

NOTE

SUR LA

MACHINE COMPOUND A TRAIN ARTICULÉ

A 4 CYLINDRES ET 12 ROUES ACCOUPLES

DE LA COMPAGNIE DE CHEMINS DE FER DÉPARTEMENTAUX

Par M. COMBLE,

INGÉNIEUR DE LA TRACTION DE LA COMPAGNIE DE CHEMINS DE FER DÉPARTEMENTAUX.

(Pl. VIII).

La Compagnie de Chemins de fer départementaux vient de mettre en service sur le Réseau d'Intérêt général du Vivarais, dont elle est concessionnaire, un type de locomotive qu'il nous a paru intéressant de décrire, non pas que cette machine présentât quelque dispositif essentiel nouveau, mais parce qu'elle peut être considérée comme la plus puissante des locomotives pour voie de 1 mètre actuellement existantes et que de plus c'est la 1^{re} machine à 6 essieux accouplés et à train articulé mise en service en France.

La Compagnie de chemins de fer départementaux exploite depuis environ 10 ans les lignes de Tournon à Lamastre et de La Voulte-sur-Rhône au Cheylard dans le département de l'Ardèche et la ligne de Lavoûte-sur-Loire à Yssingaux, dans le département de la Haute-Loire. L'exploitation de ces trois tronçons indépendants destinés à être reliés entre eux par une ligne allant de Lamastre au Cheylard et à Yssingaux en passant par St-Agrève avec embranchement sur Dunières-Montfaucon, faisait prévoir un trafic assez important sur l'ensemble du réseau parachevé.

Les très fortes rampes continues, combinées avec de très nombreuses courbes de 100 mètres de rayon, de la partie nouvelle du Réseau qui se développe en plines montagnes du Vivarais d'une part, et la nécessité de l'exploiter économiquement, c'est-à-dire en réduisant le nombre des trains journaliers au minimum possible tout en faisant largement face aux nécessités du trafic d'autre part, amenèrent la Compagnie à étudier une machine qui, sur un rail pesant

20 kilogrammes le mètre courant pût remorquer, en rampe continue de $32 \frac{m}{m},5$ et en courbes de 100 mètres de rayon, une charge

de 100 tonnes à 25 kilomètres
ou de 125 tonnes à 20 kilomètres à l'heure.

L'effort de traction et le travail en chevaux-vapeur nécessaires à développer pour résoudre pratiquement le problème précité eurent pour conséquence l'établissement d'un avant-projet de machine dont le poids approximatif en service devait être de 43 à 45 tonnes.

Ce poids très considérable pour une voie légère entraînait la nécessité de faire reposer la machine sur 6 essieux de façon à ne pas atteindre la charge limite de 4.000 kilogrammes par roue résultant des conditions de pose de la voie.

L'empatement de ce nombre d'essieux imposait à son tour l'adoption d'un châssis articulé pour permettre l'inscription facile de la machine en courbe de 100 mètres de rayon. C'était donc une locomotive à double moteur c'est-à-dire à deux groupes indépendants de deux cylindres chacun, lesquels pour que la machine fût aussi économique que possible devaient fonctionner en compound.

Ce point déterminé, les conditions générales complémentaires d'établissement de la machine furent définitivement arrêtées. Elles sont résumées dans le tableau ci-dessous, à la fin duquel sont indiqués les poids reconnus des machines après exécution, à vide et en charge.

Diamètres des cylindres..	{ admetteurs.....	0 ^m ,310
	{ détenteurs.....	0 ^m ,480
Course des pistons		0 ^m ,550
Diamètre des roues.....		1 ^m ,010
Écartement des essieux...	{ extrêmes couplés.....	2 ^m ,200
	{ extrêmes.....	6 ^m ,400
Tubes à fumée.....	{ diamètre extérieur	0 ^m ,045
	{ » intérieur.....	0 ^m ,041
	{ longueur entre plaques tubulaires.....	3 ^m ,600
Surface de chauffe.....	{ Nombre.....	152
	{ du foyer.....	7 ^m ² ,8
	{ des tubes.....	77 ^m ² ,5
	{ totale.....	85 ^m ² ,3
Surface de la grille		1 ^m ² ,5
Chaudière... {	{ diamètre moyen du corps cylindrique.....	1 ^m ,132
	{ épaisseur minima de la tôle.....	0 ^m ,014
	{ Timbre	14 k.
	{ capacité { eau ($110 \frac{m}{m}$ au-dessus du point le plus haut du ciel du foyer).....	3 ^m ³ ,100
	{ vapeur.....	0 ^m ³ ,850
	{ totale	3 ^m ³ ,950
Contenance des soutes..	{ à eau	4 ^m ³ ,000
	{ à charbon.....	1000 k.
Longueur totale tampons compris.....		10 ^m ,710
Largeur maxima toutes saillies comprises		2 ^m ,400

Hauteur au-dessus du rail.	} des tampons	0 ^m ,775		
		totale	3 ^m ,400	
Poids de la machine sur les essieux couplés..	} Groupe avant	19.970	22.960	
		Groupe arrière	17.340	21.400
		Total	37.310	44.360
Effort de traction			7.300 k.	

Le rapide exposé des considérations précédentes explique comment la Compagnie a été amenée à adopter la machine Mallet dont le type s'imposait nécessairement comme unique solution pratique et économique du problème de traction à résoudre.

Il a été formulé à propos de ce système quelques objections ; sans prendre position dans la discussion, nous pouvons en tout cas déclarer, sans redouter de sérieuses contradictions, que, si sur les voies légères comportant de faibles courbes, les machines à quatre essieux couplés ne doivent pas être toujours nécessairement et exclusivement du type Mallet, c'est en tout cas le type à adopter pour des machines comportant un nombre d'essieux couplés supérieur à ce chiffre.

Nous pouvons en outre ajouter que l'application du système Mallet permet seule, sans rien modifier aux installations existantes d'une ligne d'en pouvoir porter économiquement à son maximum la capacité du trafic.

DESCRIPTION DE LA MACHINE

(Pl. VIII).

Le principe de la machine compound à train articulé, système Mallet est trop connu pour que nous ayons à revenir sur sa description. Nous nous contenterons de noter les quelques points caractéristiques de la machine.

Chaudière. — La chaudière timbrée à 14 kilos est en tôle de fer homogène de 14 ^m/_m d'épaisseur ayant donné aux essais de 36 à 40 kilos de résistance par mm² et 27 % d'allongement minimum. Les clouures longitudinales sont à double couvre-joints et à quatre rangées de rivets. La longueur totale de la chaudière, boîte à feu et boîte à fumée comprises est de 7^m,140. Elle repose en deux points sur le châssis d'arrière : 1° au moyen de supports fixes venus de forge avec le cadre du foyer, sur l'arrière, et sur l'avant, par deux supports à glissière de bronze permettant la dilatation.

Le foyer est en cuivre rouge, qualité Corocoro. Il est relié aux tôles de la boîte à feu par 526 entretoises et 144 tirants. Sa longueur, au niveau de la grille, est de 2^m,300. Cette dimension exceptionnelle de foyer pour une machine de voie étroite est la conséquence de l'exigüité du gabarit en largeur (2^m,400). Cette cote fixe, d'une part, et la nécessité de porter à 480 ^m/_m le diamètre des grands cylindres, d'autre part, nous ont mis dans l'obligation d'avoir des longerons intérieurs aux roues ; le foyer n'a pu, dans ces conditions, avoir que 0^m,650 de

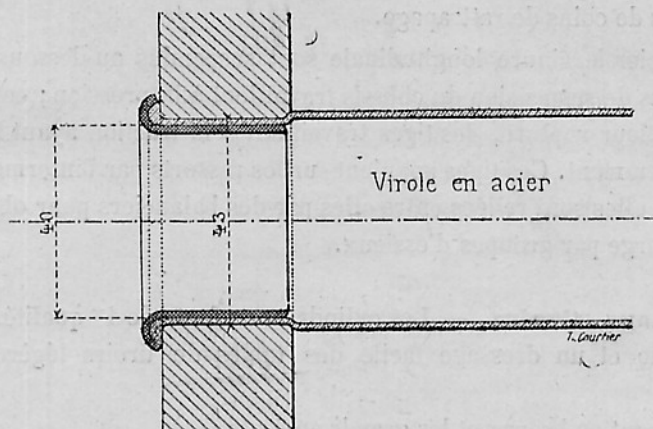
largeur au niveau de la grille; il devenait donc indispensable de l'allonger pour obtenir la surface de grille et de chauffe directe nécessaires.

Le ciel du foyer est incliné de l'avant vers l'arrière, son inclinaison équivaut sensiblement à celle des rampes de la section du Réseau au service de laquelle sont affectées les machines.

Le foyer est muni d'une voûte en briques réfractaires.

Les tubes à fumée en laiton sont rivés aux deux extrémités sur les deux plaques tubulaires et munis, du côté du foyer, de bagues en acier à recouvrement, destinées à protéger l'extrémité des tubes. Cette disposition est indiquée par le croquis N° 1 ci-dessous.

Fig. 1.



La grille est du type Belpaire. Elle est composée d'une série de paquets de barreaux de fonte. Elle est munie d'un jette-feu mobile à l'arrière situé au point le plus haut.

Châssis. — Les deux parties du châssis sont constituées par des longerons en tôle de fer homogène de $25^m/m$ d'épaisseur entretoisés au droit de chaque paire de cylindres par un caissonnement en acier coulé à nervures ayant $17^m/m$ d'épaisseur et dont les parois se terminent toutes en forme de champignon pour éviter les angles vifs.

La liaison des deux trucks est assurée par deux chevilles-ouvrières de $80^m/m$ de diamètre et $250^m/m$ de hauteur dont le logement est ménagé dans le caissonnement des cylindres admetteurs.

Les plaques de garde des boîtes à huile, en acier coulé d'une seule pièce, entourent complètement les découpures des longerons destinées à recevoir les boîtes. Cette disposition donne un surcroît considérable de résistance aux longerons.

Nous avons, d'ailleurs, cherché à porter au maximum possible la résistance du châssis. Dans les lignes comportant de nombreuses courbes et contre-courbes de faibles rayons, cette partie de la machine fatigue énormément du fait des efforts à peu près continus dus à l'inscription dans les courbes, efforts qui peuvent, à la longue, provoquer la rupture des longerons.

Le mouvement relatif des deux trucks est réglé par deux ressorts doubles à boudin dont la tension peut être réglée à volonté.

L'extrémité amincie des longerons d'arrière s'appuie sur le truck avant par l'intermédiaire d'une plaque d'appui en bronze.

Essieux. — Les essieux sont en acier Martin ayant donné aux essais 58 k^{os} de résistance par mm² et 21% d'allongement. Les corps de roues sont en acier coulé et les bandages en acier spécial au creuset dont la résistance est de 83 k^{os} par mm² et l'allongement de 14% minimum. Les roues ont été calées à une pression moyenne de 80 tonnes et les boutons de manivelles emmanchés à une pression de 45 à 50 tonnes.

Suspension. — Les boîtes à huile en fer cémenté et trempé sont munies de coussinets en bronze garnis à l'état neuf d'une couche de métal antifriction de 8^m/_m d'épaisseur dont la composition est la suivante :

76% d'étain, 13% d'antimoine et 11% de cuivre.

Elles sont munies de coins de rattrapage.

Les ressorts en acier à rainure longitudinale sont suspendus au-dessous des boîtes à huile, de sorte que les tiges de suspension du châssis travaillent à la pression ; cette disposition a été adoptée pour éviter leur rupture, les tiges travaillant à la traction ayant l'inconvénient de se rompre assez fréquemment. Ces tiges appuient sur les ressorts par l'intermédiaire de rondelles et platines à côte et elles sont reliées entre elles par des balanciers pour obtenir une meilleure répartition de la charge par groupes d'essieux.

Cylindres, pistons, tiroirs. — Les cylindres en fonte de 1^{re} qualité sont disposés pour permettre une visite et un dressage facile des tables de tiroirs légèrement inclinées sur l'horizontale.

Les petits tiroirs sont en bronze et les grands en fonte.

Les corps des pistons sont en acier coulé et sont munis de deux segments en fonte à logements indépendants.

Les quatre mouvements de distribution commandent directement les tiges de tiroirs qui y sont clavetées.

Les crosses de pistons et leurs leviers droits commandant la distribution sont en une seule pièce en acier coulé. Ils sont guidés par une seule glissière supérieure.

Mouvement. — Toutes les pièces du mouvement sont en acier doux et toutes les parties frottant sur des axes sont munies de bagues en acier rapportées et facilement remplaçables.

Les graisseurs des bielles sont à broche et à couvercle à ressort ouvrant vers l'intérieur de façon à obtenir par le mouvement de rotation des pièces une fermeture étanche.

Le changement de marche est commun aux grands et aux petits cylindres. L'ensemble des organes à manœuvrer représentant un poids assez considérable, un ressort à boudin, de rappel, est destiné à le contrebalancer quand on relève la marche.

Tuyauterie fixe et mobile d'admission et d'échappement de vapeur. — Tous les joints de cette tuyauterie sont secs et se composent de bagues coniques en bronze serrées, suivant le cas, entre les brides venues de fonte des parties à raccorder ou entre ces brides et des rondelles en acier coinçant en même temps l'extrémité évasée en collerette des tuyaux de cuivre (Voir croquis N° 2). Le Reciver ou tuyau réservoir de vapeur qui fait communiquer les petits et les grands cylindres, est en tôle d'acier. Il se termine à l'arrière par une genouillère en bronze à presse-étoupe spécial qui s'emmanche dans la culotte

d'échappement des petits cylindres. Ce dispositif indiqué par le croquis N° 3 ci-dessous permet au Reciver d'osciller tant dans le sens horizontal que dans le sens vertical et de suivre tous les mouvements que lui imprime le truck avant dans ses déplacements en courbes.

Fig. 2.

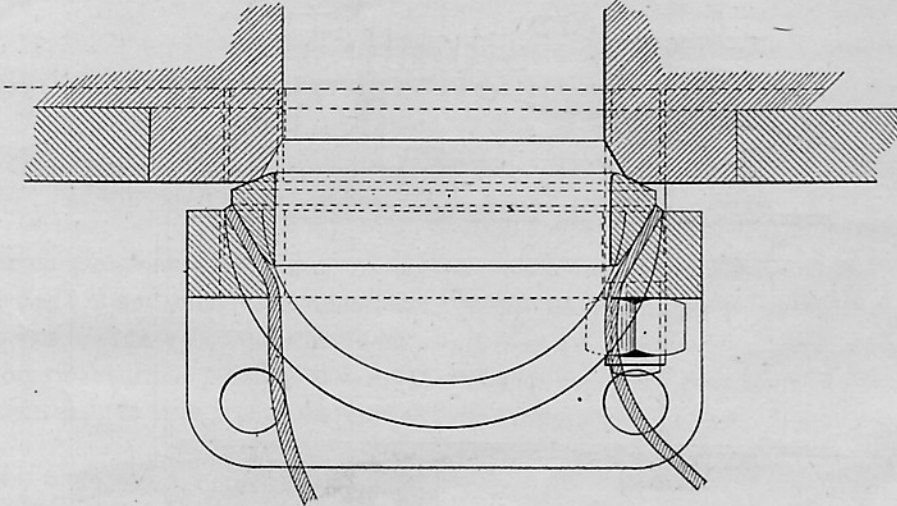
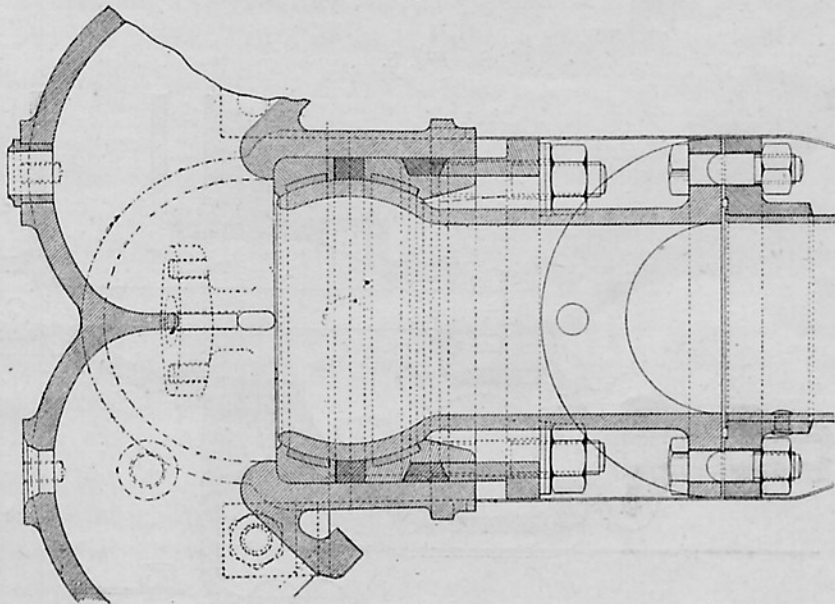


Fig. 3.



L'extrémité avant du Reciver est en bronze et elle peut glisser dans le presse-étoupe de la culotte d'admission des grands cylindres (Voir croquis N° 4).

Le tuyau horizontal en bronze qui met en communication la culotte d'échappement des grands cylindres avec la colonne fixe d'échappement de la boîte à fumée est disposé à ses extrémités avant et arrière d'une façon semblable pour lui permettre les mêmes mouvements.

Tous ces joints fixes ou mobiles sont d'une étanchéité parfaite.

La tête de mort du régulateur et la culotte des tuyaux de prise de vapeur des petits cylindres s'emmanchent coniquement l'une dans l'autre et sont fixées au dôme au moyen d'un unique boulon. Le croquis N° 5 donne l'ensemble de ce dispositif simple et dont l'étanchéité est absolue.

Fig. 4.

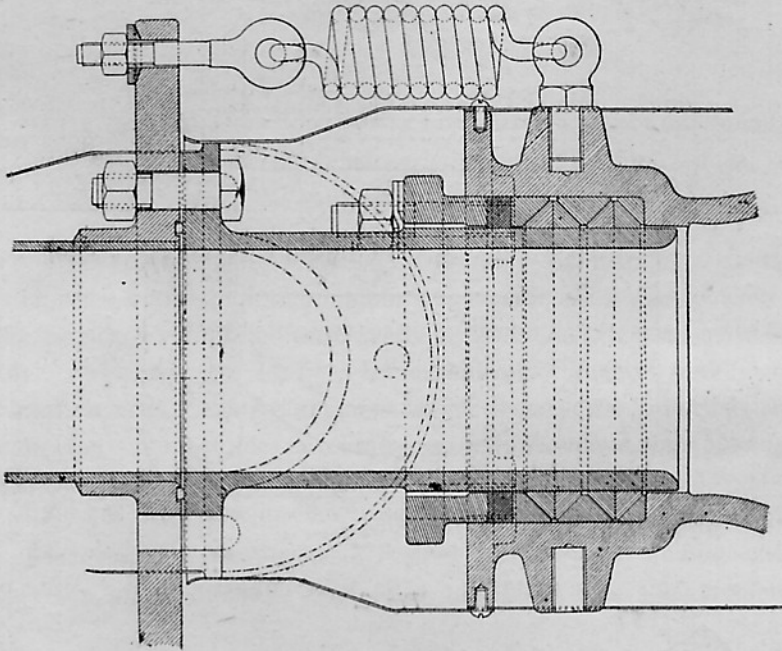
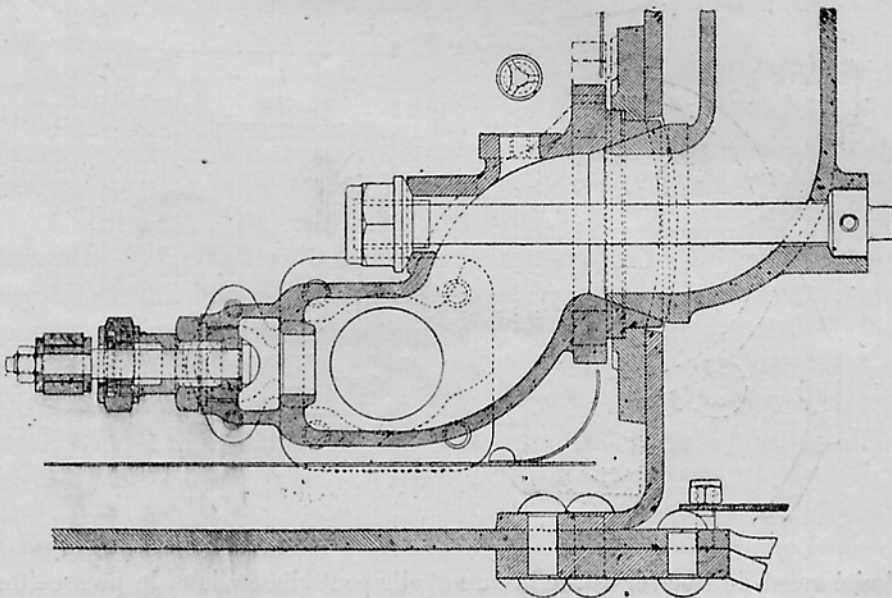


Fig. 5.



Appareils spéciaux. — *Robinet de démarrage.* — Lors du démarrage, c'est-à-dire quand la marche est à fond de course, l'admission directe de la vapeur aux grands cylindres se fait automatiquement au moyen d'un robinet commandé par le changement de marche qui, ouvert, fait communiquer la boîte à vapeur des petits cylindres avec le Reciver.

En relevant la marche le robinet se ferme peu à peu et l'est complètement quand le cran de marche se trouve à la 6^e division $1/2$ de la réglette. A partir de ce moment le fonctionnement Compound commence.

La pression maximum dans le Reciver ne peut dépasser 6 kilos. Cette limite de pression est assurée par une soupape d'échappement à charge directe fixée sur la culotte d'échappement des cylindres admetteurs.

Injecteurs. — Les injecteurs sont du type Friedmann Lavezzari, série H, aspirants et à réamorçage automatique. Leur débit est tel qu'on peut, avec un seul appareil en marche, alimenter d'une façon continue la chaudière quand la machine développe son travail maximum.

Frein continu. — La machine est munie du frein à vide automatique (The Vacum Breack Company), que nous avons complété par l'addition d'une soupape de modérabilité permettant d'arriver à créer et à maintenir facilement une résistance constante proportionnelle à la pente descendue et à la charge du train remorqué.

La timonnerie, articulée pour le truck avant, commande 8 sabots qui agissent sur les deux derniers essieux de chaque groupe de roues couplées.

Sablère à vapeur. — Chaque machine porte la sablière à vapeur double Gresham et Craven qui répand le sable sous les roues du premier essieu de chaque groupe. La prise de vapeur est *commune*, mais la mobilité du truck avant nous a obligé à réserver la sablière installée sur la chaudière, à l'arrière du dôme, pour desservir le truck arrière et à installer deux autres récipients à sable, l'un à droite et l'autre à gauche du truck avant, destinés à desservir ce truck.

Frein à répression. — En outre, pour arriver à descendre, en toute sécurité les trains lourds sur les longues pentes continues du réseau, chaque machine est munie d'un frein spécial à répression d'air. Son dispositif permet, lors de la descente des pentes, d'aspirer l'air extérieur et en renversant la marche, de le refouler par les grands cylindres dans le Reciver et de là, par les petits jusque dans les tuyaux et la culotte de prise de vapeur du dôme. Cette culotte est munie d'un clapet mobile qui se déplace sous la pression de l'air comprimé de façon à en permettre l'échappement. La course du clapet est réglée par le mécanicien qui peut, par conséquent, augmenter ou diminuer à volonté la pression de l'air.

Pour réduire la vitesse de son train, il peut relever sa marche vers l'arrière et réduire l'orifice de sortie de l'air comprimé et au besoin même s'opposer à son échappement en fermant complètement le clapet. Mais, dans ce cas, la pression de l'air comprimé ne peut, entre les petits cylindres et la culotte d'admission fixée au dôme de prise de vapeur, dépasser 14 kilos, une soupape à ressort à boudin fixée sur cette culotte se levant à cette pression pour laisser échapper l'air. Dans le Reciver l'air comprimé ne peut dépasser 6 kilos, pression de la soupape de sûreté fixée sur ce tuyau.

L'utilisation de ce frein à répression sur les longues rampes nous a donné jusqu'ici entière satisfaction.

Elle a l'avantage de laisser entière à la disposition du mécanicien, pour le cas de rencontre fortuite d'un obstacle sur la voie, la force retardatrice maxima que peut produire l'action du frein continu à vide automatique.

Niveaux d'eau. — Les fortes rampes et les devers importants dus aux faibles courbes donnaient une importance considérable à la question du niveau de l'eau dans la chaudière. Aussi chaque machine est-elle munie de deux niveaux semblables placés symétriquement sur la face arrière de la boîte à feu et des repaires spéciaux indiquent le niveau d'eau à maintenir dans les montées des rampes maxima pour que dans l'hypothèse du passage brusque de la machine sur une pente égale, le ciel soit toujours recouvert d'une nappe d'eau de 70 m/m.

ESSAIS DES MACHINES

Ces nouvelles machines ont été essayées la première sur la section du réseau qui va de Lavoute-sur-Loire à Yssingaux et les suivantes tant sur cette section que sur celle de Dunières à Montfaucon.

Ces sections comportent de longues rampes de 30^m/m combinées avec des courbes nombreuses de faible rayon dont le minimum, 100 mètres, est atteint fréquemment. Aux essais préliminaires h. l. p. ou avec faibles charges, les machines se sont admirablement comportées, nous n'avons eu à constater non seulement aucun chauffage mais pas le moindre tiédissage d'aucune pièce.

Les essais en charge ont donné les résultats suivants :

Train de 90 tonnes remorqué à la vitesse de 30 kilomètres sur rampes de 30^m/m.

»	100	»	»	»	27	»	»	»
»	125	»	»	»	24	»	»	»
»	155	»	»	»	15	»	»	»
»	160	»	»	»	13	»	»	»

La composition des deux derniers trains était

de 16 wagons pour le train de 155 tonnes, longueur 104 mètres.
de 20 » » 160 » » 130 »

Ces trains se trouvaient le plus souvent inscrits en même temps en courbes et contre-courbes et fréquemment même dans trois courbes et contre-courbes de 100 mètres de rayon, inscription qui augmente considérablement la résistance.

Pendant les deux derniers essais, l'alimentation par un injecteur avait lieu d'une façon continue, la pression a été maintenue constamment à 14 k^{os} en brûlant de la briquette de qualité très ordinaire.

Ces machines malgré leur grande longueur 10^m710 de tampon à tampon, s'inscrivent avec la plus grande facilité dans les courbes de 100 mètres. Elles peuvent passer dans des courbes de 60 mètres ainsi que nous l'avons expérimenté lors de la mise en service de la première machine qui, pour rentrer au dépôt, devait passer sur une voie provisoire comportant une courbe de ce rayon.

Les cinq machines de ce type actuellement en service répondent absolument au programme que nous nous étions imposé et si leur nombre était reconnu insuffisant pour la remorque des trains lourds, nous n'hésiterions pas à en accroître le nombre.

Les essais précités seront parachevés dès l'ouverture complète du réseau qui doit avoir lieu sous peu. C'est en effet sur la partie non encore exploitée que se trouvent les longues rampes de 32^m/m,5 sur lesquelles nous n'avons pu encore circuler avec ces nouvelles machines.

LOCOMOTIVE TENDER SYSTEME MALLET

Fig. 1. — Coupe longitudinale

Echelle au 1/30^e

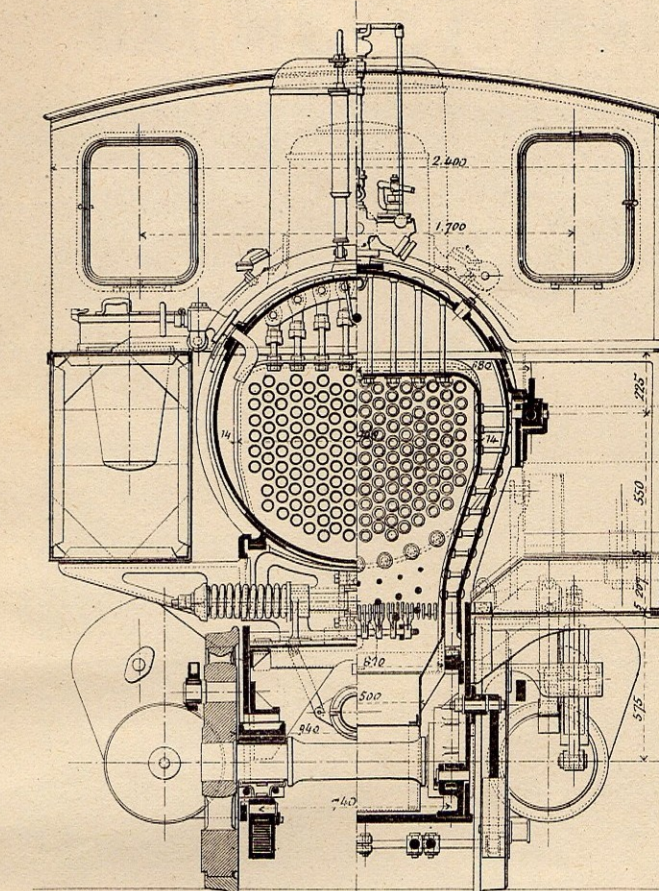
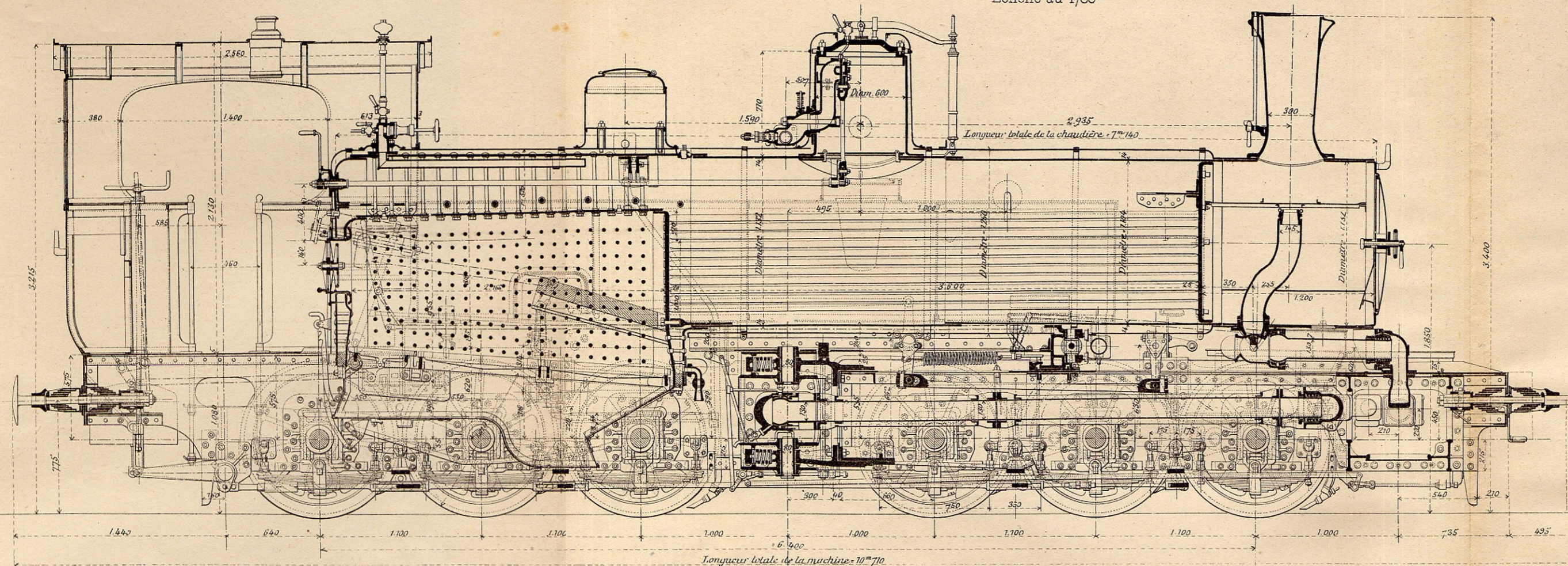
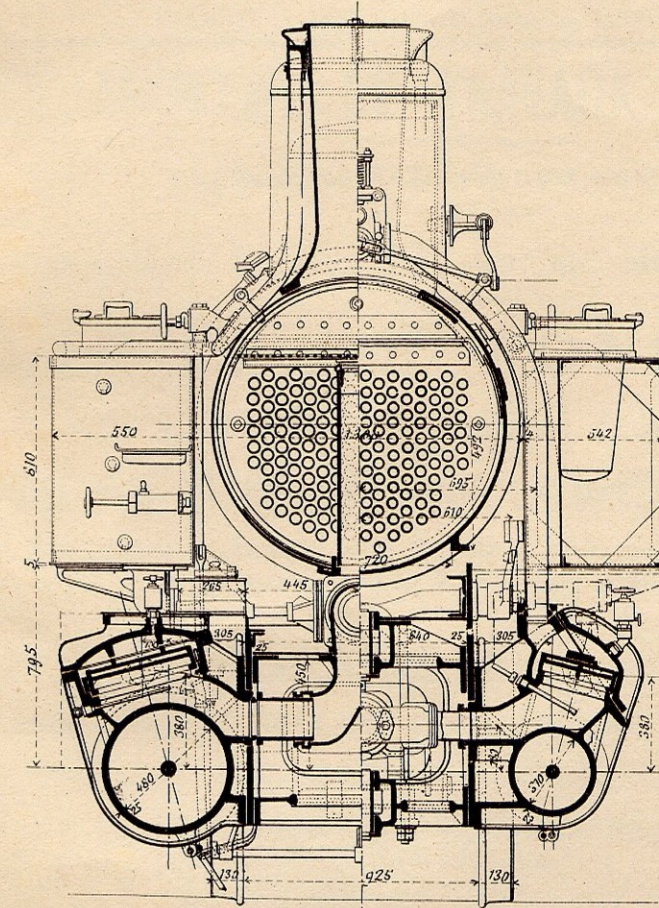
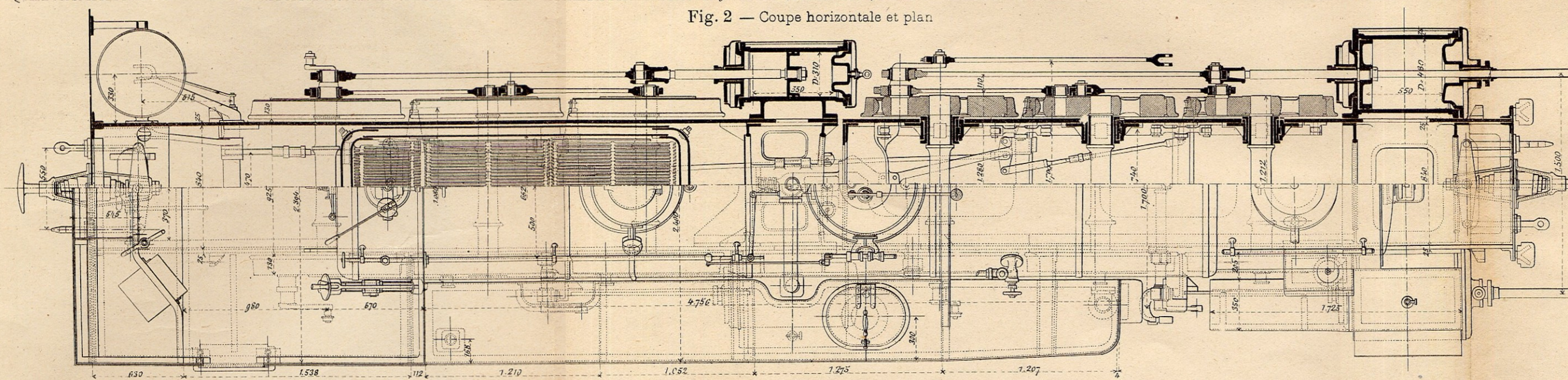


Fig. 2 — Coupe horizontale et plan



LÉGENDE

Voie	1.000 ^m /m	Empattement fixe	2.200 ^m	Course des pistons	550 ^m	Surface de la grille	1,5 ^m ²	Poids de la machine à vide	
Diamètre des petits cylindres	310	Empattement total	6.400	Surface de chauffe directe	7,8 ^m ²	Eau dans la chaudière	3,100 ^m ³	env.	37 ^t 3
Diamètre des grands cylindres	480	Timbre de la chaudière	14 ^{atm}	d° indirecte	77,5	Eau dans les soutes	4,000	Poids de la machine en service	
Diamètre des roues	1.010	Nombre de tubes. D ^{no} 41 45 ^m	152	d° totale	95,3	Charbon	1,000	env.	44 ^t 3