

# LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE A GRANDE VITESSE

## DE LA COMPAGNIE PARIS-LYON-MÉDITERRANÉE

Par M. AUVERT.

INGÉNIEUR DU SERVICE CENTRAL DU MATÉRIEL.



(Pl. XXVI à XXVIII).

### SOMMAIRE.

- I. Préliminaires. — II. Traction électrique sur l'embranchement minier de Montmartre à la Béraudière, près St-Étienne. — III. Chemin de fer électrique du Fayet à Chamonix et à la frontière suisse. — IV. Description de la locomotive électrique à grande vitesse E-1. — V. Règles à suivre pour conduire la locomotive électrique E-1. — VI. Résultats des premiers essais faits avec la locomotive électrique E-1.

### I. — PRÉLIMINAIRES.

Depuis la fin de l'année 1897, la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée fait circuler, à titre d'essai, sur sa ligne principale de Paris à Melun, une locomotive électrique à grande vitesse que j'ai étudiée sur un programme tracé par M. Baudry, Ingénieur en chef du Matériel et de la Traction.

Cette locomotive a, à peu près, la moitié de la puissance d'une locomotive ordinaire d'express, mais sa puissance est répartie entre deux essieux dont il suffirait de doubler le nombre, sans en changer le type, pour avoir une locomotive de puissance normale.

Elle reçoit son énergie électrique d'une batterie d'accumulateurs qu'elle traîne derrière elle dans un grand fourgon spécial. Il en résulte qu'une notable partie de sa puissance est absorbée par la traction de ce véhicule dont le poids est considérable, mais il est évident que le fourgon à accumulateurs serait remplacé par une charge utile si la locomotive recevait son énergie d'un conducteur placé le long de la ligne, et des essais faits avec le fourgon à accumulateurs on peut conclure ce qu'on obtiendrait avec un conducteur.

L'emploi d'accumulateurs a été ainsi un artifice qui a permis d'étudier et de résoudre, dans une certaine mesure, le problème du locomoteur électrique à grande vitesse, sans engager dès

le début de l'étude la dépense considérable d'une puissante usine électrique et d'un conducteur le long de la voie. Il a toutefois légèrement compliqué le problème à cause des précautions spéciales qu'il faut prendre pour ne pas avarier les accumulateurs par des régimes exagérés de décharge. Mais ce qu'on obtient avec les accumulateurs, on l'obtiendrait plus facilement avec le conducteur.

La locomotive électrique E-1, dont la description fait l'objet principal du présent mémoire, n'est pas la seule contribution que la Compagnie P.-L.-M. ait apportée dans ces dernières années au progrès de la traction électrique. Elle a eu déjà, en effet, l'occasion d'appliquer l'électricité à la traction dans les deux circonstances suivantes :

1° Sur l'embranchement minier de Montmartre à la Béraudière, près St-Étienne, où par suite de l'établissement de boisages dans un souterrain, la circulation des locomotives à vapeur était devenue très difficile, sinon impossible.

2° Sur la nouvelle ligne du Fayet-St-Gervais à Chamonix et à la frontière suisse où l'emploi de l'électricité a paru avantageux à cause des difficultés exceptionnelles du profil et de la possibilité de produire économiquement l'énergie électrique en utilisant les chutes de l'Arve.

La *Revue Générale* a parlé dans son numéro d'octobre 1894 de la traction électrique sur l'embranchement minier de Montmartre à la Béraudière.

Avant d'aborder la description de la locomotive électrique à grande vitesse, nous croyons intéressant de rappeler en quelques mots ce premier essai à très petite vitesse et de donner quelques indications sur les conditions dans lesquelles la traction électrique sera appliquée sur la ligne de Chamonix.

## II. — TRACTION ÉLECTRIQUE SUR L'EMBRANCHEMENT MINIER DE MONTMARTRE A LA BÉRAUDIÈRE, PRÈS SAINT-ÉTIENNE.

L'embranchement minier de Montmartre à la Béraudière, affecté spécialement au transport des charbons provenant des puits Ferrouillat et St-Dominique de la Compagnie, des Mines de Montrambert, était jusqu'en 1894, desservi par des locomotives à vapeur du type de celles qui font les manœuvres dans les gares.

En 1893, il se produisit, par suite des travaux de fond effectués dans les mines, des tassements importants qui firent craindre l'éboulement d'un souterrain situé sur cet embranchement près de la gare de Montmartre.

On décida de boiser le souterrain sur 150 mètres de longueur, mais ce boisage ne devant plus laisser un espace suffisant pour le passage des locomotives ordinaires, on résolut en même temps d'installer la traction électrique depuis l'origine du souterrain jusqu'à la Béraudière.

L'ensemble du système adopté était le suivant :

Une usine d'électricité fournissait à la tension de 360 volts, un courant continu à un conducteur nu placé près du sol latéralement à la voie sur des supports isolants et relié au pôle positif de la dynamo génératrice.

Une petite locomotive électrique à deux essieux, du poids de 15 tonnes, recevait le courant au moyen de frotteurs en fer glissant sur le conducteur latéral.

Le retour du courant se faisait par les rails de la voie, reliés au pôle négatif de la dynamo génératrice.

La locomotive électrique, qui avait été obtenue par la transformation d'un fourgon à bagages, ne présente qu'un intérêt médiocre à cause de la faible puissance développée à la jante des roues motrices, trente chevaux environ, et de sa vitesse de marche très réduite, sept à huit kilomètres à l'heure.

On en trouvera la description dans le N° d'Octobre 1894 de la *Revue Générale*.

Le conducteur isolé servant à transmettre l'énergie électrique à la locomotive était constitué par une file de rails de 34 kilogs environ le mètre courant, placés sur des tasseaux en bois paraffiné, fixés eux-mêmes sur des sommiers en bois reposant sur les extrémités des traverses.

La partie supérieure de ce conducteur se trouvait à 229 mm. au-dessus du niveau des rails et à 320 mm. de l'axe du rail voisin.

Les extrémités des rails conducteurs avaient été soigneusement nettoyées au moment de la pose, ainsi que les éclisses, et on avait interposé entre chaque éclisse et la partie correspondante du rail, une mince feuille de cuivre rouge.

Ce système très simple a suffi pour assurer dans d'excellentes conditions la continuité électrique et on a pu constater que l'isolement était très satisfaisant même en cas de pluie et de neige et malgré la poussière de houille qui tombait des wagons sur les supports isolants.

La possibilité d'établir économiquement et solidement le long des voies de chemins de fer des conducteurs électriques de grande section, convenablement isolés, était ainsi démontrée.

La traction électrique a fonctionné sur l'embranchement de Montmartre à la Béraudière depuis le commencement de l'année 1894 jusqu'en mai 1896.

Le souterrain de Montmartre qui menaçait ruine est aujourd'hui complètement abandonné, et les puits Ferrouillat et St-Dominique sont desservis par un nouvel embranchement partant de la gare de Bellevue (ligne de St-Étienne à Langeac), et sur lequel la traction se fait au moyen de locomotives à vapeur ordinaires.

### III. — CHEMIN DE FER ÉLECTRIQUE DU FAYET A CHAMONIX ET A LA FRONTIÈRE SUISSE.

La Compagnie P.-L.-M. va prochainement commencer la construction, dans le département de la Haute-Savoie, d'une ligne à voie de 1 mètre allant du Fayet, près de Saint-Gervais-les-Bains, à la frontière suisse, en passant par Chamonix. Cette ligne, dont la longueur sera de 38 kilomètres, remontera la vallée de l'Arve pendant 30 kilomètres environ, à partir du Fayet, et comme il est relativement facile d'aménager sur l'Arve de puissantes chutes d'eau, on a décidé d'utiliser la force ainsi disponible, en l'employant par l'intermédiaire de l'électricité, à la traction sur la nouvelle ligne.

Le système de traction adopté est le suivant :

#### **Installations fixes.**

La première section, du Fayet à Chamonix, sera complètement indépendante de la deuxième section, de Chamonix à la frontière suisse, laquelle ne sera probablement ouverte à l'exploitation que postérieurement.

### **Section du Fayet à Chamonix.**

Cette première section sera alimentée en énergie électrique par deux usines génératrices placées, l'une, près du kil. 5 (usine de Servoz), l'autre, près du kil. 8 (usine des Chavants).

*Usine de Servoz.* — L'usine de Servoz produira du courant continu à la tension de 550 volts.

Elle comprendra 4 dynamos de 200 kilowatts à excitation compound, actionnées chacune directement par une turbine centripète à axe horizontal de 325 chevaux. Deux dynamos auxiliaires de 40 kilowatts, dont une de réserve, actionnées chacune directement par une turbine centrifuge à axe horizontal de 60 chevaux, serviront d'excitatrices pour les grosses dynamos génératrices.

Le service du chemin de fer sera normalement assuré par trois dynamos de 200 kilowatts, la quatrième servant de réserve.

Le pôle négatif des dynamos génératrices sera relié aux rails de la voie du chemin de fer.

Le pôle positif sera relié à un conducteur de prise de courant établi latéralement à la voie près du sol.

Ce conducteur sera constitué par un rail d'acier semblable à ceux de la voie courante, supporté par des isolateurs en grès et fonte, fixés directement sur les traverses au moyen de tirefonds.

Des joints spéciaux assureront la continuité électrique du conducteur isolé et des rails de la voie.

*Usine des Chavants.* — L'usine des Chavants aura une disposition analogue à celle de l'usine de Servoz.

Elle comprendra 4 dynamos de 200 kilowatts à excitation compound, actionnées chacune directement par une turbine centripète à axe horizontal de 325 chevaux. Comme à l'usine de Servoz, deux dynamos auxiliaires de 40 kilowatts, dont une de réserve, actionnées chacune directement par une turbine centrifuge à axe horizontal de 60 chevaux, serviront d'excitatrices pour les grosses dynamos génératrices. Trois groupes générateurs seront normalement utilisés pour le service du chemin de fer et le quatrième groupe servira de réserve.

Le pôle négatif des dynamos génératrices sera relié aux rails de la voie, au kilomètre 9, tandis que le pôle positif sera relié au conducteur de prise du courant par un conducteur aérien établi le long de la ligne et d'une longueur telle que le point de jonction sera reporté au kilom. 13.

La tension maxima aux bornes des dynamos sera de 670 volts environ ; cette tension sera variable automatiquement suivant le débit, mais la différence de tension entre le point de jonction du conducteur positif aérien avec le conducteur de prise de courant, et le point de jonction du conducteur négatif avec les rails de la voie, sera sensiblement constante et égale à 550 volts.

### **Section de Chamonix à la frontière suisse.**

La disposition des installations électriques fixes de la section de Chamonix à la frontière suisse n'est pas encore définitivement arrêtée, mais elle sera vraisemblablement la suivante :

Cette section sera desservie par une seule usine (*l'usine des Tines*) placée près du kilom. 24 et alimentée comme les usines de Servoz et des Chavants par l'eau de l'Arve.

Cette usine aura la même disposition que l'usine des Chavants et la tension aux bornes des dynamos variera de 550 à 700 volts.

Le pôle négatif des dynamos sera relié aux rails de la voie au point le plus voisin, mais le pôle positif sera relié au conducteur de prise de courant, par un conducteur aérien, au point kilométrique 29.200, et la différence de tension entre le point de jonction du conducteur positif aérien avec le conducteur de prise de courant, et le point de jonction du conducteur négatif avec les rails de la voie, sera sensiblement constante et égale à 550 volts.

### **Matériel roulant.**

Les rampes de la ligne du Fayet à Chamonix et à la frontière suisse seront très fortes et atteindront en certains points 80 et même 90  $\frac{m}{m}$  par mètre.

Avec de telles inclinaisons, la traction par locomotives ne pourrait se faire qu'en employant des machines électriques fonctionnant tantôt avec l'aide d'une crémaillère, tantôt par simple adhérence, et analogues aux locomotives à vapeur système Abt.

De telles locomotives pourraient évidemment être construites, mais elles présenteraient forcément un grand nombre de dispositions nouvelles et pour arriver à les faire fonctionner d'une manière irréprochable, il faudrait sans doute procéder à des essais assez longs.

Pour obvier à ces difficultés et éviter l'emploi de crémaillères, on s'est décidé à faire usage exclusivement de véhicules automoteurs ; l'adhérence sera alors largement suffisante pour assurer la marche, même en rampe de 90  $\frac{m}{m}$ .

Comme il sera nécessaire de transporter à la fois un assez grand nombre de voyageurs, au moins dans la section du Fayet à Chamonix, l'exploitation se fera par trains de cinq véhicules au maximum entre le Fayet et Chamonix, et par trains de trois véhicules au maximum entre Chamonix et la frontière suisse. Tous ces véhicules seront munis de deux moteurs à simple réduction de vitesse d'une puissance de 50 chevaux chacun.

Ils seront de trois sortes : des fourgons pour bagages et messageries, des voitures à voyageurs à couloir central et plateforme à chaque extrémité contenant 32 places de voyageurs de 1<sup>re</sup> et 2<sup>e</sup> classes et enfin des wagons à marchandises.

Le premier véhicule de chaque train sera toujours un fourgon, à l'avant duquel se trouvera un compartiment pour le mécanicien qui, ainsi qu'on le verra plus loin, manœuvrera à distance les appareils de tous les véhicules.

Chaque véhicule sera muni de frotteurs qui glisseront sur la partie supérieure du conducteur de prise de courant et recueillera ainsi directement le courant nécessaire au fonctionnement de ses moteurs.

Chaque véhicule sera également muni d'un appareil régulateur placé sur l'une des plateformes et servant à la mise en marche des moteurs en avant ou en arrière, ainsi qu'au réglage du courant.

Chaque régulateur pourra être manœuvré à la main par un agent monté sur la plateforme ; mais lorsque plusieurs véhicules seront attelés derrière un fourgon et formeront un train, leurs appareils régulateurs seront tous manœuvrés simultanément par des servo-moteurs pneumatiques installés sous les châssis des plateformes et reliés au moyen de deux conduites semblables à celles du frein Westinghouse, à un appareil de commande unique sur lequel

agira le mécanicien du train placé dans le compartiment d'avant du fourgon de tête. Ces appareils que nous avons brevetés en février 1895 sont aujourd'hui dans le domaine public. Chaque véhicule sera muni d'un frein à sabots agissant à la manière ordinaire sur les jantes des roues et qui pourra être serré soit directement à la main, par un agent monté sur le véhicule, soit à distance, au moyen de l'air comprimé à la façon du frein Westinghouse.

Toutefois, comme les freins à sabots ont leur action limitée par l'adhérence, ils seraient insuffisants pour obtenir l'arrêt rapide d'un train lancé à une certaine vitesse sur des pentes telles que celles qu'on rencontrera sur la ligne de Chamonix; chaque véhicule sera, en conséquence, muni d'un frein de sûreté supplémentaire constitué essentiellement par deux mâchoires agissant par pression horizontale sur les faces latérales d'un rail surélevé qui sera placé dans l'axe de la voie toutes les fois que l'inclinaison dépassera  $40 \text{ m/m}$ .

On conçoit que l'action d'un tel frein puisse être aussi énergique qu'on le désire.

Ce frein à mâchoires pourra comme le frein à sabots être manœuvré directement à la main, ou à distance au moyen de l'air comprimé.

#### IV. — DESCRIPTION DE LA LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE

##### A GRANDE VITESSE E-1.

La traction électrique sur les chemins de fer ne sera pratiquement possible qu'en utilisant sur les électromoteurs portés par les trains, l'énergie électrique produite dans des usines génératrices fixes et transmise aux locomoteurs par des conducteurs isolés placés le long des voies.

Nous avons vu précédemment que c'est en se basant sur l'emploi de conducteurs que la Compagnie P.-L.-M. a établi le projet de traction électrique sur la ligne de Chamonix, qui va prochainement être mis à exécution.

Des expériences de locomotion à grande vitesse faites dans ces conditions, auraient été extrêmement coûteuses, parce que pour effectuer un parcours tel que celui de Paris à Melun, aller et retour, il aurait fallu construire à titre provisoire, plusieurs puissantes usines génératrices et installer un conducteur isolé de grande section, de près de cent kilomètres de développement.

Par suite des considérations qui précèdent, on a été conduit à séparer en deux parties bien distinctes l'étude de la traction électrique à grande vitesse, la première ayant pour objet la recherche des meilleures dispositions à donner aux électromoteurs et à leurs appareils de manœuvre, la seconde relative à l'établissement des conducteurs électriques le long des voies et à la forme des appareils de prise de courant.

C'est afin de résoudre la première partie du problème, de beaucoup la plus difficile, en s'affranchissant des sujétions qu'aurait causées l'établissement d'un conducteur à titre provisoire, que la Compagnie P.-L.-M. décida en 1893 la construction d'une locomotive électrique à grande vitesse, à laquelle l'énergie électrique serait fournie par une puissante batterie d'accumulateurs placée dans un grand fourgon spécial attelé derrière la locomotive en guise de tender.

Cette locomotive électrique E-1, a été terminée le 14 septembre 1897 et la batterie d'accumulateurs nécessaire à sa marche a été complètement installée dans le fourgon le 5 mai 1898.

### **Disposition générale de la locomotive électrique E-1.**

(Voir les planches XXVI, XXVII et XXVIII).

La locomotive électrique E-1 est montée sur trois essieux dont les roues ont toutes le même diamètre au roulement : 1 m. 100. L'essieu d'avant est seulement porteur ; ses fusées sont intérieures ; ses boîtes à huile sont munies de plans inclinés permettant un déplacement latéral de 15 mm. de part et d'autre de la position moyenne.

Les deuxième et troisième essieux sont moteurs ; leurs fusées sont extérieures ; ils sont indépendants l'un de l'autre et ne peuvent subir aucun déplacement latéral.

La distance d'axe en axe des essieux moteurs est égale à 2 m. 200. La distance d'axe en axe des essieux extrêmes est égale à 6 m. 000

Les essieux moteurs sont actionnés chacun directement par un électromoteur à courant continu dont la disposition spéciale sera décrite plus loin.

Le châssis de la locomotive porte une caisse composée de cinq compartiments distincts :

— Le compartiment d'arrière, placé au-dessus des moteurs, sert d'abri au mécanicien et à son aide.

Dans ce compartiment sont installés tout les appareils nécessaires à la commande, au contrôle et au réglage des moteurs ainsi que la manivelle du frein à main et les robinets de manœuvre du frein à air comprimé.

— Le compartiment d'avant, dont la partie la plus haute ne dépasse pas 1 m. 300 au-dessus du châssis, de manière à ne gêner en rien la vue du mécanicien, renferme un compresseur d'air actionné par un petit électromoteur de cinq chevaux ; cet appareil fournit l'air comprimé nécessaire au fonctionnement du frein Westinghouse, du sifflet et des appareils de mise en marche.

— Des trois autres compartiments, deux, l'un à droite et l'autre à gauche, n'ont qu'une hauteur de 1 mètre environ et contiennent chacun neuf éléments d'accumulateurs.

La batterie formée par la réunion en tension de ces 18 éléments sert à l'excitation des inducteurs des électromoteurs et fournit le courant nécessaire à la compression de l'air, à l'éclairage, etc. Elle peut aussi servir à faire marcher la locomotive à très petite vitesse, 3 à 6 kilomètres à l'heure.

— Le compartiment du milieu, qui a une hauteur de 1 m. 300 au-dessus du châssis, contient un grand rhéostat liquide qui sert à établir ou à interrompre le courant dans les induits des moteurs et qui peut aussi servir à régler l'intensité de ce courant.

Le courant qui traverse les induits des moteurs de la locomotive est fourni normalement par deux batteries d'accumulateurs de 96 éléments chacune, portées par un grand fourgon spécial attelé derrière la locomotive et relié électriquement à celle-ci par quatre câbles conducteurs.

Les conditions principales d'établissement de la locomotive électrique et de son fourgon à accumulateurs sont résumées dans le tableau ci-après.

LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE.

Essieux.....	}	Nombre d'essieux moteurs .....	2
		Diamètre des roues motrices.....	1 <sup>m</sup> .100
		Nombre d'essieux porteurs .....	1
		Diamètre des roues porteuses.....	1 <sup>m</sup> .100
		Distance d'axe en axe des essieux extrêmes.....	6 <sup>m</sup> .000
		Distance d'axe en axe des essieux moteurs.....	2 <sup>m</sup> .200
		Jeu latéral des essieux moteurs de part et d'autre de la position moyenne.....	1 <sup>m</sup> /m
		Jeu latéral de l'essieu porteur de part et d'autre de la position moyenne..	16 <sup>m</sup> /m
		Moyen de rappel de l'essieu porteur.....	plans inclinés au 1/10.
		Électromoteurs.	}
Excitation des inducteurs. ....	séparée et réglable par un rhéostat.		
Différence de potentiel aux balais d'un électromoteur à la vitesse de 500 tours (103 kilomètres à l'heure) avec excitation moyenne des inducteurs.....	360 volts.		
Intensité normale du courant que peut supporter l'induit d'un électromoteur en marche continue.....	700 ampères.		
Puissance effective d'un électromoteur, à la vitesse de 500 tours, correspondant à l'intensité de 700 <sup>A</sup> .....	300 chevaux.		
Accumulateurs.	}	Nombre des éléments d'accumulateurs portés par la locomotive .....	18
		Poids des électrodes d'un élément.....	140 kg.
		Capacité utilisable de ces éléments au régime moyen de 500 ampères.....	1500 ampères-heure.
Poids.....	}	1 <sup>er</sup> Essieu.....	12500 kg.
		2 <sup>e</sup> Essieu.....	16000 kg.
		3 <sup>e</sup> Essieu.....	16000 kg.
		Total.....	44500 kg.

FOURGON A ACCUMULATEURS.

Essieux.....	}	Nombre d'essieux.....	4	
		Diamètre des roues.....	0 <sup>m</sup> .990	
		Écartement des essieux.	1 <sup>er</sup> et 2 <sup>e</sup> essieux.....	2 <sup>m</sup> .100
			2 <sup>e</sup> et 3 <sup>e</sup> essieux. ....	2 <sup>m</sup> .900
			3 <sup>e</sup> et 4 <sup>e</sup> essieux.....	2 <sup>m</sup> .100
			extrêmes .....	7 <sup>m</sup> .100
		Jeu latéral des 1 <sup>er</sup> et 4 <sup>e</sup> essieux.....	1 <sup>m</sup> /m.	
Jeu latéral des 2 <sup>e</sup> et 3 <sup>e</sup> essieux.....	17 <sup>m</sup> /m.			
Moyen de rappel.....	Néant.			



Accumulateurs .	{	Nombre d'éléments d'accumulateurs.....	192
		Poids des électrodes d'un élément.....	90 kg.
		Capacité utilisable au régime moyen de 500 ampères....	1000 ampères-heure.
Poids.....	{	1 <sup>er</sup> Essieu.....	11500 kg.
		2 <sup>e</sup> Essieu.....	11500 kg.
		3 <sup>e</sup> Essieu.....	11400 kg.
		4 <sup>e</sup> Essieu.....	11400 kg.
		Total.....	<hr/> 45800 kg.

**Description des électromoteurs.**

(Voir la planche XXVIII).

Chaque essieu moteur est actionné par un moteur électrique bipolaire à courant continu dont l'induit est calé directement sur son axe. Ce moteur est entièrement symétrique par rapport au plan vertical passant par l'axe longitudinal de la locomotive et comporte par suite deux collecteurs.

Le système inducteur se compose de deux gros électro-aimants en fer à cheval, placés l'un en avant, l'autre en arrière de l'essieu, et dont les pièces polaires embrassent la plus grande partie de la surface extérieure de l'induit.

Ces électro-aimants sont en acier doux.

De la culasse de l'un d'eux partent des appendices terminés par des têtes munies de coussinets qui entourent des fusées intérieures ménagées sur l'essieu entre les collecteurs et les moyeux.

De la culasse de l'autre électro, partent des appendices terminés chacun par une sorte de demi-collier concentrique à la fois à la fusée correspondante et à la partie extérieure de la tête de l'appendice en regard.

Un système de bielles, de balanciers et de ressorts à boudin applique fortement les demi-colliers sur les têtes en regard, tout en n'apportant aucun obstacle aux changements possibles d'orientation des électros autour de l'axe de l'essieu.

Il y a lieu de remarquer que les coussinets des appendices n'exercent aucune pression sur les fusées et ne donnent lieu par conséquent, qu'à un frottement très faible.

Chaque électro-aimant est soutenu par deux bielles verticales, attachées aux extrémités d'un balancier horizontal suspendu au châssis par l'intermédiaire d'une tige qui repose sur un ressort à boudin.

La partie supérieure de cette tige est filetée et munie d'un écrou avec lequel on peut régler exactement la position des inducteurs par rapport au châssis.

Grâce à la disposition qui vient d'être décrite, les pièces polaires des inducteurs restent toujours exactement centrées sur l'induit, malgré les oscillations de l'essieu par rapport au châssis.

De plus, ces oscillations ne produisent aucun déplacement appréciable du centre de gravité des inducteurs, et il en résulte que les essieux supportent de la part du système inducteur des réactions beaucoup plus faibles que si ce système formait un ensemble rigide reposant directement sur les essieux.

L'induit est du système Brown à conducteurs enfermés dans l'armature de fer. Cette armature est constituée par des disques minces en tôle de fer empilés sur un manchon en bronze claveté sur l'essieu. Ces disques sont séparés les uns des autres par une mince feuille de papier.

Des plateaux de bronze, solidaires de chaque moitié du manchon et réunis par six boulons isolés traversant les disques, maintiennent ceux-ci fortement serrés les uns contre les autres.

L'ensemble des disques en tôle forme un cylindre de 0<sup>m</sup>.690 de diamètre et de 0<sup>m</sup>.540 de longueur à surface extérieure complètement lisse.

Les conducteurs soumis à l'induction sont constitués par des barres massives de cuivre à section elliptique de 64 millimètres carrés de section enfermées dans des tubes en micanite. Chaque tube est enfilé dans un trou percé dans l'armature très près de la surface extérieure. Ces conducteurs sont au nombre de 150.

De chaque côté de l'induit se trouve un collecteur à touches d'acier, fixé sur l'arbre au moyen d'embrèvements à queue d'aronde.

Quatre systèmes de frotteurs en charbon, à calage fixe, deux pour chaque collecteur, servent à transmettre le courant à l'induit. Enfin toute la partie inférieure des moteurs est protégée par une enveloppe en laiton, disposée de manière à ne pas gêner les oscillations des inducteurs.

Les électromoteurs de la locomotive électrique E-1 ont été construits, d'après des dessins d'ensemble fournis par la Compagnie P.-L.-M., dans les ateliers de MM. Sautter-Harlé et C<sup>ie</sup>, à Paris.

#### Appareils de manœuvre et de contrôle.

Les divers appareils de manœuvre et de contrôle mis à la disposition du mécanicien pour conduire la locomotive électrique E-1 peuvent être classés de la manière suivante :

##### APPAREILS DE MANŒUVRE.

Appareils mécaniques.....	frein à main.
Appareils pneumatiques..	frein automatique.
	frein modérable.
	sifflet.
Appareils électro-pneumatiques.....	changement de marche.
	rhéostat de démarrage.
	disjoncteur automatique.
Appareils électriques.....	commutateur du courant principal.
	coupleur.
	rhéostat de démarrage de la pompe à air.

##### APPAREILS DE CONTRÔLE.

Un ampèremètre indiquant l'intensité du courant total traversant les induits.

Un voltmètre indiquant la tension aux bornes des moteurs.

Deux voltmètres indiquant la tension aux bornes des batteries du fourgon.

Un voltmètre indiquant la tension aux bornes de la batterie de la locomotive.

Un ampèremètre indiquant l'intensité du courant d'excitation.

Un ampèremètre indiquant l'intensité du courant qui alimente le moteur de la pompe.

On voit par l'énumération qui précède, qu'indépendamment des freins automatique et modérable et du sifflet, l'air comprimé est nécessaire au fonctionnement de l'appareil de changement de marche, du rhéostat de démarrage et du disjoncteur automatique.

Les appareils de contrôle ainsi que les freins à main et à air comprimé et le sifflet ne présentent rien de particulier.

### Changement de marche.

(Voir la planche XXVII et les figures ci-après).

L'appareil de changement de marche est manœuvré au moyen d'un levier A qui peut occuper trois positions :

Lorsque ce levier est incliné en avant et à fond de course, il appuie sur la tige d'une soupape *a* qui envoie de l'air comprimé dans deux des cylindres d'un commutateur pneumatique à mercure, lequel établit le courant d'excitation des inducteurs dans le sens voulu pour la marche en avant.

Lorsque le levier est incliné en arrière et à fond de course, il appuie sur la tige d'une deuxième soupape *b* qui envoie de l'air comprimé dans les deux autres cylindres du commutateur pneumatique à mercure, lequel établit le courant d'excitation des inducteurs dans le sens voulu pour la marche en arrière.

Lorsque le levier est vertical, il n'appuie sur aucune des deux soupapes et celles-ci mettent les cylindres du commutateur pneumatique à mercure en communication avec l'atmosphère, et le courant d'excitation des inducteurs est coupé.

La figure 1 montre clairement la disposition du commutateur pneumatique à mercure.

Cet appareil présente ceci de particulier que la fermeture et la rupture du courant d'excitation s'opèrent au moyen d'un bain de mercure dont on fait varier le niveau au moyen de plongeurs actionnés par des pistons sur lesquels agit l'air comprimé.

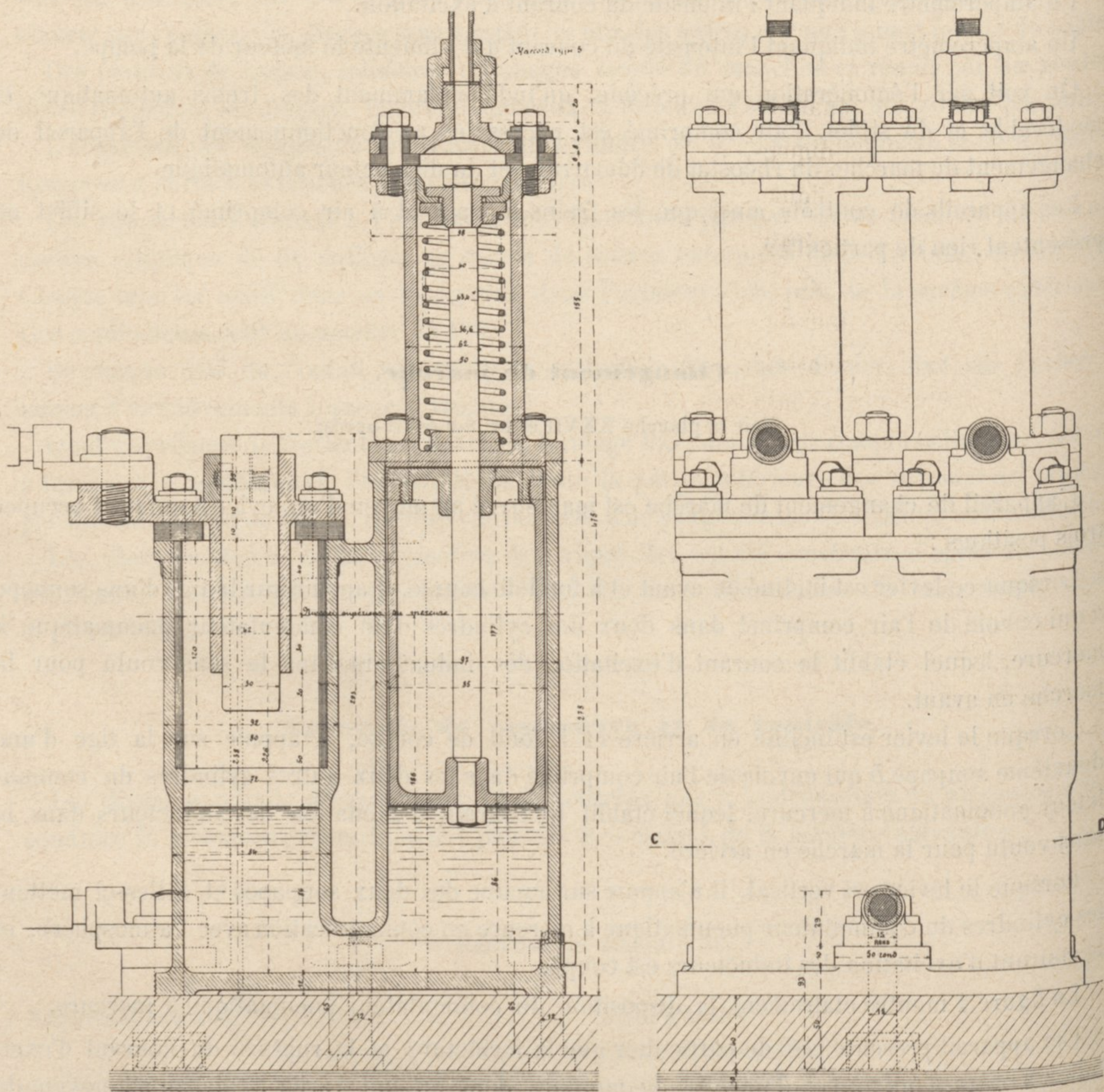
Lorsqu'on élève le niveau du mercure le circuit d'excitation est fermé.

Lorsqu'on veut ouvrir le circuit d'excitation on laisse échapper l'air comprimé et des ressorts convenablement disposés font remonter les plongeurs ce qui a pour résultat d'abaisser le niveau du mercure.

Comme le fonctionnement du commutateur pneumatique exige une ou deux secondes, on risquerait, en portant trop vivement le levier de changement de marche de la position avant à la position arrière ou inversement, de mettre en court circuit la batterie de la locomotive, ce qui aurait de graves inconvénients.

Pour éviter toute chance d'accident provenant d'une manœuvre trop rapide du levier, un verrou électrique *e* placé sur le guide du levier, et actionné par un courant dérivé pris aux bornes des inducteurs, empêche le levier de dépasser la position verticale tant que le courant d'excitation n'est pas coupé.

Fig. 1. — COMMUTATEUR PNEUMATIQUE A MERCURE.



**Rhéostat de démarrage.**

Ce rhéostat, intercalé dans le circuit des induits des moteurs permet de faire varier, d'une façon continue, l'intensité du courant et de l'annuler tout à fait sans production d'étincelles.

Il est constitué par une cuve rectangulaire BB en tôle de fer d'une capacité de deux mètres cubes environ, placée dans le compartiment du milieu, en avant de l'abri du mécanicien ; cette cuve repose sur des tasseaux en bois et caoutchouc et est, par suite, complètement isolée. Dans l'intérieur sont rangées 20 lames de plomb disposées verticalement à la façon des électrodes d'un accumulateur et séparées les unes des autres par un intervalle de dix centimètres.

Dix de ces lames communiquent entre elles et avec l'une des sections du circuit ; les dix autres lames communiquent entre elles et avec la deuxième section du circuit.

Un réservoir en tôle CC, isolé, est suspendu sous le châssis au-dessous de la cuve rectan-

gulaire et communique avec cette dernière au moyen de deux gros tuyaux D de 15 centimètres de diamètre qui pénètrent jusqu'au fond du réservoir; de l'eau, contenant en dissolution une certaine quantité de carbonate de soude, remplit le réservoir inférieur et le fond de la cuve, sans toutefois atteindre le bas des lames de plomb.

Au réservoir est adapté un tuyau sur lequel est monté un robinet à trois voies E, dit robinet de manœuvre, qui permet de mettre le réservoir en communication soit avec l'atmosphère, soit avec un deuxième robinet, à soupape, F. En appuyant sur le levier de ce dernier robinet on met en communication le réservoir inférieur du rhéostat avec le réservoir d'air comprimé de la locomotive, lorsque le robinet de manœuvre a été préalablement mis dans la position convenable, c'est-à-dire lorsque sa poignée est horizontale.

Lorsque cette communication est établie, l'air comprimé pénètre dans le réservoir et refoule l'eau dans la cuve rectangulaire; dès que le niveau de la solution de carbonate de soude atteint le bas des lames de plomb, le courant est établi et son intensité augmente rapidement en même temps que monte le niveau de la solution de carbonate de soude.

Lorsque le niveau est près d'atteindre le haut des lames de plomb, la solution baigne le bas d'une lame auxiliaire en plomb, ce qui a pour effet de fermer un circuit local.

Le courant qui traverse ce circuit, fait fonctionner un appareil spécial qui met en court-circuit les deux séries de lames de plomb du rhéostat et en outre allume une lampe à incandescence, dite lampe témoin, placée devant le mécanicien; le mécanicien est ainsi averti que la cuve est pleine et qu'il faut cesser d'appuyer sur le levier du robinet à soupape.

Lorsqu'on veut interrompre le courant, il suffit de mettre la poignée du robinet de manœuvre dans la position verticale, ce qui a pour effet de laisser échapper l'air qui remplit le réservoir placé au-dessous de la cuve. La solution de carbonate de soude descend rapidement. La lampe témoin s'éteint tout d'abord et le court-circuit est supprimé. La résistance du rhéostat augmente progressivement par suite de l'abaissement du niveau de l'eau et le courant est enfin coupé tout à fait.

NOTA. — Le rhéostat liquide, dont la description précède, sert principalement à établir ou à supprimer progressivement le courant lors des démarrages ou des arrêts. On peut aussi s'en servir pour régler l'intensité du courant en arrêtant le niveau de la solution de carbonate de soude à différentes hauteurs; toutefois ce moyen de réglage de l'intensité du courant ne doit être employé que lorsqu'il est impossible de faire autrement, parce qu'il occasionne une dépense inutile d'énergie.

#### **Disjoncteur automatique.**

Cet appareil a pour but d'empêcher l'intensité du courant débité par les accumulateurs du fourgon d'atteindre une valeur exagérée, soit par suite d'une résistance anormale du train, soit par suite d'une fausse manœuvre de la part du mécanicien, soit pour toute autre cause.

Il est essentiellement constitué de la manière suivante :

Sur chacun des gros conducteurs venant des batteries du fourgon est intercalé un relai électro-magnétique G réglable au moyen d'un ressort que l'on tend plus ou moins. Lorsque l'intensité du courant atteint 1.200 ampères dans l'un ou l'autre des conducteurs, le relai correspondant ferme le circuit d'un électro-aimant tubulaire qui attire vivement son armature, ce qui a pour effet de déclencher une soupape à ressort qui, dans sa position habituelle,

ferme l'orifice d'un tuyau branché sur le tuyau qui relie le réservoir inférieur du rhéostat au robinet de manœuvre. L'air contenu dans le réservoir s'échappe aussitôt, l'eau qui remplissait la cuve redescend dans le réservoir et l'intensité du courant baisse rapidement jusqu'à zéro.

Lorsque le disjoncteur a fonctionné, le mécanicien peut le réenclencher de suite, s'il le juge nécessaire, en appuyant avec le pied sur un levier qui surmonte la soupape.

#### **Commutateur du courant principal.**

Cet appareil n'est autre chose qu'un grand commutateur à deux directions, de forme spéciale, qui permet d'alimenter les électromoteurs, soit avec les batteries du fourgon, soit avec la batterie de la locomotive. Il est manœuvré au moyen d'une poignée H qui peut occuper deux positions. Lorsque la poignée est en avant, les induits des électromoteurs ne peuvent être traversés que par le courant fourni par les batteries du fourgon. Lorsque la poignée est en arrière, les induits des électromoteurs ne peuvent être traversés que par le courant fourni par la batterie de la locomotive.

#### **Coupleur.**

Le coupleur est une sorte de commutateur multiple qui sert à grouper de différentes manières les moteurs de la locomotive et les batteries du fourgon.

Il est manœuvré au moyen d'un levier K qui peut occuper trois positions, 1, 2, 3.

Lorsque le levier est dans la position 1, les deux batteries du fourgon sont couplées en parallèle et les deux moteurs sont couplés en série.

Lorsque le levier est dans la position 2, les deux batteries du fourgon sont couplées en série et les deux moteurs sont couplés en série.

Lorsque le levier est dans la position 3, les deux batteries du fourgon sont couplées en série et les deux moteurs sont couplés en parallèle.

#### **Rhéostat de démarrage de la pompe à air.**

La pompe à air est actionnée par un moteur excité en dérivation qui est gouverné par un rhéostat à manette L servant, non seulement à la mise en route, mais aussi, le cas échéant, au réglage de la vitesse de la pompe.

La manœuvre de ce rhéostat ne présente rien de particulier.

#### **Enclenchements réciproques des appareils de mise en marche.**

Afin d'éviter les fausses manœuvres, qui pourraient avoir des conséquences désastreuses pour la conservation des appareils ou des batteries, les différents appareils de mise en marche sont enclenchés entre eux.

La figure 2 montre la disposition générale des enclenchements des appareils de mise en marche.

Les enclenchements sont disposés de telle sorte que :

Lorsque le levier de changement de marche est incliné en avant ou en arrière, c'est-à-dire lorsque les inducteurs des moteurs sont excités, on peut actionner librement le robinet de manœuvre, mais la manette du commutateur ne peut être changée de position.

Lorsque le levier de changement de marche est vertical, on peut manœuvrer le levier du coupleur ainsi que la manette du commutateur, mais on ne peut remuer la manette du robinet de manœuvre qui occupe nécessairement, alors, la position verticale,

Enfin, lorsque la poignée du robinet de manœuvre est horizontale, le levier de changement de marche et le levier du coupleur ne peuvent être bougés ; il en est de même de la manette du commutateur.

#### Accumulateurs.

Ainsi que nous l'avons dit en commençant, la batterie de la locomotive se compose de 18 éléments et les deux batteries du fourgon se composent chacune de 96 éléments.

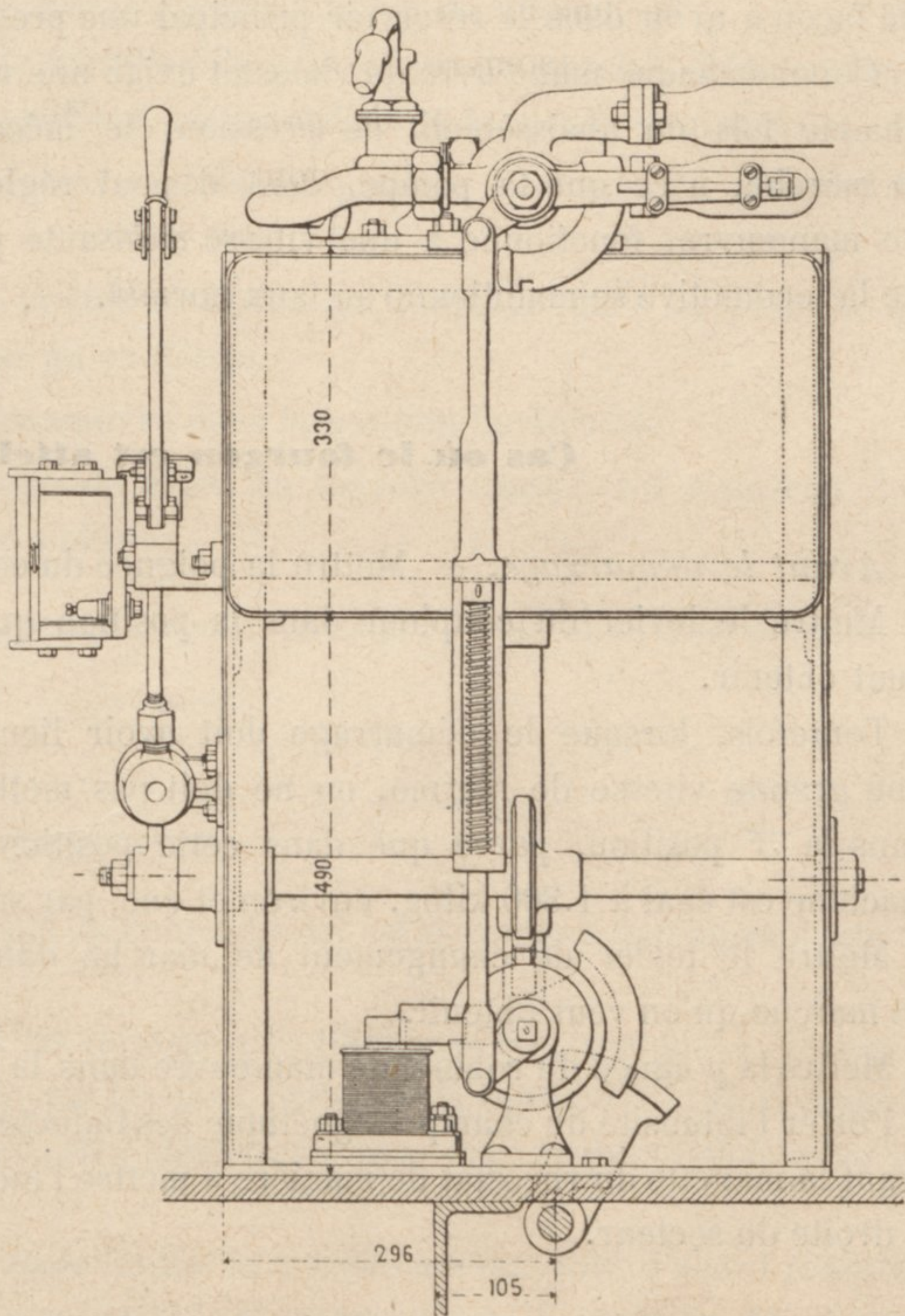
Ces éléments qui sont contenus dans des bacs en bois imprégné doublés de plomb et de celluloid établis par la Compagnie P.-L.-M, ont été construits par la Société des accumulateurs Fulmen, sur un type spécial, en vue des régimes de décharge extrêmement élevés qu'ils ont à supporter.

Les électrodes négatives sont enveloppées dans des sacs en celluloid perforé ; les électrodes positives sont enveloppées dans des sacs en celluloid perforé garnis d'une toile d'amiante à l'intérieur.

Les électrodes positives et négatives sont séparées les unes des autres par des baguettes carrées en celluloid qui maintiennent rigoureusement les intervalles.

Les bacs sont entièrement découverts afin de permettre un contrôle facile de l'état des électrodes et de la densité du liquide.

Fig. 2. — DISPOSITION DES ENCLENCHEMENTS  
DES APPAREILS DE MISE EN MARCHE.



#### V. — RÈGLES A SUIVRE POUR CONDUIRE LA LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE E-1.

En dehors des soins ordinaires de graissage à donner à tous les appareils mécaniques, les règles à suivre pour conduire la locomotive E-1 sont les suivantes :

### Mise en marche et surveillance de la pompe à air.

L'air comprimé étant indispensable au fonctionnement des appareils de mise en route, le mécanicien doit, avant toute autre chose, commencer par mettre la pompe en marche, de façon à avoir dans le réservoir principal une pression de 6 à 7 kilog. environ.

Comme chaque manœuvre du rhéostat exige une assez forte dépense d'air, ce qui détermine chaque fois un abaissement de pression, le mécanicien doit veiller avec soin, pendant la marche, à ce que la pompe, dont il peut régler l'allure en agissant sur son appareil de manœuvre, fonctionne à une vitesse suffisante pour que la pression dans les réservoirs de la locomotive se maintienne au taux normal.

### Cas où le fourgon est attelé à la locomotive.

*Avant le démarrage.* — Mettre la poignée du commutateur dans la position avant.

Mettre le levier du coupleur dans la position qui correspond à la vitesse de régime qu'on veut obtenir.

Toutefois, lorsque le démarrage doit avoir lieu en rampe et qu'on cherche à obtenir une grande vitesse de régime, on ne doit pas mettre immédiatement le levier du coupleur dans la 3<sup>e</sup> position, parce que dans cette position l'effort maximum que peut exercer la machine est égal à 1.300 kilog. environ et que, par suite, le démarrage serait trop lent.

Mettre le levier de changement de marche dans la position qui correspond au sens de marche qu'on veut obtenir.

Mettre la poignée du robinet de manœuvre dans la position horizontale.

Porter l'intensité du champ magnétique des inducteurs à sa plus grande valeur, en manœuvrant la manette du rhéostat de manière à mettre l'index en regard du mot « maximum » placé à droite du secteur.

*Pour démarrer.* — Appuyer sur le levier de la soupape de mise en marche jusqu'à ce que l'ampèremètre du courant total indique une intensité un peu inférieure à 1000 ampères si le levier du coupleur est au cran 1 et une intensité un peu inférieure à 800 ampères si le levier du coupleur est au cran 2 ou au cran 3.

La locomotive se mettant en marche et prenant une vitesse croissante, l'intensité du courant tend à diminuer.

On relève l'intensité en appuyant sur le levier de la soupape de mise en marche.

On continue d'appuyer jusqu'à ce que la lampe témoin s'allume ; on cesse alors d'appuyer sur le levier de la soupape, car à partir de cet instant il est impossible d'augmenter par ce moyen l'intensité du courant.

Ramener peu à peu, au fur et à mesure de l'accroissement de la vitesse, l'intensité du champ magnétique à la valeur qui correspond à la vitesse de régime qu'on veut obtenir, en manœuvrant la manette du rhéostat de manière à ramener l'index de droite à gauche sur le secteur gradué.

Observer, pendant cette opération, les indications du gros ampèremètre parce que la diminution de l'intensité du champ a pour effet immédiat d'augmenter l'intensité du courant total.



*Pendant la marche.* — Lorsqu'on veut maintenir la vitesse de marche dans des limites peu éloignées de la vitesse de régime normale correspondant à une position déterminée du levier du coupleur, on se contente, pour régler la vitesse, d'agir sur le champ magnétique des inducteurs en manœuvrant la manette du rhéostat d'excitation.

Le renforcement de l'excitation des inducteurs produit une diminution de vitesse et, au contraire, la diminution de l'excitation produit une augmentation de vitesse.

Lorsqu'on veut produire une très grande variation dans la vitesse de marche, il faut changer la position du levier du coupleur ; pour y arriver, on procédera de la manière suivante :

1° Mettre la poignée du robinet de manœuvre dans la position verticale et observer les indications du gros ampèremètre.

2° Dès que le courant est tombé à zéro, mettre le levier du coupleur dans la position qui correspond à la nouvelle vitesse de régime qu'on désire.

3° Remettre la poignée du robinet de manœuvre dans la position horizontale.

4° Appuyer sur le levier de la soupape de mise en marche comme s'il s'agissait d'un démarrage jusqu'à ce que la lampe témoin s'allume.

*Pour obtenir un ralentissement important ou pour arrêter.* — 1° Mettre la poignée du robinet d'arrêt dans la position verticale.

2° Serrer le frein.

#### OBSERVATION.

Ainsi que nous l'avons déjà dit, l'intensité du courant total est mesurée à tout instant par un ampèremètre placé devant le mécanicien.

Celui-ci doit veiller à ce que l'intensité ne dépasse pas 1000 ampères, lorsque le levier du coupleur est au cran 2 ou au cran 3, parce que les deux batteries du fourgon sont alors couplées en série et que les éléments pourraient être détériorés par une augmentation exagérée d'intensité du courant.

Pour empêcher l'intensité de dépasser cette limite, le mécanicien doit tout d'abord renforcer l'excitation, au besoin jusqu'à sa valeur maximum, en manœuvrant la manette du rhéostat d'excitation ; si cela ne suffit pas, il doit mettre momentanément la poignée du robinet de manœuvre dans la position verticale, ce qui a pour effet d'introduire une résistance rapidement croissante dans le circuit des induits des moteurs.

Il peut arriver cependant que, par suite d'inattention de la part du mécanicien ou pour toute autre cause, l'intensité croisse au delà de la limite fixée.

Si ce fait vient à se produire, le disjoncteur automatique qui est réglé pour un débit de 1200 ampères par batterie, détermine l'ouverture d'une soupape spéciale ce qui produit le même effet que la manœuvre du robinet d'arrêt et l'intensité du courant tombe rapidement à zéro.

Cette soupape peut d'ailleurs être remise instantanément dans sa position normale par le mécanicien, si celui-ci le juge utile.

#### **Cas où le fourgon n'est pas attelé à la locomotive.**

*Avant le démarrage.* — Mettre la poignée du commutateur dans la position arrière.

Mettre la poignée du coupleur dans la position 1 si on veut obtenir une vitesse de 3 kilomètres

à l'heure environ et dans l'une des positions 2 ou 3, indifféremment, si on veut obtenir une vitesse de 7 à 8 kilomètres environ.

Les opérations suivantes comme dans la marche avec le fourgon.

*Pour démarrer.* — Comme dans le cas de la marche avec le fourgon.

*Pendant la marche.* — Comme dans le cas de la marche avec le fourgon.

*Pour arrêter.* — Comme dans le cas de la marche avec le fourgon.

#### VI. — RÉSULTATS DES PREMIERS ESSAIS FAITS AVEC LA LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE E-1.

La locomotive électrique E - 1 munie seulement des 18 éléments placés dans les compartiments latéraux à l'avant de la cabine, a été essayée pour la première fois sur les voies de l'atelier des machines de Paris le 14 septembre 1897.

Son premier voyage sur la ligne a eu lieu le 26 novembre 1897 entre Paris et Villeneuve-St-Georges, le fourgon à accumulateurs n'étant muni que de 48 éléments.

Depuis cette époque la locomotive E-1 a fait un grand nombre de voyages, d'abord entre Paris et Brunoy, la batterie principale n'étant toujours composée que de 48 éléments, puis entre Paris et Melun avec une batterie de 100 éléments et enfin avec la batterie complète de 192 éléments.

La charge maxima remorquée entre Paris et Melun, aller et retour, a été jusqu'ici de 147 tonnes (non compris la locomotive, mais y compris le fourgon à accumulateurs) à la vitesse moyenne de 45 kilomètres à l'heure.

La vitesse moyenne, avec cette charge relativement grande, ne peut dans les conditions actuelles dépasser beaucoup 45 kilomètres parce que pour ne pas faire débiter aux accumulateurs un courant trop intense, ce qui les mettrait hors de service, on est obligé de marcher au cran 2 du coupleur, c'est-à-dire de maintenir les électromoteurs couplés en série.

En marchant avec les électromoteurs couplés en parallèle, on atteint facilement en palier la vitesse de 100 kilomètres à l'heure avec une charge remorquée de 100 tonnes (non compris la locomotive, mais y compris le fourgon à accumulateurs), et on a reconnu qu'à cette vitesse les électromoteurs se comportaient parfaitement bien et qu'il serait possible de marcher beaucoup plus vite si la différence de potentiel utile, aux bornes des accumulateurs, ne baissait pas notablement lorsqu'on force le débit.

Les électromoteurs peuvent, d'après les constatations faites jusqu'ici, supporter facilement un courant de 700 ampères en marche continue à la vitesse de 500 tours (100 kil. à l'heure environ).

La puissance électrique absorbée par la locomotive E-1 pourrait donc être, *si elle recevait l'énergie au moyen d'un conducteur*, égale à  $2 \times 700 \times 360$  soit 504 kilowatts ou 500 kilowatts en nombre rond.

Comme le rendement des induits des électromoteurs est un peu supérieur à 0,90, la puissance effective de la locomotive E-1 est égale à  $\frac{500 \times 0,9}{0,736}$  soit 611 chevaux.

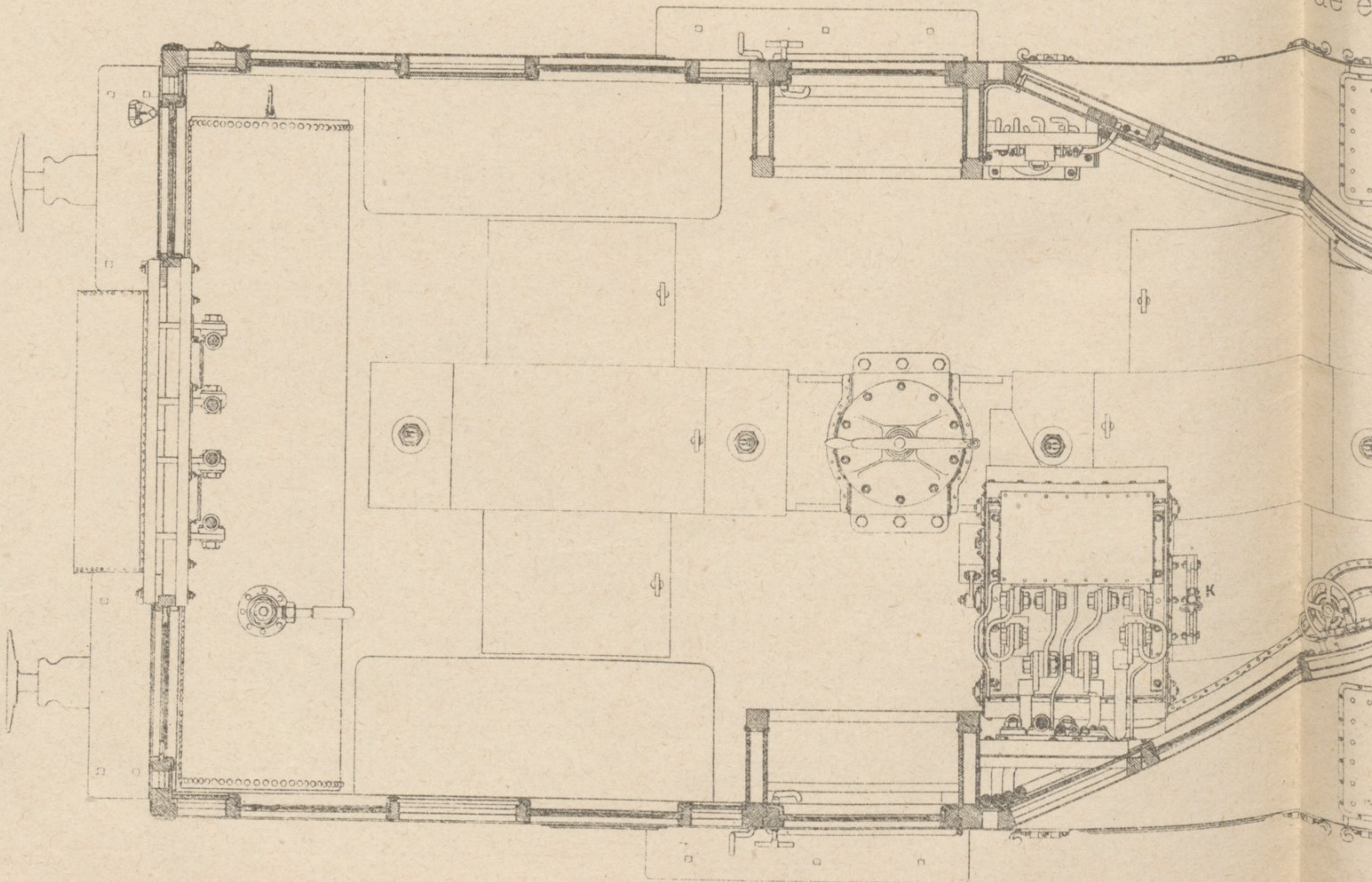
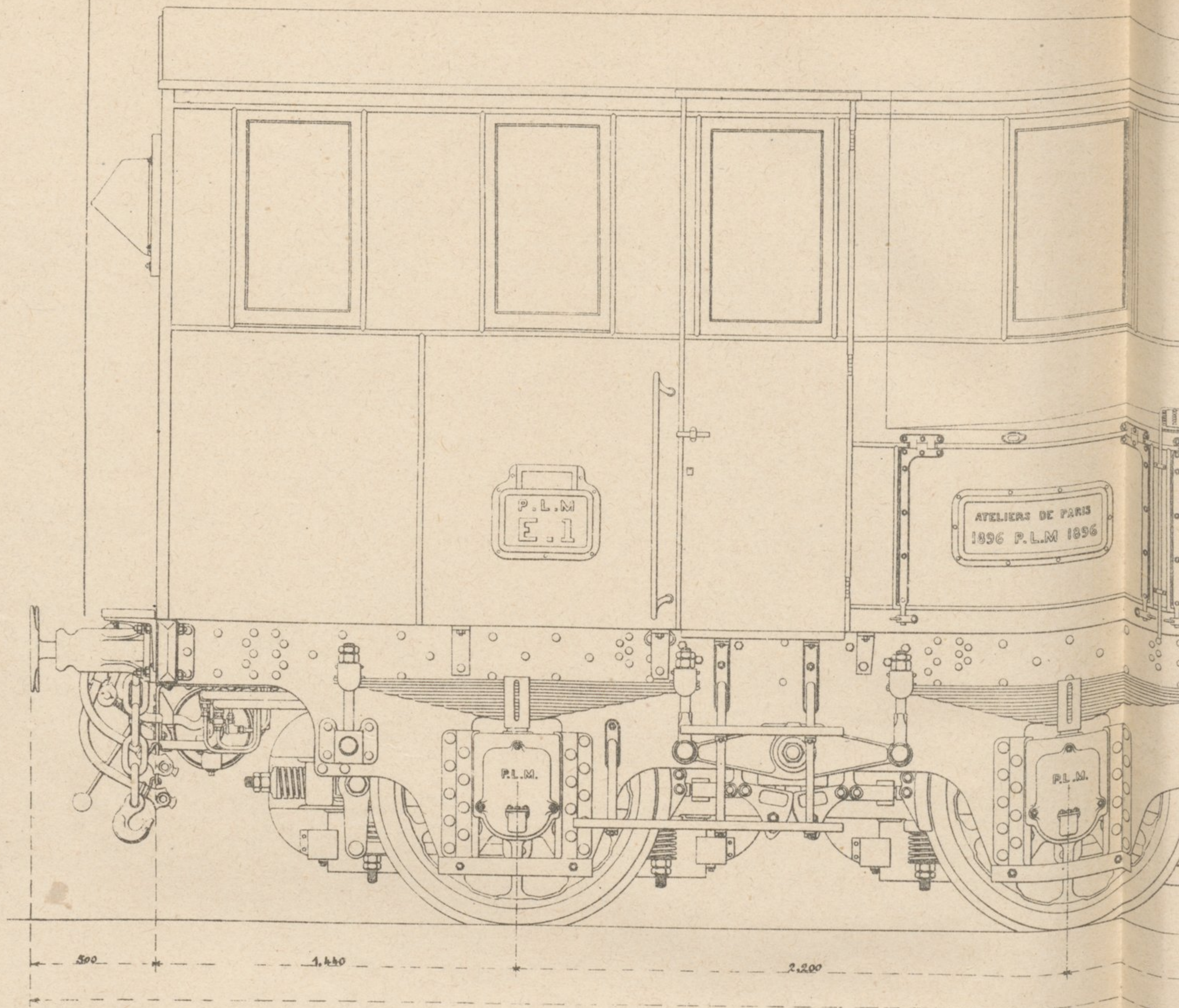
On a constaté que la résistance au roulement de la locomotive électrique était extrêmement

faible, plus faible que celle de la plupart des voitures, car elle ne dépasse pas 4 kil. 5 par tonne à la vitesse de 90 kilomètres à l'heure.

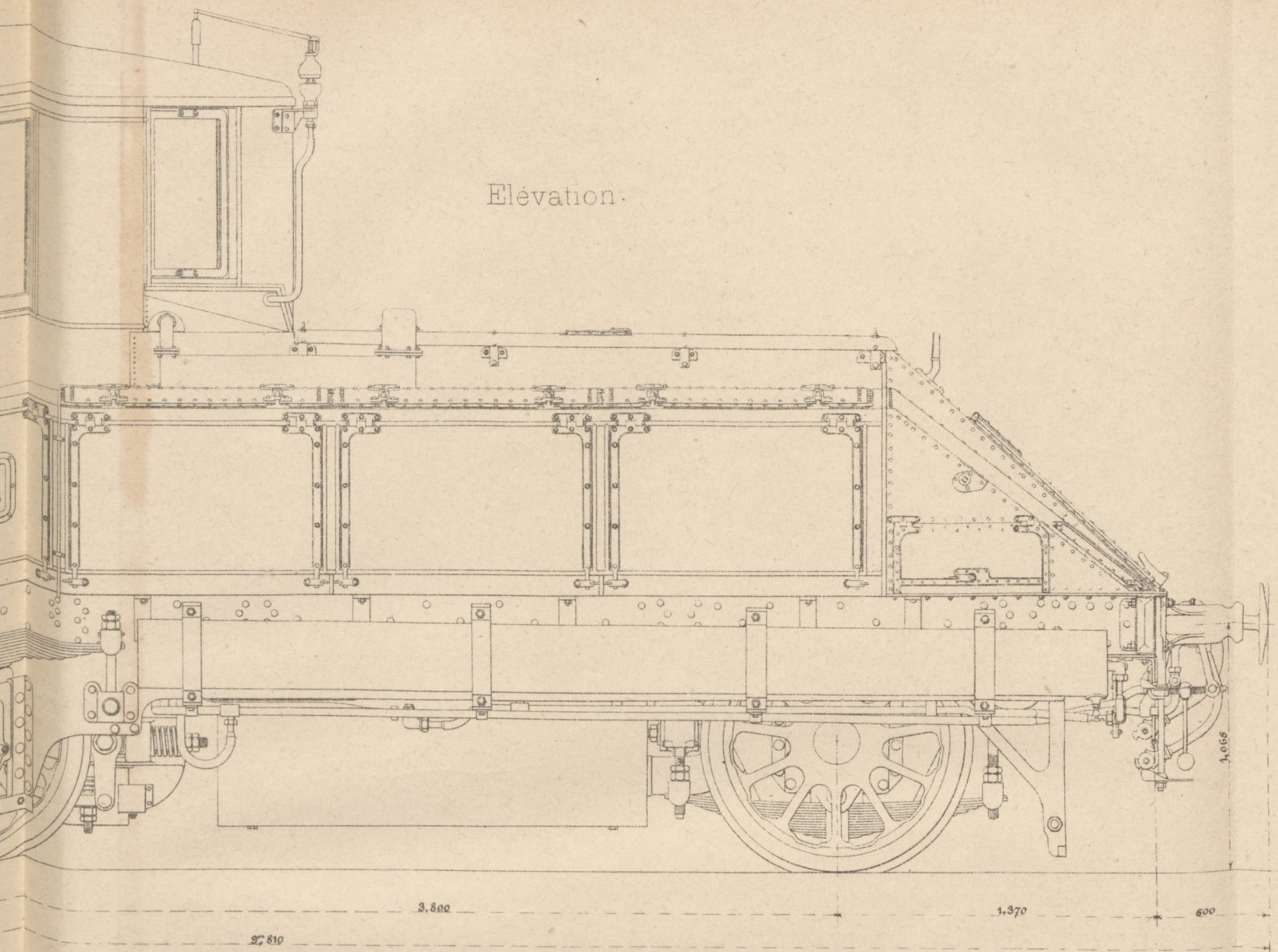
Les divers essais faits jusqu'à ce jour n'ont eu pour but que de vérifier le bon fonctionnement des divers organes mécaniques et électriques de la locomotive et de rechercher la limite de puissance de la batterie d'accumulateurs.

Ils vont être suivis prochainement d'autres essais conduits méthodiquement, qui permettront de déterminer exactement tous les coefficients relatifs aux efforts de traction, rendements, résistance au roulement à diverses vitesses, etc.... éléments indispensables pour établir sur des bases certaines un projet de traction électrique.

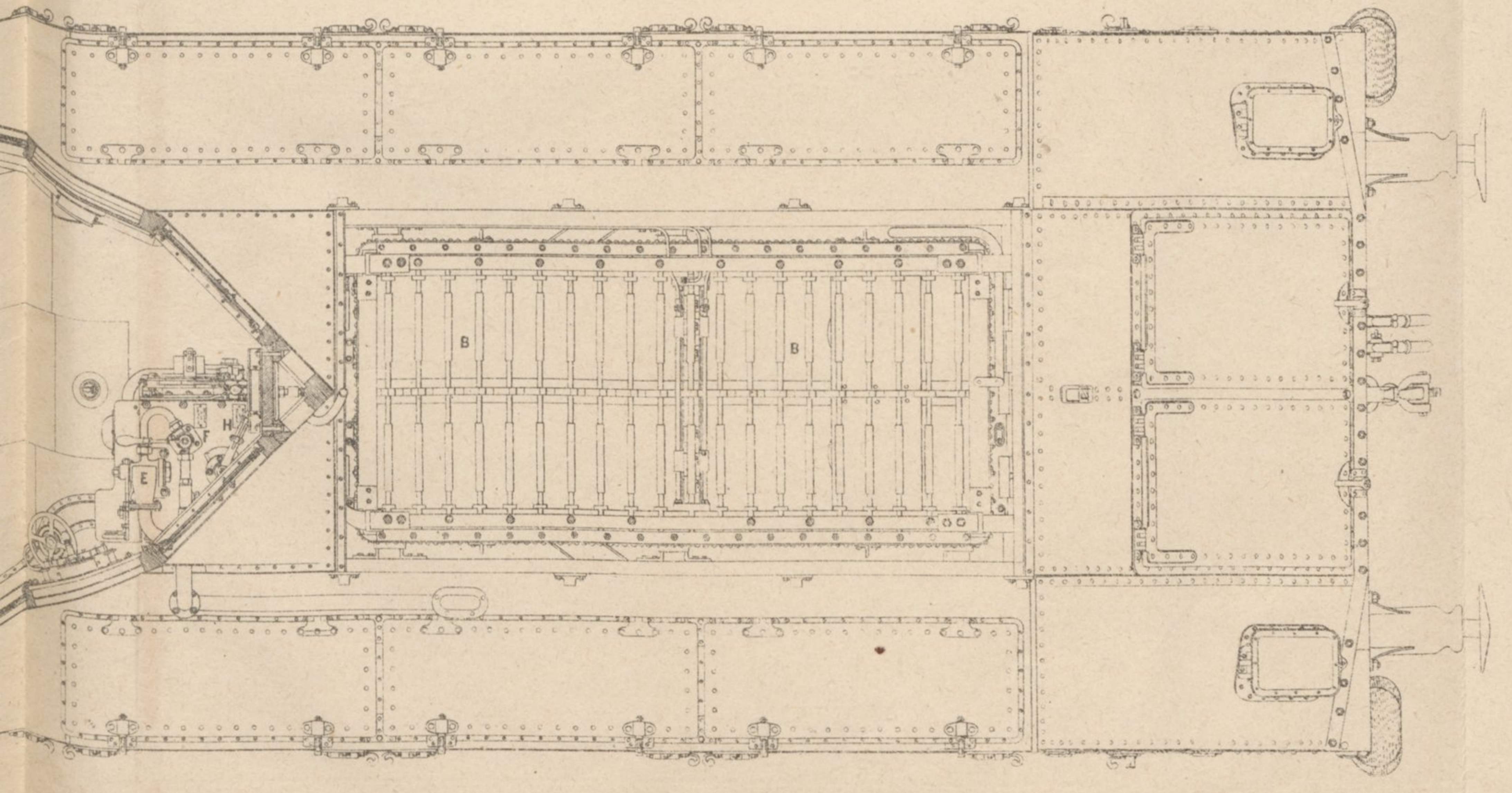
---



ENSEMBLE

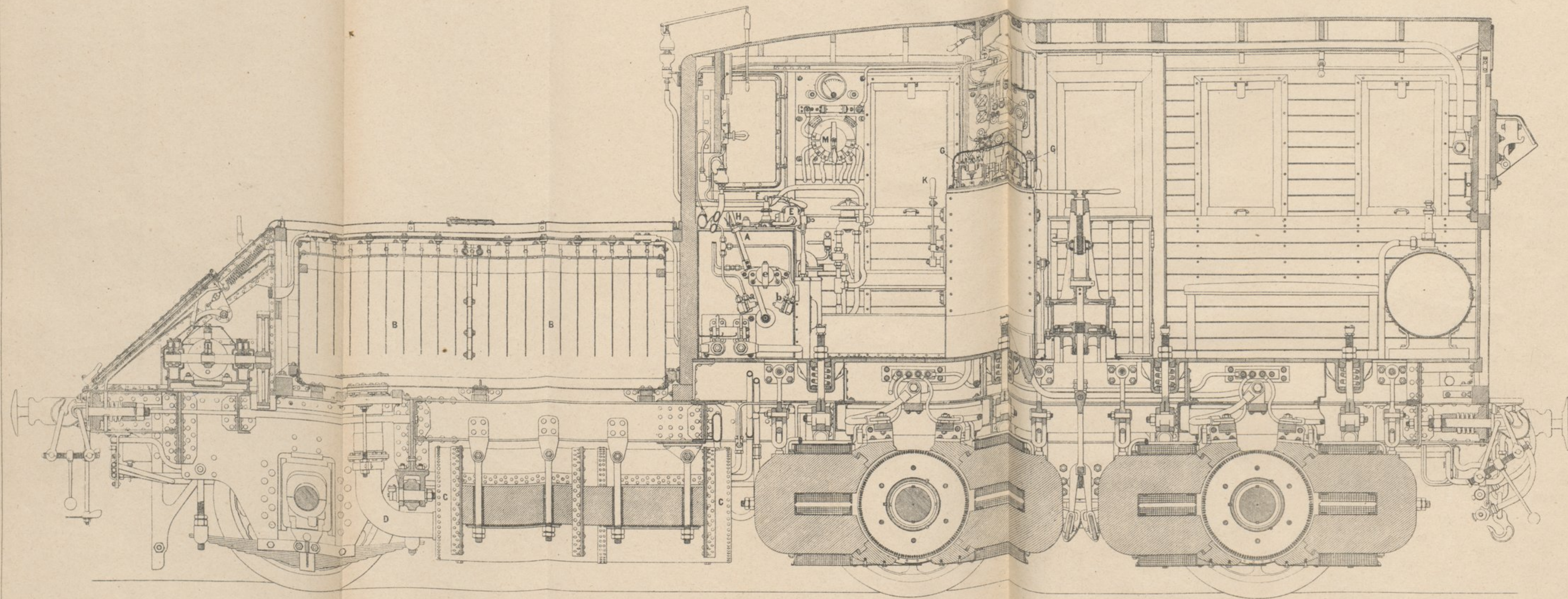


Vue en plan

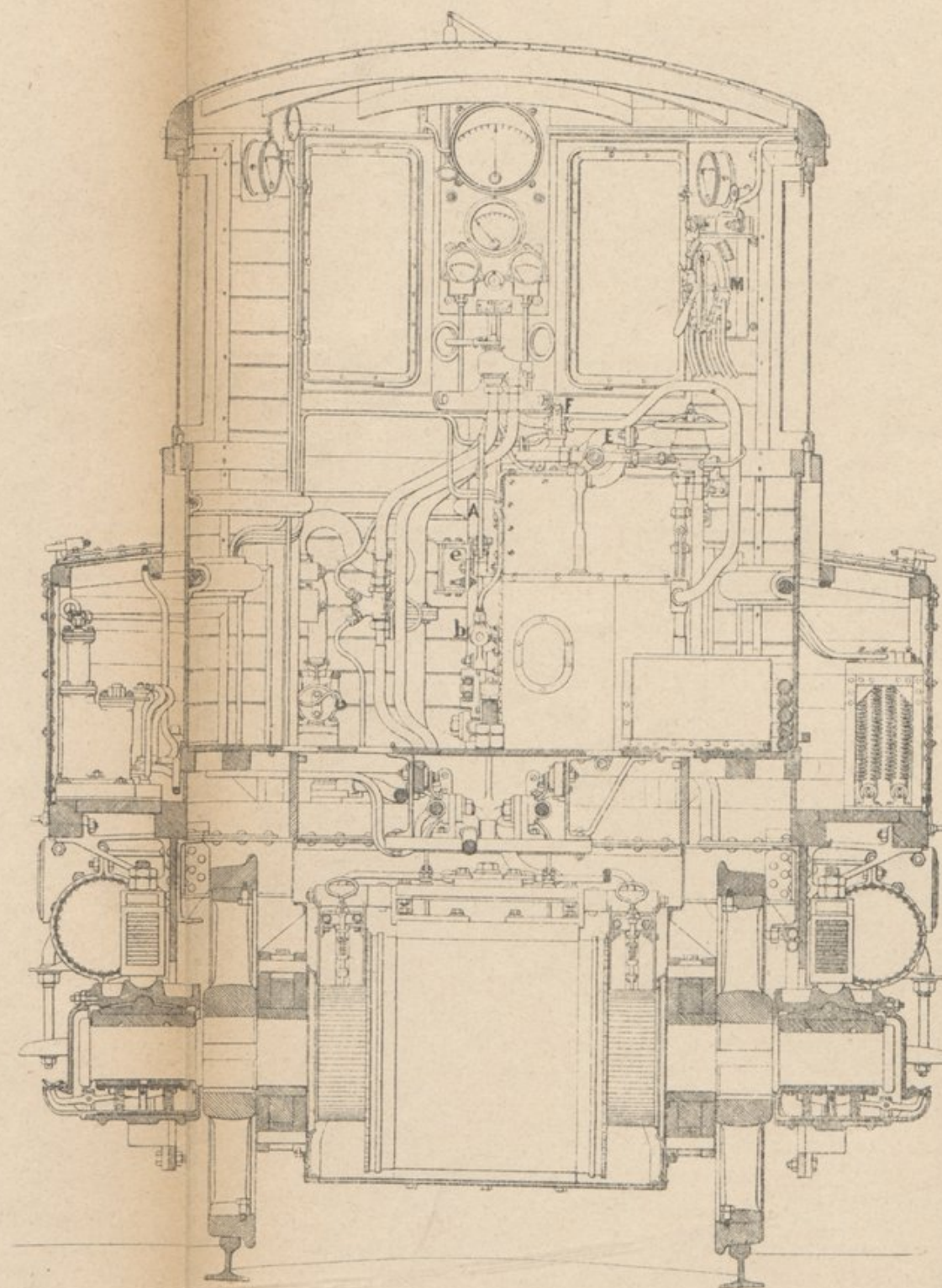


ENSEMBLE

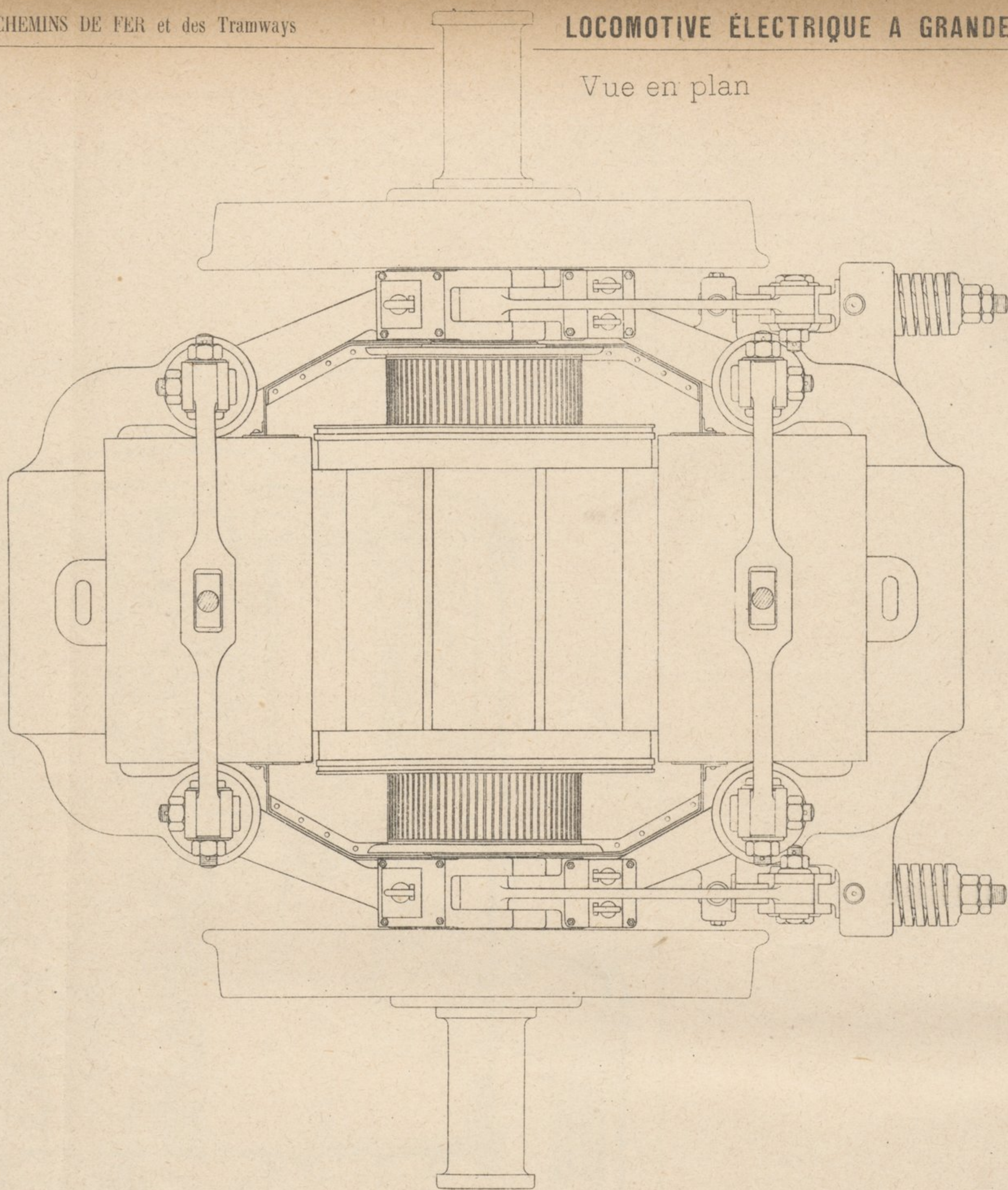
Coupe longitudinale



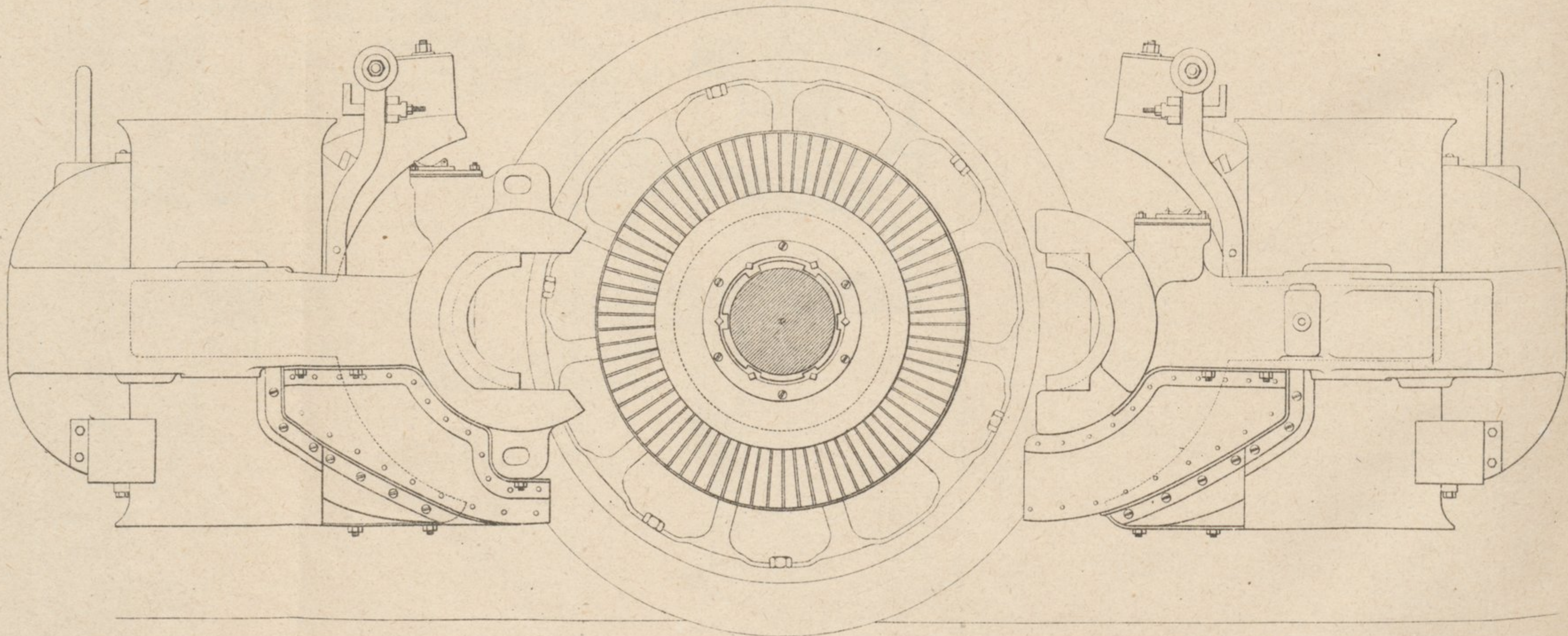
Coupe par l'axe du 2<sup>e</sup> essieu



Vue en plan

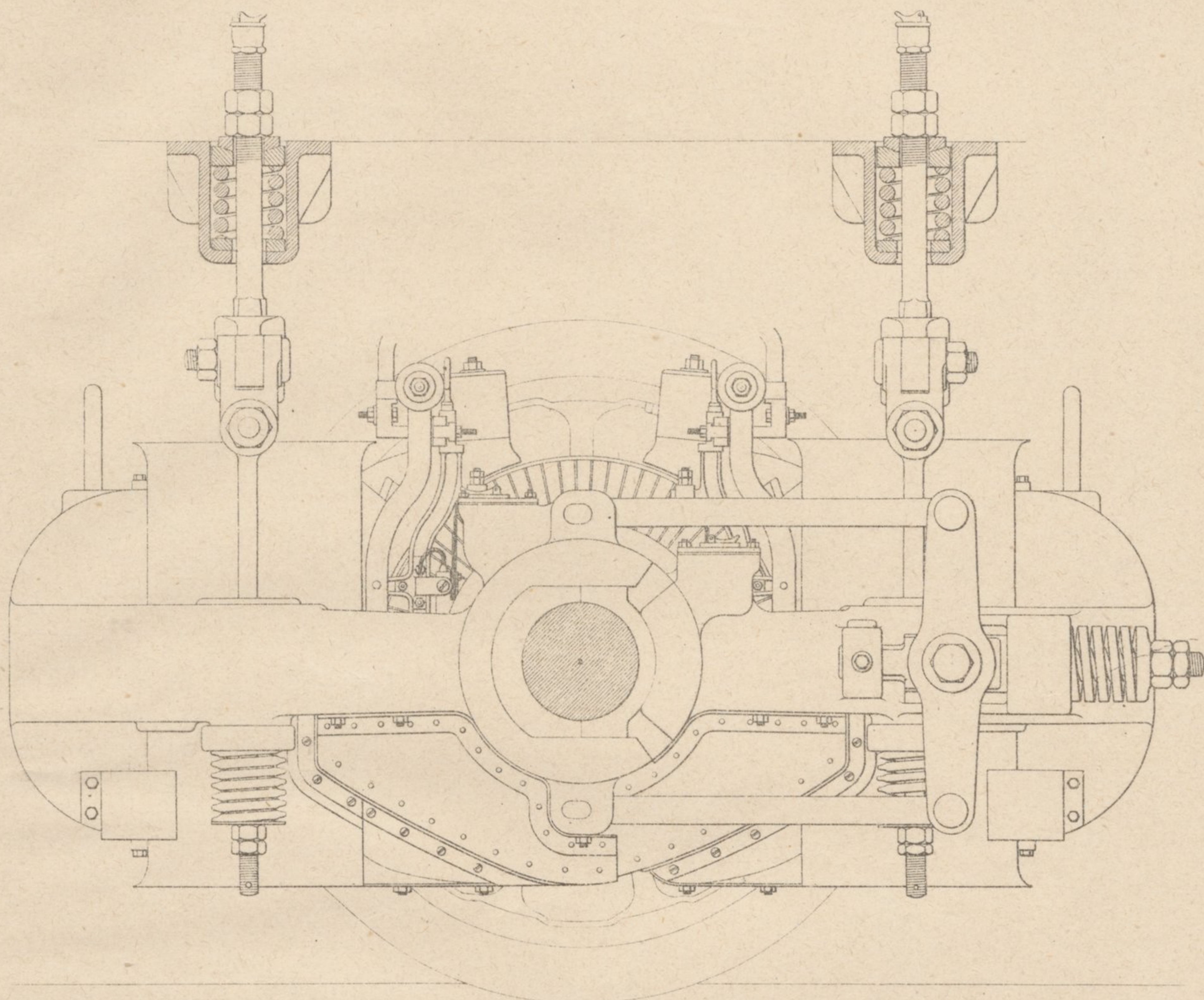


Vue latérale après séparation des inducteurs et de l'induit



LOCOMOTIVE

Vue latérale



Vue par bout

