

NOTE

SUR LES

MACHINES A VAPEUR SURCHAUFFÉE A DIX ROUES ACCOUPLES

DE LA COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI

Par M. BACHELLERY,

INGÉNIEUR AU CORPS DES MINES, INGÉNIEUR DU SERVICE CENTRAL
DE LA TRACTION DES CHEMINS DE FER DU MIDI.

(Pl. XIII).

La *Revue Générale*, dans son numéro d'avril 1902, a exposé la genèse et donné la description des machines compound à 4 cylindres et 8 roues accouplées (série 4001) de la Compagnie des Chemins de fer du Midi, destinées à remorquer les trains de marchandises sur les sections à très fortes déclivités de la ligne de Béziers à Neussargues.

La puissance développée par ces machines en service courant a pleinement répondu aux prévisions. Par contre, les difficultés d'entretien auxquelles donne lieu, d'une façon générale, la chaudronnerie des locomotives qui assurent le service des fortes rampes se sont trouvées très aggravées sur les machines 4001 en raison de l'élévation du timbre de leur chaudière. Ainsi s'est présentée l'idée qu'il pourrait y avoir avantage à utiliser pour ce service des machines à vapeur surchauffée qui, avec une pression à la chaudière notablement inférieure à celle des machines 4001, seraient capables de développer la même puissance que celles-ci.

Or, parmi les locomotives à vapeur surchauffée que l'Allemagne avait envoyées en 1907 à l'Exposition Internationale de Milan, figurait une machine tender à 5 essieux accouplés construite pour l'Administration des Chemins de fer de l'Etat prussien par la Société Berlinoise de Construction de Machines, Anciens Établissements L. Schwartzkopff; et cette machine portant elle-même ses approvisionnements, utilisant la totalité de son poids pour l'adhérence, pourvue d'un dispositif spécial pour la circulation dans les courbes, semblait tout indiquée pour l'exploitation des fortes rampes.

Mais avant d'adopter un type analogue, il était intéressant de vérifier par une expérience directe comment cette machine se comportait sur les lignes de montagne, et quelle puissance elle pouvait développer. A la demande de la Compagnie des Chemins de fer du Midi, les constructeurs ont bien voulu organiser, de concert avec l'Administration Royale des Chemins de fer de l'État prussien, des essais de cette machine sur les lignes des environs d'Erfurt qui comportent des déclivités comparables à celles de la ligne de Béziers à Neussargues. C'est à la suite de ces intéressants essais, qui ont eu lieu du 20 au 22 juin 1907 et dont il a été rendu compte dans le N° de Novembre 1907 de la *Revue Générale*, que la Compagnie des Chemins de fer du Midi a arrêté les données principales de son type de machine 5001. Ce type reproduit les dispositions générales de la machine de l'État prussien ; mais il en diffère par de nombreuses modifications de détails, ainsi que par les dimensions des cylindres et de la grille qui ont été agrandies en vue de permettre à la machine de remorquer la même charge à des crans d'admission moins élevés qu'aux essais d'Erfurt.

Les études en ont été faites sur les indications de la Compagnie du Midi par la Société Berlinoise de Construction de Machines, qui a construit les 5 premières locomotives de ce type.

DESCRIPTION DE LA MACHINE.

Disposition générale. — La machine 5001 est une locomotive tender à 5 essieux accouplés et à adhérence totale.

Elle est munie d'un surchauffeur et fonctionne à simple expansion.

Le diamètre des roues est de 1^m,350.

L'empatement total est de 6^m,200.

Pour la facilité du passage dans les courbes, les essieux sont établis suivant la disposition de Gölsdorf, d'après laquelle les essieux N^{os} 1, 3 et 5 ont un jeu latéral de 26 millimètres de chaque côté, tandis que les N^{os} 2 et 4 (ce dernier est l'essieu moteur) n'ont pas de jeu latéral (voir la *Revue* de Novembre 1907, page 491, Fig. 11). De la sorte, l'empatement rigide de la machine est réduit à 3^m,100, ce qui lui permet de circuler facilement dans les courbes de 200 mètres de rayon.

La longueur totale de la machine est de 13^m,000, sa largeur de 3^m,064. Son poids à vide est de 66.500 kg. et son poids en charge de 85.600 kg.

Les deux cylindres sont extérieurs aux longerons et horizontaux. Ils sont placés à l'avant du premier essieu. Les deux derniers essieux sont placés sous le foyer. L'essieu moteur étant le quatrième, on a dû, pour éviter de donner à la bielle motrice une longueur excessive, allonger notablement la tige du piston et la glissière unique qui lui sert de guide. Cette glissière est fixée sur deux supports et la tige de piston y est suspendue en deux points par la crosse et par un guide intermédiaire.

La machine est munie de 3 caisses à eau : deux caisses latérales reposant sur le tablier et une caisse médiane placée entre les longerons sous le corps cylindrique.

Chaudière. — La chaudière est timbrée à 12 kg. par centimètre carré.

La surface de grille est de 2^m²,73.

La chaudière est munie de 134 petits tubes de 50 millimètres et de 24 gros tubes de 133 millimètres de diamètre extérieur. Tous ces tubes sont lisses.

La surface de chauffe totale est de $141^{\text{m}^2},80$.

Le foyer, en cuivre, renferme une voûte en briques.

La boîte à feu est en acier.

Les entretoises du foyer sont en bronze manganésé pour les rangées supérieures et en cuivre rouge pour les rangées inférieures.

Le berceau de la boîte à feu, de forme cylindrique, est entretoisé directement par des tirants verticaux avec le ciel plat du foyer. Les parois latérales de la boîte à feu sont entretoisées au-dessus du ciel du foyer par une rangée de tirants transversaux. Tous ces tirants sont vissés dans les tôles et forés à leurs deux extrémités. Une surépaisseur de 7^{mm} a été donnée à la tôle de berceau pour que ceux des tirants verticaux qui la rencontrent sous un angle aigu aient néanmoins un nombre suffisant de filets en prise. A l'avant, le ciel du foyer est maintenu par une rangée de tirants verticaux indépendants de la boîte à feu et suspendus à de petites fermes longitudinales reposant sur le foyer lui-même.

La grille est munie d'un jette-feu.

Le cendrier est muni de trois portes : une à l'avant, une derrière l'essieu N° 4 et la troisième à l'arrière.

La porte du foyer est à charnière horizontale et s'ouvre vers l'intérieur. Elle est garnie à l'extérieur d'une couche protectrice en carton d'amiante.

Le corps cylindrique, en acier, comporte trois viroles : celle du milieu est recouverte par les deux autres.

Les clouures transversales sont à double rangée de rivets ; les clouures longitudinales à double couvre-joint et à 4 rangées de rivets.

La plaque tubulaire de boîte à fumée est en cuivre.

L'alimentation est assurée par deux injecteurs Schaeffer et Budenberg horizontaux aspirants.

Les soupapes de sûreté sont à charge directe et du type en usage sur les locomotives de la Compagnie du Midi. Le tube à niveau d'eau est du système Serveau.

Le régulateur, à double tiroir, est placé dans l'intérieur du dôme.

L'échappement est fixe. La tuyère d'échappement est entourée d'un manchon en toile métallique pour l'arrêt des escarbilles et surmontée d'un petticoat.

Surchauffeur. — Le surchauffeur est du type Schmidt dans les tubes à fumée. Ses éléments constitués chacun par deux tubes en U de 36 millimètres de diamètre extérieur montés en série pénètrent jusqu'à une distance minima de 600^{mm} de la plaque tubulaire du foyer. La surface de surchauffe est ainsi de $44^{\text{m}^2},20$.

Les gros tubes à fumée peuvent être obturés partiellement ou totalement par des persiennes situées dans la boîte à fumée et qui, maintenues normalement fermées par leur propre poids, sont ouvertes automatiquement par un petit servo-moteur à vapeur au moment de l'ouverture du régulateur. Un volant placé à la disposition du mécanicien lui permet de faire varier l'ouverture de ces persiennes, de manière à régler le degré de surchauffe. Enfin, une chaîne relie les persiennes à la porte de la boîte à fumée, de telle sorte qu'elles s'ouvrent en même temps que celle-ci pour permettre le nettoyage du surchauffeur.

Mécanisme moteur. — Les deux cylindres ont 630 millimètres de diamètre. La course des pistons est de 660 millimètres.

Le piston du système Schmidt est pourvu de trois segments élastiques logés dans trois gorges

distinctes pratiquées dans la couronne. Ces segments portent sur tout leur développement une rainure de 3^{mm} de profondeur qui communique avec le fond de la gorge par six trous de 3^{mm} de diamètre régulièrement espacés.

Les coupes des segments sont croisées et leur immobilité relative est assurée au moyen de petites clavettes d'acier chassées entre les deux extrémités de chaque segment dans deux rainures latérales pratiquées dans la gorge.

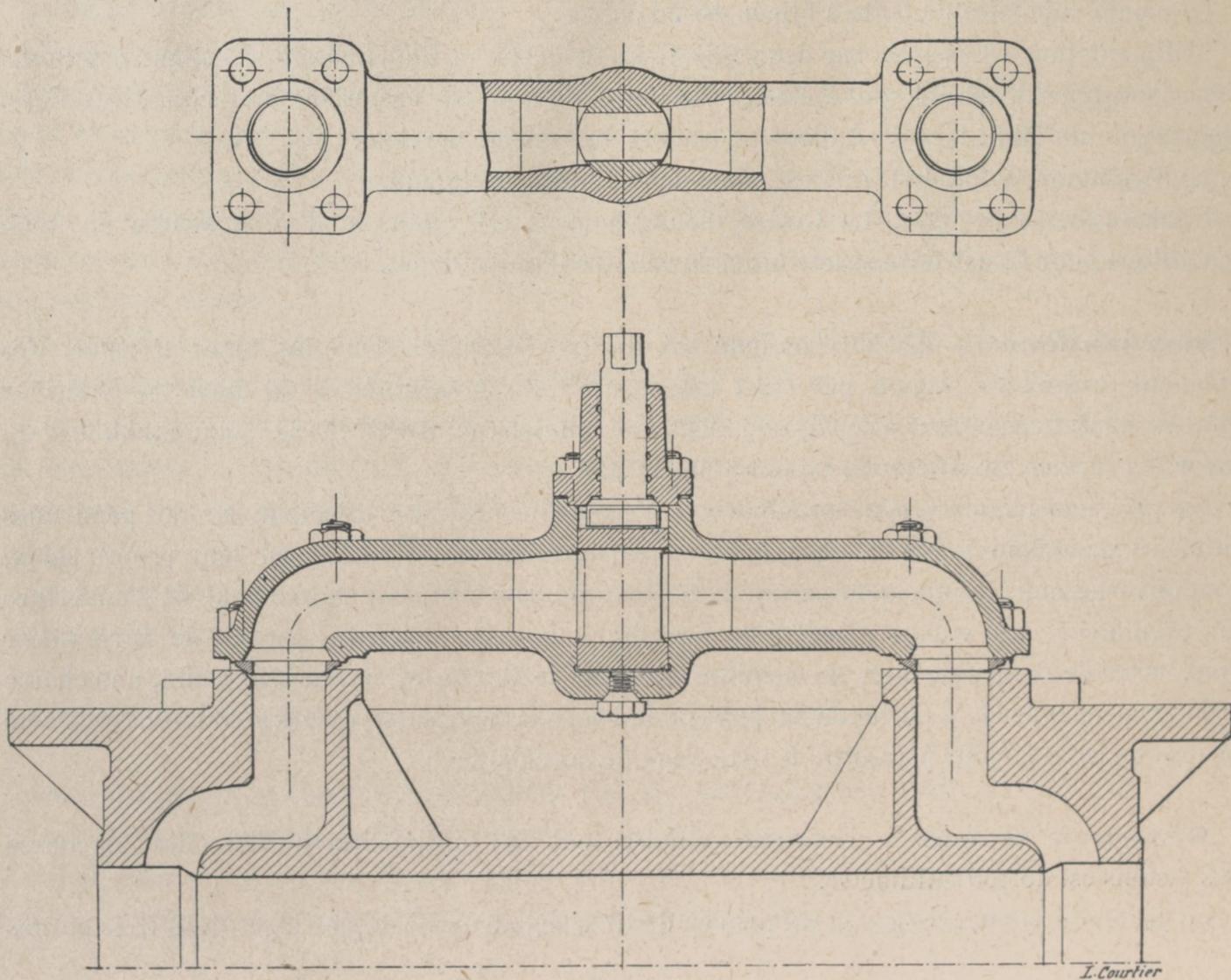
Le piston est muni à l'avant d'une contre-tige couissant dans un support spécial extérieur à la garniture, de telle manière que celle-ci ne supporte aucune charge.

Les garnitures sont du système Schmidt. Dans ce système, les bagues de garniture sont pressées entre deux fourreaux qui coulissent l'un dans l'autre. Le fourreau extérieur est maintenu à son extrémité la plus voisine du cylindre par le presse-garniture qui appuie sur lui par l'intermédiaire d'une bague à surface sphérique. Cette disposition permet à tout l'ensemble de la garniture de se déplacer et de se centrer à la demande de la tige du piston sans que l'étanchéité cesse d'être assurée ; en même temps, la garniture est ainsi complètement dégagée et présente à l'air libre une grande surface de refroidissement. Le fourreau intérieur s'appuie sur la bague de fond par l'intermédiaire d'un ressort à boudin réglé pour donner une pression de 30 kg. quand le presse-garniture est serré à bloc.

Sur chaque fond de cylindre sont montées une soupape de sûreté et une soupape de rentrée d'air.

Chaque cylindre moteur est muni d'un by-pass (Fig. 1) qui met automatiquement ses deux

Fig. 1. — BY-PASS DE LA MACHINE 5001.



extrémités en communication pendant la marche à régulateur fermé. A cet effet, les robinets des deux by-pass sont commandés par un piston à vapeur qui se place selon que le régulateur est ouvert ou fermé dans l'une ou l'autre des positions correspondant à la fermeture ou à l'ouverture des communications.

Les bielles d'accouplement n'ont aucun déplacement latéral. Chaque tête s'engage sans jeu dans la chape de la bielle suivante et les deux pièces sont assemblées, en plus du boulon d'articulation ordinaire, par un deuxième boulon ; l'œil pratiqué dans la tête de bielle pour le passage de ce boulon est ovalisé de manière à permettre à l'articulation de jouer dans le sens vertical.

Par contre, les boutons des manivelles d'accouplement des essieux à jeu latéral ont une longueur qui leur permet de coulisser dans leurs coussinets pendant le déplacement de ces essieux.

Mécanisme de distribution. — Le mécanisme de distribution gouverné par un appareil de changement de marche à vis fixé à gauche de la plateforme est du système Walschaerts.

Les tiroirs sont cylindriques et admettent la vapeur par leurs arêtes intérieures.

Ils reposent par leurs tiges et leurs contre-tiges sur les garnitures des boîtes à vapeur, qui ne sont pas en contact avec la vapeur surchauffée.

Chacune des deux souches du piston distributeur est formée de deux plateaux non jointifs. L'espace libre qui les sépare s'élargit à la périphérie en une gorge dans laquelle est logé un segment élastique unique. Ce segment porte sur tout son développement 3 rainures analogues à celles des segments du piston moteur et communiquant comme celles-ci avec le fond de la gorge par des trous régulièrement espacés. La coupe du segment est brisée et sa position est maintenue invariable par une clavette chassée dans l'un des deux plateaux de la souche.

Le diamètre des pistons distributeurs est de 250^{mm}.

Un manomètre spécial distinct de celui de la chaudière et un pyromètre, montés sur une des boîtes à vapeur, indiquent au mécanicien la pression et la température de la vapeur à l'entrée dans les cylindres.

Le pyromètre à mercure placé au début sur ces machines a été remplacé par un pyromètre du type Fournier, à tension de vapeur saturée.

Les cylindres, les boîtes à vapeur et les conduites d'amenée de vapeur sont entourés d'enveloppes isolantes en amiante.

Contre-vapeur. — La machine 5001 a été pourvue d'appareils d'injection d'eau et de vapeur pour la marche à contre-vapeur.

Châssis. — Le châssis de la machine est constitué par deux longerons simples en acier de 30^{mm} d'épaisseur.

Ils sont entretoisés par la traverse d'avant, par l'entretoise des cylindres, par la caisse à eau médiane, par le foyer et enfin par le caisson de l'attelage arrière et la traverse d'arrière.

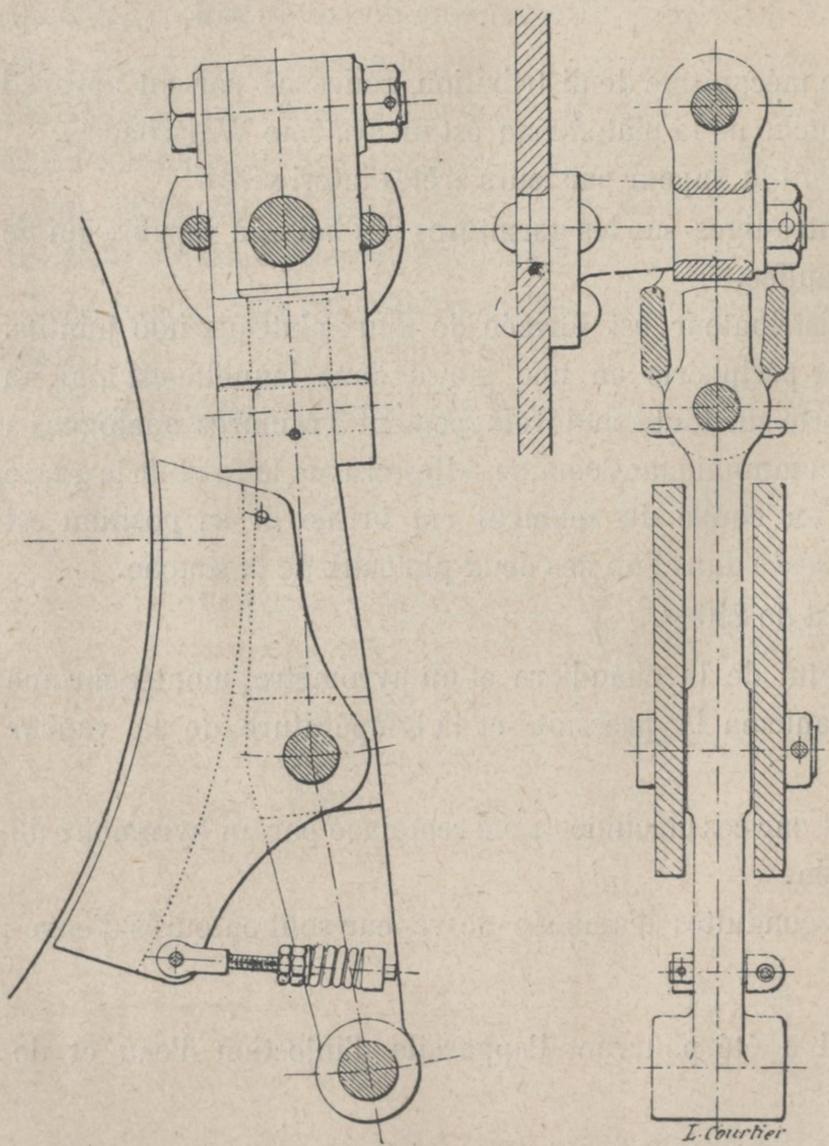
La caisse à eau médiane, placée sous le corps cylindrique, a ses cloisons latérales constituées par les longerons eux-mêmes. Sa rigidité est augmentée par deux ceintures intérieures formées d'une double cornière.

Suspension. — Les ressorts de suspension des essieux N^{os} 1 et 2, 4 et 5 sont conjugués par des balanciers.

Freins et accessoires divers. — La machine 5001 est munie des appareils du frein Westinghouse. Elle est freinée par 10 sabots qui agissent sur toutes les roues.

Pour la suspension des sabots des roues à jeu latéral, on a adopté un dispositif spécial permettant au sabot de suivre le bandage dans son déplacement (Fig. 2). A cet effet, le porte-sabot est en deux pièces : la pièce supérieure, articulée au châssis à la façon ordinaire, présente à sa partie inférieure une chape dans laquelle la seconde pièce, qui constitue le porte-sabot proprement dit, vient elle-même s'articuler au moyen d'un axe parallèle au longeron. Un doigt qui prolonge la pièce inférieure et vient buter contre des saillies de la chape limite au jeu nécessaire le déplacement relatif des deux parties du porte-sabot.

Fig. 2. — PORTE-SABOT DE FREIN D'ESSIEU A JEU LATÉRAL.



La timonerie de frein peut également être actionnée à la main.

La machine 5001 est pourvue de deux sablières à air comprimé du type Gresham à 4 tuyères chacune, l'une pour la marche avant, l'autre pour la marche arrière et d'un indicateur de vitesse système Hauss-haelter.

Le graissage des cylindres est assuré par un graisseur mécanique triple du système Michalk.

Cet appareil placé sur la plateforme du mécanicien se compose de 3 pompes à huile empruntant leur mouvement, par l'intermédiaire d'un système de bielles et d'un encliquetage à l'essieu arrière de la machine, et débitant par leurs 6 départs au milieu de la course de chaque piston et de chaque demi-tiroir.

Chaque pompe est munie d'un obturateur qui permet de régler son débit.

Approvisionnements. — Les trois caisses à eau ont une capacité totale de 10.000 litres.

Les soutes à charbon placées à l'arrière de la plateforme peuvent contenir 3.500 kg. de combustible.

Nous complétons les indications qui précèdent par le tableau ci-après relatif aux principales conditions d'établissement de la machine :

Timbre de la chaudière	12 k.			Diamètre moyen intérieur....	1.534
Grille...	Longueur suivant l'inclinaison..... Largeur..... Surface	2.730 1.000 2 ^m 273	Corps cylindrique	Longueur (extérieurement aux plaques tubulaires)....	4.555
				Épaisseur des tôles.....	0.016
				Volume d'eau avec 100 m ³ /m au-dessus du ciel du foyer.	4.410 ^l
Foyer..	Hauteur { A intérieure { R.....	1.745 1.415	Boîte à fumée	Volume de vapeur.....	3.140 ^l
				Longueur { en haut..... intérieure { en bas.....	2.620 2.707
	Largeur { en haut..... intérieure { en bas.....	1.270 1.000			
				Épaisseur { ciel, côtés et des cuivres { arrière.... plaque { .. tubulaire { ..	0.015 0.016 0.030
	Longueur extérieure..... Largeur { en haut..... extérieure { en bas.....	2.940 1.612 1.200			
				Épaisseur { latérales des tôles { avant..... arrière du dessus ...	0.015 0.016 0.016 0.022
Du rail au { avant.. dessous du cadre { arrière	1.100 1.400	Épais- { de la plaque tubulaire seur { de la plaque avant... du corps cylindrique.	0.025 0.015 0.013		
		Diamètre { inférieur { supérieur	0.375 0.440	Du rail au sommet de la cheminée.....	4.250
Diamètre des cylindres.... Course des pistons..... D'axe en axe des cylindres.	0.630 0.660 2.190			Mécanisme	
		Longueur des bielles motrices	3.050	Boîte à feu.	
Rayon d'excentricité..... Course maxima des tiroirs.	0.144 0.145			Diamètre des pistons distributeurs	0.250
		Recouvrement extérieur (négatif)	0.002		
Recouvrement intérieur ..	0.038			Avance linéaire.....	0.005
		Introduction { R..... minima % { A	5.5 6.2		
Lumières d'admission 0.576 × 0.042 Lumières d'échappem. 0.520 × 0.110	0.576 0.520			Longueur des barres d'excentriques.....	2.110
		D'axe en axe des tiges de tiroir	2.460		
Nombre de tubes ... Diamètre extérieur.. Épaisseur des tubes.	134 0.050 0.0025			Tubes à fumée	
		Nombre de tubes Diamètre extérieur.. Épaisseur des tubes.	24 0.133 0.0045		
du foyer en contact avec les gaz..... des tubes..... totale.....	13 ^m 220 128 ^m 260 141 ^m 280			Surface de chauffe	
		Surface de surchauffe.....	44 ^m 220		

Châssis	{	Intérieurement aux lon-	}	Boutons	{	motrice	}	diamètre.....	0.165					
		gerons.....				1.220		longueur.....	0.165					
		Épaisseur des longerons ..				0.030		Essieux N ^{os} 1, 3 et 5	diamètre	0.110				
		Longueur totale de la ma-				13.000			d'ac-	longueur	0.136			
		chine hors tampons.....								N ^o 2	diamètre	0.110		
Roues et essieux	{	Diamètre au roulement...	}	man-	{	couple-	}	longueur	0.080					
		Diamètre de la jante.....						1.210	N ^o 4	diamètre	0.180			
		Écartement des essieux...				1.550	ment	longueur		0.100				
		Écartement des bandages.				1.360		Poids.	}	à vide.....	66.500k			
		D'axe en axe des fusées...				1.100	en charge.....			85.600k				
		Fusées				{	lon-	}	velles.	{	Approvisionnement	}	Eau.....	10.000 ^l
													gueur	}
diamètre.....	0.200													
		essieux												
		pairs....	0.220											
		essieux												
		impairs.	0.272											

ESSAIS DE LA MACHINE 5005.

Il est intéressant d'indiquer sommairement les résultats des essais de puissance et de consommation qui ont été effectués avec la machine 5005 du 24 mars au 2 avril 1909 sur la ligne de Béziers à Neussargues, entre Aguessac et Sévérac-le-Château.

La Figure 3 représente le profil de cette section qui se compose d'une rampe de 33^{mm} par mètre presque continue sur 15 kilomètres, suivie d'une pente de 9 kilomètres de développement atteignant également 33^{mm} par mètre sur une partie importante de sa longueur.

Essais de puissance. — La charge remorquée sur ce profil au cours des essais de puissance a atteint 279 tonnes les 30 et 31 mars. Cette charge, pesée à la bascule, se composait de 5 wagons tombereaux portant des chargements de 20 à 50 tonnes de houille et d'un fourgon lesté. Elle a été remorquée sans difficulté et sans patinage sérieux, malgré la pluie fine qui n'a presque cessé de tomber pendant toute la durée des essais: quelques commencements de patinage au passage des souterrains en rampe ont été facilement enrayés par la mise en action des sablières.

La Figure 3 donne le diagramme des vitesses relevées à l'indicateur Hausshalter pour le parcours du 31 mars.

A la montée, la vitesse moyenne a atteint 13 k. à l'heure environ. La pression à la chaudière a été constamment maintenue entre 11 k. 5 et 12 k. et la pression dans la boîte à vapeur entre 11 k. et 11 k. 5, le régulateur étant ouvert au maximum. Le cran de marche était en pleine rampe de 48 à 50 %.

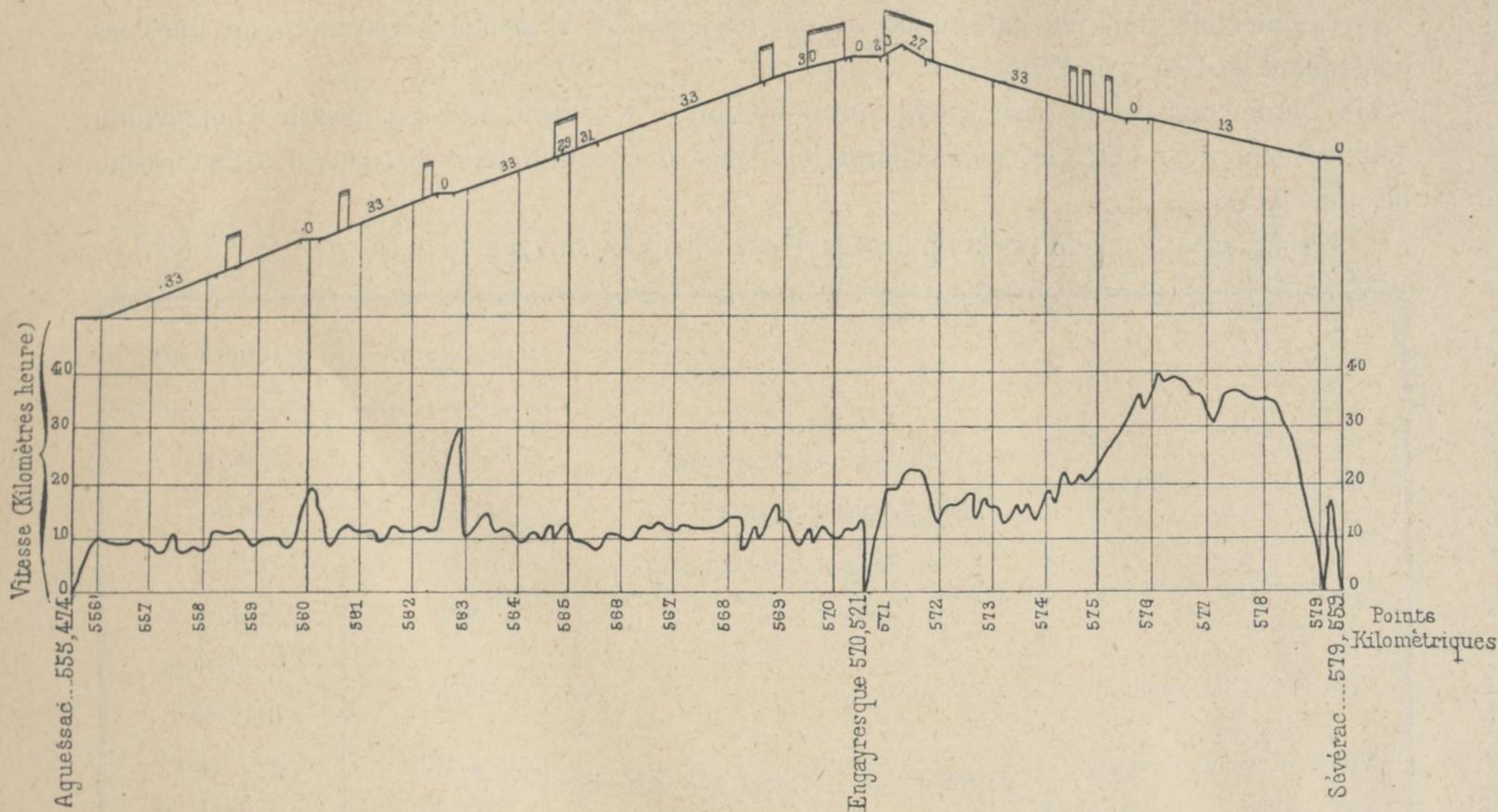
La température dans les boîtes à vapeur s'élevait assez régulièrement à chaque essai de 180 à 200° au démarrage jusqu'à 300° environ au bout de 10 à 15 minutes, et se maintenait ensuite entre 300 et 350° pendant le reste du parcours.

Le combustible consommé consistait en briquettes de Carmaux.

A la descente, tous les trains d'essais ont été retenus et arrêtés au poteau d'arrêt de Sévérac sans le secours des freins et uniquement à l'aide de la contre-vapeur aux crans de marche de 60 à 80 %.

La machine a circulé très facilement dans les nombreuses courbes de 300 mètres de rayon qui se trouvent entre Aguessac et Sévérac.

Fig. 3. — PROFIL DE LA LIGNE ET DIAGRAMME DES VITESSES.



La consommation d'eau et de charbon a été la suivante dans le parcours du 31 mars :

PARCOURS	LONGUEUR	EAU CONSOMMÉE (1)	CHARBON BRULÉ (2)		OBSERVATIONS
			Total	Par kilomètre	
Aguessac à Engayresque...	k. 15,2	l. 7.800	k. 1.052	69,2	(1) Non compris l'eau perdue à l'amorçage des injecteurs.
Engayresque à Sévérac (3).	8,9	1.250	115	12,9	(2) Non compris le charbon employé pour l'allumage.
TOTAL.....	24,1	9.050	1.167	48,5	(3) Marche à contre-vapeur.

La vaporisation a donc atteint pendant la montée 7,4 litres par kilogramme de charbon pour une combustion de 330 kg. par heure et mètre carré de grille, résultat qui peut être considéré comme très satisfaisant avec une machine à surchauffeur.

Essais comparatifs de consommation des machines 5005 et 4008. — Il était intéressant de comparer, pour un même travail effectué, la consommation d'une machine 5001 avec celle d'une des machines compound de la série 4001, qui ont été construites pour le même service et qui ont à peu près la même surface de grille (2^m2,80).

A cet effet, un train d'essai a été spécialement composé de trois wagons-tombereaux chargés de houille et d'un fourgon lesté, de manière que son poids atteignît 190 tonnes, charge normale

des machines 4001 en cette saison et sur la section considérée. Ce train a été pendant 6 jours remorqué d'Aguessac à Engayresque concurremment par la machine 5005 et par la machine 4008 récemment réparée à neuf, chacune de ces machines effectuant chaque jour un voyage alternativement le matin et l'après-midi.

Le combustible employé était un mélange de briquettes et de menus de Carmaux, ces derniers constituant 35 à 45 % de l'ensemble.

On a noté pour chaque parcours la consommation de charbon, non compris le combustible employé pour l'allumage, et la consommation d'eau, défalcation faite des pertes à l'amorçage des injecteurs.

Les résultats moyens de ces six journées d'essais sont les suivants :

	MACHINE 5005	MACHINE 4008	
Consommation de charbon	d'Aguessac à Engayresque	690 k.	750 k.
	par kilomètre	45 k. 4	49 k. 3
Consommation d'eau	d'Aguessac à Engayresque	5.650 l.	6.700 l.
	par kilomètre	371 l.	447 l.
Cran moyen de marche	40 %	H. P. 70 % B. P. 60 %	
Vitesse moyenne de marche	15 à 16 k.	15 à 16 k.	
Vaporisation par kg. de charbon	8 l. 1	8 l. 9	

Pour un même travail, la machine 5005 a donc consommé 8 % de charbon et 15,7 % d'eau en moins que la machine 4008.

On peut conclure de ces divers essais :

1° Que grâce à l'emploi de la vapeur surchauffée, les machines 5001 ont une puissance utile supérieure de près de moitié à celle des machines 4001, bien que celles-ci présentent une surface de grille légèrement plus grande ;

2° Que ces machines, dont les dispositions générales portent au maximum le poids adhérent, ont de plus un coefficient d'adhérence remarquable, grâce au grand nombre de leurs essieux accouplés qui crée un sérieux obstacle au patinage ; cette circonstance leur permet d'utiliser complètement leur puissance sur les fortes rampes ;

3° Que ces machines fonctionnent très bien à contre-vapeur et retiennent sans difficulté sur les pentes la charge qu'elles peuvent remorquer sur les rampes de même inclinaison ;

4° Que la consommation de combustible et surtout la consommation d'eau de ces machines sont très sensiblement inférieures, à travail égal, à celles des machines 4001.

En résumé, ces locomotives se sont montrées parfaitement adaptées à tous points de vue au service des trains de marchandises sur les lignes à fortes déclivités en vue duquel la Compagnie des Chemins de fer du Midi les avait fait construire.

En présence des bons résultats donnés en service par les 5 premières machines de ce type, cette Compagnie en a commandé une nouvelle série de 20 à la Société française de Constructions mécaniques (anciens établissements Cail).

