on peut se rendre compte de l'augmentation considérable de travail qu'exige la vitesse. Le tonnage (271 tonnes) et le parcours des deux trains sont les mêmes, mais la vitesse moyenne du premier est de 65 km. et celle du second de 36 km. à l'heure. Le travail total développé au train 86 est (voir tableau C) en nombres ronds de 236 millions de kilogrammètres, supérieur de 73 millions de kilogrammètres au travail effectué au train 1428 du 5 mai, qui est de 163 millions de kilogrammètres, déduction faite de l'effort supplémentaire dû au vent. Ainsi, pour passer de la vitesse d'un train de marchandises à celle d'un train express, le travail à développer dans un temps à peu près moitié moindre est de 45 % plus élevée et la puissance est par suite presque doublée (722 chevaux en moyenne au train 86 contre 381 chevaux au train 1428).

Consommation d'eau. — La consommation réelle d'eau, déduction faite comme toujours des pertes pour amorçage des injecteurs et pour arrosage, est indiquée au tableau E (col. 5, 6 et 7). La consommation de vapeur sèche calculée d'après les diagrammes est portée aux col. 8 et 9. La première n'est supérieure à la seconde que de 4,3 % et il faut tenir compte de la consommation de la pompe à air qui est d'environ 3 %. La consommation calculée est donc égale à 1 ou 2 % près à la consommation réelle et on en peut conclure que la vapeur produite par la chaudière est pratiquement sèche.

L'application des formules servant à calculer la consommation de vapeur sèche, notamment de la formule des condensations, donne pour la machine Compound les mêmes résultats que pour les machines à simple expansion 2617 et 2754.

---

(1) *Revue Générale,* avril 1897.

Tableau E. — Consommation d'eau.

PARCOURS, NUMÉRO et date du train.	Distance totale. — Km.	Temps pendant lequel le régulateur a été ouvert. — Minutes.	Puissance moyenne. — Chevaux-vapeur.	CONSOMMATION RÉELLE D'EAU en kilogrammes. Totale	Par Km. du parcours total.	Par cheval et par heure.	CONSOMMATION calculée de vapeur sèche en kilogr. Totale.	Par cheval et par heure.	Pourcentage de la différence entre la consommation réelle d'eau et la consommation calculée de vapeur.	POUR LE PARCOURS à régulateur ouvert. Consommation moyenne réelle d'ean par heure. — Kilogr.	Vaporisation moyenne par m2 de chauffe et par heure. — Kilogr.	Consommation moyenne de charbon par m2 de grille et par heure. — Kilogr.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Train nº 86 du 10 avril 1903.												
Saumur à Noyant-Méon.....	32,7	26 2/10	654	2.970	90,8	10,40	2.893	10,12	2,5 %	6.800	40	408
Train Nº 86 du 28 avril 1903.												
Saumur à Noyant-Méon.....	32,8	26 2/10	594	2.713	82,9	10,45	2.580	9,94	»	6.210	36,6	385
Noyant à Château-la-Vallière....	16,9	10 2/10	677	1.155	68,4	10,04	1.205	10,47	»	6.800	40	422
Ch.-la-Vallière à Ch.-du-Loir...	19,1	9 6/10	631	1.024	53,6	10,14	1.047	10,36	»	6.400	37,7	396
Ch.-du-Loir à Pont-de-Braye...	24,6	19 5/10	552	2.080	84,5	11,58	1.810	10,07	»	6.400	37,7	396
Totaux et moyennes.....	93,3	65 5/10	600	6.972	74,7	10,65	6.642	10,14	4,7	6.390	37,5	396
Train Nº 86 du 22 mai 1903.												
Saumur à Noyant.....	32,7	27 9/10	722	3.429	104,8	10,20	3.513	10,45	»	7.370	43,4	429
Noyant à Ch.-la-Vallière	16,9	12 6/10	717	1.587	93,3	10,54	1,562	10,37	»	7.550	44,5	440
Ch.-la-Vallière à Ch.-du-Loir ...	19,1	10	833	1.674	87,6	12,06	1.401	10,09	»	10.044	59,2	585
Ch.-du-Loir à Pont-de-Braye.....	24,6	22 1/10	675	2.971	120,8	11,95	2.710	10,90	»	8.066	47,5	470
Totaux et moyennes.....	93,3	72 6/10	722	9.662	103,6	11,06	9.186	10,51	4,9	7.985	47	465
Train Nº 98 du 12 mai 1903.												
Niort à Thouars.....	89,8	55 8/10	636	6.300	70,1	10,64	6.310	10,67	»	6.774	40	438
Train Nº 1428 du 5 mai 1903												
Saumur à Ch.-la-Vallière.....	49,6	51 7/10	413	3.860	77,8	10,88	3.561	9,90	»	4.480	26,4	247
Ch.-la-Vallière à Ch.-du-Loir...	19,1	15 5/10	413	1.222	63,9	11,45	1.124	10,53	»	4.730	27,9	261
Ch.-du-Loir à Pont-de-Braye.....	24,6	27 9/10	385	2.091	85	11,66	1.894	10,60	»	4.490	26,4	247
Totaux et moyennes.....	93,3	95 1/10	406	7.173	76,9	11,13	6.579	10,22	8,3	4.520	26,6	250
Train Nº 1428 du 3 juin 1903.												
Ch.-du-Loir à Pont-de-Braye....	24,6	30 1/10	495	2.554	103,8	10,26	2.593	10,42	»	5.091	30	275
Pont-de-Braye à Bessé.....	8,4	13 5/10	443	1.044	124,3	10,47	974	9,77	»	4.640	27,3	251
Bessé à Sargé.....	12,4	17 1/10	526	1.578	126,4	10,52	1.488	9,93	»	5.537	32,6	300
Sargé à Courtalain.....	30,7	41 2/10	709	4.890	159,3	10,04	4.640	9,53	»	7.120	42	385
Totaux et moyennes.....	76,1	101 9/10	580	10.066	132,3	10,22	9.695	9,84	3,7	5.927	34,9	320
Totaux et moyennes de tous les trains.....	478,5	417 1/10	580	43.143	90,2	10,70	41.305	10,24	4,3	6.206	36,6	359

Consommation de charbon. — La consommation totale de charbon, y compris ce qui est employé à la préparation du feu au départ et non compris ce qui reste sur la grille à l'arrivée, est indiquée à la col. 5 du tableau F. En divisant les chiffres de la col. 4 (consommation totale d'eau) par ceux de la col. 5, on obtient le taux de vaporisation, qui sert à calculer les chiffres des col. 18 du tableau A et 13 du tableau E ; consommation de charbon par mètre carré de grille et par heure. Enfin, la col. 9 du tableau F donne la consommation moyenne de charbon par kilomètre, qui s'est élevée à 12 kg. 31 en moyenne pour l'ensemble des trains.

Tableau F. — Consommation de charbon.

N° et date du train.	Trajet de la machine.	Distance km.	Consommation totale d'eau. kilogr.	Consommation totale de charbon. kilogr.	Nature du combustible. Briquettes proportion %	Nature du combustible. Menus proportion %	Taux de vaporisation.	Consommation par kilomètre. kilogr.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
86 du 28 avril 1903...	Thouars à Courtalain..	184,2	15.258	2.250	40	60	6,78	12,21
86 du 22 mai 1903....	Thouars à Pt-de-Braye .	132,7	12.776	1.770	70	30	7,22	13,34
98 du 12 mai 1903....	Niort à Thouars.....	89,8	6.300	970	50	50	6,50	10,80
1428 du 5 mai 1903...	Thouars à Courtalain..	184,2	15.232	2.000	30	70	7,61	10,85
1428 du 3 juin 1903...	Thouars à Courtalain..	184,2	19.815	2.550	34	66	7,77	13,84
Totaux et moyennes		775,1	69.381	9.540	»	»	7,27	12,31

Puissance normale. — La puissance maxima développée par la machine N° 3729 a été un peu supérieure à 1.100 chevaux (diagrammes N°s 140, 141 et 142 du train 86 du 22 mai) ; mais cette puissance n'a été atteinte qu'en lançant le train à grande vitesse avant d'aborder une rampe de 10 millièmes et n'a été réalisée que pendant une durée trop courte pour qu'on puisse la considérer comme étant la puissance normale. Elle correspondrait (voir tableau A) à une production de vapeur de 10.970 kg. par heure et de 65 kg. 6 par mètre carrré de surface de chauffe et par heure.

Le rapport entre la surface de chauffe indirecte, surface intérieure des tubes Serve, et la surface de chauffe du foyer est égal à 13 et le rapport de la surface totale de chauffe à la surface de grille est de 71,3. Dans la machine 2754, également munie de tubes Serve, où le premier rapport a la même valeur et le second est égal à 79, nous avons trouvé que la production maxima était de 54 kg. de vapeur par mètre carré de surface de chauffe et par heure ; dans la machine 2617, munie de tubes lisses, le premier rapport est égal à 11,6, le second à 63,6 et la production maxima est de 60 kg. par mètre carré de surface de chauffe et par heure. On peut donc estimer que la production normale de la machine 3729 peut s'élever par mètre carré de surface de chauffe et par heure à 54 kg. au moins et à 60 kg. au plus. La production totale horaire serait ainsi comprise entre 9.165 et 10.180 kg. de vapeur, ce qui, pour une consommation moyenne par cheval et par heure de 10 kg. 5, chiffre qui se dégage de nos essais, donne des limites de puissauce de 870 et 970 chevaux.

D'après la formule de vaporisation : $p = 460\ \sqrt{cg}$, on aurait : $p = 9.250$ kg.

LOCOMOTIVE AMÉRICAINE DU TYPE ATLANTIC A DISTRIBUTEURS CYLINDRIQUES.

1. **Renseignements généraux.**

Les données caractéristiques des locomotives Atlantic à simple expansion et à tiroirs cylindriques de la série 2901-2910 (photographie de la Fig. 8) sont les suivantes :

Diamètre des roues motrices		2^m,140
Ecartement des essieux extrêmes		8^m,118
Diamètre des cylindres		0^m,438
Course du piston		0^m,660
Timbre de la chaudière		15 kg.
Surface de grille		3^{m2},25
Surface de chauffe	du foyer	15^{m2},93
	des tubes (lisses)	159^{m2},88
	totale	175^{m2},81
Poids en ordre de marche	bogie	16^t
	3e essieu (accouplé)	17^t
	4e essieu (moteur)	17^t
	5e essieu (porteur)	15^t
	Total	65^t

Les essais ont été faits avec la locomotive N° 2901 aux trains indiqués ci-après :

DATE	N^{os} des trains.	TRAJET.	TONNAGE remorqué.	NOMBRE de diagrammes relevés, cylindre côté droit avant et arrière.
			T.	
16 décembre 1901	86	Saumur à Château-du-Loir	231	30
20 décembre 1901	id.	Id.	137	19
29 octobre 1902	id.	Saumur à Pont-de-Braye	250	68
30 octobre 1902	id.	Id.	137	57
		Nombre total de diagrammes		174

Le tableau A résume les principaux resultats déduits des diagrammes relevés aux trains 86 d'octobre 1902.

2. **Circulation de la vapeur.**

Chute de pression entre la chaudière et la boîte à vapeur. — Comme sur la machine 2802 (1), le régulateur est constitué par une soupape équilibrée à double siège et son levier de manœuvre

(1) *Revue Générale,* N° de Mai 1903.

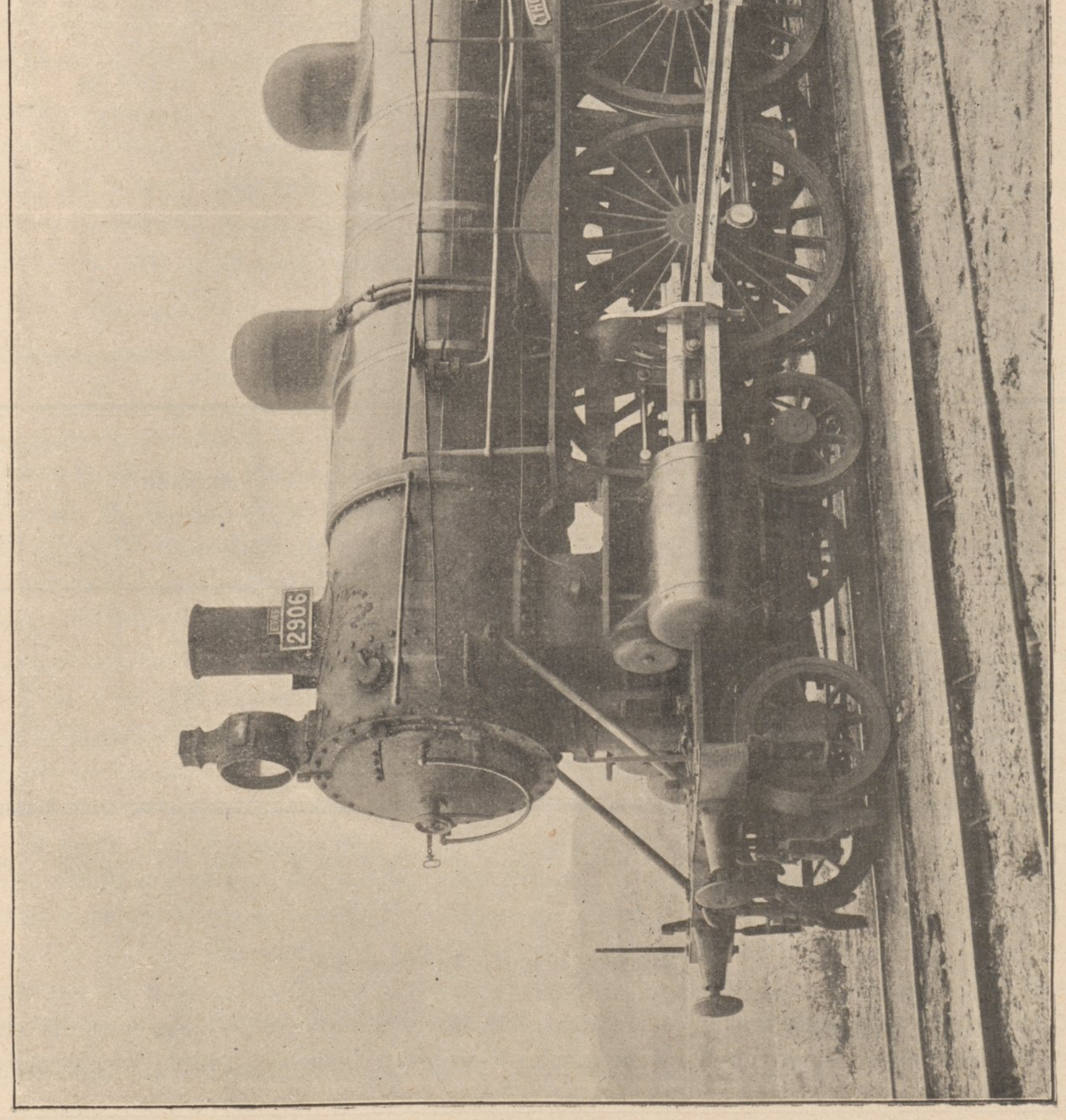


Fig. 8. — Locomotive Américaine du type Atlantic.

Tableau A. — Machine 2901, effort moteur et consommation de vapeur.

Nos des diagrammes	Points kilométriques où les diagrammes ont été relevés	Vitesse en kilomètres à l'heure	Admission % de la course	Pession effective dans la boîte à vapeur — kilogr. par cm2	Contre-pression à l'échappement — kilogr. par cm2	Effort moteur indiqué — kilogr.	Puissance indiquée en chevaux	CONSOMMATION PAR CHEVAL ET PAR HEURE			Consommation de vapeur par kilomètre — kilogr.	Consommation d'eau par heure — kilogr.	Vaporisation par m2 de surface de chauffe et par heure — kilogr.	Consommation de charbon par m2 de surface de grille et par heure — kilogr.
								de vapeur indiquée — kilogr.	de vapeur condensée — kilogr.	de vapeur totale — kilogr.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
						Train 86 du 29 Octobre 1902								
1	285,6	5	35	13	0,3	4.895	93	9,54	5,16	14,70	266,8	1.360	7,7	65
2	284,6	45	35	11,3	0,5	3.779	574	9,96	3,00	12,96	181,4	8.320	47,3	399
3	283,7	60	25	9,2	0,6	2.175	483	10,11	3,49	13,60	109,5	8.430	38,1	321
4	282,4	71	25	11,5	0,7	2.559	673	9,39	3,11	12,50	118,2	8.550	48,6	410
5	281,1	75	25	10,5	0,5	2.483	690	8,64	3,13	11,77	108,2	8.270	47	397
6	279,9	75	25	10,9	0,7	2.493	693	9,00	3,02	12,02	111,0	8.480	48,2	407
7	278,6	73	25	9,6	0,6	2.269	612	9,40	3,19	12,59	105,7	7.860	44,7	377
8	277,4	72	25	11,4	0,7	2.730	726	8,90	2,90	11,80	119,3	8.750	49,8	420
9	276,2	69	25	11,6	0,6	2.750	701	9,04	3,06	12,10	123,1	8.650	49,2	415
10	274,6	64	30	11	0,6	3.022	716	9,52	2,98	12,50	139,8	9.120	51,9	438
11	273,2	67	25	11,5	0,6	2.671	662	9,07	3,14	12,21	120,7	8.240	46,9	396
12	272,2	74	25	9,1	0,5	1.961	537	9,33	3,63	12,96	94	7.090	40,3	340
13	270,9	75	30	10,8	0,7	2.626	730	9,98	2,85	12,83	124,1	9.480	54	455
14	269,7	68	30	11,1	0,6	2.885	727	9,96	3,08	13,04	139,3	9.650	54,9	463
15	268	68	25	11,2	0,7	3.001	756	9,23	2,68	11,91	132,4	9.180	52,2	440
16	266,8	70	25	11,2	0,6	2.710	702	8,86	3,04	11,90	119,4	8.520	48,4	409
17	265,7	75	25	9,7	0,5	2.327	647	9,15	3,16	12,31	106	8.100	46,1	389
18	263	73	25	9	0,5	2.195	593	9,12	3,24	12,36	100,4	7.470	42,5	358
19	261,8	71	25	9	0,5	2.050	539	9,58	3,56	13,14	99,6	7.200	41	346
20	260,7	71	25	10,9	0,5	2.613	687	8,74	3,11	11,85	114,6	8.290	47,1	398
21	259,6	68	25	11,8	0,5	2.790	703	8,91	3,11	12,02	124,2	8.610	49	413
22	258,4	66	25	11,5	0,6	2.818	687	8,63	3,06	11,69	121,8	8.190	46,6	393
23	257,6	62	30	10,9	0,6	3.159	723	9,77	2,83	12,60	147	9.290	52,8	446
24	256,3	55	30	12,5	0,6	3 673	749	9,26	2,83	12,09	164,2	9.200	52,3	442
25	255,5	52	30	12,1	0,5	3.513	674	9,73	3,05	12,78	166,1	8.800	50,1	423
26	254,6	61	25	12,4	0,6	3.254	735	8,68	2,83	11,51	138,8	8.630	49,1	414
27	252,9	5	30	13,7	0,4	4.579	87	8,64	5,46	14,10	239,3	1.220	6,9	58
28	252,3	30	30	13	0,4	4.054	450	8,94	3,78	12,72	190,7	5.830	33,1	280
29	251,6	46	25	13,1	0,4	3.853	655	8,68	3,01	11,69	166,8	7.820	44,5	375
30	250,9	61	25	12,1	0,5	3.020	683	9,07	3,07	12,14	135,9	8.450	48,1	405
31	249,7	65	25	12	0,6	3.100	744	8,80	2,84	11,64	133,5	8.840	50,3	424
32	249	63	25	12,6	0,6	3.049	722	9,01	2,96	11,97	134,3	8.620	49	414
33	247,8	71	25	10,8	0,6	2.769	728	8,89	2,93	11,82	121,2	8.770	49,9	421
34	246,8	75	25	11	0,6	2.627	730	8,95	2,96	11,91	116	8.860	50,4	426
35	245,7	76	25	11,5	0,8	2.501	703	9,55	3,04	12,59	116,3	9.010	51,2	432
36	242,4	76	25	9,8	0,7	2.234	628	9,52	3,16	12,68	104,9	8.130	46,2	390
37	241,3	75	25	11	0,7	2.653	737	9,13	2,74	11,87	116,3	8.890	50,6	427
38	240	62	30	11,7	0,6	3.283	752	9,56	2,82	12,38	150,5	9.510	54,1	456
39	239	58	30	12,1	0,7	3.391	729	9,34	2,85	12,19	152,8	9.030	51,4	434
40	235,9	5	45	13,9	0,2	5.613	106	9,98	4,65	14,63	304,8	1.550	8,8	74
41	235,3	36	35	10,9	0,4	3.952	526	9,57	3,33	12,90	188,8	6.930	39,4	333
42	234,6	53	25	11,7	0,6	2.866	561	9,30	3,37	12,67	134,4	7.260	41,3	348
43	233,5	71	25	12	0,8	2.866	754	8,91	2,82	11,73	125	9.040	51,4	434
44	232,2	78	30	11,7	0,7	2.702	781	8,83	2,82	11,65	116,4	9.250	52,6	444
45	231	76	30	11,2	0,7	2.847	800	9,75	2,70	12,45	130,7	10.120	57,6	486
46	229,7	65	30	12,5	0,7	3.451	828	9,57	2,67	12,24	156,3	10.360	58,9	497
47	228,8	62	35	12,2	0,8	3.627	830	10,22	2,45	12,67	169,9	10.730	61,1	515
48	228,1	62	35	12,5	0,8	3.811	873	9,82	2,40	12,22	172,1	10.870	61,8	522
49	222	93	25	8	0,5	1.649	567	9.65	3,60	13,25	81	7.680	43,7	368
50	220	85	25	7,4	0,4	1.509	475	12,13	8,85	20,98	84,7	7.340	41,7	352
51	216,8	5	40	13,5	0,3	5.112	97	9,24	5,92	15,16	268,3	1.370	7,8	65
52	216,3	32	20	12,8	0.4	4.272	508	8,95	4,14	13,09	196,7	6.410	36,5	308
53	215,8	45	30	12,1	0,7	3.596	600	9,00	3,65	12,65	162,7	7.510	42,7	360
54	214,7	60	25	12,1	0,7	3.173	704	9,34	3,70	13,04	145,6	8.900	50,6	427
55	213,5	65	25	10,7	0,7	2.614	627	9,93	3,62	13,55	128	8.480	48,2	407
56	212,3	73	25	10,6	0,7	2.367	639	11,06	3,26	14,32	124,6	9.270	52,7	445
57	211,1	77	25	11,3	0,7	2.438	695	9,47	3,12	12,59	113	8.860	50,4	425
58	210	79	25	10,8	0,6	2.406	705	9,55	2,80	12,35	112,2	9.030	51,4	434
59	208,5	78	25	11,9	0,7	2.674	772	9,35	2,97	12,32	121,4	9.650	54,9	463
60	207,5	79	25	12,1	0,9	2.607	764	9,34	3,69	13,03	117,5	9.460	53,8	454
61	206,2	83	25	9,8	0,8	2.009	619	9,97	3,24	13,21	98,9	8.360	47,6	401
62	205,1	84	25	9,8	0,6	2.050	637	9,86	3,33	13,19	99,8	8.540	48,6	410
63	203,7	84	25	10	0,6	2.048	637	10,12	3,23	13,35	102,4	8.760	49,8	421

Tableau A (*Suite*).

Nos des diagrammes	Points kilométriques où les diagrammes ont été relevés	Vitesse en kilomètres à l'heure	Admission % de la course	Pression effective dans la boîte à vapeur — kilogr. par cm2	Contre-pression à l'échappement — kilogr. par cm2	Effort moteur indiqué — kilogr.	Puissance indiquée en chevaux	CONSOMMATION PAR CHEVAL ET PAR HEURE			Consommation de vapeur par kilomètre — kilogr.	Consommation d'eau par heure — kilogr.	Vaporisation par m2 de surface de chauffe et par heure — kilogr.	Consommation de charbon par m2 de surface de grille et par heure — kilogr.
								de vapeur indiquée — ktlogr.	de vapeur condensée — kilogr.	de vapeur totale — kilogr.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Train 86 du 29 Octobre 1892 (*suite*)														
64	201,7	81	25	10,2	0,6	2.142	642	9,68	2,89	12,57	102,9	8.490	48,3	408
65	199,7	80	25	11,4	0,8	2.447	727	9,63	2,88	12,51	114,3	9.320	53	447
66	198,2	85	25	12	0,8	2.540	800	9,70	2,70	12,40	101,8	8.820	50,2	423
67	197	81	25	11,6	0,8	2.448	734	9,50	2,90	12,40	104,5	8.620	49,1	414
68	194,8	86	25	10,7	0,8	2.280	727	9,60	2,65	12,25	100,4	8.800	50,1	422
Train 86 du 30 Octobre 1902														
101	285,6	10	40	11,2	0,3	4.020	145	9,38	5,57	14,95	222	2.300	13	104
102	284,7	46	30	11,5	0,5	3.323	565	9,40	3,37	12,77	157	7.500	42,6	337
103	283,9	65	30	11,3	0,6	2.267	544	10,54	4,03	14,07	122	8.230	46,8	370
104	283,0	82	25	10,8	0,7	2.713	825	8,36	2,83	11,19	112	9.530	54,2	428
105	281,0	85	25	10,5	0,7	2.176	685	10,33	3,36	13,69	110,3	9.730	55,3	437
106	279,9	86	25	10,8	0,7	2.302	734	10,20	3,23	13,43	114,5	10.220	58,1	459
107	278,0	92	25	10,7	0,7	2.144	731	10,04	3,36	13,40	106,5	10.170	57,8	457
108	276,7	87	25	10,7	0,7	2.379	768	9,73	3,11	12,84	113	10.200	58,1	458
109	275,5	86	25	11,2	0,7	2.436	777	9,11	3,13	12,24	110,4	9.850	56	443
110	274,0	85	25	10,9	0,7	2.401	756	9,35	3,17	12,52	111,2	9.810	55,8	441
111	273,0	85	30	8,4	0,5	1.630	513	10,35	4,11	14,46	87,3	7.700	43,8	346
112	271,7	88	30	8,3	0,5	1.665	543	9,84	3,95	13,79	85	7.760	44,2	349
113	270,3	86	25	10,3	0,6	2.167	691	9,84	3,15	12,99	104	9.280	52,8	417
114	269,1	81	25	10,5	0,6	2.293	688	9,38	3,14	12,52	106,4	8,940	50,9	402
115	267,9	81	25	8,5	0,5	1.788	536	9,56	3,62	13,18	87,4	7.350	41,8	330
116	266,5	33	25	8,4	0,5	1.712	527	10,06	3,70	13,76	87,4	7.530	42,8	338
117	265,0	84	25	8,1	0,5	1.588	494	9,92	3,97	13,89	82	7.150	40,7	321
118	262,8	78	25	8,7	0,5	1.902	550	9,75	3,50	13,25	93,4	7.560	43	340
119	261,5	78	25	8,6	0,5	1.980	572	9,63	3,34	12,97	95	7.690	43,7	345
120	260,3	75	25	10,8	0,5	2.448	680	9,22	3,42	12,64	114,7	8.930	50,8	401
121	259,0	79	25	11	0,6	2.487	728	9,02	3,19	12,21	112,5	9.220	52,5	414
122	256,9	74	25	11	0,5	2.778	761	8,93	2,85	11,78	121,2	9.310	53	418
123	255,8	70	25	11,6	0,6	2.749	712	8,65	3,06	11,71	119	8.640	49,2	388
124	252,6	20	30	12,3	0,3	3.943	288	8,70	4,65	13,35	195	4.050	23	182
125	251,9	49	25	12,1	0,4	3.173	574	9,07	3,60	12,67	149	7.580	43,1	340
126	251,0	67	25	10,8	0,6	2.493	618	9,13	3,27	12,40	114,6	7.970	45,3	358
127	249,5	77	25	10,9	0,6	2.532	721	9,65	3,04	12,69	113,4	9.060	51,5	407
128	248,6	79	25	10,5	0,6	2.304	675	9,91	3,36	13,27	111	9.100	51,8	409
129	247,5	85	25	9,9	0,6	2.104	663	10,06	3,44	13,50	104	9.180	52,2	412
130	246,0	93	25	9,6	0,6	1.983	682	11,85	3,40	15,25	99	9.550	54,4	429
131	242,6	79	25	5,1	0,3	808	237	9,59	5,29	14,88	51,3	4.210	23,9	189
132	241,4	78	25	9,5	0,5	2.230	644	10,10	3,16	13,26	105,3	8.520	48,5	383
133	240,3	65	30	9,4	0,4	2.512	603	9,86	3,43	13,29	125,8	8.490	48,3	331
134	239,4	62	30	9,8	0,4	2.647	606	8,82	3,45	12,27	130,4	8.390	47,7	377
135	235,9	5	30	12,9	0,2	4.416	159	9,31	5,76	15,07	238	1.230	7	55
136	235,2	42	25	10,6	0,3	2.990	466	9,90	3,75	13,65	144,6	6.300	35,8	283
137	234,3	65	25	7,6	0,3	1.692	406	10,17	4,28	14,45	88,8	5.990	34,1	269
138	233,2	66	25	7,5	0,3	1.503	367	9,90	4,80	14,70	83,3	5.710	32,5	256
139	232,1	76	25	7,6	0,4	1.579	444	8,91	4,10	13,01	82	6.470	36,8	291
140	231,0	74	25	11,3	0,6	2.759	756	9,00	2,85	11,85	120	9.220	52,4	414
141	230,1	67	25	11,5	0,5	2.877	713	9,16	3,06	12,22	128,3	8.920	50,7	401
142	229,0	67	25	11,5	0,5	2.911	722	9,04	2,99	12,03	131,1	9.120	51,9	410
143	228,0	64	25	11,7	0,5	2.972	704	10,89	2,99	13,88	132,2	8.780	50	394
144	219,7	67	25	5,7	0,3	1.074	266	9,00	5,49	14,49	65,1	4.530	25,7	203
145	216,9	5	30	10	0,2	3.072	110	9,05	7,17	16,22	184	955	5,4	43
146	216,6	20	25	10,7	0,5	3.101	226	9,34	4,70	14,04	158	3.280	18,6	147
147	216,0	40	25	11	0,8	2.779	414	9,62	3,65	13,27	133,5	5.540	31,5	249
148	214,7	63	25	10,7	0,8	2.039	475	10,38	3,93	14,31	102	6.670	38	300
149	213,4	73	25	8,6	0.4	1.606	433	10,50	4,42	14,92	88,2	6.680	38	300
150	208,3	71	25	7,3	0,4	1.369	360	10,45	4,74	15,19	77,3	5.700	32,4	256
151	203,8	76	25	6,8	0,4	1.278	359	9,68	4,72	14,40	71,8	5.660	32,2	254
152	202,7	76	25	6,8	0,4	1.355	381	10,50	4,45	14,95	70,8	5.580	31,8	251
153	201,5	75	25	7,1	0,4	1.326	369	10,02	4,69	14,71	74,5	5.800	33	261
154	200,3	73	25	7,2	0,4	1.336	361	9,90	4,68	14,58	72,7	5,510	31,3	247
155	199,0	73	25	6,8	0,6	1.326	358	11,00	4,24	15,24	69,4	5.260	29,9	236
156	198,3	72	25	6,8	0,4	1.191	317	11,00	5,20	16,20	71,5	5.340	30,4	240
157	196,6	75	25	6,9	0,3	1.298	361	10,83	4,93	15,76	75,6	5.880	33,5	264

se déplace sur un secteur denté, en sorte qu'on peut faire varier d'une quantité bien déterminée le degré d'ouverture. La relation entre les crans du secteur et les sections de passage donnée pour la machine 2802 s'applique à la machine 2901, à de faibles différences près dues aux variations résultant des réparations effectuées aux organes. En pratique, on n'ouvre le régulateur que de quelques crans: du cran 3 (13^{cm2} de section) au cran 8 (61^{cm2}) ; la pression dans la boîte à vapeur n'atteint dans aucune condition de marche le timbre de la chaudière : elle lui est toujours inférieure de 3 à 4 kg. au moins, comme on peut le voir à la col. 5 du tableau A : si on n'utilise pas la haute pression de la chaudière, c'est surtout parce qu'on ne peut relever la marche au-dessous de 25 % d'admission, sans faire talonner la machine par suite de l'exagération de la compression. La puissance se règle en agissant sur le régulateur, l'admission restant comprise entre 25 et 35 %.

Le volume total des tuyaux et des boîtes à vapeur est de 163 litres ; on n'observe dans celles-ci aucune oscillation de la pression.

Laminage pendant l'admission. — L'alésage du cylindre distributeur est de 254^{mm} ; il y a sur tout le pourtour dix lumières de 57^{mm} de longueur sur 38^{mm} de largeur, séparées par des cloisons de 18^{mm}.

L'ouverture maxima des lumières pendant l'admission et la section de passage correspondante sont indiquées ci-après pour les divers crans de marche.

MARCHE AVANT divisions de la règle.	0	2	3	4	5	6	7	8	FOND
Admission en centièmes de course	18	23	35	45	56	65	76	84	89
Ouverture maxima des lumières en millimètres.	8	$8\frac{1}{2}$	$9\frac{3}{4}$	12	15	$19\frac{1}{2}$	$27\frac{1}{2}$	$38\frac{1}{2}$	50
Section correspondante en centimètres carrés.	45,72	48,58	55,72	68,58	85,72	111,44	157,16	228,03	220,03

Les crans de marche habituels vont de la division 2 à la division 3 de la règle et la section maximum de passage varie entre 48 et 56 centimètres carrés. Le coefficient de laminage, c'est-à-dire le rapport de la chute de pression pendant l'admission à la pression dans la boîte à vapeur présente les valeurs suivantes pour les admissions de 25 et 30 % :

VITESSE en kilomètres à l'heure.	COEFFICIENT de laminage.
20.....	0,12
40.....	0,18
60.....	0,22
80.....	0,25
100.....	0,30

Contrepression. — Comme dans la machine 2802, l'échappement est fixe et s'effectue par deux tuyères jumelles, le diamètre de chacune d'elles est de 90^{mm} et la section totale de l'échappement est par suite de $127^{cm2},23$. La contrepression dans le cylindre pendant la course d'émission est indiquée à la colonne 6 du tableau A ; elle s'élève en moyenne à 0 kg., 2 — 0 kg., 4 — 0 kg.,6 — 0 kg., 8 pour les vitesses de 30 — 50 — 70 — 90 kilomètres à l'heure ; pour une vitesse donnée, elle peut varier de 0 kg.. 2 en plus ou en moins des valeurs moyennes ci-dessus, selon la quantité de vapeur consommée par coup.

Fig. 9.

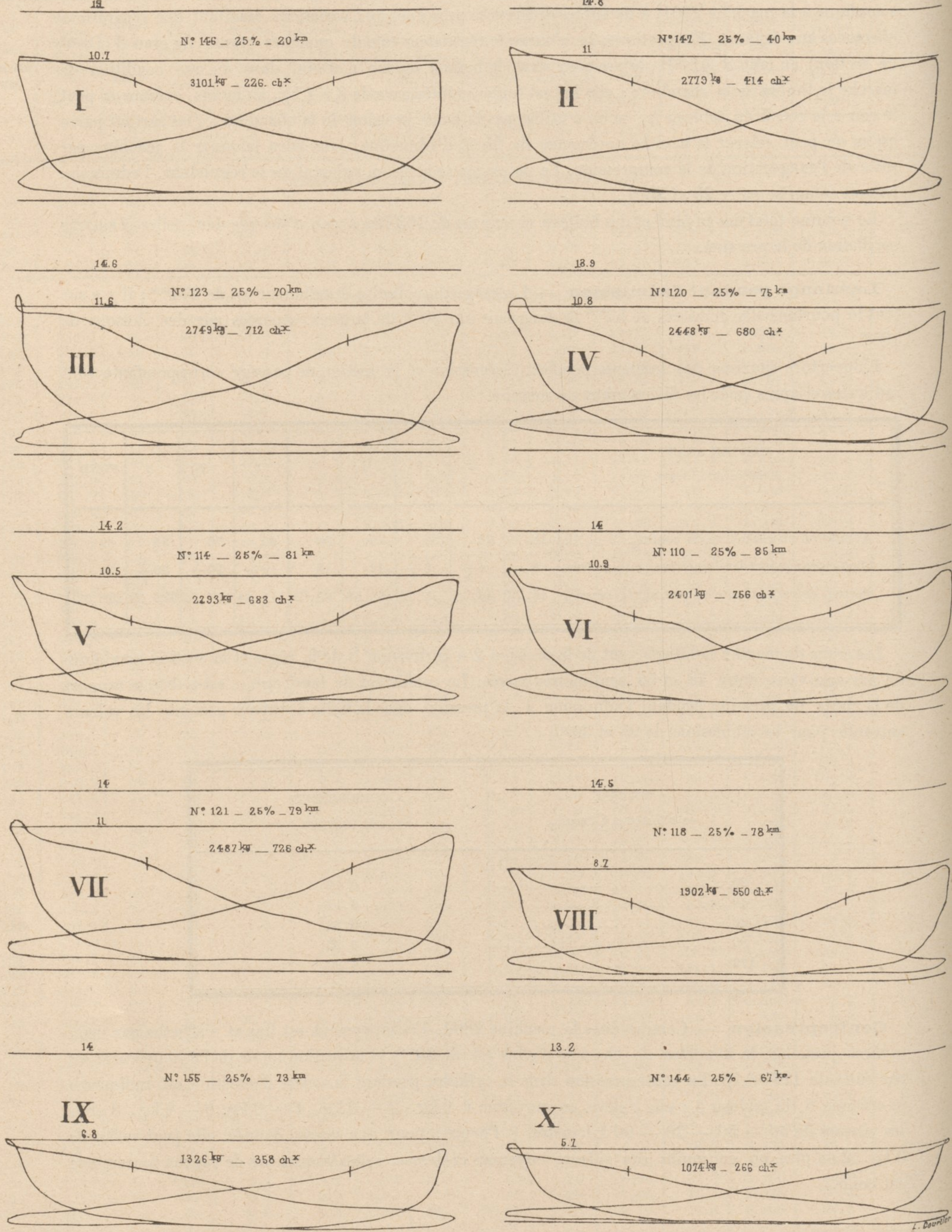
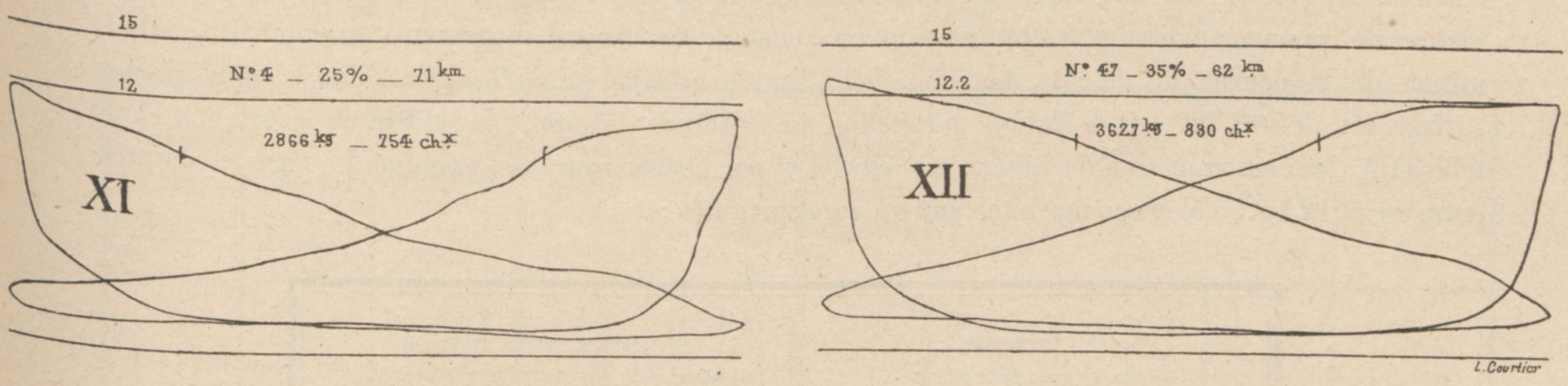

18
N° 146 — 25 % — 20 km
10.7
I
3101 kg — 226. ch.x
14.8
N° 147 — 25 % — 40 km
11
II
2779 kg — 414 ch.x
14.6
N° 123 — 25 % — 70 km
11.6
III
2749 kg — 712 ch.x
18.9
N° 120 — 25 % — 75 km
10.8
IV
2448 kg — 680 ch.x
14.2
N° 114 — 25 % — 81 km
10.5
V
2293 kg — 683 ch.x
14
N° 110 — 25 % — 85 km
10.9
VI
2401 kg — 756 ch.x
14
N° 121 — 25 % — 79 km
11
VII
2487 kg — 726 ch.x
14.5
N° 118 — 25 % — 78 km
8.7
VIII
1902 kg — 550 ch.x
14
N° 155 — 25 % — 73 km
IX
6.8
1326 kg — 358 ch.x
13.2
N° 144 — 25 % — 67 km
X
5.7
1074 kg — 266 ch.x
L. Courtier

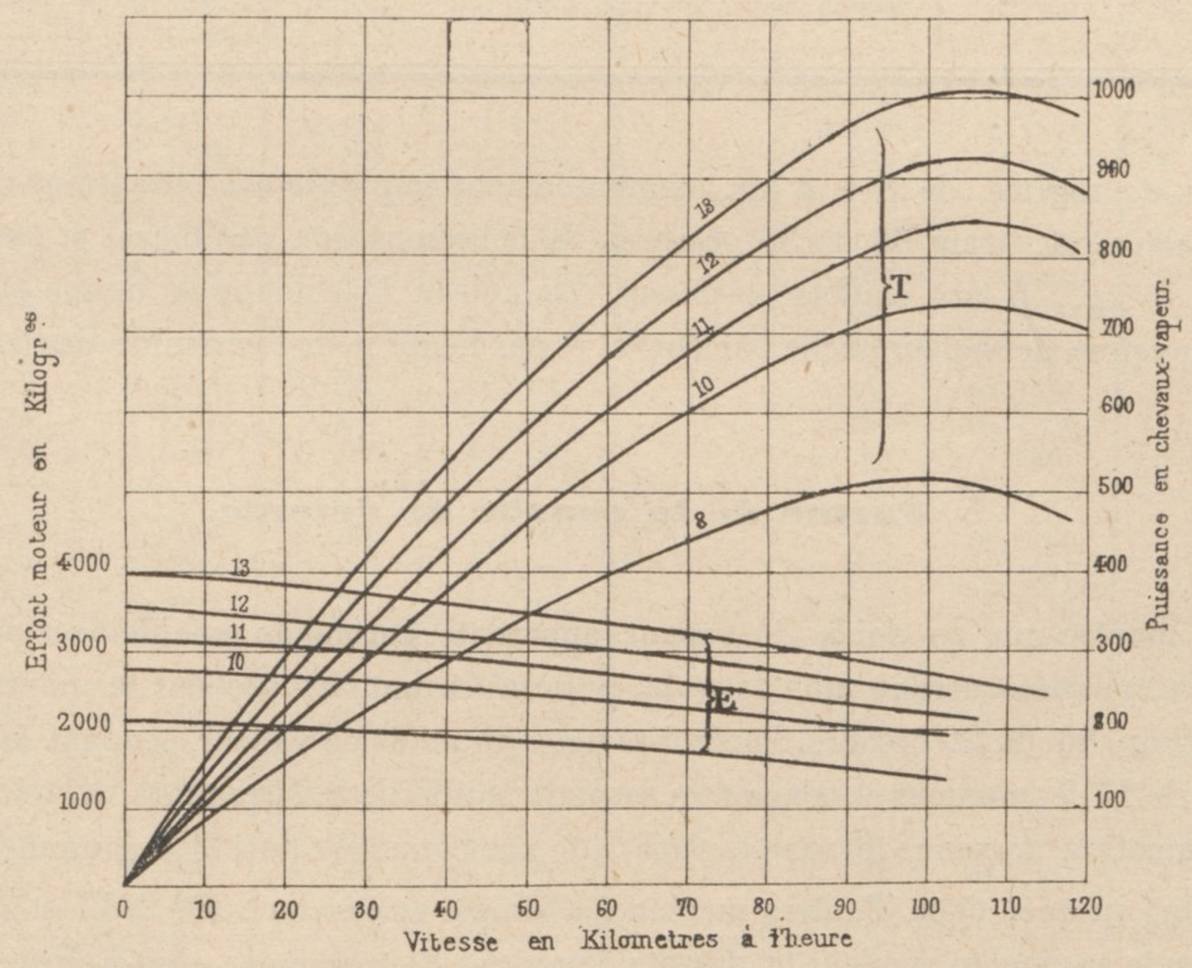
Fig. 9 (*Suite*).



3. **Effort moteur et travail indiqués.**

Les chiffres de la colonne 7 du tableau A et les diagrammes reproduits sur la Figure 9 rendent compte de la variation de l'effort moteur en fonction de la vitesse (diagrammes N^{os} I, II, III, IV, V, VI), de la pression de régime (diagrammes N°s VII, VIII, IX, X) et du degré d'admission (diagrammes N°s XI, XII).

Fig. 10.



En portant les chiffres de la colonne 7 sur un graphique, on trace les courbes moyennes E (Fig. 10) représentant la variation de l'effort en fonction de la vitesse pour une admission de 25 % et, par la formule : $T = E \frac{v}{75}$, v vitesse en mètres par seconde, on déduit les courbes T de puissance. On voit que, à 25 % d'admission, le travail indiqué passe par un maximum pour des vitesses comprises entre 95 et 110 kilomètres à l'heure suivant la pression de régime dans la boîte à vapeur ; à la pression de régime de 13 kg., le maximum de puissance est d'un peu plus de 1.000 chevaux.

4. **Consommation de vapeur.**

Elle a été calculée à l'aide des mêmes formules et des mêmes coefficients des condensations que celle des machines à simple ou à double expansion précédemment étudiées. Les résultats sont portés aux

colonnes 9, 10 et 11 du tableau A. Pour les raisons qui seront exposées à l'aliéna suivant, la consommation de vapeur apparente a été obtenue en prenant sur chaque diagramme un point situé vers le milieu de la courbe de détente. Le volume de l'espace nuisible est de 9 % du volume engendré et sa surface est de $0^{m2},722$ soit 4,75 fois la section du cylindre. D'après les chiffres de la colonne 11 du tableau A, la consommation de vapeur par cheval et par heure, pour une pression de régime comprise entre 11 et 12 kg., s'élève en moyenne aux valeurs suivantes :

VITESSE en kilomètres à l'heure.	CONSOMMATION TOTALE de vapeur par cheval et par heure.
10	$14^{kg},1$
20	13 ,5
40	12 ,7
50	12 ,5
60	12 ,4
70	12 ,3
80	12 ,4
90	12 ,8

A la pression de régime de 8 à 9 kg., communément employée avec des trains peu chargés (voir colonne 5 du tableau A, train 86 du 30 octobre), la consommation par cheval et par heure est supérieure d'environ 0 kg., 5 aux chiffres ci-dessus. Le tableau E (colonne 9), donne 12 kg., 87 comme consommation moyenne de vapeur sèche par cheval et par heure pour l'ensemble des trains d'essai.

5. **Forme de la courbe de détente.**

Le tableau B montre que le poids de vapeur apparente augmente notablement pendant la détente aussi bien dans la cylindrée arrière que dans la cylindrée avant. En prenant la moyenne de tous les diagrammes du train 86 du 29 octobre, l'accroissement du poids de vapeur pendant la première moitié de la détente est de 17,7 grammes et pendant la seconde moitié de 8,2 grammes, en tout de 25 grammes pour une consommation moyenne de vapeur apparente par cylindrée de 171,7 grammes.

Nous avons déjà vu que, dans d'autres machines à simple expansion : N°s 2617 et 2754 (1), le poids de vapeur apparente augmente pendant la détente d'environ 8 grammes, c'est-à-dire beaucoup moins que dans la machine 2901 ; il y a lieu de rechercher d'où provient cette différence.

D'une façon générale l'augmentation de poids peut être imputée soit à une déformation de la courbe de détente provenant de la longueur des tuyaux reliant le cylindre à l'indicateur, soit à l'eau entraînée par la vapeur, soit à la non étanchéité du distributeur. Les deux premières causes doivent être écartées en ce qui concerne la machine 2901 : d'une part, les tuyaux allant du cylindre à l'indicateur étaient un peu plus courts et plus directs que dans les machines 2617 et 2754 ; d'autre part, on verra plus loin (Tableau E) que la consommation réelle d'eau n'est supérieure que de quelques centièmes à la consommation calculée de vapeur sèche ; la quantité d'eau entraînée est donc faible ; or, la chute de température pendant la détente s'élevant à 50° au plus et la chaleur latente de vaporisation étant près de dix fois plus

(1) *Revue Générale,* Mars, 1904.

Tableau B. — VARIATION DE LA QUANTITÉ DE VAPEUR PRÉSENTE DANS LE CYLINDRE PENDANT LA DÉTENTE (diagrammes du train 86 du 29 octobre 1902)

NUMÉROS des diagrammes	Cylindrée avant		cylindrée arrière		NUMÉROS des diagrammes	Cylindrée avant		cylindrée arrière	
	fraction de course	quantité de vapeur — kilogr.	fraction de course	quantité de vapeur — kilogr.		fraction de course	quantité de vapeur — kilogr.	fraction de course	quantité de vapeur — kilogr.
1	0,378 0,483 0,719	0,3112 0,3434 0,3554	0,346 0,420 0,709	0,2806 0,2964 0,2932	16	0,255 0,410 0,705	0,1738 0,1893 0,1991	0,275 0,450 0,680	0,1645 0,1769 0,1960
2	0,325 0,515 0,675	0,2289 0,2760 0,2752	0,335 0,495 0,630	0,2208 0,2495 0,2476	17	0,275 0,402 0,657	0,1621 0,1721 0,1819	0,255 0,402 0,676	0,1458 0,1616 0,1751
3	0,240 0,420 0,710	0,1436 0,1652 0,1685	0,255 0,530 0,740	0,1339 0,1566 0,1714	18	0,280 0,450 0,733	0,1500 0,1652 0,1734	0,273 0,420 0,633	0,1420 0,1514 0,1626
4	0,253 0,421 0,768	0,1738 0,1965 0,2089	0,267 0,433 0,713	0,1643 0,1769 0,1952	19	0,260 0,400 0,630	0,1426 0,1607 0,1646	0,270 0,405 0,687	0,1328 0,1474 0,1620
5	0,304 0,425 0,701	0,1742 0,1853 0,1823	0,290 0,441 0,686	0,1577 0,1632 0,1752	20	0,210 0,380 0,640	0,1550 0,1816 0,1937	0,250 0,400 0,650	0,1578 0,1704 0,1870
6	0,304 0,412 0,735	0,1777 0,1831 0,1919	0,265 0,412 0,686	0,1583 0,1698 0,1871	21	0,243 0,451 0,678	0,1721 0,2021 0,2038	0,240 0,386 0,698	0,1623 0,1752 0,1915
7	0,270 0,435 0,750	0,1574 0,1722 0,1795	0,290 0,445 0,635	0,1490 0,1634 0,1727	22	0,250 0,400 0,730	0,1757 0,1928 0,2062	0,260 0,400 0,650	0,1624 0,1751 0,1920
8	0,260 0,425 0,750	0,1774 0,1959 0,2087	0,260 0,430 0,725	0,1695 0,1788 0,1941	23	0,330 0,460 0,740	0,2158 0,2334 0,2416	0,290 0,490 0,673	0,1898 0,2129 0,2206
9	0,260 0,430 0,750	0,1798 0,1965 0,2070	0,255 0,437 0,660	0,1611 0,1783 0,1967	24	0,315 0,445 0,715	0,2286 0,2493 0,2575	0,290 0,520 0,690	0,2026 0,2350 0,2345
10	0,320 0,460 0,720	0,2038 0,2268 0,2286	0,267 0,420 0,635	0,1739 0,1940 0,2096	25	0,343 0,475 0,706	0,2327 0,2493 0,2547	0,310 0,525 0,701	0,2090 0,2381 0,2348
11	0,260 0,425 0,683	0,1725 0,1924 0,2013	0,265 0,420 0,645	0,1657 0,1798 0,1928	26	0,283 0,423 0,685	0,2024 0,2233 0,2272	0,250 0,420 0,660	0,1773 0,1950 0,2125
12	0,263 0,426 0,728	0,1403 0,1564 0,1634	0,267 0,426 0,624	0,1310 0,1427 0,1530	27	0,352 0,509 0,693	0,2802 0,2905 0,2972	0,320 0,488 0,650	0,2501 0,2543 0,2644
13	0,294 0,464 0,725	0,1870 0,1988 0,2066	0,294 0,475 0,667	0,1738 0,1943 0,1985	28	0,395 0,561 0,780	0,2631 0,2672 0,2784	0,364 0,535 0,707	0,2316 0,2377 0,2527
14	0,294 0,485 0,765	0,1881 0,2234 0,2209	0,275 0,490 0,701	0,1760 0,2011 0,2074	29	0,301 0,474 0,704	0,2241 0,2466 0,2572	0,285 0,510 0,642	0,2061 0,2300 0,2391
15	0,262 0,459 0,671	0,1850 0,2133 0,2208	0,273 0,479 0,687	0,1785 0,1946 0,2090	30	0,260 0,450 0,710	0,1826 0,2125 0,2210	0,260 0,440 0,660	0,1755 0,1930 0,2047

Tableau B (*suite*).

NUMÉROS des diagrammes	Cylindrée avant		cylindrée arrière		NUMÉROS des diagrammes	Cylindrée avant		cylindrée arrière	
	fraction de course	quantité de vapeur — kilogr.	fraction de course	quantité de vapeur — kilogr.		fraction de course	quantité de vapeur — kilogr.	fraction de course	quantité de vapeur — kilogr.
31	0,280 0,440 0,730	0,1945 0,2122 0,2216	0,265 0,450 0,673	0,1753 0,1930 0,2052	46	0,325 0,470 0,696	0,2343 0,2537 0,2578	0,273 0,455 0,623	0,1985 0,2225 0,2308
32	0,218 0,441 0,723	0,1800 0,2142 0,2165	0,238 0,446 0,698	0,1802 0,1977 0,2105	47	0,366 0,520 0.723	0,2537 0,2783 0,2827	0,313 0,545 0,713	0,2195 0,2482 0,2569
33	0,243 0,427 0,720	0,1744 0,1957 0,2036	0,260 0.440 0,650	0,1688 0,1792 0,1906	48	0,380 0,470 0,700	0,2638 0,2794 0,2881	0,300 0,510 0,650	0,2188 0,2490 0,2552
34	0,255 0,438 0,657	0,1567 0,1884 0,1915	0,270 0,438 0,642	0,1660 0,1780 0,1899	49	0,278 0,461 0,701	0,1218 0,1413 0,1509	0,255 0,451 0,648	0,1134 0,1310 0,1425
35	0,273 0,455 0,710	0,1789 0,1982 0,2059	0,268 0,443 0,630	0,1623 0,1777 0,1833	50	0,322 0,515 0,723	0,1421 0,1563 0,1688	0,317 0,441 0,673	0,1302 0,1321 0,1502
36	0,322 0,470 0,700	0,1641 0,1720 0,1790	0,270 0,470 0,665	0,1480 0,1668 0,1820	51	0,440 0,572 0,749	0,3323 0,3289 0,3318	0,353 0,457 0,639	0,2851 0,3027 0,3012
37	0,220 0,423 0,690	0,1630 0,1897 0,2007	0,260 0,450 0,613	0,1641 0,1800 0,1864	52	0,432 0,577 0,741	0,2780 0,2778 0,2907	0,329 0,438 0,643	0,2359 0,2516 0,2550
38	0,365 0,470 0,750	0,2293 0,2382 0,2488	0,285 0,503 0,680	0,1931 0,2176 0,2204	53	0,330 0,450 0,700	0,2287 0,2447 0,2560	0,294 0,455 0,655	0,1970 0,2188 0,2276
39	0,320 0,480 0,710	0,2212 0,2401 0,2560	0,287 0,473 0,630	0,1941 0,2196 0,2310	54	0,287 0,490 0,738	0,2008 0,2340 0,2428	0,282 0,446 0,683	0,1887 0,2054 0,2213
40	0,537 0,660 0,814	0,3987 0,3943 0,3953	0,477 0,593 0,721	0,3502 0,3392 0,3428	55	0,312 0,465 0,698	0,1890 0,2018 0,2075	0,284 0,461 0,666	0,1667 0,1906 0,1925
41	0,367 0‘510 0,814	0,2394 0,2671 0,2748	0,362 0,555 0,714	0,2305 0,2503 0,2549	56	0,315 0,475 0,708	0,1868 0,2044 0,2054	0,301 0,491 0,689	0,1652 0,1864 0,2043
42	0,220 0,440 0,720	0,1660 0,2085 0,2117	0,245 0,437 0,685	0,1731 0,1904 0,2055	57	0,230 0,353 0,662	0,1628 0,1897 0,1935	0,265 0,428 0,657	0,1610 0,1752 0,1859
43	0,243 0,425 0,700	0,1800 0,2047 0,2104	0,275 0,433 0,685	0,1778 0,1889 0,2033	58	0,272 0,371 0,683	0,1695 0,1837 0,1882	0,277 0,510 0,680	0,1523 0,1718 0,1871
44	0,296 0,470 0,690	0,1891 0,1987 0,2038	0,287 0,433 0,640	0,1700 0,1779 0,1936	59	0,275 0,451 0,716	0,1886 0,2053 0,2074	0,250 0,402 0,578	0,1623 0,1805 0,1861
45	0,330 0,462 0,680	0,2000 0,2079 0,2203	0,315 0,477 0,680	0,1906 0,2064 0,2093	60	0,297 0,410 0,663	0,1907 0,2067 0,2060	0,302 0,445 0,668	0,1691 0,1840 0,1988

Tableau C. — Travail moteur totalisé.

TRAJET ENTRE STATIONS D'ARRÊT	Distance totale — Kilom.	Durée totale du parcours — Minutes	Vitesse moyenne en kilom. à l'heure.	Points kilométriques où le régulateur a été ouvert	Points kilométriques où le régulateur a été fermé	Distance parcourue à régulateur ouvert — Kilom.	Durée du parcours à régulateur ouvert — Minutes	Vitesse moyenne en kilomètres à l'heure	Travail moteur en milliers de kilogram-mètres	Puissance moyenne en chevaux-vapeur
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Train 86 du 16 Décembre 1901.										
Saumur à Noyant.....	32,7	30 5/10	64,3	285,7	253,8	31,9	29 6/10	64,7	82.100	616
Noyant à Château-la-Vallière....	16,9	15 3/10	66,2	253	238	15	14 4/10	62,5	35.740	551
Château-la-Vallière à Château-du-Loir.....	19,1	18	63,7	236,1	225,7	10,4	11 6/10	53,7	31.540	544
				221,7	219	2,7	1 8/10	90	3.710	458
Totaux et moyennes.....	68,7	63 8/10	64,6			60,0	57 4/10	62,7	153.090	593
Train 86 du 20 Décembre 1901.										
Saumur à Noyant..... (expérience interrompue par suite d'une avarie à l'indicateur).	32,7	27 5/10	71,3	285,7	254,2	31,5	26 3/10	71,8	64.400	544
Train 86 du 29 Octobre 1902.										
Saumur à Noyant.....	32,3	30 6/10	64,1	285,7	264,8	20,9	19 6/10	64	55.320	627
				263,2	254,1	9,1	8 5/10	64,2	25.080	655
Noyant à Château-la-Vallière....	16,9	16 6/10	61	253	244,7	8,3	9	55,3	25.940	629
				242,6	238,3	4,3	3 9/10	66	12.720	725
Château-la-Vallière à Château-du-Loir.....	19,1	17 2/10	66,6	236,1	226,2	9,9	10 2/10	58,2	31.610	688
				222,8	221,3	1	0 7/10	85,8	1.650	524
				220,3	219	1,3	0 9/10	86,4	1.950	481
Château-du-Loir à Pont-de-Braye.	24,6	20 9/10	70,8	217	194,3	22,7	19 3/10	70,2	57.370	660
Totaux et moyennes	93,3	85 3/10	65,5			77,5	72 1/10	67,3	211.190	651
Train 86 du 30 Octobre 1902.										
Saumur à Noyant.....	32,7	25 7/10	76,3	285,7	264,6	21,1	16 4/10	77,2	46.000	623
				262,8	254,3	8,5	6 8/10	75	20.780	679
Noyant à Château-la-Vallière....	16,9	15	67,5	253	245,1	7,9	7 4/10	64	19.730	593
				243,4	238,3	5,1	4 3/10	71,1	10.850	560
Château-la-Vallière à Château-du-Loir.....	19,1	17 4/10	66	236,1	226,7	9,4	9 4/10	60	23.130	547
				220	218,5	1,5	1 4/10	64,2	1.710	271
Château-du-Loir à Pont-de-Braye.	24,6	22 2/10	66,5	217	196	21	18 8/10	67	32.580	385
				194,8	193,8	1	0 9/10	66,7	2.000	494
Totaux et moyennes.....	93,3	80 3/10	69,6			75,5	65 4/10	69,3	154.780	526

Tableau D. — Travail résistant totalisé.

Du point kilométrique	Au point kilométrique	Le Régulateur est.	Vitesse en kilom. à l'heure. au début.	Vitesse en kilom. à l'heure. à la fin.	Différence d'altitude — mètres.	Travail résistant en milliers de kilogrammètres. Train.	Travail résistant en milliers de kilogrammètres. Machine et tender	Travail résistant dû à la gravité — milliers de kilogramm.	Résistance due à la variation de force vive. — milliers de kilogramm.	Travail résistant total. — milliers de kilogramm.	Travail moteur. — milliers de kilogramm.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Train 86 du 16 décembre 1901. temps calme, brouillard.					poids de la locomotive et du tender..... 98 tonnes. tonnage remorqué..... 231 id.						
285,7	253,8	ouvert.	0	68	+ 54,84	32.300	25.371	+ 18.042	+ 6.054	81.767	82.100
253	238	ouvert.	0	63	+ 12,40	15.145	11.907	+ 4.079	+ 5.137	36.268	35.740
236,1	225,7	ouvert.	0	84	+ 12,86	9.130	7.155	+ 4.230	+ 8.879	29.394	31.540
Totaux					+ 80,10	56.575	44.433	+ 26.351	+ 20,070	147.429	149.380
Train 86 du 20 décembre 1901. temps calme, neigeux.					poids de la locomotive et du tender..... 98 tonnes. tonnage remorqué..... 137 id.						
285,7	254,2	ouvert.	0	69	+ 56,04	19.545	27.630	+ 13.160	+ 4.419	64.754	64.400
Train 86 du 29 octobre 1902. beau temps, calme.					poids de la locomotive et du tender..... 98 tonnes. tonnage remorqué..... 250 id.						
285,7	264,8	ouvert.	0	80	+ 25,71	23.705	16.736	+ 8.998	+ 8.768	58.207	55.320
264,8	263,2	fermé.	80	73	— 5,94	2.000	1.293	— 2.079	— 1.467	— 254	0
263,2	254,1	ouvert.	73	61	+ 36,07	8.905	6.998	+ 12.624	— 2.203	27.224	25.080
253	244,7	ouvert.	0	81	+ 0,60	8.740	6.278	+ 210	+ 8.988	24.216	25.490
244,7	242,6	fermé.	81	77	— 9,90	2.815	1.737	— 3.465	— 865	222	0
242,6	233,3	ouvert.	77	58	+ 21,10	4.800	3.393	+ 7.385	— 3.514	12 064	12.720
236,1	226,2	ouvert.	0	79	+ 16,06	10.520	7.533	+ 5.621	+ 8.550	32.224	31.610
226,2	222,3	fermé.	79	92	— 36,31	5.690	3.470	— 12.708	+ 3.045	— 503	0
222,3	219	»	92	82	— 5,77	4.850	3.182	— 2.019	— 2.383	3.630	3.600
217	194,4	ouvert.	0	84	+ 9,22	28.430	20.000	+ 3.227	+ 9.666	61.323	57.370
Totaux.....						101.355	70 619	+ 17.794	+ 28.585	218.353	211.190
Train 86 du 30 octobre 1902. beau temps, calme.					poids de la locomotive et du tender..... 98 tonnes. tonnage remorqué..... 137 id.						
285,7	264,6	ouvert.	0	87	+ 24,24	14.270	19.890	+ 5.744	+ 7.039	46.943	46.000
264,6	262,8	fermé.	87	79	— 4,87	1.265	1.544	— 1.154	— 1.235	420	0
262,8	254,3	ouvert.	79	72	+ 36,77	5.240	7.430	+ 8.741	— 983	20.401	20.780
253	245,1	ouvert.	0	93	+ 3,00	4.850	6.894	+ 711	+ 8.043	20.498	19.730
245,1	243,4	fermé.	93	90	— 11,70	1.300	1.616	— 2.773	— 510	— 367	0
243,4	238,3	ouvert.	90	64	+ 20,50	2.985	4.302	+ 4.858	— 3.720	8.425	10.850
236,1	226,7	ouvert.	0	73	+ 19,36	5 000	7.210	+ 4.588	+ 4.956	21.754	23.130
226,7	220	fermé.	73	69	— 45,38	4.550	5.508	— 10.755	— 528	— 1.225	0
220	218,5	ouvert.	69	66	0	850	1.211	0	— 376	1.685	1.710
217	196	ouvert.	0	72	+ 8,62	12.410	17.290	+ 2.043	+ 4.820	36.563	34.580
196	194,8	fermé.	72	64	+ 0,28	670	860	+ 66	— 1.011	585	0
194,8	193,8	ouvert.	64	62	+ 0,62	510	765	+ 145	— 234	1.186	2.000
Totaux.....						53.900	74.520	+ 12.187	+ 16.261	156.868	154.780

Tableau E. — Consommation d'eau.

PARCOURS, NUMÉRO et date du train	Distance totale — kilom.	Temps pendant lequel le régulateur a été ouvert — Minutes	Puissance moyenne — Chevaux-vapeur	CONSOMMATION réelle d'eau en kilogrammes			CONSOMMATION calculée de vapeur sèche en kilogr.		Pourcentage de la différence entre les consommations réelle et calculée	POUR LE PARCOURS à régulateur ouvert		
				Totale	Par km. du parcours total	Par cheval et par heure	Totale	Par cheval et par heure		Consommation moyenne réelle d'eau par heure — kilogr.	Vaporisation moyenne par m2 de surface de chauffe et par heure — kilogr.	Consommation moyenne de charbon par m2 de surface de grille et par heure — kilogr.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Train N° 86 du 16 décembre 1901.												
Saumur à Château-du-Loir.....	68,7	57 4/10	593	7.924	115,3	13,96	7.275	12,82	8,2 %	8.283	47,1	374
N° 86 du 29 octobre 1902.												
Saumur à Noyant.....	32,7	28 1/10	636	3.670	112,2	12,31	3.820	12,81	»	7.830	44,5	376
Noyant à Château-la-Vallière....	16,9	12 9/10	658	1.876	111	13,30	1.724	12,19	»	8.730	49,7	419
Château-la-Vallière à Château-du-Loir	19,1	11 8/10	663	1.787	93,5	13,69	1.637	12,55	»	9.080	51,6	436
Château-du-Loir à Pont-de-Braye.	24,6	19 3/10	660	2.738	111,3	12,90	2.697	12,70	»	8.510	48,4	409
Totaux et moyennes.....	93,3	72 1/10	651	10.071	107,9	12,87	9.878	12,62	1,9 %	8.380	47,7	402
N° 86 du 30 octobre 1902.												
Saumur à Noyant.....	32,7	23 2/10	640	2.944	90	11,90	3.108	12,56	»	7.610	43,3	342
Noyant à Château-la-Vallière....	16,9	11 7/10	581	1.634	96,6	14,25	1.472	13,00	»	8.380	47,7	376
Château-la-Vallière à Château-du-Loir	19,1	10 8/10	511	1.431	74,9	15,56	1.193	12,97	»	7.950	45,2	357
Château-du-Loir à Pont-de-Braye.	24,6	19 7/10	390	1.874	76,1	14,61	1.823	14,23	»	5.700	32,4	256
Totaux et moyennes.....	93,3	65 4/10	526	7.883	84,5	13,74	7.596	13,25	3,6 %	7.230	41,1	324
Totaux et moyennes pour tous les trains	255,3	194 9/10	592	25.878	101,4	13,44	24.749	12,87	4,4 %	7.960	45,3	368

élevée que cette différence de température, l'eau entraînée ne peut vaporiser qu'environ le dixième de son propre poids.

La troisième cause reste donc seule admissible en ce qui concerne la machine 2901. Les tiroirs cylindriques laissaient passer une certaine quantité de vapeur, pendant la première moitié de la détente seulement, car le fait que l'accroissement de poids est beaucoup plus faible à la fin qu'au commencement de cette phase montre que la fuite diminue à mesure que l'arète du tiroir s'éloigne du bord de la lumière ; la fuite cesserait dans le cas actuel avant que le cylindre soit en communication avec l'échappement. Rappelons que les tiroirs cylindriques de la machine 2901 sont constitués simplement par un corps de piston en fonte muni de deux segments de 13 $^{m}/_{m}$ de largeur ; deux mois avant les essais, les chemises des cylindres distributeurs avaient été réalésées et les tiroirs remis à neuf ; la faible durée de la conservation de l'étanchéité est attribuable à l'élargissement de la coupe du segment et à l'usure inégale des bords des lumières. Tant qu'il n'y a pas fuite directe à l'échappement, la perte de vapeur est relativement peu élevée ; dans nos essais, elle peut être évaluée à 6 $^{0}/_{0}$ de la consommation totale, c'est-à-dire à 0 kg, 8 de vapeur par cheval et par heure. La consommation de vapeur apparente par cheval et par heure (col. 9 du tableau A) a été calculée en tenant compte de cette fuite ; à cet effet, on a pris pour obtenir le poids de vapeur par cylindrée un point du diagramme situé vers le milieu de la courbe de détente.

6. **Résultats obtenus en service.**

Travail moteur et travail résistant. — Le tableau C donne le travail moteur totalisé et le tableau D le travail résistant totalisé. On a admis pour la résistance des véhicules la même formule que dans les essais des autres machines.

La résistance par tonne de locomotive et tender (poids de la locomotive : 65 tonnes, poids moyen du tender : 33 tonnes) a été obtenue en prenant la différence entre le travail moteur (Tableau D) et le travail résistant du train ; on trouve ainsi pour diverses vitesses une série de valeurs de la résistance spécifique, qu'on reporte sur un graphique en prenant la vitesse comme abscisse. La courbe moyenne tracée sur ce graphique correspond pour la machine 2901, tout au moins jusqu'à la vitesse de 100 km. à l'heure à la formule :

$$\rho = 3{,}8 + 0{,}66 \left(\frac{V + 40}{1000}\right)$$

On vérifie sur le tableau D que le travail résistant calculé avec les formules indiquées ne diffère que de quelques centièmes, tantôt en plus, tantôt en moins, du travail moteur ; il est approché par excès dans les deux trains du mois d'octobre 1902 et par défaut dans le train du 16 décembre 1901.

Consommation d'eau et de charbon. — La consommation réelle d'eau, moins 4 $^{0}/_{0}$ pour les pertes, est indiquée au tableau E (col. 5, 6 et 7) ; la consommation de vapeur sèche calculée d'après les diagrammes est portée aux col. 8 et 9. En tenant compte de ce que cette dernière ne comprend pas la consommation de vapeur de la pompe à air, qui s'élève à environ 3 $^{0}/_{0}$ de la consommation totale, on voit que les consommations réelle et calculée concordent presqu'exactement aux trains d'octobre 1902, d'où on peut conclure que la vapeur produite par la chaudière était pratiquement sèche, tandis qu'au train de décembre 1901 il y a un écart de 5 $^{0}/_{0}$ environ, représentant la proportion d'humidité contenue dans la vapeur. La consommation moyenne réelle d'eau par cheval indiqué et par heure s'élève à 13 kg, 44.

Le tableau F donne la consommation totale de charbon, y compris la préparation du feu au départ, qui exige suivant les cas de 400 à 500 kg. de charbon, et déduction faite de ce qui reste sur la grille à l'arrivée, 200 kg. en moyenne.

Tableau F. — CONSOMMATION DE CHARBON.

N° ET DATE DU TRAIN	TRAJET	DISTANCE km.	Consommation d'eau kilog.	Consommation de charbon kilog.	NATURE DU COMBUSTIBLE proportion °/₀		TAUX de vaporisation	Consommation de charbon par kitomètre kilog.
					briquette	menu		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
86 du 16 décembre 1901	Thouars à Chartres ...	238	22.508	3.300	74	26	6,82	13,86
86 du 20 décembre 1901	id. ...	238	19.140	2.900	70	30	6,60	12,18
86 du 29 octobre 1902.	id. ...	238	22.121	3.450	50	50	6,41	14,50
86 du 30 octobre 1902.	id. ...	238	18.632	2.720	50	50	6,85	11,43
Totaux et moyennes.....		952	82.401	12.370	»	»	6,66	13,00

Les chiffres des col. 5 et 10 du tableau E, 8 du tableau F ont servi à calculer les vapeurs portées aux col. 13 et 14 du tableau A, 11 et 12 du tableau E (consommation totale d'eau par heure, vaporisation par m² de surface de chauffe et par heure) et aux col. 15 du tableau A, 13 du tableau E (combustible consommé par m² de surface de grille et par heure).

Puissance normale. — La production de vapeur a atteint 10.800 kg. par heure (diagrammes 46, 47, 48), ce qui correspond à une vaporisation de 61 kg. par m² de chauffe et à une combustion de 520 kg. par m² de grille; mais, en raison de l'étendue de la surface de chauffe directe et de la surface de grille, la production pourrait être poussée plus loin.

Dans la machine 2617, où le rapport de la surface de chauffe totale à la surface de chauffe directe est de 12,63, nous avons trouvé que la production maxima était de 60 kg. par m² de surface de chauffe et par heure. Dans la machine 2901, ce rapport est seulement de 11,04. Si l'on admet que la vaporisation est inversement proportionnelle à ce rapport et s'élève par conséquent au maximun de

$60 \times \frac{12,64}{11,04} = 68$ kg, 6 par m² de surface de chauffe et par heure, on obtient pour la production maxima par heure le chiffre de 12.060 kg., qui correspond, au taux moyen de vaporisation de 6 kg. 66 par kilog. de charbon, à une combustion de 558 kg. par m² de grille et par heure.

La consommation moyenne de vapeur par cheval-heure étant (voir tableau E) de 13 kg. 44, la puissance normale s'élève à : $\frac{12,060}{13,44} = 900$ chevaux.

La formule de vaporisation : $q = 460 \sqrt{c\,g}$, ou c est la surface totale de chauffe et g la surface de grille, donnerait seulement $q = 11.000$ kg. Cette formule a l'inconvénient de ne pas tenir compte des valeurs relatives des surfaces de chauffe directe et indirecte. Une formule telle que :

$q = A \sqrt{g \left(C_d + \frac{C_i}{a}\right)}$ où C_d est la surface de chauffe directe, C_i la surface de chauffe indirecte, A et a des coefficients, serait beaucoup plus exacte.

D'après nos essais, la formule à adopter aussi bien pour les machines à tubes lissés que pour celles à tubes Serve serait : $q = 1000 \sqrt{g \left(C_d + \frac{C_i}{6}\right)}$

COMPARAISON DES RÉSULTATS

1. — Rappelons que les expérienees ont porté sur les machines suivantes :

I. Locomotive N° 2617, à simple expansion, timbrée à 13 kilogr., du type 2 — 4 — 2 (c'est-à-dire 2 roues porteuses à l'avant, 4 roues accouplées, 2 roues porteuses à l'arrière), caractérisée par sa distribution, du type Bonnefond, à déclic, échappement indépendant de l'admission, compression constante de 10 % environ ; diamètre des roues motrices : $2^m,02$;

II. Locomotive N° 2754, à simple expansion, timbrée à 14 kilogr., du type 4 — 4 — 0 ; diamètre des roues motrices : $2^m,03$; caractérisée par sa distribution à tiroirs cylindriques du système Ricour ;

III. Locomotive américaine N° 2901, à simple expansion timbrée à 15 kilogr., du type 4 — 4 — 2, à tiroirs cylindriques ; diamètre des roues motrices : $2^m,140$;

IV. Locomotive américaine N° 1802, à double expansion, 4 cylindres, du système Vauclain, timbrée à 15 kilogr., du type 4 — 4 — 0 ; diamètre des roues motrices : $2^m,140$;

V. Locomotive N° 3729, compound à 4 cylindres, du système de Glehn, timbrée à 15 kilogr., du type 4 — 6 — 0 ; diamètre des roues motrices : $1^m,75$, à tiroirs plans.

2. — Le régulateur des machines françaises est à double tiroir plat ; celui des machines américaines, constitué par une soupape équilibrée à double siège, est supérieur au premier par la plus grande facilité de manœuvre et parce qu'il permet de régler plus facilement les ouvertures ; on peut lui reprocher d'être moins étanche ou tout au moins d'être d'un ajustage plus difficile.

Dans les machines 2754 et 2901, à cause des défauts bien connus de la distribution par tiroir unique, un peu plus accentués avec le tiroir cylindrique qu'avec le tiroir plan, la marche est surtout réglée par le régulateur ; celui-ci n'est ordinairement ouvert que partiellement et la pression de régime dans les boîtes à tiroir est inférieure au timbre de plusieurs kilogrammes. La question a été souvent posée de savoir s'il est économique d'étrangler au régulateur et si, en étranglant, on perd les avantages d'un timbre élevé. Lorsque la vapeur se détend sans produire de travail, ce qui est le cas du régulateur étranglé, la quantité de calorique qu'elle contient ne change pas et, comme la température baisse, la vapeur se sèche ou même se surchauffe légèrement ; mais l'avantage qui en résulte est plus que compensé par la perte provenant de ce que la fraction du calorique total susceptible d'être transformée en travail diminue en même temps que la température de la vapeur. On peut voir sur les tableaux A résumant les résultats des essais que la consommation de vapeur apparente ainsi que la consommation totale par cheval-heure augmentent lorsque la pression de régime baisse ; dans plusieurs cas, celle-ci s'est trouvée réduite à 4 ou 5 kilogr. et la consommation de vapeur est alors supérieure de plus de 40 % à celle correspondant à une pression de 10 à 11 kilogr. L'étranglement au régulateur diminue donc le rendement. Il est cependant nécessaire dans la plupart des cas avec la distribution ordinaire à coulisse et à tiroir unique, pour éviter des inconvénients plus grands ; au contraire, avec une distribution perfectionnée telle que celle de la machine 2617 ou mieux encore avec le système compound, on peut marcher sans difficulté à une pression voisine du timbre et on obtient ainsi un rendement plus élevé, comme l'indiquent les consommations de vapeur apparente et totale relatives aux machines 2802 et 3729.

3. — La pression dans la boîte à vapeur ne subit que de faibles oscillations dans toutes les machines expérimentées sauf dans la machine N° 3729, différence expliquée par les chiffres comparatifs du tableau 1. Dans la machine 3729 le volume occupé par la vapeur entre le régulateur et les cylindres H.P. n'est que de 111 litres, soit 3,4 fois une cylindrée moyenne, tandis que dans les autres machines ce volume représente de 4,4, à 5,4 cylindrées.

Tableau 1. — VOLUMES DES TUYAUX ET BOITES A VAPEUR

NUMÉROS des MACHINES	ADMISSION MOYENNE pour cent de la course	VOLUME d'une cylindrée moyenne de vapeur — litres	VOLUME des tuyaux et boîtes à vapeur — litres	NOMBRE de cylindrées correspondant au volume des tuyaux et boîtes Colonne 4 / Colonne 3
1	2	3	4	5
2617	20	25,6	112	4,3
2754	25	31,5	141	4,4
2901	25	33,5	163	4,8
2802	50	37	172	4,7
3729	40	33,5	111	3,3

Tableau 2. — COEFFICIENTS DE LAMINAGE

Nos DES MACHINES	OUVERTURE MAXIMA du tiroir dans la limite des admissions usuelles — Centimètres carrés	COEFFICIENT de laminage à 80 km. à l'heure pour l'admission moyenne
2617	59 à 81	0,20
2754	19 à 34	0,38
2901	48 à 56	0,25
2802	73 à 115	0,20
3729	24 à 42	0,33

Les oscillations de pression dans la boîte à vapeur sont le signe de grandes variations de la vitesse d'écoulement et ont pour effet de diminuer la pression dans le cylindre pendant l'admission et par suite le rendement. Ce n'est pas en cherchant à faire suivre à la vapeur le chemin le plus direct du dôme au cylindre qu'on peut les éviter, mais en donnant aux tuyaux et aux boîtes à vapeur le plus grand volume que possible ; notamment chaque boîte devrait avoir un volume supérieur à une cylindrée.

En ce qui concerne le laminage de la vapeur pendant l'admission, le tableau 2 donne la comparaison des sections maxima d'ouverture du tiroir et des coëfficients de laminage (rapport entre la chute de pression pendant l'admission et la pression dans la boîte à vapeur). Il est à noter que l'ouverture moyenne du tiroir pendant la durée de l'admission est approximativement égale aux deux tiers de l'ouverture maxima.

On peut constater l'infériorité au point de vue du laminage de la machine 3729 et surtout de la machine 2754 vis-àvis de la machine Bonnefond et des locomotives américaines.

C'est aussi dans la machine 2754, parce que les cylindres distributeurs ont un trop faible diamètre, que la contre pression derrière le piston pendant sa course de retour est la plus élevée ; elle est un peu plus faible dans la machine 2617 et dans les deux américaines à échappement fixe ; elle est enfin notablement plus faible, d'un tiers au moins, dans la machine 3729, qui se montre très supérieure aux autres à ce point de vue ; il est vrai que l'échappement variable y a constamment été laissé largement ouvert, sans que la vaporisation manifestât aucune faiblesse.

La chute de pression au réservoir intermédiaire, c'est-à-dire l'écart moyen entre la ligne d'échappement au cylindre à haute pression et la ligne d'admission au cylindre à basse pression est du même ordre de grandeur dans la machine Vauclain 2802 et dans la machine 3729. Cette chute de pression qui aux grandes vitesses atteint de 0,8 kg. à 1 kg. se traduit par une perte de surface importante sur le diagramme.

4. — C'est à cause des étranglements successifs de la vapeur dans son parcours de la chaudière à la cheminée que l'effort moteur diminue quand la vitesse augmente, toutes les autres conditions restant les mêmes. On a représenté sur des graphiques pour chaque machine les faisceaux que forment les courbes de l'effort moteur quand le degré d'admission ou bien la pression de régime varient. On peut constater que ces courbes tendent à converger et à rencontrer l'axe des vitesses en des points relativement peu éloignés les uns des autres. Il est donc permis de penser qu'à partir de certaines vitesses qui ne sont pas actuellement atteintes, sans être très élevées, on n'obtient plus un accroissement appréciable de l'effort indiqué en augmentant soit le degré d'admission soit même la pression et qu'il existe une vitesse, inférieure à 200 kilomètres à l'heure, à laquelle la vapeur se détendrait sans produire de travail dans son parcours de la chaudière à la cheminée.

Comme l'indique le tableau 3, c'est dans la locomotive N° 2617 que l'effort diminue le plus rapidement, quand la vitesse augmente, ce qui est dû au fonctionnement défectueux du déclic au delà de 80 kilomètres à l'heure ; puis vient la locomotive compound à 4 cylindres N° 3729, mais il ne faut pas oublier que les roues motrices n'ont que $1^m,75$ de diamètre ; ensuite la locomotive à simple expansion N° 2754 et enfin les deux locomotives américaines qui tirent leur supériorité à ce point de vue du fait que les orifices du cylindre sont très grands.

L'effort moteur, pour des conditions de marche déterminées (admission, pression de régime), étant une fonction progressivement décroissante de la vitesse, il s'ensuit que le travail indiqué, qui s'obtient en multipliant l'effort moteur par la vitesse par seconde ; passe par un maximum pour une certaine vitesse, comprise entre 80 et 120 kilomètres à l'heure dans les diverses machines étudiées.

5. — La consommation de vapeur apparente par cheval-heure met en évidence, comme on l'a déjà dit, l'influence de la pression de régime et celle du degré de détente. On le constate sur le tableau comparatif N° 4. Tous les trains d'essai sont des express à peu près de même vitesse, sauf le train 1428 qui est un train de marchandises direct. Les consommations indiquées ont été obtenues en prenant simplement la moyenne des chiffres des divers tableaux A, ce qui est suffisant pour la comparaison qu'on a en vue.

Tableau 3. — Efforts moteurs pour une pression de régime de 12 kilogr.

N° des machines.	Admission moyenne p. 100 de la course.	Effort indiqué à la vitesse de		Pourcentage de la diminution de 50 à 100 kilom. à l'heure
		50 kilom. à l'heure. kilogr.	100 kilom. à l'heure. kilogr.	
2617	20	2.950	1.450	50,8
2754	25	2.600	1.900	27
2901	25	3.100	2.450	21
2802	50	3.250	2.550	21,5
3729	40	3.200	1.650	48,4

Tableau 4. — Consommation de vapeur apparente.

NUMÉRO des MACHINES	DÉSIGNATION DES TRAINS.	PRESSION MOYENNE de régime dans les boîtes à vapeur. kilogr. effectifs.	DEGRÉ MOYEN D'ADMISSION p. 100 de la course.	RAPPORT de DÉTENTE.	CONSOMMATION MOYENNE de vapeur apparente par cheval-heure. kilogr.
2617	86 du 5 juin 1902	11,51	22	3,8	8,40
	86 du 6 juin 1902.....	12,23	22	3,8	8,35
2754	86 du 24 octobre 1902.....	11,07	28,5	2,86	8,66
	98 du 1er juillet 1903	10,68	29	2,82	9,37
2901	86 du 29 octobre 1902	11,27	27	3	9,42
	86 du 30 octobre 1902	9,62	26	3,1	9,73
2802	86 du 9 mai 1902	10,30	55 (HP)	4,45	8,19
	86 du 14 mai 1902	14,30	40 (HP)	5,50	7,08
3729	98 du 12 mai 1903.....	12,25	40 (HP)	4,8	7,76
	86 du 22 mai 1903	13	45 (HP)	4,4	7,99
	1428 du 3 juin 1303	13,92	45 (HP)	4,4	7,26

On a pris comme rapport de détente le rapport du volume total du cylindre unique ou du cylindre à basse pression au volume occupé par la vapeur à la fin de l'admission, dans le cylindre à haute pression pour les compound.

La consommation de vapeur apparente la plus faible se rencontre dans les deux locomotives compound ; elle varie de 7 à 8 kilogr. suivant la pression de régime. La locomotive à distribution perfectionnée N° 2617 vient après les locomotives compound, avec une consommation un peu supérieure à 8 kilogr. Dans la locomotive N° 2901, la consommation serait moindre, s'il n'y avait pas de fuites au distributeur pendant la détente ; abstraction faite de ces fuites, elle serait à peu près la même que celle de la locomotive N° 2754, soit un peu moins de 9 kilogr. par cheval-heure.

6. — La quantité m', de vapeur condensée par coup de piston a été calculée, dans toutes les machines, au moyen de la formule :

$$m' = \frac{l\,\sigma\,\Theta_e}{r}$$

ou : σ est la surface de l'espace nuisible (H. P. dans les compound) plus la moitié de la surface cylindrique découverte pendant l'admission ;

Θ_e l'écart des températures de la vapeur dans le cylindre (H. P. dans les compound) ;

r la chaleur latente de vaporisation à la température d'admission

et $l = \frac{\lambda}{\sqrt{n}}$, un coefficient inversement proportionnel à la racine carrée du nombre de tours par seconde, n, dont les valeurs ont été données dans la note relative à la machine 2802 (*Revue Générale*, Mai 1903).

Rappelons brièvement les considérations qui ont conduit à la formule ci-dessus. Il résulte de la théorie mathématique de la propagation de la chaleur entre une source à température variable, la

vapeur, et une paroi métallique que, dans le cas général, la quantité de chaleur Q perdue par la vapeur évoluant dans un cylindre peut être représentée approximativement par une fonction linéaire de l'écart des températures de la vapeur Θ_d pendant la détente et de l'écart total Θ_e : $Q = A\Theta_d + B\Theta_e$. La signification physique de cette formule est que le coefficient de transmission de la chaleur entre métal et vapeur ou inversement au cours d'une révolution est plus élevé quand le métal reçoit de la chaleur que lorsqu'il en cède. Les coefficients A et B sont eux-mêmes fonction de la température fixe qui s'établit en régime normal dans l'intérieur de la paroi métallique. Ils ont été déterminés à l'aide des expériences de Bryan Donkin. Dans les machines fixes sans surchauffe et sans enveloppes de vapeur mais où la vapeur employée est sèche et les cylindres bien protégés contre le refroidissement extérieur, le coefficient B est très petit et la quantité de chaleur Q est sensiblement proportionnelle à l'écart des températures pendant la détente.

L'augmentation soit de la quantité d'eau entraînée, soit du refroidissement extérieur a pour effet d'accroître la valeur du coefficient B, laquelle devient prépondérante par rapport à celle de A, et d'accroître parallèlement la valeur de Q ; celle-ci tend vers une limite supérieure correspondant à un coefficient de transmission de la chaleur constant et égal à sa valeur maxima. Ces deux conditions : humidité de la vapeur, refroidissement extérieur intense, dont chacune est suffisante pour que la quantité de chaleur cédée atteigne sa valeur limite, se trouvent ordinairement réunies dans les locomotives et la formule des condensations indiquée plus haut, dans laquelle n'apparaît que l'écart total Θ_e des températures de la vapeur, le terme en Θ_d étant négligeable, se trouve ainsi établie.

Lorsque les cylindres, au lieu de rayonner de la chaleur extérieurement, sont réchauffés au moyen d'enveloppes à la température de la vapeur vive, il n'y a pas de condensations sur les surfaces ainsi réchauffées ; mais elles ne représentent en général qu'une partie de la surface totale baignée par la vapeur; c'est pourquoi les enveloppes ne suppriment pas complètement les condensations.

Leur suppression totale ne peut être obtenue que par la surchauffe à la condition que celle-ci soit suffisante pour que la vapeur soit encore surchauffée à la fin de l'admission. Dans ce cas la vapeur se comporte comme un gaz et le coefficient de transmission de calorique d'un gaz au métal est très faible, plus de cent fois plus petit que le coefficient de transmission de la vapeur saturée à une paroi métallique recouverte de rosée.

Dans une locomotive la quantité de vapeur condensée dépend donc de l'étendue de la surface métallique en contact avec la vapeur vive et de l'écart entre la température de celle-ci et celle de la vapeur d'échappement. Le tableau 5 indique ces deux éléments et résume les résultats obtenus. La surface de l'espace nuisible ne varie pas beaucoup dans les diverses machines essayées ; on remarquera cependant qu'elle est au moins aussi élevée dans les machines compound pour un cylindre (H.P.) de $0^m,35$ de diamètre seulement que dans les autres machines où ce diamètre est égal à $0^m,44$. Les écarts de température de la vapeur sont moindres dans les machines compound que dans les machines à simple expansion, mais cependant pas moitié moindres : la pression de régime n'est pas tout à fait la même et l'écart total des températures ne se répartit pas également entre les cylindres H. P. et B. P. En outre le coefficient l est un peu plus élevé dans les compound, parce qu'il augmente avec le degré d'admission. Pour ces motifs la différence entre les condensations dans les deux catégories de machines n'est pas aussi grande qu'on pourrait le croire tout d'abord. La quantité absolue de vapeur condensée par heure varie peu quand le travail développé augmente, en ne considérant que des trains de même vitesse et par suite la perte par cheval-heure est d'autant plus faible que la puissance est plus grande. La machine 2802 paraît au point de vue des condensations être un peu supérieure à la machine 3729, parce que les écarts de température y sont mieux répartis entre les cylindres H. P. et B. P. La locomotive 2617 est peu inférieure aux précédentes ; c'est celle où la surface de l'espace nuisible a la valeur la plus faible.

Tableau 5. — Quantité de vapeur condensée.

NUMÉRO des machines.	SURFACE de l'espace nuisible. — Mètres carrés.	DÉSIGNATION des trains.	ÉCART TOTAL des températures de la vapeur. — Degrés.	QUANTITÉ de vapeur condensée par cheval-heure. — Kilogrammes.	QUANTITÉ absolue de vapeur condensée par heure. — Kilogrammes.
2617	0,5639	86 du 5 juin 1902.	74,7	2,80	1600
		86 du 6 juin 1902.	73	2,58	1490
2754	0,5986	86 du 24 octobre 1902.	71	4,02	1825
		98 du 1er juillet 1903.	69,2	3,43	1852
2901	0,7220	86 du 29 octobre 1902.	74,5	3,30	2128
		86 du 30 octobre 1902.	69,7	3,08	1638
2802	0,6920	86 du 9 mai 1902.	38	1,98	1523
		86 du 14 mai 1902.	42,5	2,18	1528
3729	0,6195	98 du 12 mai 1903.	51,6	2,79	1374
		86 du 22 mai 1903.	53,3	2,48	1798

7. — On peut vérifier l'exactitude de la formule des condensations en comparant la consommation calculée de vapeur à la consommation réelle d'eau (Tableau 6). La consommation réelle d'eau comprend celle de la locomotive proprement dite et celle de la pompe à air ; la consommation calculée de vapeur ne comprend que la première ; de ce fait, il doit y avoir entre les deux une différence d'environ 3 %; l'excédent de la différence représente le taux d'humidité de la vapeur ou l'erreur commise dans le calcul des condensations.

Tableau 6. — Consommation totale d'eau et de vapeur par tous les trains d'essai.

NUMÉROS des machines.	CONSOMMATION réelle d'eau par cheval-heure.	CONSOMMATION calculée de vapeur sèche par cheval-heure.	POURCENTAGE de la différence entre la consommation réelle et la consommation calculée.
1	2	3	4
2617	12kg,00	11kg,54	4,6 %
2754	13 ,52	12 ,48	7,7
2901	13 ,44	12 ,87	4,4
2802	12 ,10	10 ,13	16,2
3729	10 ,70	10 ,24	4,3

On voit sur le tableau 6 que le pourcentage de cette différence est faible pour toutes les machines, sauf pour la 2802. Nous pouvons trouver l'explication de cette anomalie en comparant, d'après les tableaux F, la quantité d'eau vaporisée par kilogramme de combustible. On a les chiffres du tableau 7.

Tableau 7. — TAUX DE VAPORISATION.

NUMÉROS DES MACHINES.	TAUX MOYEN de vaporisation.
2617	7kg,16
2754	6 ,78
2901	6 ,66
2802	8 ,09
3729	7 ,27

Le taux de vaporisation est un peu supérieur à 8 kg. dans la machine 2802 tandis qu'il oscille autour de 7 kg. pour les quatre autres machines. Comme il est peu vraisemblable que la quantité de vapeur sèche produite par kilogr. de charbon soit plus élevée dans la machine 2802 que dans les autres, on est conduit à admettre que la valeur du taux de vaporisation trouvée pour cette machine est faussée par une forte proportion d'eau entraînée et qu'en réalité elle se décompose en 7 kilogr. de vapeur sèche et un kilogr. d'eau entraînée, ce qui donne une proportion d'humidité de 12,5 %; en ajoutant 3 % pour la pompe à air, on retrouve bien le pourcentage indiqué au tableau 6.

8. — Le tableau 6 montre en résumé que, si la formule admise pour calculer les condensations est exacte, la proportion d'humidité est faible (sauf une exception) et réciproquement, si nous montrons que la proportion d'humidité est en général faible dans les machines bien établies, l'exactitude de la formule des condensations se trouvera démontrée par l'expérience.

Diverses constatations déjà anciennes, notamment les expériences effectuées à la Compagnie de Lyon sur la vaporisation dans les chaudières de locomotives (*Annales des Mines,* t. VI, 1894) ont établi que la vapeur produite dans une chaudière bien proportionnée contient très peu d'humidité. Ce fait nous paraît être mis nettement en évidence par les essais récemment effectués en Allemagne sur les locomotives à vapeur surchauffée (*Bulletin du Congrès international des chemins de fer,* notes sur les locomotives à vapeur surchauffée de MM. Teuscher, Berner et von Borries).

Dans ces essais la vapeur produite par la chaudière sous une pression d'environ 11 kilogr. effectifs, ce qui correspond à une température de 187°, était couramment portée par la surchauffe à une température de plus de 300°.

Il est difficile d'admettre que la vapeur ainsi surchauffée puisse contenir encore une proportion appréciable d'humidité, c'est-à-dire que de l'eau puisse subsister sous la pression de 11 kilogr. dans un milieu porté à la température de 300°. Par conséquent l'effet du surchauffeur est d'abord de vaporiser l'eau qui peut se trouver en suspension dans la vapeur saturée, puis de porter le tout à une température supérieure. Nous allons démontrer que si cette eau se trouvait en proportion tant soit peu élevée, il n'y aurait pas de surchauffe possible.

Dans les locomotives allemandes munies du surchauffeur Schmidt, il passe au surchauffeur environ 1/5e du poids total m de gaz produits dans le foyer dans l'unité de temps, par exemple en une seconde. Si t_0 est la température des gaz à l'entrée du surchauffeur, t_1, la température à la sortie, la quantité de chaleur cédée à la vapeur dans le surchauffeur par seconde est : $\frac{1}{5}\ m\ c\ (t_0 - t_1)$, c étant la chaleur spécifique des gaz ; $c = 0{,}24$ approximativement. Soit d'autre part μ le poids total de vapeur humide produit en une seconde par la chaudière et x la proportion d'humidité. Dans le surchauffeur. la vaporisation du poids μx d'eau absorbera une quantité de chaleur : $\mu x r_0$, r_0 étant la chaleur de vaporisation ; puis la totalité du poids μ sera portée de la température de la vapeur saturée Θ_0 à la température de

surchauffe Θ et l'absorption de chaleur sera de ce fait : $0{,}48\ \mu\ (\Theta - \Theta_0)$, étant admis que la chaleur spécifique de la vapeur est égale à 0,48. On a donc :

$$(1) \qquad \frac{1}{5}\ m\ c\ (t_0 - t_1) = \mu\ x\ r_0 + 0{,}48\ \mu\ (\Theta - \Theta_0)$$

Dans les essais qui ont été publiés, nous trouvons toutes les grandeurs contenues dans cette équation sauf m et x.

Il serait possible de déterminer le poids de gaz chauds m en procédant à des analyses des gaz de la boite à fumée : la proportion de carbone contenue dans ces gaz indiquerait la quantité d'air employée pour brûler un kilogr. de charbon.

On peut aussi déterminer le poids m, tout au moins d'une manière approximative, si on connaît la température T de combustion sur la grille. La quantité de calorique contenue dans un kilogramme de bon combustible varie de 7.500 à 8.000 calories ; mais, la combustion étant toujours incomplète, on n'obtient sur la grille que 7.000 calories environ. Cette quantité de chaleur sert à élever à la température de combustion T le poids de gaz, M kilogr., produit par la combustion d'un kilogr de charbon, la quantité d'air admise sous la grille par kilogr. de charbon, étant M — 1 kilogr. On a donc en supposant que la température extérieure soi de 15° :

$$7.000 = \mathrm{M}\ c\ (\mathrm{T} - 15)$$

D'après les mesures effectuées par M. von Borries, la température de combustion dans le foyer varierait dans les conditions normales entre 1.450 et 1.500 degrés. Si nous faisons T = 1.500, on déduit de l'équation ci-dessus : M = 19 kg. 6 ; ce qui revient à dire qu'on admet sous la grille 18,6 kilogr. d'air pour brûler un kilogr. de charbon. On sait que la combustion complète d'un kilogr. de charbon (transformation du C en CO^2 et de l'H en HO) n'exige qu'environ 9 mètres cubes ou 11,65 kilogr. d'air ; avec cette quantité d'air la température sur la grille serait supérieure à 2.000 degrés ; si, comme nous l'admettons plus haut, la température ne dépasse pas 1.500°, c'est qu'il entre habituellement sous la grille au moins 50 % d'air en excès.

Connaissant la quantité de gaz chauds correspondant à 1 kilogr. de charbon, nous pouvons appliquer l'équation (1) à l'un quelconque des essais cités par M. Otto Berner, par exemple à l'essai du 22 avril 1902 sur la locomotive Hall N° 440. Les résultats de cet essai sont les suivants :

	PAR HEURE	PAR SECONDE
Quantité de vapeur saturée humide produite	5.730 kilogr.	μ = 1kg,592
Charbon brûlé	880 kilogr.	0kg,244

Pression effective à la chaudière... 11kg,5 ; d'où : $\Theta_0 = 189°$..... $r_0 = 472{,}4$;
Température des gaz à la sortie de la chambre de surchauffe..... $t_1 = 322°$;
Id. à l'entrée Id. ..... $t_0 = 760°$;
Température de la vapeur à la sortie du surchauffeur..... $\Theta = 300°$.

Le poids de gaz chauds par seconde en admettant une température de combustion dans le foyer de 1.500° est $0{,}244 \times 19{,}6 = 4{,}78$ kilogr. En appliquant l'équation (1), nous trouvons : $x = 0{,}021$, soit 2,1 % pour la proportion d'humidité contenue dans la vapeur sortant de la chaudière.

Si la température de combustion n'était que de 1.400° (M = 21,06), on trouverait : $x = 3{,}1$ %.

Si elle n'était que de 1.300° (M = 22,60), on aurait : $x = 4{,}2$ %.

Par conséquent la vapeur produite par les chaudières allemandes ne contient que très peu d'humidité et les températures de surchauffe constatées ne sont réalisables qu'à cette condition. Si la proportion d'humidité atteignait 13 %, il n'y aurait pas de surchauffe, mais seulement vaporisation de l'eau contenue dans la vapeur.

9. — Le tableau N° 6 montre que la consommation de vapeur sèche par cheval indiqué dans les machines compound 2802 et 3729 est inférieure de $1^{kg},3$, c'est-à-dire de 11 %, à celle de la machine Bonnefond N° 2617 et de $2^{kg},2$, c'est-à-dire de 18 %, à celle des machines à simple expansion 2754 et 2901. Cette économie des machines compound ne tient pas uniquement, comme on l'a vu, à la diminution des condensations, mais aussi à une moindre consommation de vapeur apparente, provenant de ce que la pression de régime est plus élevée, la détente plus longue que dans les machines à simple expansion.

10. — Les machines américaines ont la réputation d'être moins économiques que les machines européennes et cette réputation a paru être justifiée par les résultats qu'elles ont donnés sur le réseau de l'Etat, tout au moins dans les débuts de leur mise en service.

Les causes qui influent sur la consommation d'une locomotive peuvent être rangées dans les catégories suivantes :

I. — Rendement défectueux de la chaudière en tant qu'appareil de combustion et de vaporisation ; entraînements d'eau ;

II. — Fuites de la chaudière ;

III. — Mauvaise utilisation de la vapeur dans les cylindres ;

IV. — Fuites aux distributeurs.

V. — Résistances intérieures de la machine.

Les observations ci-après ne s'appliquent bien entendu qu'aux locomotives américaines, dont nous avons pu suivre le fonctionnement ; il serait risqué de généraliser nos conclusions.

I.— D'après le tableau 7, le plus faible coëfficient de vaporisation se rencontre dans la machine américaine N° 2901 ; s'il en est autrement pour la machine 2802, c'est, comme on l'a vu plus haut, uniquement à cause des entraînements d'eau lesquels faussent la valeur de ce coëfficient.

Le rendement de la chaudière est réellement moindre dans les machines américaines qne dans les machines françaises.

Ce fait doit être attribué principalement à la disposition de l'échappement qui est fixe et double.

Les entrainements d'eau sont souvent importants dans les locomotives américaines, à cause de la faible étendue du plan d'eau, due à la position surélevée de la chaudière, et du faible volume restant disponible pour la vapeur au-dessus du plan d'eau.

II. — Les fuites de la chaudière : aux pinces de la plaque tubulaire, au cadre, aux entretoises, aux tubes, sont très fréquentes. La chaudière est construite avec des matériaux d'excellente qualité, mais son exécution, se ressentant sans doute de la cherté de la main-d'œuvre américaine, est peu soignée.

III. — L'utilisation de la vapeur dans les cylindres peut être aussi bonne que dans les machines européennes, à la condition de marcher à une pression de régime dans les boîtes à vapeur suffisamment élevée, de 9 à 10 kg. au moins, c'est-à-dire, avec des degrés d'admission de 20 à 30 %. Il en est, paraît-il, autrement en Amérique, où on emploie couramment des admissions de 40 à 50 % ; le rapport de détente est alors insuffisant et la dépense de vapeur très élevée.

IV. — Toutes les machines américaines sont munies de tiroirs équilibrés plats ou cylindriques. Non seulement l'équilibrage des tiroirs est avantageux au point de vue de la diminution des frottements, mais

il apparaît de plus en plus comme nécessaire avec les hautes pressions aujourd'hui usitées. Malheureusement les tiroirs équilibrés sont rarement étanches. Notamment les tiroirs cylindriques des machines 2802 et 2901 constitués simplement, comme les pistons moteurs, par un corps de piston en fonte muni de deux segments ne gardent pas longtemps leur étanchéité : les coupes des segments s'élargissent et, si le corps du piston n'est pas exactement ajusté dans la chemise, donnent lieu à une fuite directe à l'échappement; les chemises s'usent assez rapidement vers les bords des lumières en sorte, comme on l'a vu pour la machine 2901, que l'arrivée de vapeur n'est pas complètement interceptée à la fin théorique de la phase d'admission, mais l'est seulement pendant la détente ou même plus tard suivant le degré d'usure. Dans les machines du type Vauclain (N° 2802), il n'y a qu'un seul distributeur pour les deux cylindres H. P. et B. P., distributeur composé de 4 tiroirs cylindriques montés sur la même tige ; cette disposition est simple, mais de nature à favoriser les fuites ; la chemise du cylindre distributeur étant criblée d'ouvertures, il est assez difficile de l'ajuster exactement et de la faire porter partout, en sorte qu'il existe parfois derrière elles des communications directes de vapeur, d'ailleurs très difficiles à découvrir.

V. — Nous avons fait remarquer à propos de la chaudière que la construction américaine était peu soignée ; on peut en dire autant pour l'ensemble de la machine. Or, si les divers organes, notamment ceux du mouvement, laissent à désirer au point de vue de leur ajustage, il en résulte une résistance intérieure plus élevée et un moindre rendement au crochet du tender.

11. — La résistance moyenne par tonne de machine et tender ou résistance spécifique varie dans des limites assez étendues, suivant le type de machine, et il en est par suite de même du travail nécessaire pour remorquer un même train. Les divers tableaux C établis dans l'étude de chaque machine permettent de s'en rendre compte. Le tableau 8 donne la comparaison du travail nécessaire pour remorquer des trains identiques avec des machines différentes. Les chiffres de la colonne 9 (puissance moyenne développée) sont rapportés à une même durée d'ouverture du régulateur.

Pour remorquer un même train, les machines Compound 2802 et 3729 ont à développer de 60 à 100 chevaux de plus que les autres machines. Cette différence importante provient du travail absorbé par la locomotive pour se remorquer elle-même. La résistance moyenne par tonne de machine et tender peut être représentée par les formules inscrites au tableau N° 9 ci-après.

La résistance spécifique des deux machines compound est, à la vitesse de 80 kilom. à l'heure de 26 % supérieure à celle des deux machines à simple expansion N°s 2754 et 2901. Cette proportion se réduirait à 16 % en appliquant la formule trouvée par M. Barbier pour les locomotives Compound à 4 cylindres du type 4 — 4 — 0 de la Compagnie du Nord, à savoir : $\rho = 3{,}8 + 0{,}9\ V \left(\frac{V + 30}{1000}\right)$. Des vitesses supérieures à 90 kilom. à l'heure n'ayant été atteintes qu'exceptionnellement dans nos essais, nous ne pouvons affirmer que les formules ci-dessus continuent d'être applicables au delà de cette vitesse et que notamment l'écart entre les résistances croisse avec la vitesse, comme elles l'indiquent. En tout cas la résistance des machines Compound à 4 cylindres reste notablement plus élevée que celle des machines à simple expansion et il s'ensuit qu'une partie, sinon parfois la totalité, de l'économie réalisée par les premières dans la consommation par cheval-indiqué est mangée par la machine elle-même.

12. — Ce qu'il importe de connaître pour comparer entre elles diverses machines, c'est la quantité de travail utile, c'est-à-dire de travail au crochet du tender, et la dépense correspondante. Pour comparer à ce point de vue les machines compound à 4 cylindres et celles à simple expansion d'un type moderne, nous supposerons qu'elles ont même poids : machine, 65 tonnes ; tender, 30 tonnes, ce qui est à peu près le cas des machines 2901 et 3729 et nous allons chercher pour diverses vitesses quelle est la consommation correspondant à un même effet utile. Nous évaluerons le résistance de la machine d'après les formules du tableau 9 et celle du train : aux vitesses de 50 et 75 km. à l'heure, d'après la formule jusqu'ici adoptée pour le matériel moderne à deux essieux, et, à la vitesse de 100 km. à l'heure, d'après la formule du matériel à bogies : $r = 1{,}4 + 0{,}20\ V \left(\frac{V + 80}{1000}\right)$

Tableau 8. — Travail moteur développé pour remorquer un même train avec des machines différentes.

N° de la Machine	N° et date du train	Poids moyen — machine — tonnes	Poids moyen — tender — tonnes	Poids moyen — total — tonnes	Tonnage remorqué — tonnes	Durée du trajet, arrêts non compris — minutes	Travail moteur total en milliers de kilogrammètres	Puissance développée en chevaux	Travail consacré à la remorque du train en milliers de kilogrammètres	Coëfficient d'utilisation
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2802	86 du 15 mai 1902.....	54,8	25,2	80	152	87 4/10	182.750	644	77.366	0,423
2617	86 du 6 juin 1902.....	48,4	21,6	70	152	85 1/10	157.580	556	81.084	0,514
	86 du 11 juin 1902.....				150	88 5/10	137.480	485	74.525	0,542
2802	98 du 10 mai 1902.....	54,8	25,2	80	117	75	164.320	664	58.058	0,353
2754	98 du 9 octobre 1902...	50	42	92	117	74	147.430	595	57.715	0,392
	98 du 2 juillet 1903....	50	26	76	136	77	133.470	540	64.718	0,485
3720	98 du 12 mai 1903.....	59,4	32,6	92	117	76	159.840	645	52.868	0,330
2754	86 du 21 octobre 1902..	50	40	90	141	85 7/10	146.020	499	69.352	0,475
3729	86 du 28 avril 1903....	59,4	32,6	92	147	81 3/10	176.900	604	78.425	0,443
2901	86 du 30 octobre 1902..	65	33	98	137	80 3/10	154.780	529	70.485	0,455
3729	86 du 22 mai 1903.....	59,4	32,6	92	271	87 7/10	235.870	728	128.886	0,546
2901	86 du 29 octobre 1902..	65	33	98	250	85 3/10	211.190	652	124.655	0,595

Tableau 9. — Résistance des machines.

Type de machine		Poids moyen — machine — tonnes	Poids moyen — tender — tonnes	Poids moyen — total — tonnes	Formule de résistance par tonne — V étant la vitesse en kilomètres à l'heure	Valeur de la résistance par tonne à 80 kiiom. à l'heure — kilogr.	Effort absorbé par la machine pour se remorquer elle-même à 80 kilom. à l'heure — col. 4 × col. 6 — kilogr.
1		2	3	4	5	6	7
Simple expansion.	2617	48,4	21,6	70	$\rho = 3,8 + 0,7\ V \left(\frac{V + 70}{1000}\right)$	12,20	854
	2754	50	42	92	$\rho = 3,8 + 0,66\ V \left(\frac{V + 40}{1000}\right)$	10,13	932
	2901	65	33	98	$\rho = 3,8 + 0,66\ V \left(\frac{V + 40}{1000}\right)$	10,14	993
Compound	2802	54,8	25,2	80	$\rho = 4 + V \left(\frac{V + 30}{1000}\right)$	12,8	1024
	3729	59,4	32,6	92	$\rho = 4 + V \left(\frac{V + 30}{1000}\right)$	12,8	1177

On établit ainsi le tableau 10.

Tableau 10. — Consommation comparée des machines à simple expansion et compound

Vitesse en kilom. à l'heure	Effort au crochet du tender — kilogr.	TONNAGE REMORQUÉ correspondant — tonnes	Machine à simple expansion : effort absorbé par la machine	puissance indiquée totale — chevaux	consommation de vapeur sèche par cheval — kilogr.	consommation totale de vapeur par heure — kilogr.	Machine Compound à 4 cylindres : effort absorbé par la machine	puissance indiquée totale — chevaux	consommation de vapeur sèche par cheval — kilogr.	consommation totale de vapeur par heure — kilogr.	Excédent de travail développé par la machine Compound — chevaux	Économie de la machine Compound
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
50	5000	en rampe de $\frac{5}{1000}$: 615t	1118	1132	12	13584	1235	1153	9,6	11068	21	18,5 %
	4000	id. 492		947		11364		958		9292		18,2
	3000	id. 370		762		9144		783		7516		17,8
75	3000	en rampe de $\frac{5}{1000}$: 320	1376	1216	12,2	14835	1602	1279	10,3	13173	63	11,2 %
	2000	id. 210		938		11443		1001		10310		9,9
	1000	en palier : 225	901	528		6440	1127	591		6087		5,4
100	2000	en palier : 400	1239	1198	13,5	16173	1615	1337	11,5	15375	139	4,9 %
	1000	id. 200		828		11178		967		11120		0,5
	720	id. 144		725		9787		864		9936		— 1,5

Aux vitesses modérées, la machine compound à 4 cylindres et 3 essieux accouplés est très supérieure à la machine à simple expansion ; mais cette supériorité se réduit à peu de chose, si ce n'est à rien, à la vitesse de 100 kilomètres à l'heure.

Si on refait la comparaison à cette dernière vitesse en admettant pour la machine compound la formule de résistance de M. Barbier, tous les autres éléments restant les mêmes, on trouve que la machine compound développe pour se remorquer elle-même 86 chevaux de plus que la machine à simple expansion (au lieu de 139 chevaux trouvés ci-dessus) et qu'elle offre par rapport à celle-ci une économie de 8,7 % — 6 % — 4,7 % suivant que l'effort utile est de 2.000 kg. — 1.000 kg. — 720 kg.

13. — Une machine est caractérisée par les facteurs suivants :

I. Facteur d'adhérence ou rapport du poids adhérent à l'effort de traction maximum ; il est à remarquer qu'en général ce n'est pas dans les démarrages qu'une machine a à développer son effort maximum, mais dans la traction à faible vitesse d'un train lourd sur une forte rampe. On peut admettre que l'effort de traction maximum est égal à $0{,}85\ \frac{p d^2 l}{D}$, p étant la différence maxima de pression sur les deux faces du piston (égale au timbre dans la machine à simple expansion), d le diamètre, l la course du piston, D le diamètre des roues motrices. Plusieurs diagrammes relevés au cours de nos essais ont démontré l'exactitude du coëfficient 0,85.

II. Puissance normale de vaporisation de la machine ; nous la calculerons par la formule indiquée dans la note relative à la machine 2901, à savoir :

$$q = 1000 \sqrt{g \left(C_d + \frac{C_i}{6} \right)} ;$$

Tableau II. — Facteurs caractéristiques d'une machine.

	Numéros des machines.	Facteur I.			Facteur II.			Facteur III.				Facteur IV.					
												Coefficient d'utilisation à la vitesse de 80 kilom. à l'heure.			Consommation de vapeur par cheval utile et par heure.		
		Poids adhérent — kg.	Effort de traction maximum. — kg.	Facteur d'adhérence.	Quantité normale de vapeur produite par heure. — kg.	Rapport du poids de la machine à la quantité de vapeur produite par heure.	Quantité normale de combustible brûlé par heure et par mètre carré de grille. — kg.	Consommation de vapeur par cheval indiqué et par heure. — kg.	Puissance normale en chevaux $\frac{\text{col. 5}}{\text{col. 8}}$	Poids de la machine (sans le tender) par cheval. — kg.	Effort indiqué normal à 80 kilom. à l'heure.	pour la puissance normale.	pour une puissance de 700 chev.	pour une puissance de 500 chev.	pour la puissance normale.	pour une puissance de 700 chev.	pour une puissance de 500 chev.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Simple expansion.	2.617	29.500	6.885	4,28	7.350	6,58	550	11,54	640	75,6	2.160	0,605	0,639	0,495	19,07	18,06	23,31
	2.754	29.400	6.723	4,37	8.440	5,92	600	12,48	675	74,1	2.280	0,591	0,605	0,448	21,12	20,63	27,85
	2.901	34.000	7.650	4,44	11.760	5,53	520	12,87	915	71	3.090	0,678	0,579	0,412	18,98	22,23	31,24
Double expansion.	2.802	32.800	en compound. 6.698	4,90	9.300	5,90	560	10,13	910	60,2	3.070	0,666	0,566	0,394	15,19	17,90	25,71
	3.729	43.100	en compound. 8.230	5,24	9.550	6,22	575	10,24	930	63,8	3.140	0,625	0,501	0,304	16,38	20,44	33.68
			avec admission directe en B P 9.068	4,75													
			en marche indépendante. 11.350	3,80													

q, production de vapeur par heure ;
g, surface de grille ;
C_d surface de chauffe directe ;
C_i surface de chauffe indirecte.

Sous certaines circonstances favorables, la production q peut être forcée pendant un certain temps de $\frac{1}{5}$ au plus.

III. Consommation de vapeur par cheval indiqué et par heure (col. 3 du tableau 6) à la vitesse moyenne de marche : 80 kilom. à l'heure dans les locomotives dont nous nous occupons. Des facteurs II et III on déduit la puissance normale pouvant être développée en marche régulière.

IV. Coëfficient d'utilisation ou rendement au crochet du tender. Dans le tableau 11 ci-dessus, il est calculé pour la puissance normale et pour les puissances plus faibles qui se rapprochent des conditions ordinaires de la pratique. En divisant la consommation par cheval-heure indiqué par le coëfficient d'utilisation, on obtient la consommation par cheval-heure utile.

Le facteur d'adhérence doit être inférieur à 5, car le coefficient d'adhérence peut facilement atteindre en pratique la valeur de 1/5e.

La quantité de vapeur produite par heure est à peu près égale au sixième du poids total de la machine (sans le tender).

Le poids de machine (sans le tender) par cheval indiqué, varie de 70 à 75 kilogr. dans les machines à simple expansion ; il se réduit à 60 kilogr. dans les machines compound.

Le classement des machines basé sur la consommation par cheval utile et en tenant compte du poids réel en service diffère du tout au tout suivant la puissance développée et, comme il fallait s'y attendre, les machines puissantes ne sont pas économiques lorsqu'elles n'ont à développer qu'un travail modéré.