
NOTE

SUR LA

TRACTION ÉLECTRIQUE DES TRAINS DE BANLIEUE

DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS,

ENTRE PARIS ET JUVISY

Par M. F. PAUL-DUBOIS,

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES,
INGÉNIEUR DU SERVICE CENTRAL DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS.

(Pl. VIII à XI).

La *Revue Générale* a publié en 1898 et en 1900 (1) la description des installations faites en vue d'assurer la traction électrique des trains sur le prolongement du Chemin de fer d'Orléans dans Paris jusqu'au Quai d'Orsay.

Ces installations ont fonctionné d'une façon absolument satisfaisante depuis leur mise en service, en Mai 1900.

Les locomotives électriques remorquent journallement 150 à 200 trains, pesant 150 tonnes en moyenne et 350 tonnes au maximum, à la vitesse de 50 kilomètres à l'heure (2). Le trajet entre les deux gares du Quai d'Orsay et d'Austerlitz s'effectue en 6 minutes pour les trains directs et 7 minutes pour les trains s'arrêtant au Pont-Saint-Michel. Les changements de machine à la gare d'Austerlitz se font très régulièrement pendant un stationnement de moins de trois minutes (3).

A l'occasion du doublement de ses voies principales entre Paris et Brétigny, la Compagnie d'Orléans a étudié un programme d'amélioration de son service de banlieue, comportant non seulement une augmentation de 40 % environ dans le nombre des trains, mais aussi la réduction au minimum de la durée de leur parcours.

Cette étude a conduit à envisager l'emploi de la traction électrique pour accélérer la marche des trains de banlieue à arrêts fréquents, grâce à la rapidité de mise en vitesse des moteurs

(1) Voir les Nos de Février et Novembre 1898, Août 1900.

(2) Cette vitesse est limitée à cause des courbes de 200 et 150 mètres de rayon qui existent sur la section d'Austerlitz au Quai d'Orsay.

(3) On trouvera des détails complémentaires sur cette exploitation dans le *Bulletin du Congrès des Chemins de fer*, Numéro de Novembre 1904.

électriques. Cette application nouvelle se présentait d'ailleurs dans des conditions économiques favorables, par suite de l'augmentation d'utilisation devant en résulter pour le matériel électrique déjà existant.

A la suite d'expériences faites en vue de déterminer la durée minimum de parcours, entre Paris-Austerlitz et Juvisy, que permettaient de réaliser les différents types de locomotives à vapeur en usage à la Compagnie pour un train de 250 tonnes, s'arrêtant à toutes les stations, il a été reconnu que la traction électrique avec les locomotives existantes ferait gagner environ 15 % sur le temps de parcours employé par les machines Compound à 4 cylindres et 3 essieux accouplés, construites en 1899, et 25 % sur celui des machines de banlieue ordinaire.

Elle a, en conséquence, été adoptée. Toutefois, son emploi a été limité à la section de Paris à Juvisy, la moindre fréquentation des voies au delà de Juvisy ne justifiant pas cette application ; la plupart des trains de banlieue en provenance ou à destination de Brétigny, d'Étampes et de Dourdan ont d'ailleurs leur durée de parcours déjà notablement réduite par suite de la suppression des arrêts intermédiaires entre Juvisy et Paris.

La distance entre Paris-Austerlitz et Juvisy est de 19.038 mètres.

Le profil de cette section est facile : la rampe la plus forte est de 5 millimètres, sauf au passage du saut-de-mouton établi pour éviter la traversée des voies principales par les trains de banlieue pairs formés à Juvisy, où elle est de 10 millimètres de part et d'autre, sur 475 mètres et 330 mètres respectivement. Le rayon des courbes ne descend nulle part au-dessous de 800 mètres.

Les voies des trains omnibus, qui sont placées à l'extérieur des voies d'express, ont été seules équipées en vue de la traction électrique.

Le système de traction électrique adopté est le même que celui déjà employé sur le prolongement au Quai d'Orsay, c'est-à-dire que la remorque des trains est faite au moyen de tracteurs prenant le courant par frotteurs sur un troisième rail isolé. Ce conducteur est alimenté par des sous-stations transformatrices, recevant le courant triphasé à 5.500 volts produit par l'usine génératrice installée dans la gare des marchandises d'Ivry, auprès du pont de Tolbiac, et le convertissant en courant continu à 600 volts environ.

La réalisation de ce projet a nécessité l'accroissement de la puissance de l'usine électrique d'Ivry et la création de deux sous-stations nouvelles, l'une près d'Ablon, au kilomètre 13.450, l'autre à l'usine même ; l'une des deux anciennes sous-stations, celle d'Austerlitz, a été supprimée et le matériel correspondant réparti dans les nouvelles.

En dehors de la traction électrique des trains, la distribution d'énergie alimentée par l'usine génératrice d'Ivry assure encore l'éclairage de tous les établissements de la Compagnie situés entre les fortifications et le Quai d'Orsay, sur un développement de six kilomètres environ (Gares du Quai d'Orsay, du Pont-St-Michel, d'Austerlitz, d'Ivry, d'Orléans-Ceinture, bâtiments d'administration, ateliers, magasins, dépôt, entrepôts, etc.), l'éclairage des gares hors Paris, jusqu'à Juvisy exclusivement (1), le service d'alimentation en eau de la gare d'Ivry et du dépôt des locomotives à vapeur, celui d'épuisement du souterrain et la marche de nombreux petits moteurs actionnant des ascenseurs, des cabestans, des chariots transbordeurs, des grues, une plaque tournante, des machines-outils, etc. Le nombre de ces dernières applications va constamment en augmentant : l'introduction de l'électricité dans les gares du Quai d'Orsay et

(1) Pour l'éclairage de la gare de Juvisy, la Compagnie est liée jusqu'en 1907 par un traité avec une usine à gaz.

d'Austerlitz a permis notamment d'en faire des applications commodes à la manutention des bagages, à celle des colis de messagerie (1) et à diverses manœuvres accessoires.

Usine génératrice. — L'usine génératrice (Voir Pl. VIII) contient aujourd'hui trois groupes électrogènes à attaque directe, d'une puissance de 1.000 kilowatts chacun.

Le dernier moteur à vapeur installé est, comme les précédents, du type Corliss-Dujardin à triple expansion, à quatre cylindres par deux en tandem et deux manivelles calées à 90°. Ces machines, tournant à 75 tours, développent une puissance de 1.500 chevaux indiqués à leur allure la plus économique, avec une admission égale à 0,046 du volume des grands cylindres, et peuvent donner jusqu'à 2.250 chevaux.

Le petit cylindre a 0^m,610 de diamètre et les trois autres 1^m,050 de diamètre ; la course commune est de 1^m,650.

La distribution se fait dans chaque cylindre par quatre distributeurs oscillants Corliss, sauf pour les cylindres H. P. et M. P. du dernier moteur installé, dont les distributeurs d'admission sont à piston-valve équilibré. Les distributeurs d'admission au petit et au moyen cylindre sont tous deux à dé clic, mais ceux du petit cylindre sont seuls soumis normalement à l'action du régulateur.

L'alimentation se fait avec de la vapeur surchauffée à 250° C. environ, à l'admission du petit cylindre. Tous les cylindres sont munis, sur leur pourtour et sur leurs deux fonds, d'une enveloppe de vapeur.

Ces moteurs comportent chacun deux condenseurs à mélange et deux pompes à air verticales placées dans le sous-sol et commandées chacune par un des deux côtés de la machine ; la même commande actionne également deux pompes d'alimentation débitant environ 1.200 litres à l'heure et deux pompes de purge.

La consommation, aux allures correspondant à une puissance comprise entre 1.200 et 1.500 chevaux indiqués, ne dépasse pas 5 kg. de vapeur par cheval indiqué, purges comprises.

L'arbre moteur est supporté par trois paliers. Le volant de 7^m,50 de diamètre, dont la jante pèse 33 tonnes, est calé sur l'arbre d'un côté du palier intermédiaire, et l'alternateur de l'autre côté. Tous ces paliers, ainsi que les principaux mouvements, sont graissés automatiquement par une circulation continue d'huile ; après avoir lubrifié les surfaces frottantes, l'huile en excès s'écoule à travers des filtres dans une bêche placée dans le sous-sol, d'où une pompe électrique la refoule dans le réservoir d'alimentation supérieur. Les cylindres sont graissés à l'aide de rampes de distribution d'huile sous pression, système Hamelle.

Les alternateurs Thomson-Houston, accouplés directement aux moteurs à vapeur, sont à induit fixe et inducteur tournant ; ils produisent du courant triphasé à 5.500 volts, à la vitesse de 75 tours ; l'inducteur ayant 40 pôles, le courant produit a une fréquence de 25 périodes par seconde.

Leur induit est denté ; l'enroulement induit, connecté en étoile, comporte une encoche par pôle et par phase, et 25 conducteurs par encoche.

L'enroulement inducteur est formé d'un ruban de cuivre enroulé à plat autour des noyaux.

(1) Voir *Revue Générale*, Numéros de Juillet 1901, Février et Mars 1902.

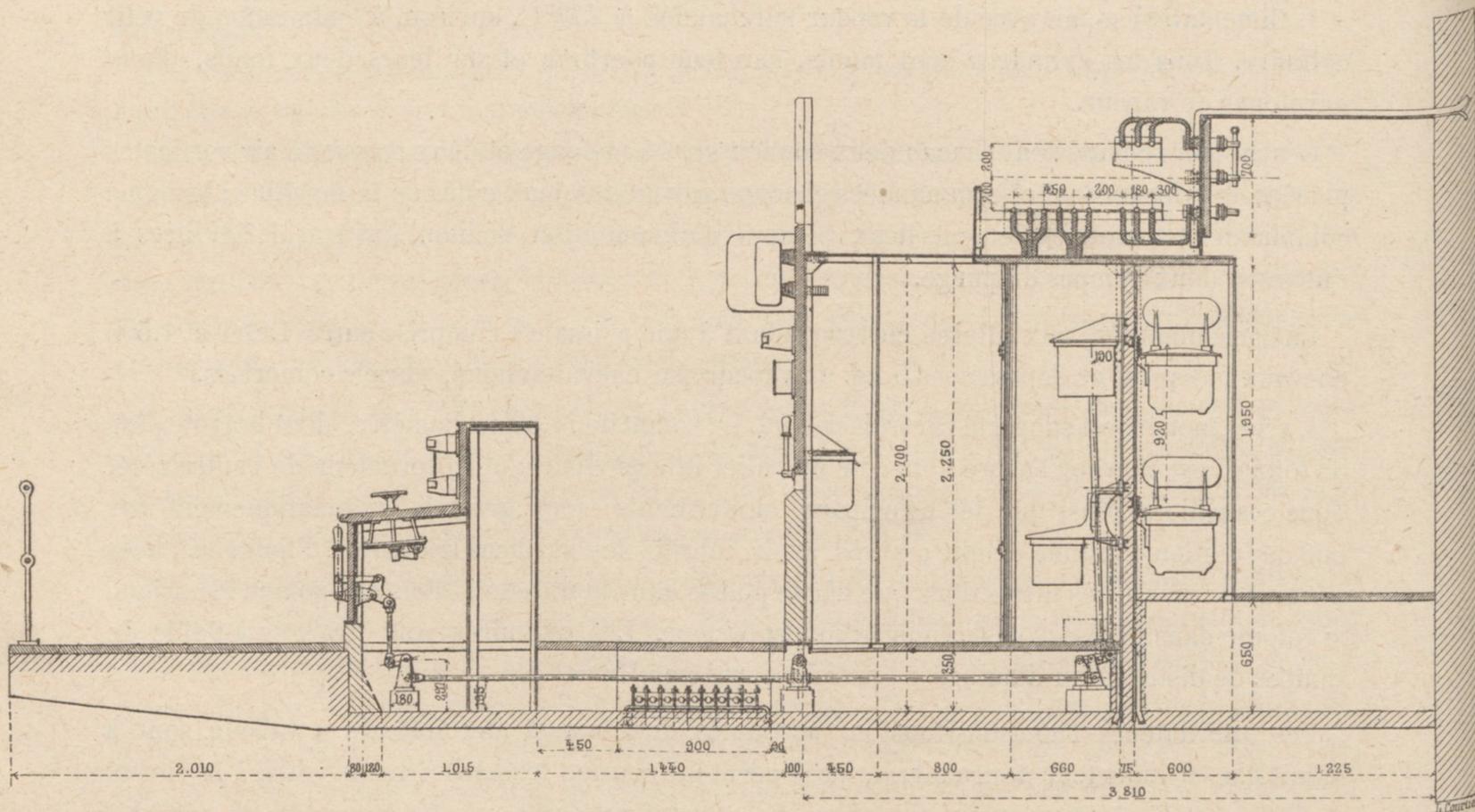
Ces machines fournissent chacune une puissance normale de 1.000 kilowatts mesurés au wattmètre, en alimentant les sous-stations; elles peuvent être surchargées sans inconvénient de 25 % pendant deux heures et de 50 % pendant 5 minutes. La variation de voltage entre la pleine charge non inductive et la marche à vide est inférieure 10 %; le rendement, sous charge non inductive, est de 95 % à pleine charge, de 94 % à trois quarts de charge, et de 92,5 % à demi-charge.

En vue de faciliter l'inspection et les réparations éventuelles, l'induit est disposé de manière à pouvoir être déplacé parallèlement à l'arbre en dégagant les inducteurs.

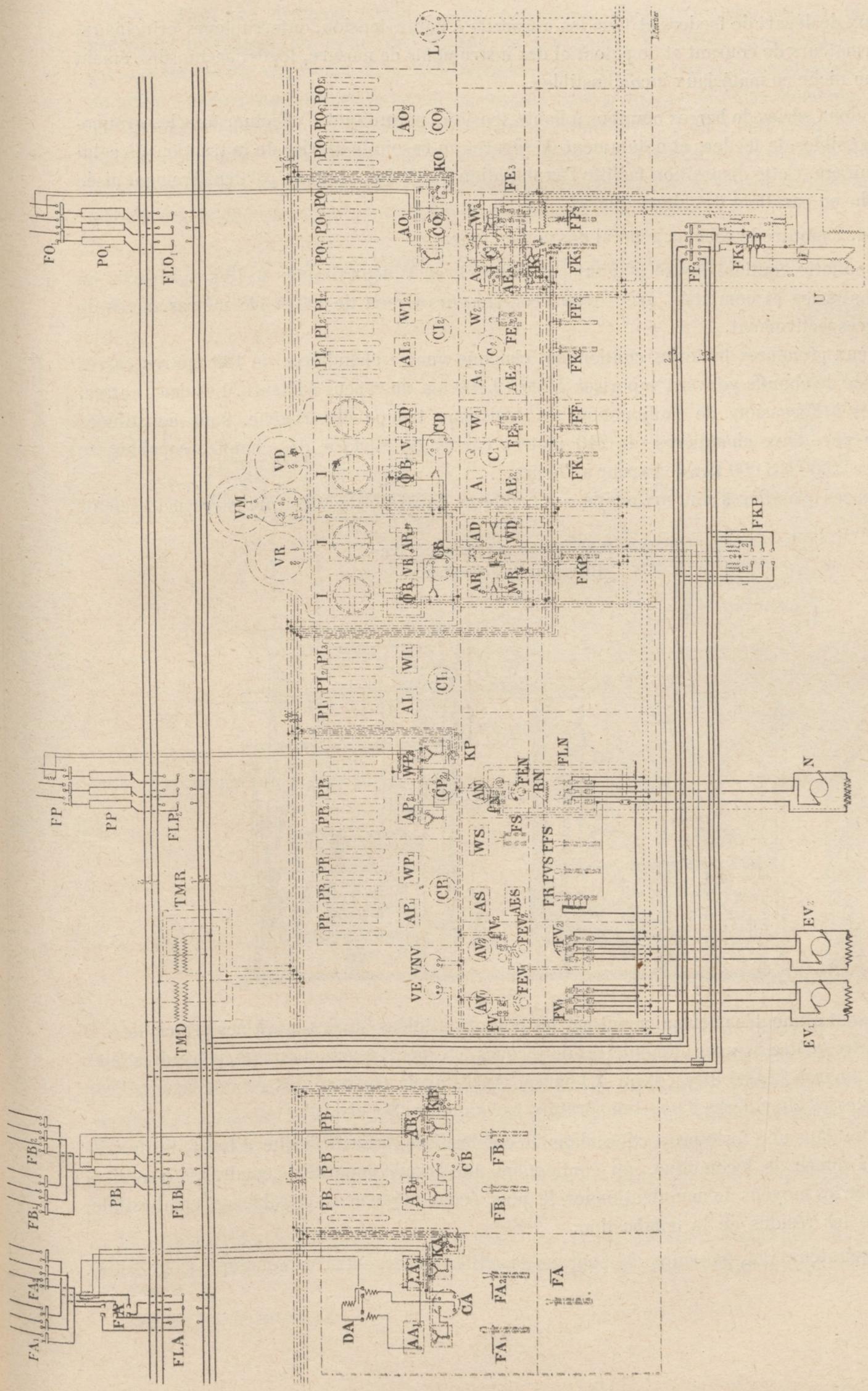
Le poids total d'une de ces génératrices est de 38 tonnes.

Le courant d'excitation nécessaire est fourni, sous la tension de 125 volts, par trois dynamos à courant continu à excitation composée, dont la puissance est respectivement de 20, 40 et 60 kilowatts, correspondant à l'excitation en pleine charge de un, deux et trois alternateurs; les deux premières sont actionnées directement par des machines à vapeur verticales compound à grande vitesse de 35 et 70 chevaux, à échappement libre; la troisième est accouplée à un moteur asynchrone triphasé de 70 kilowatts alimenté à 5.500 volts.

Fig. 1. — USINE ÉLECTRIQUE D'IVRY.
Coupe transversale des tableaux à haute tension.



Le tableau de distribution principal est placé à une extrémité de la salle des machines, sur une plateforme surélevée (Fig. 1). Il se compose de deux parties distinctes: en avant, un tableau « pupitre », d'où se font toutes les manœuvres de mise en route, de réglage et d'arrêt des alternateurs et qui ne comporte aucun appareil à haute tension, tous les instruments de mesure étant alimentés par du courant à tension inférieure à 150 volts et les interrupteurs à haute tension étant manœuvrés à distance au moyen de tringles de transmission; en arrière, les



Legende du tableau à haute tension Usine d'Ivry

- | | | | | |
|---|--|--|--|---|
| <p>1° Les premières lettres indiquent la nature de l'appareil.</p> <p>2° La lettre suivante indique la machine ou le feeder qui alimente l'appareil.</p> <p>3° Le chiffre terminant le groupe de lettres désignant un appareil indique quel appartient au feeder ou à la machine N° 1, 2 ou 3.</p> <p>A Amperemètre</p> | <p>C Compteur.</p> <p>DA Disjoncteur automatique</p> <p>EV Excitatrice à vapeur</p> <p>f Fiche de voltmètre</p> <p>F Interrupteur.</p> <p>FE Interrupteur d'excitation.</p> <p>FF d' à huile à double direction.</p> <p>FK d' à huile.</p> | <p>FL Interrupteur à lame</p> <p>I Indicateur de terre</p> <p>K Fiche à double direction pour comp-
teur ou voltmètre</p> <p>l Fiche de lincoln</p> <p>L Appareil lincoln de synchronisation</p> <p>R Rheostat de champ</p> <p>TM Transformateur de mesure</p> | <p>U Alternateur</p> <p>V Voltmètre</p> <p>W Wattmètre</p> <p>φ Indicateur de cosinus</p> <p>A Feeder de la Sous-station d'Abion</p> <p>B d' des pompes</p> <p>D Barres bleues</p> <p>E Barres d'excitation des alternateurs</p> | <p>I Feeder de la Sous-station d'Ivry</p> <p>N Excitatrice accouplée au moteur
synchrone</p> <p>O Feeder de la Sous-station d'Orsay</p> <p>P d' des Ateliers de Paris</p> <p>R Barres rouges</p> <p>S Moteur synchrone d'excitation</p> <p>V Excitatrice à vapeur</p> |
|---|--|--|--|---|

panneaux de départ de feeders et tous les appareils à haute tension, interrupteurs principaux, transformateurs de courant et de potentiel des instruments de mesure, logés chacun séparément dans une niche en matériaux incombustibles.

Il y a deux séries de barres omnibus à haute tension, permettant d'effectuer tous les groupements possibles de feeders et notamment de séparer au besoin le service de la traction de celui de l'éclairage. Cette disposition facilite l'exploitation de l'usine et rend particulièrement aisée la marche en parallèle des alternateurs.

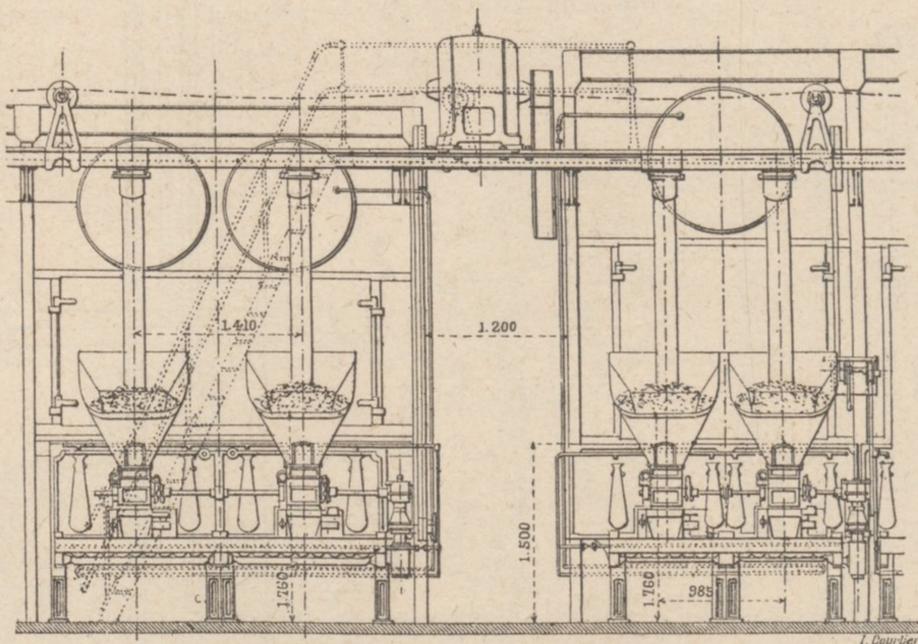
La Fig. 2 montre le schéma général des connexions.

La chaufferie contient douze générateurs Babcock et Wilcox timbrés à 13 kg., répartis en quatre batteries et combinés avec deux économiseurs Green de 400 et 448 mètres carrés de surface respectivement.

Les deux premières batteries contiennent chacune quatre chaudières de 186 mètres carrés de surface de chauffe pouvant vaporiser 2.200 à 2.800 kg. de vapeur à l'heure. Les deux autres, installées à l'occasion de l'adjonction du troisième troupe électrogène, sont constituées chacune par deux chaudières de 210 mètres carrés de surface de chauffe, capables de vaporiser 2.500 à 3.000 kg. de vapeur à l'heure.

Toutes ces chaudières sont munies de surchauffeurs de 26 et 31 mètres carrés respectivement.

Fig. 3. — USINE ÉLECTRIQUE D'IVRY.
Élévation des chaudières.



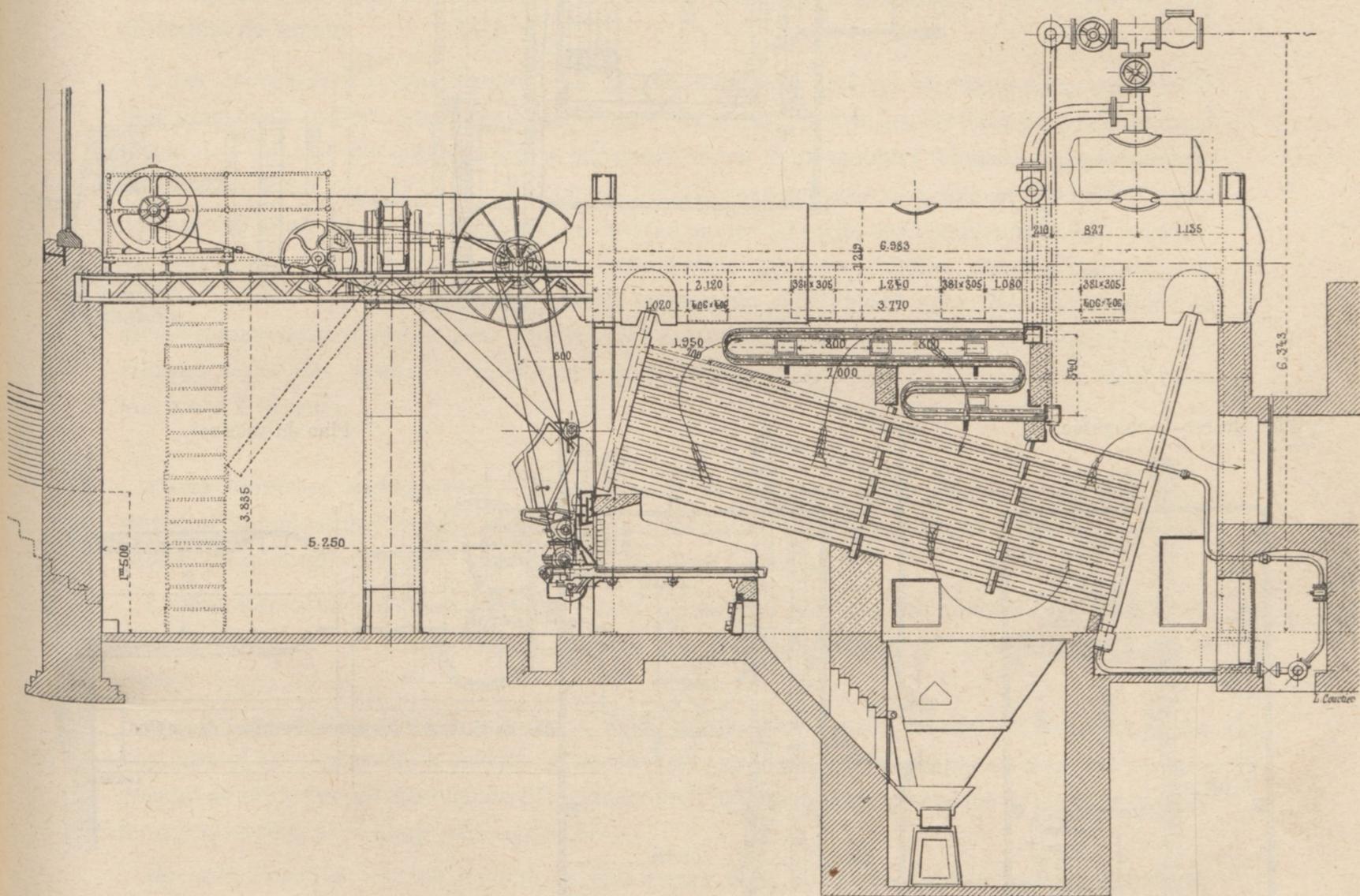
Elles sont alimentées normalement par les pompes attelées sur les machines principales. Il y a en outre quatre pompes alimentaires de secours à vapeur, à action directe, pouvant débiter chacune environ 12.000 litres d'eau à l'heure. Après avoir traversé des économiseurs, l'eau arrive dans les chaudières à une température variant entre 80° et 110°.

L'emploi dans une forte proportion, dans le combustible brûlé à l'usine d'Ivry, des fraisils de boîte à fumée de locomotive, qui contiennent une grande quantité de cendres, a conduit à rechercher les moyens de manutentionner le plus économiquement possible ce combustible, ainsi que les résidus de la combustion.

Les générateurs ont, par suite, été pourvus de grilles à chargement automatique (Fig. 3 et 4).

Ces grilles, du système Bennis, sont constituées essentiellement par 6 ou 9 gros barreaux tubulaires en fonte de 2^m,300 de longueur, à section trapézoïdale ouverte, garnis à leur partie supérieure de petits barreaux rapprochés supportant le combustible, auxquels un arbre à cames imprime des mouvements longitudinaux alternatifs. Ces éléments avancent d'abord tous ensemble de 0^m,065 environ, puis reviennent un à un à leur position primitive, pour recommencer ensuite leur mouvement en avant. A l'extrémité antérieure de chaque barreau principal, façonnée en forme de trompe, débouche un jet de vapeur surchauffée, qu'on peut étrangler plus ou moins pour régler l'activité de la combustion.

Fig. 4. — USINE ÉLECTRIQUE D'IVRY. — COUPE TRANSVERSALE D'UNE CHAUDIÈRE.



Le chargeur proprement dit se compose de deux parties, un tiroir de distribution, réglant la quantité de combustible passant dans chaque pelletée, et une pelle à ressort projetant le charbon sur la grille; la tension du ressort est commandée par un croisillon à quatre doigts de longueur inégale, disposé de façon que les pelletées successives de combustible soient projetées à des distances différentes et couvrent graduellement ainsi toute la surface de la grille.

La chaufferie est munie en outre d'un système complet de manutention mécanique du combustible et des cendres.

Le combustible, déchargé des wagons dans une soute établie à l'extérieur de l'usine, est amené automatiquement aux trémies des chargeurs par un élévateur incliné (à 23° environ) et

un transporteur horizontal. Ces appareils sont constitués tous deux par des couloirs fixes en fonte dure de 228 millimètres de largeur et 178 millimètres de profondeur, dans lesquels le

Coupe transversale.

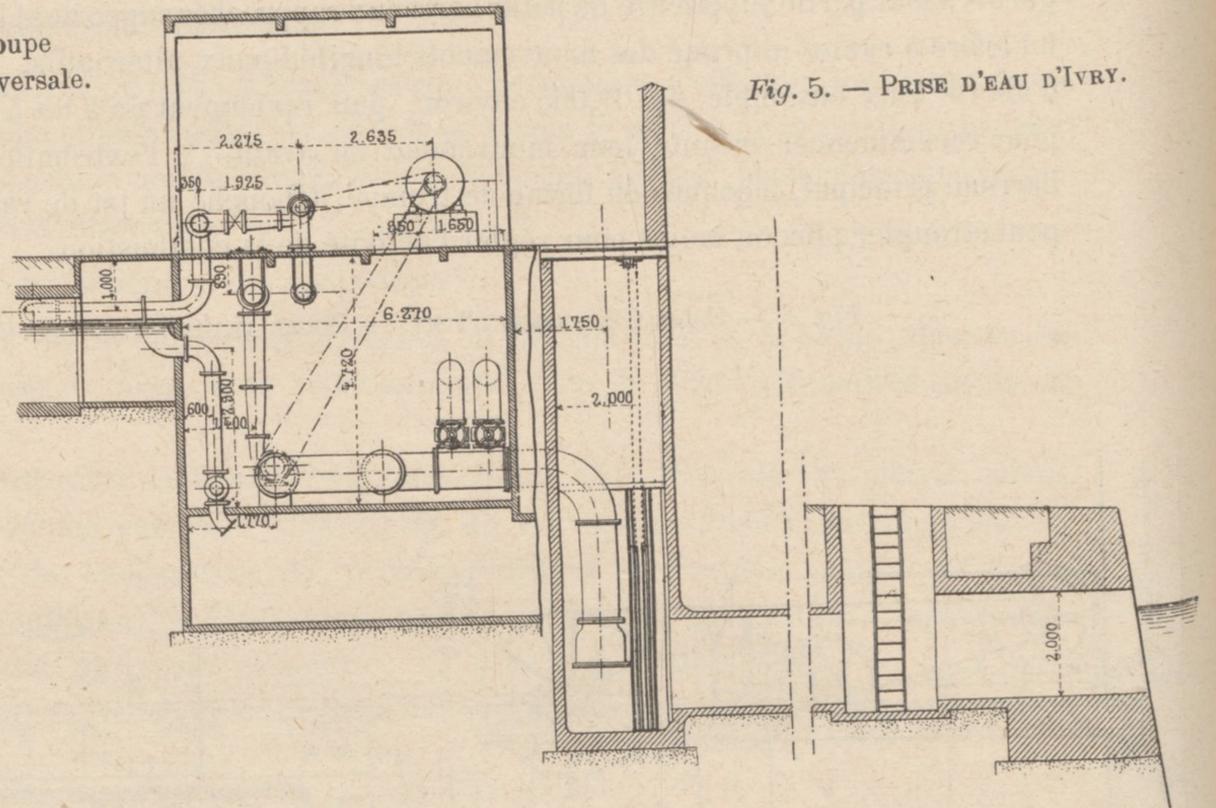
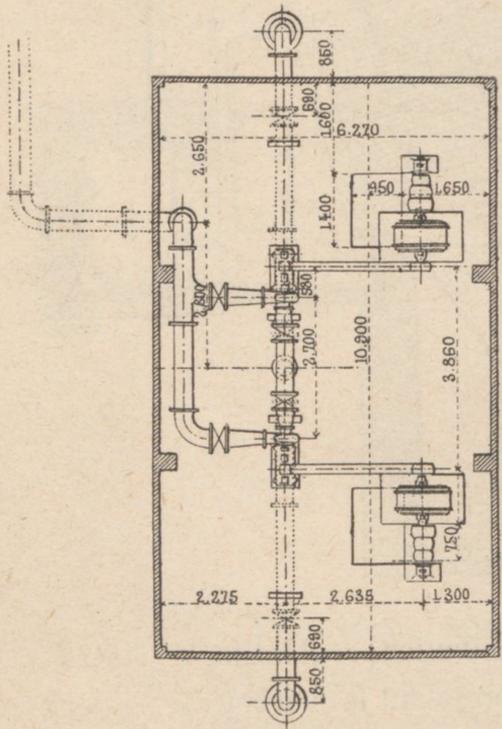
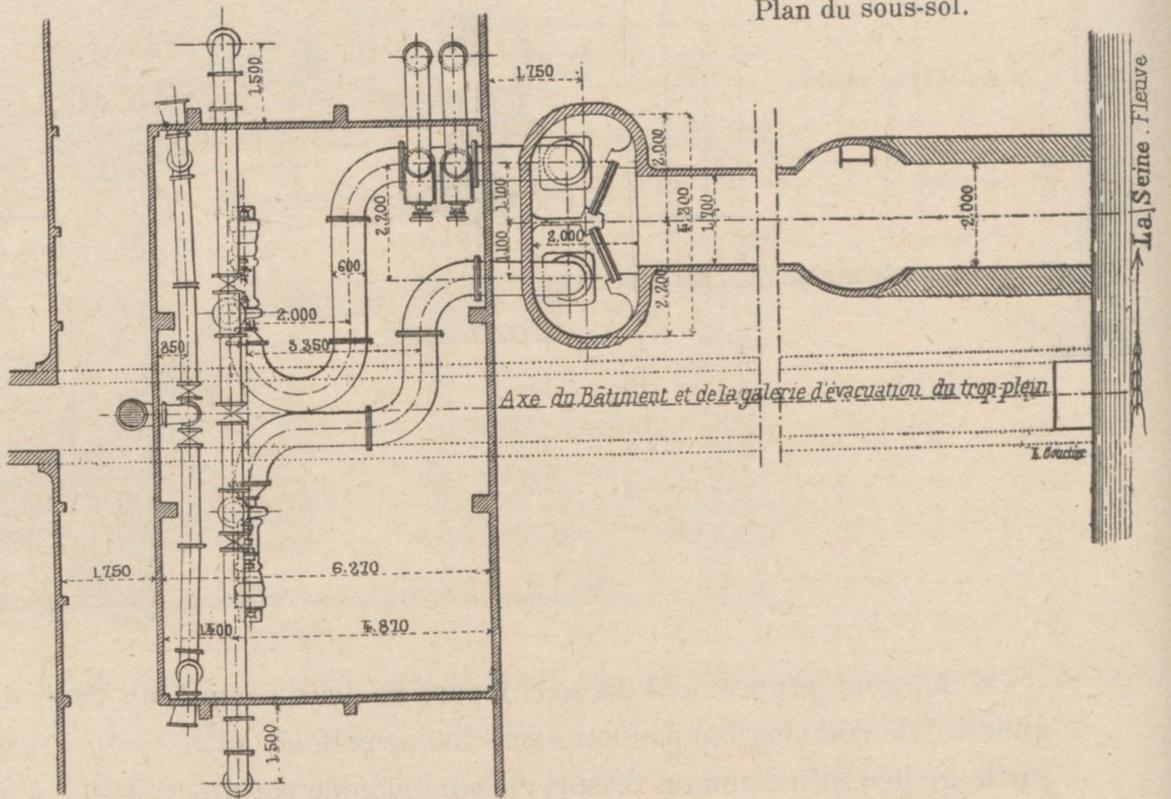


Fig. 5. — PRISE D'EAU D'IVRY.

Plan du rez-de-chaussée.



Plan du sous-sol.



combustible est entraîné par une chaîne sans fin à maillons en U, en fer plat de 51 x 13, de 305 millimètres de pas.

Les résidus de la combustion, escarbilles et cendres, tombent d'autre part, par des plans inclinés et des hottes appropriés, dans un transporteur semblable installé dans une galerie sous les chaudières et aboutissant à un élévateur vertical à godets, qui charge les résidus en wagon.

Tous ces appareils sont actionnés par des moteurs électriques à courant continu, au nombre de cinq, dont deux servant de réserve, qui commandent également les râcloirs des économiseurs. Des dispositifs spéciaux permettent de régler séparément la vitesse des différentes parties, de manière à proportionner l'arrivée du combustible et l'activité de la combustion à la charge de l'usine.

Avec ce système, un homme suffit pour conduire cinq chaudières.]

L'addition des nouveaux générateurs a conduit à édifier une seconde cheminée de 50 mètres de hauteur et 2^m,50 de diamètre intérieur au sommet, comme la première.

La tuyauterie de vapeur principale est en boucle, avec des prises directes sur chaque branche de la boucle. L'alimentation de chaque machine se fait par l'intermédiaire d'un sécheur et d'un détendeur de vapeur.

L'eau nécessaire à la condensation est puisée dans une galerie en communication avec la Seine par deux pompes centrifuges de 600 mètres cubes à l'heure, logées dans un petit bâtiment voisin de l'usine et qui sont actionnées par courroie par deux moteurs triphasés asynchrones de 60 chevaux à 750 tours (Fig. 5). Ces pompes élèvent l'eau dans deux bassins de 800 mètres cubes de capacité totale, communiquant par un égout avec les puisards des condenseurs. Les moteurs sont alimentés, par l'intermédiaire d'une canalisation aérienne double, par deux groupes de transformateurs à bain d'huile abaissant la tension de 5.500 à 440 volts. Ils commandent en même temps deux pompes plus faibles (350 mètres cubes à l'heure), qui refoulent l'eau des citernes dans des réservoirs supérieurs pour le service général de la gare et du dépôt des machines à vapeur.

Canalisations primaires. — Le transport de l'énergie entre l'usine d'Ivry et la sous-station d'Ablon est fait par une canalisation souterraine établie en double, chacun des deux câbles qui la composent étant capable d'assurer seul le service.

L'emploi de câbles souterrains a été rendu nécessaire par suite du nombre considérable de fils télégraphiques et téléphoniques existant des deux côtés de la plateforme entre Paris et Juvisy.

Ces câbles sont à trois conducteurs de 80 millimètres carrés de section, isolés au papier imprégné d'une composition spéciale et recouverts par deux gaines de plomb séparées par une couche de brai, par un matelas de filin goudronné, une armature composée de deux rubans de fer à recouvrement et deux toiles asphaltées.

Ils sont enterrés sur un côté de la plateforme à 0^m,90 de profondeur, posés à intervalle de 0^m,10 à 0^m,15 sur un matelas de sable et protégés contre les coups de pioche par un grillage métallique. A la traversée des ouvrages d'art, on les a logés dans des tuyaux en bois remplis de bitume.

Afin de permettre l'accroissement éventuel de la capacité de la ligne de transport de force, ces câbles ont été fabriqués en vue d'une tension normale de service de 11.000 volts. Ils ont été essayés jusqu'à 40.000 volts chez le constructeur et à 30.000 volts pendant une heure après pose et mise en place des boîtes de jonction.

La canalisation est divisée en quatre tronçons par trois postes de sectionnement placés dans les gares du Chevaleret, de Vitry et de Choisy-le-Roi. Chacun de ces postes comporte, outre des interrupteurs permettant d'effectuer toutes les combinaisons des tronçons de câbles entre eux

et des déchargeurs statiques, un branchement alimentant par l'intermédiaire d'un transformateur triphasé de 5.500/125 volts, l'éclairage de la gare correspondante.

Sous-stations. — Les groupes transformateurs servant à produire le courant continu à 600 volts pour la traction sont constitués par des transformateurs statiques, abaissant la tension du courant triphasé de 5.500 volts à 370 volts environ, et des convertisseurs rotatifs transformant ce courant triphasé à 370 volts en courant continu à 600 volts environ.

Chacune de ces trois sous-stations possède en outre une puissante batterie d'accumulateurs montée normalement en tampon sur le circuit de traction.

Les convertisseurs sont munis d'un double enroulement inducteur, l'un en dérivation sur les bornes de la machine, l'autre en série; ces deux enroulements sont en sens inverse l'un de l'autre, en sorte que l'augmentation du débit tend à affaiblir l'excitation. Une bobine de self-induction triphasée, intercalée entre le transformateur et le convertisseur, concourt avec cet enroulement spécial à faire varier la tension du courant continu débité par la machine en sens inverse de son intensité, de manière que la batterie montée en parallèle avec le convertisseur se décharge ou se charge automatiquement selon que la charge du réseau augmente ou diminue, amortissant ainsi les fluctuations instantanées de la puissance demandée aux convertisseurs et à l'usine génératrice. Les batteries ont 290 éléments, et le réglage est opéré de telle façon que la tension au tableau secondaire des sous-stations varie suivant la charge entre 575 et 625 volts environ. Le facteur de puissance correspondante ne descend pas au-dessous de 0,9.

La sous-station d'Ivry et celle d'Ablon contiennent chacune un convertisseur triphasé de 250 kilowatts, à 4 pôles, tournant à 750 tours, alimenté par trois transformateurs monophasés de 90 kilowatts, et deux convertisseurs hexaphasés de 500 kilowatts, à 6 pôles, tournant à 500 tours, combinés avec des transformateurs hexaphasés de 525 kw. Les transformateurs sont refroidis par une insufflation d'air produite par des ventilateurs accouplés à des moteurs asynchrones de 2 chevaux.

Tous ces appareils peuvent supporter 25 % de surcharge pendant une heure au moins et 50 % de surcharge pendant 5 minutes.

La batterie d'accumulateurs installée à l'usine génératrice, qui est celle de l'ancienne sous-station d'Austerlitz, a une capacité de 1.100 ampères-heure au régime de décharge en une heure et peut donner sans inconvénient des courants de décharge atteignant 1.500 ampères.

Celle d'Ablon a une capacité de 1.500 ampères-heures et peut donner des courants de décharge de 2.000 ampères.

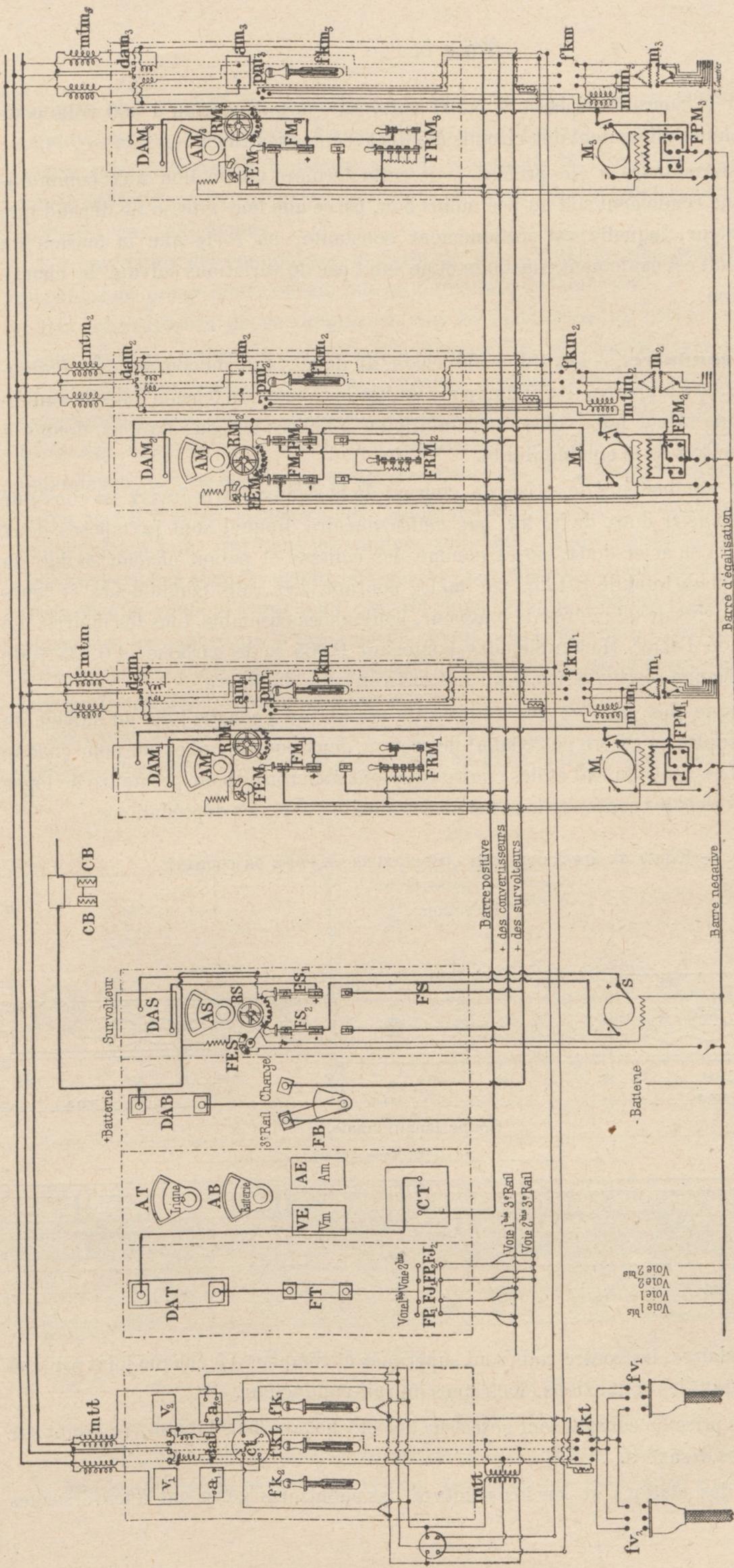
La recharge de ces batteries se fait à l'aide de survolteurs commandés par poulies et courroie par les convertisseurs et permettant d'obtenir une surélévation de tension de 600 à 800 volts.

La Planche IX montre la disposition générale de la sous-station d'Ablon et la Fig. 6 indique le schéma des connexions correspondantes.

Quant à la sous-station du quai d'Orsay, qui n'a pas été sensiblement modifiée, elle se compose essentiellement de deux convertisseurs rotatifs de 250 kilowatts, avec les transformateurs statiques correspondants, et d'une batterie-tampon identique à celle d'Ivry.

Les sous-stations du quai d'Orsay et d'Ivry renferment, en outre, des groupes moteurs-générateurs de 100 kilowatts, au nombre de trois pour la première et de cinq pour la seconde,

Fig. 6. — SCHEMA DES CONNEXIONS DE LA SOUS-STATION D'ABLON.



Légende du tableau de la Sous-station d'Ablon.

- Les petites lettres s'appliquent aux appareils à courant alternatif
 Les grandes lettres s'appliquent aux appareils à courant continu
 (1) Les premières lettres indiquent la nature de l'appareil.
 (2) La lettre suivante indique la machine ou feeder qu'intéresse l'appareil.
- (3) Le chiffre terminant le groupe de lettres désignant un appareil indique le N° de la machine à laquelle il appartient
- A — Ampèremètre
 AE. Ampèremètre enregistreur
 C — Compteur
 DA. Disjoncteur automatique
- F — Interrupteur
 FE. Interrupteur d'excitation
 FK. Interrupteur à huile
 FP. Interrupteur permettant de faire marcher les convertisseurs en shunt, compound direct ou inverse
 L — Appareil Lincoln.
- M — Groupe convertisseur
 MT. Transformateur de mesure
 P — Fiche de Lincoln
 R — Rhéostat de champ
 V — Voltmètre
 VE — Voltmètre enregistreur
 B — Batterie
- S. Survolteur
 T. Totalisateur
 J. Feeder sur Juvisy
 P. Feeder sur Paris

destinés à convertir le courant triphasé à 5.500 volts en courant continu à 500 volts pour l'éclairage. Ces machines alimentent des circuits à 5 fils avec égalisatrices.

Ce genre de transformateurs a été préféré pour cette dernière application aux commutatrices, bien que leur rendement soit un peu moins bon, parce que leur vitesse ne dépend que de celle de l'alternateur, laquelle est pratiquement constante, en sorte que la tension du courant continu produit est également constante et ne subit pas de variations suivant la charge du circuit de traction.

Canalisation secondaire. — Les trains absorbant, au démarrage, un courant dont l'intensité atteint 1.500 à 2.000 ampères, il a fallu, pour limiter les chutes de tension dans la canalisation secondaire à une valeur admissible, sans multiplier à l'excès les sous-stations, donner à cette canalisation une très forte conductibilité.

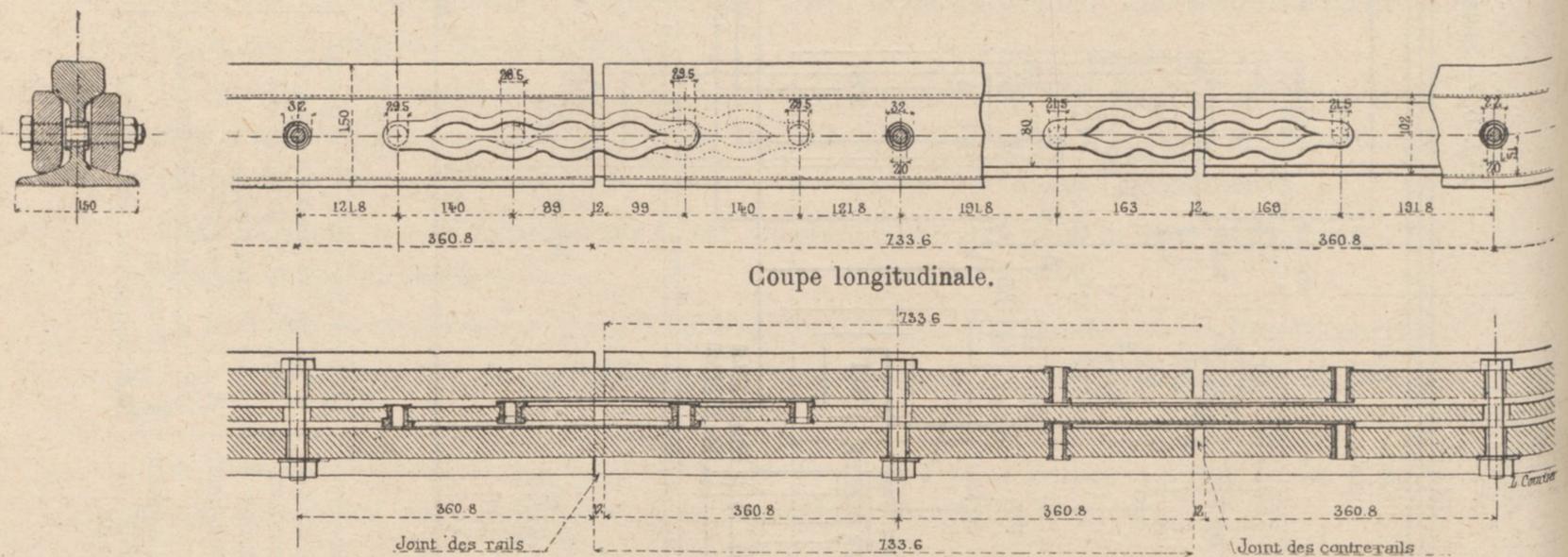
Chacun des deux conducteurs de prise de courant de la section Paris-Juvisy est constitué par un rail Vignole en acier doux de 52 kg. par mètre linéaire, auquel sont juxtaposés deux contre-rails également en acier doux, posés comme des éclisses et pesant chacun 26 kg. au mètre, ce qui fait un poids total de 104 kg. par mètre courant. Les rails conducteurs et leurs contre-rails sont en barres de 22 mètres de longueur, boulonnées ensemble tous les mètres. Le métal employé est de l'acier Martin-Siemens contenant 0,065 % de carbone et 0,433 % de manganèse. Il possède une résistivité égale à 7 fois environ celle du cuivre.

L'éclissage électrique des rails et des contre-rails est réalisé à chaque joint au moyen de quatre connexions souples en cuivre de 220mm² de section, deux pour le rail et une pour chaque contre-rail (Fig. 7). Les joints du rail et des contre-rails ont été croisés pour permettre de loger toutes les connexions sous les contre-rails et les placer ainsi à l'abri des déprédations.

Fig. 7. — ECLISSAGE ÉLECTRIQUE DES CONDUCTEURS DE PRISE DE COURANT.

Coupe transversale.

Élévation.



Sur les voies secondaires, les contre-rails sont supprimés et remplacés à chaque joint par une simple éclisse recouvrant les connexions électriques du rail conducteur.

Les conducteurs de prise de courant sont posés sur des blochets en bois bitumé, reposant sur les abouts de traverses désaxées.

Dans la traversée des stations et sur les points où les agents des gares ont à traverser les

deux connexions flexibles en cuivre de 110mm² de section placées sous les éclisses mécaniques (Fig. 8). Les rails de roulement sont, en outre, reliés entre eux, de distance en distance, par des tringles en acier extra-doux, avec surfaces de contact amalgamées.

La résistance électrique du circuit complet ainsi constitué est d'environ 0,01 ohm par kilomètre.

La chute de tension maximum sur la ligne est d'environ 125 volts.

MATÉRIEL ROULANT ÉLECTRIQUE.

Locomotives. — L'application de la traction électrique aux trains de banlieue a exigé l'addition, à l'effectif de huit locomotives électriques que possédait déjà la Compagnie, de trois locomotives nouvelles.

En outre, cinq automotrices, dont une de réserve, sont affectées au service des trains circulant en navette entre Paris et Juvisy. Ce service nécessite deux rames, comportant chacune deux voitures automotrices, placées l'une en tête, l'autre en queue, et commandées simultanément par un seul agent placé à l'avant du train. Cette disposition a été adoptée principalement en raison de l'avantage qu'elle présente, par suite de la symétrie des trains ainsi formés, de supprimer toute manœuvre aux terminus entre l'arrivée et le départ d'un train.

Les locomotives nouvelles (Voir Pl. X) sont du même type que les anciennes, à la seule différence que leur caisse est aménagée en fourgon à bagages.

Les données principales de ces machines sont les suivantes :

Poids total	53 tonnes.
Longueur du châssis.....	10 ^m ,211
Longueur totale hors tampons.....	11 ^m ,371
Largeur intérieure	2 ^m ,700
Largeur extérieure, toutes saillies comprises	3 ^m ,100
Hauteur au-dessus du rail.....	3 ^m ,872
Empatement des bogies	2 ^m ,388
Distance entre axes des bogies.....	5 ^m ,639
Diamètre des roues	1 ^m ,245
Effort de traction maximum au démarrage..	9.000 kg.
Id. normal.....	6.000 kg.

Les bogies sont identiques à ceux des premières machines. Les moteurs et le reste de l'équipement électrique sont également les mêmes, sauf qu'il y a deux régulateurs série-parallèle, la machine comportant deux cabines de manœuvre, une à chaque extrémité de la caisse. Toutefois, un nouveau rapport d'engrenages a été choisi (2,23 au lieu de 4,10), tant pour les nouvelles machines que pour les anciennes, de façon à les adapter au nouveau service (1).

Le rapport d'engrenages actuel permet d'atteindre, avec une locomotive seule, la vitesse de 100 kilomètres à l'heure et, avec un train de 200 tonnes, la vitesse de 70 kilomètres environ.

(1) Une seule locomotive a conservé son ancien rapport d'engrenages, celle qui est affectée aux manœuvres dans la gare du Quai d'Orsay.

En outre, l'équipement de toutes les machines a été complété par un commutateur spécial permettant de grouper les 4 moteurs, soit en 2 groupes de 2 moteurs en série, soit en 2 groupes de 2 moteurs en parallèle, de sorte qu'on dispose au total de trois positions de marche sans résistances, savoir : 1^o les 4 moteurs en série, 2^o les moteurs groupés par 2 en parallèle, les 2 groupes étant mis en série, 3^o les 4 moteurs en parallèle.

Les nouvelles locomotives comportent en leur milieu un fourgon aménagé comme les fourgons ordinaires à bagages de la Compagnie d'Orléans.

Tous les appareils électriques, à l'exception des moteurs, sont logés dans les cabines extrêmes, construites entièrement en métal et comportant chacune la série complète des appareils nécessaires à la marche. Les résistances de démarrage et les compresseurs d'air, au nombre de deux, sont disposés dans des coffres placés aux quatre angles du châssis et munis, sur leurs faces extérieures, de lames de persienne assurant leur ventilation. Les câbles de connexion entre les deux cabines seront enfermés dans une gaine métallique ménagée dans ce but sous le plancher.

Les automotrices (Voir Pl. XI) comprennent trois compartiments à voyageurs de 3^e classe, séparés par deux couloirs d'accès et offrant au total 32 places assises, un compartiment pour les bagages et une cabine de manœuvre à chaque extrémité. Elles sont montées sur deux bogies à deux essieux dont chacun est entraîné par un moteur de 125 chevaux, avec engrenages réducteurs de vitesse.

Les principales dimensions de la voiture sont les suivantes :

Longueur du châssis.....	16 ^m ,200
Longueur hors tampons.....	17 ^m ,360
Longueur de la caisse.....	16 ^m ,200
Largeur intérieure.....	2 ^m ,540
Largeur extérieure, toutes saillies comprises.....	3 ^m ,400
Hauteur.....	3 ^m ,808
Empatement des bogies.....	1 ^m ,981
Distance entre axes des bogies.....	12 ^m ,400
Diamètre des roues.....	1 ^m ,016

Le poids total d'une automotrice est d'environ 42 tonnes à vide, dont 12 tonnes pour les deux bogies.

Ces bogies sont en acier doux forgé et comportent une double suspension entre la traverse de pivot et les boîtes à graisse.

Le châssis de caisse est entièrement en acier.

Dans la construction de la caisse, les plus grandes précautions ont été prises pour éviter les risques d'incendie. Comme il était difficile de la faire entièrement en métal, la voiture étant destinée à recevoir des voyageurs, on a construit le plancher, l'ossature, les cloisons transversales et le frisage intérieur du fourgon et des compartiments à voyageurs en bois ignifugé. Le plancher est recouvert d'une composition incombustible à base d'amiante et doublé par dessous d'une tôle à l'emplacement des moteurs. Le panneauage extérieur est également en tôle et le pavillon est recouvert de tôle galvanisée.

Les cabines de manœuvre placées aux deux extrémités de la voiture sont complètement métalliques. Leur ossature est formée de profilés avec un simple revêtement en tôle; le

plancher est en tôles striées et le plafond en tôles galvanisées supportées par des courbes métalliques. Chaque cabine est séparée du reste de la caisse par une cloison en tôle et profilés recouverte du côté extérieur d'une doublure en bois ignifugé avec interposition de carton d'amiante.

Tous les appareils électriques, à l'exception des moteurs actionnant les essieux, sont logés dans ces deux cabines. Les câbles électriques réunissant les frotteurs d'avant et d'arrière, ceux qui servent à la commande des moteurs à distance, les câbles d'éclairage et de chauffage, passent tous à l'extérieur de la caisse, sous tubes métalliques; ces câbles sont en outre entourés, par dessus l'isolant, d'une gaine incombustible.

Les moteurs des automotrices, du type Thomson-Houston comme ceux des locomotives, peuvent développer 125 chevaux pendant 1 heure sans s'échauffer de plus de 75° au-dessus de la température ambiante. Ils ont une carcasse entièrement fermée portant quatre masses polaires.

L'induit denté est enroulé en barres de cuivre isolées au mica.

Le rapport d'engrenages est de 3,08.

L'ensemble du moteur et de ses engrenages, y compris la boîte d'engrenages, pèse environ 1,850 kg.

La régulation de ces moteurs est effectuée par la méthode série-parallèle, appliquée séparément à chaque groupe formé par les 2 moteurs du même bogie.

Le dispositif adopté pour la commande simultanée et à distance des 8 moteurs du train est le système Sprague-Thomson-Houston, qui consiste essentiellement, comme on le sait, dans le remplacement du régulateur ordinaire à touches, manœuvré à la main, par une série d'interrupteurs à relais électromagnétiques ou « contacteurs », en nombre égal au nombre des crans du régulateur qu'ils remplacent et effectuant les mêmes combinaisons: insertion des résistances, couplage des moteurs en série ou en parallèle. Il y a une série d'interrupteurs semblables pour chaque groupe de 2 moteurs, tous à soufflage magnétique. Ces interrupteurs sont commandés électriquement à distance et en synchronisme absolu, par l'intermédiaire d'un circuit spécial à 9 conducteurs branché en dérivation sur le circuit principal et régnant tout le long du train, au moyen d'un combineur principal de petites dimensions qui envoie successivement et dans l'ordre convenable du courant dans les différents électros de relai. Le renversement de la marche est réalisé par un inverseur manœuvré également par électro-aimants et commandé à distance par le même combineur au moyen d'une manette auxiliaire enclenchée avec la manette principale.

Le système est complété par un limiteur automatique de courant et un dispositif de sécurité coupant automatiquement le circuit lorsque le machiniste abandonne sa manette de commande.

Chacune des deux cabines de manœuvre comporte un combineur semblable, ainsi que la série des interrupteurs électro magnétiques et des résistances et l'inverseur desservant les 2 moteurs du bogie correspondant.

Les interrupteurs électromagnétiques sont montés dans l'intérieur de la cabine sur des cadres métalliques à côté desquels se trouve un panneau de marbre portant divers appareils accessoires: interrupteurs à main, fusibles, etc. Les résistances et le compresseur d'air électrique sont logés dans des coffres métalliques placés dans les angles des cabines et pourvus de persiennes de ventilation sur leurs faces extérieures. Les câbles reliant les contacteurs aux résistances passent sous le plancher de la cabine dans une gaine métallique munie de trappes de visite.

D'autres trappes sont ménagées dans le plancher pour la visite du collecteur des moteurs.

L'équipement électrique des automotrices est complété par quatre frotteurs latéraux, montés dans l'axe des bogies, et un frotteur aérien.

Elles sont munies du frein Westinghouse à action rapide et d'un frein à main, de sifflets et de sablières à air comprimé.

Enfin, elles sont chauffées et éclairées électriquement. Le chauffage est réalisé au moyen de plaques chauffeuses Parvillée, placées sous les pieds des voyageurs. Quant à l'éclairage, il est assuré, en même temps que celui du reste du train, par des groupes de lampes en série alimentées par un circuit dérivé sur le troisième rail.

Le nombre de voitures remorquées par les automotrices est normalement de sept. Le train complet, avec ses deux automotrices, pèse environ 175 tonnes à vide et contient 520 places.

Exploitation. — Les nouvelles installations ont été mises en service le 1^{er} Juillet 1904 (1).

Le nombre de trains remorqués électriquement entre Paris et Juvisy est de 70 à 80 par jour, dont la moitié ayant leur terminus à Juvisy.

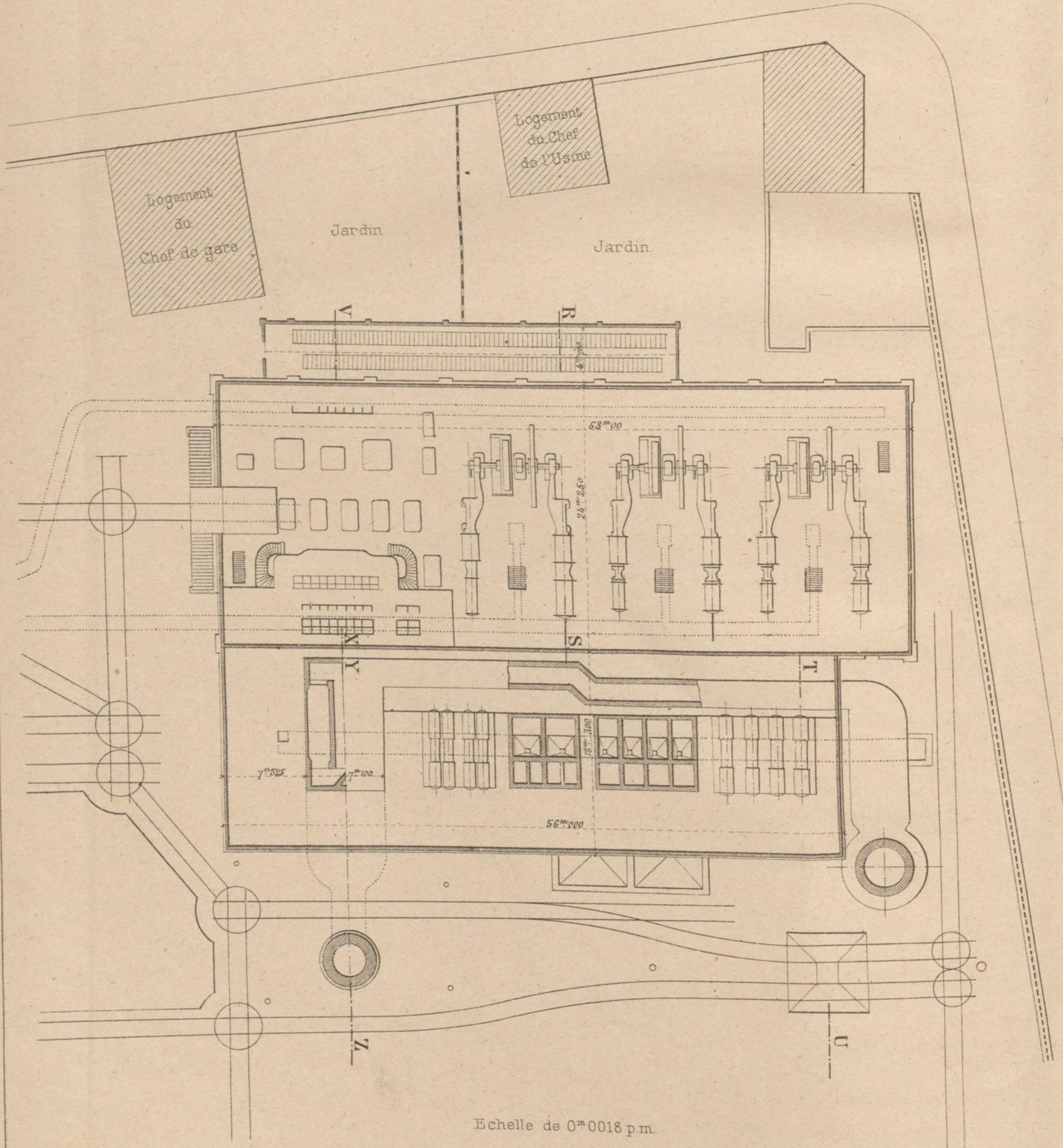
Le parcours entre la gare de Paris-Quai-d'Orsay et Juvisy, qui est de 22.786 mètres et comporte 8 arrêts intermédiaires, est franchi par les trains omnibus en 34 à 38 minutes, suivant que les stationnements durent une demi-minute ou une minute, à la vitesse moyenne (temps de ralentissement et de reprise de vitesse compris) de 46 kilomètres à l'heure environ. Pour les trains directs, qui s'arrêtent tous à Austerlitz et au Pont-St-Michel, la durée du trajet est de 26 minutes et la vitesse moyenne de 50 kilomètres environ.

La conduite des trains à traction électrique est assurée par un seul agent, assisté par le chef de train, qui se tient sur la locomotive ou dans le fourgon attendant à la cabine de manœuvre des automotrices ; ce dernier est capable d'arrêter le train en cas de besoin.

Les locomotives parcourent en moyenne 200 kilomètres et les automotrices 250 kilomètres par jour.

(1) Voir *Revue Générale*, n° d'Août 1904.

Fig.1. Plan d'ensemble de l'usine électrique d'Ivry.



FER D'ORLÉANS

ET JUVISY. -- USINE ÉLECTRIQUE D'IVRY

Fig.2. Coupe transversale suivant RSTU.

Echelle de 0^m0033p.m.

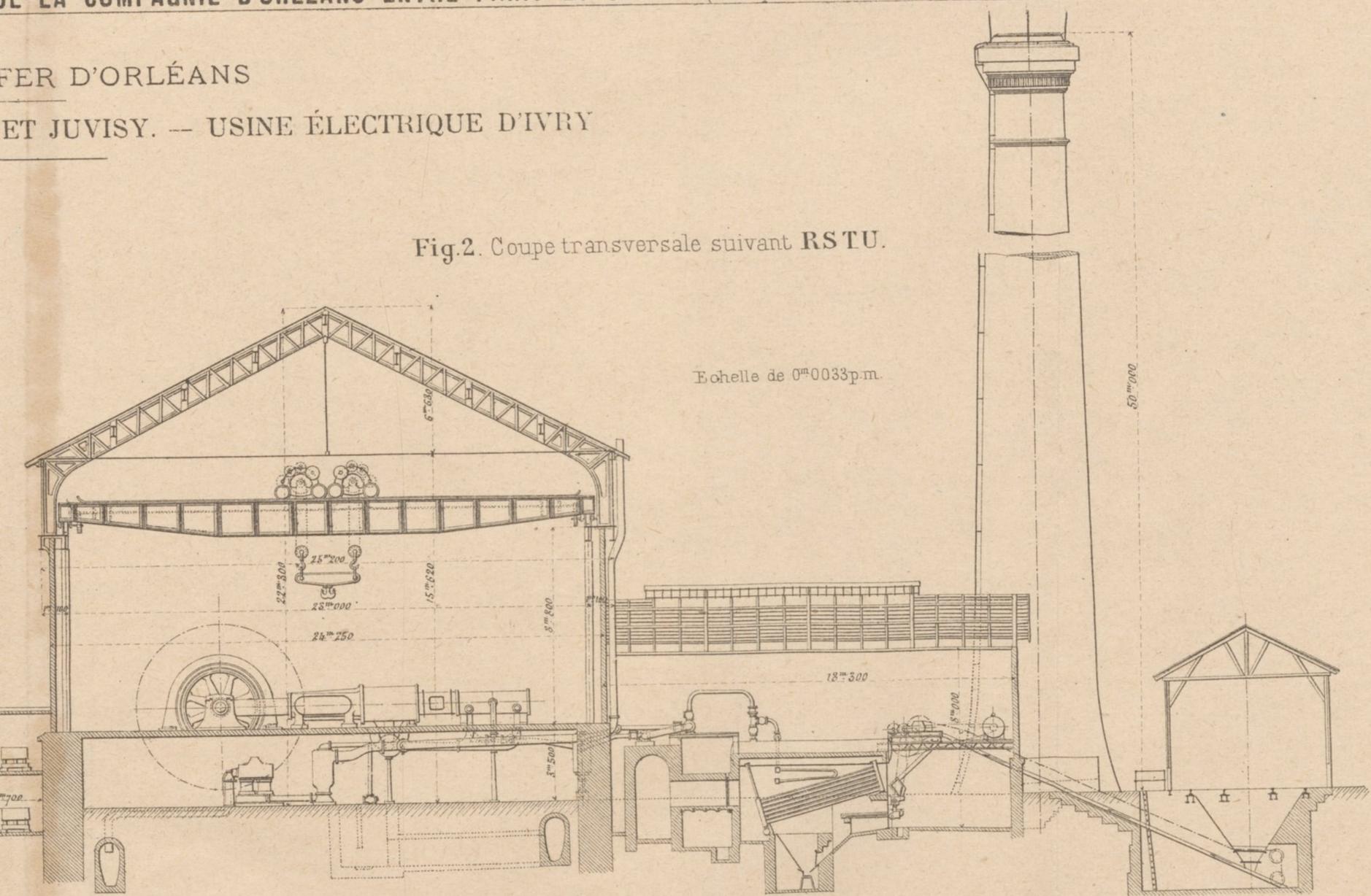
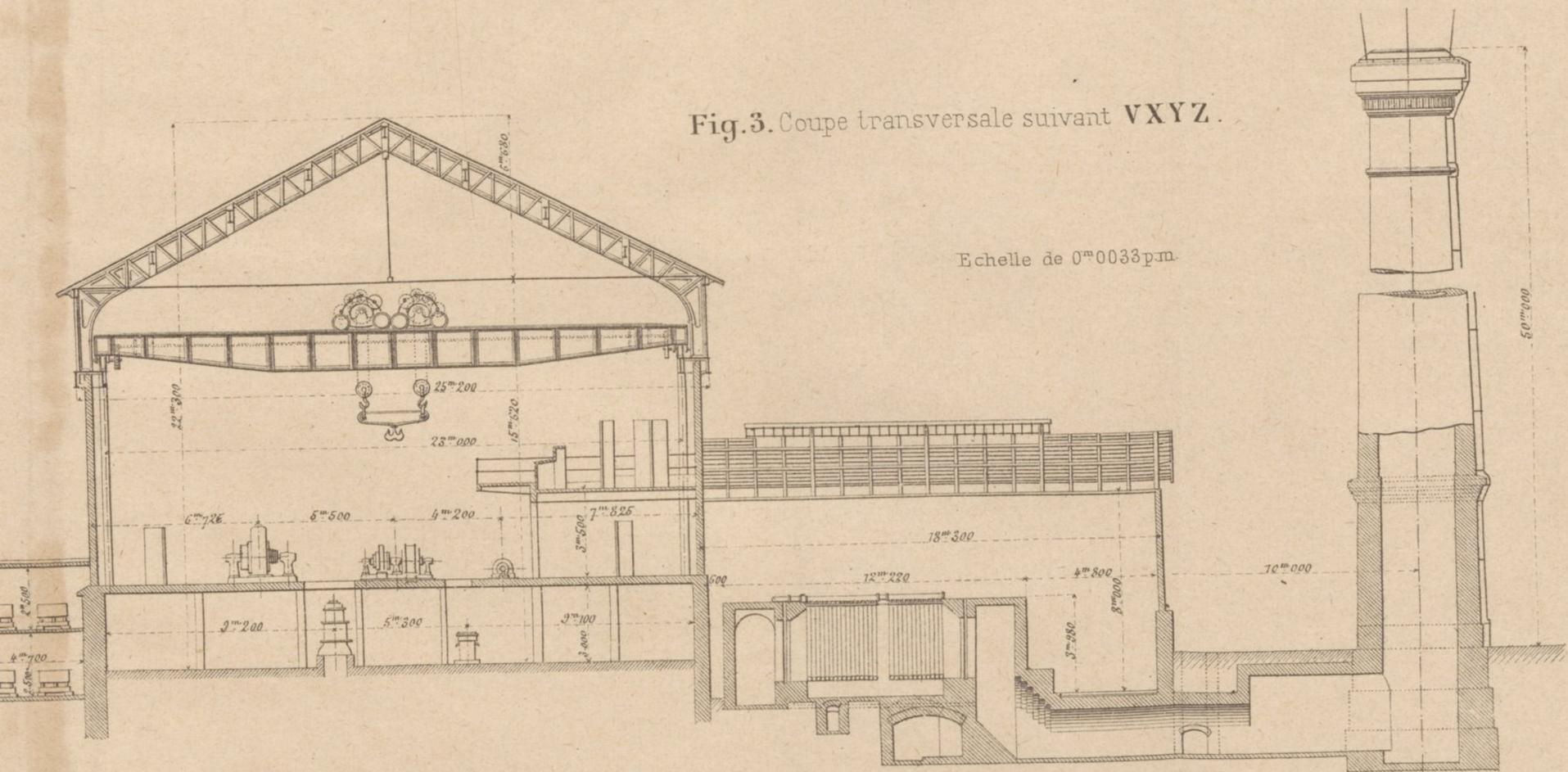


Fig.3. Coupe transversale suivant VXYZ.

Echelle de 0^m0033p.m.



CHEMIN DE FER D'ORLÉANS
TRACTION ÉLECTRIQUE ENTRE PARIS ET JUVISY
SOUS-STATION D'ABLON

Fig. 1. Coupe transversale.

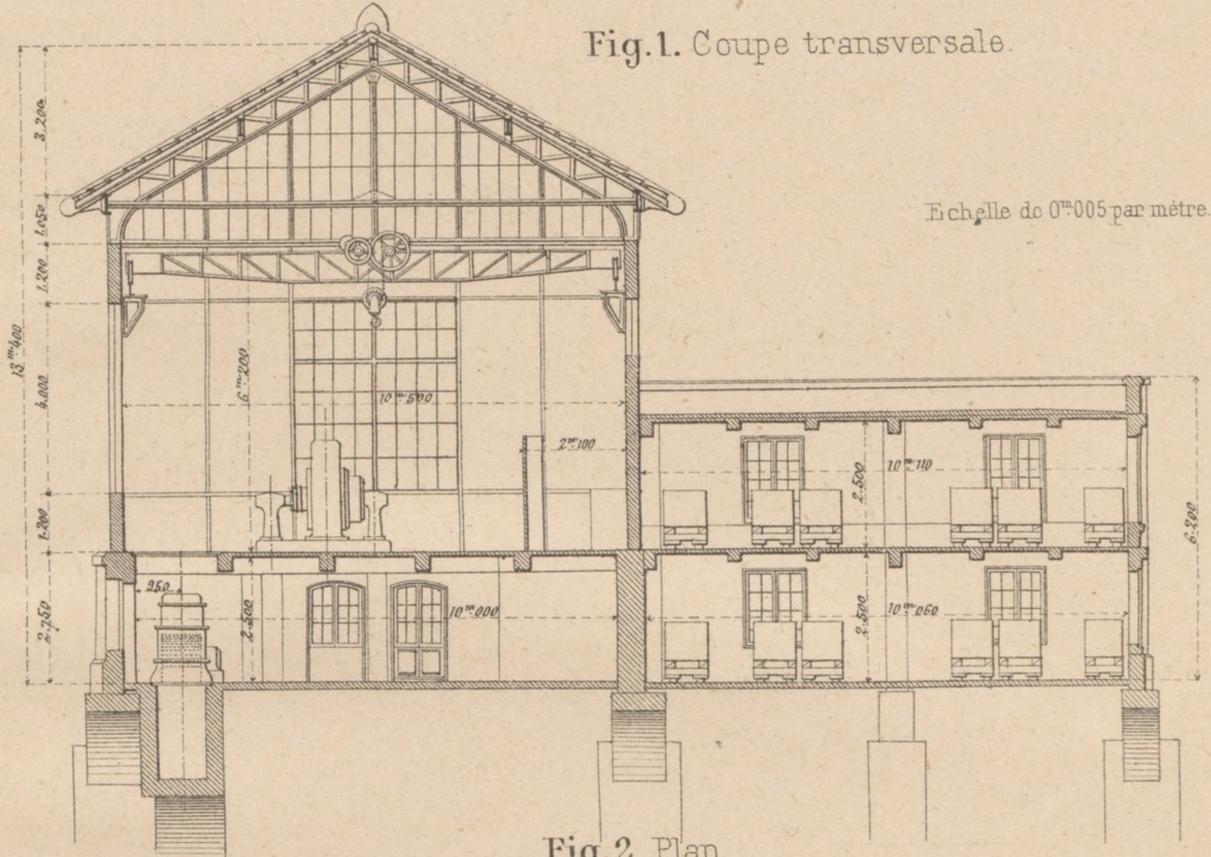
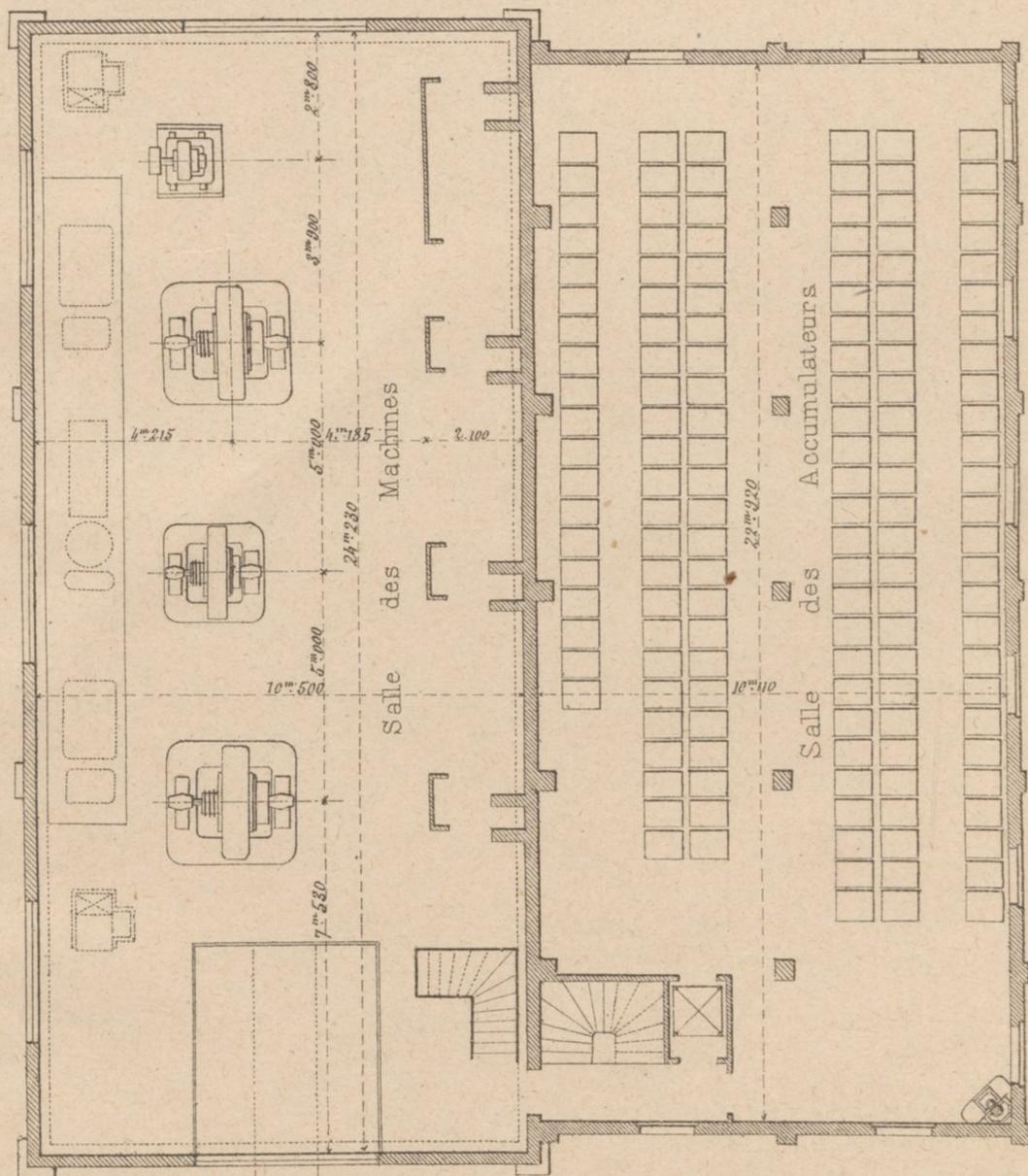
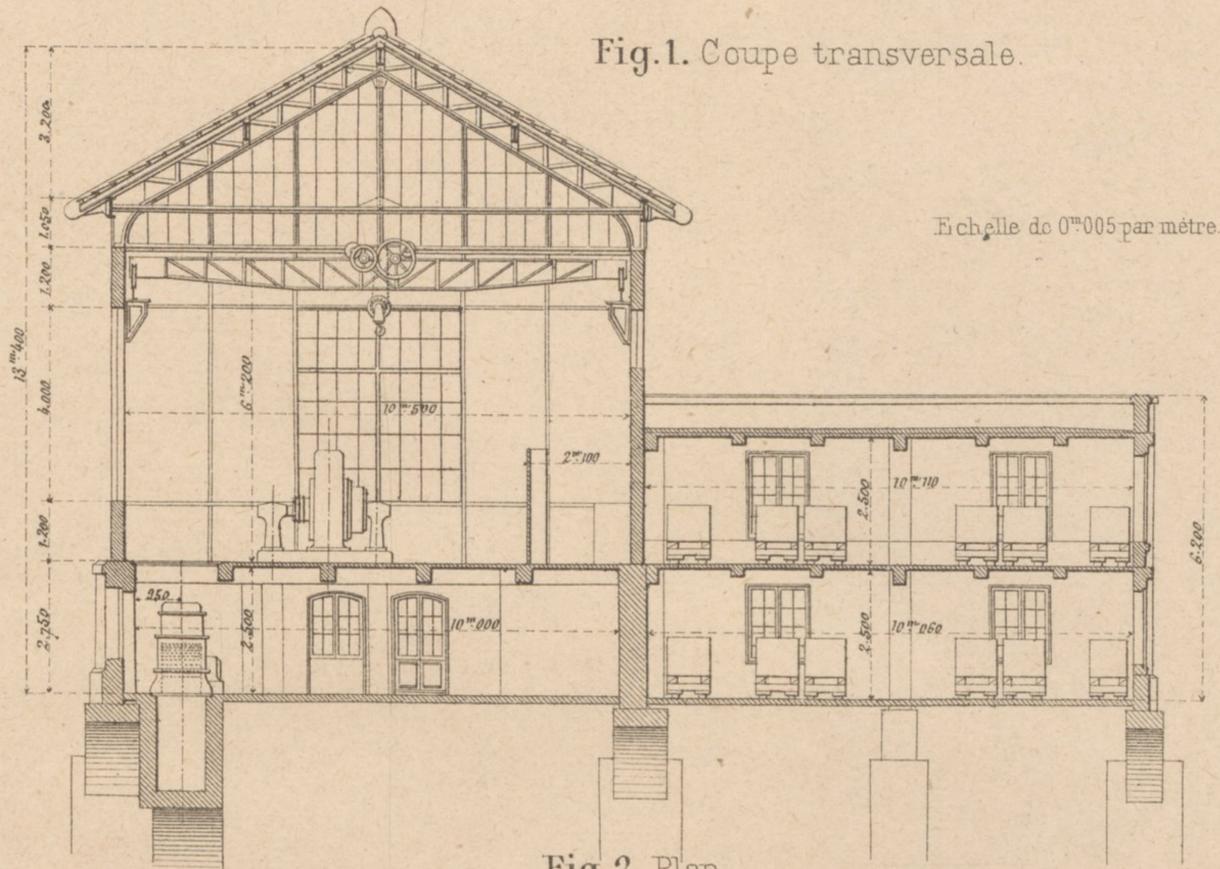


Fig. 2. Plan.



CHEMIN DE FER D'ORLÉANS
TRACTION ÉLECTRIQUE ENTRE PARIS ET JUVISY
SOUS-STATION D'ABLON

Fig. 1. Coupe transversale.



Echelle de 0^m005 par mètre.

Fig. 2. Plan.

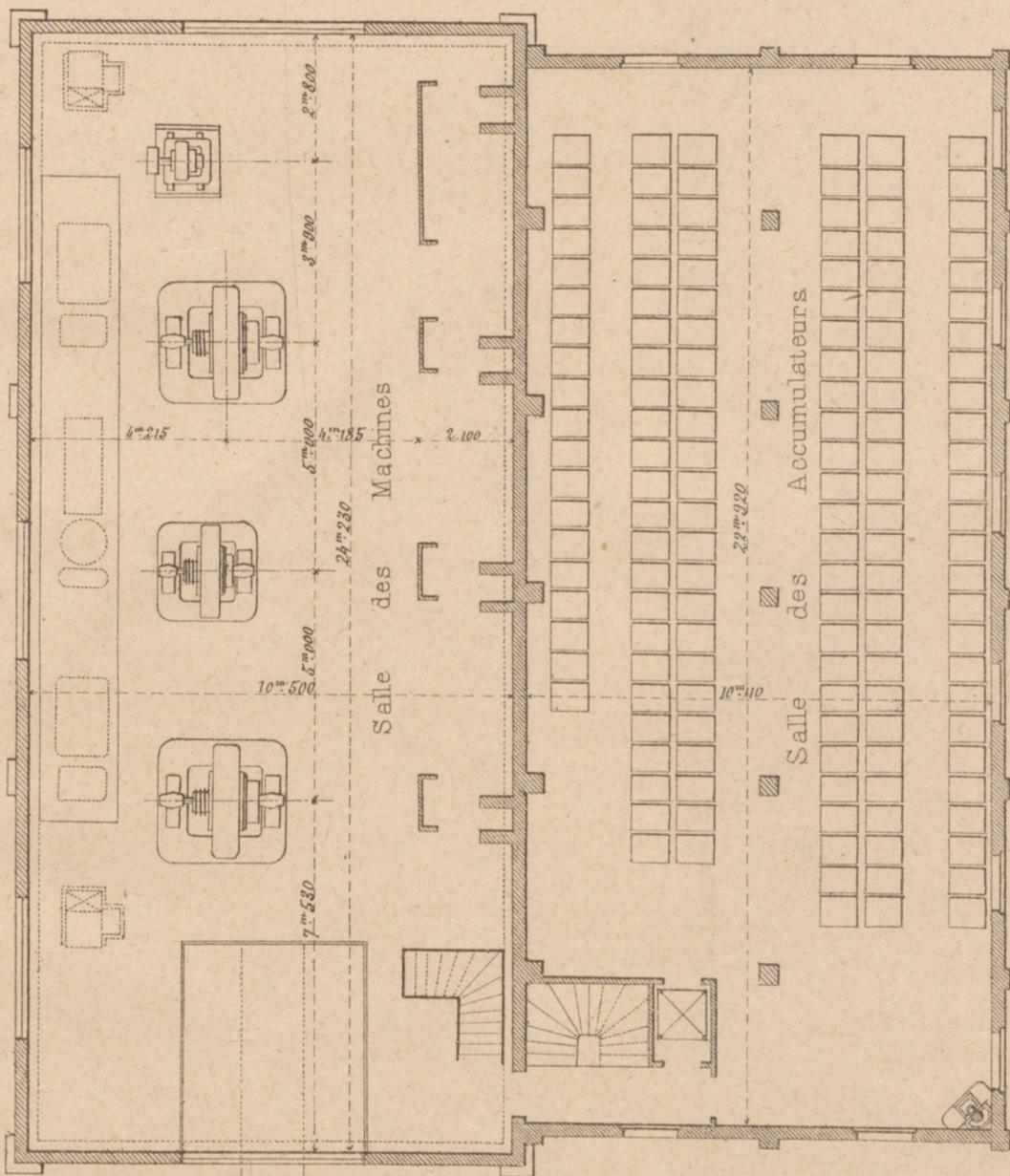
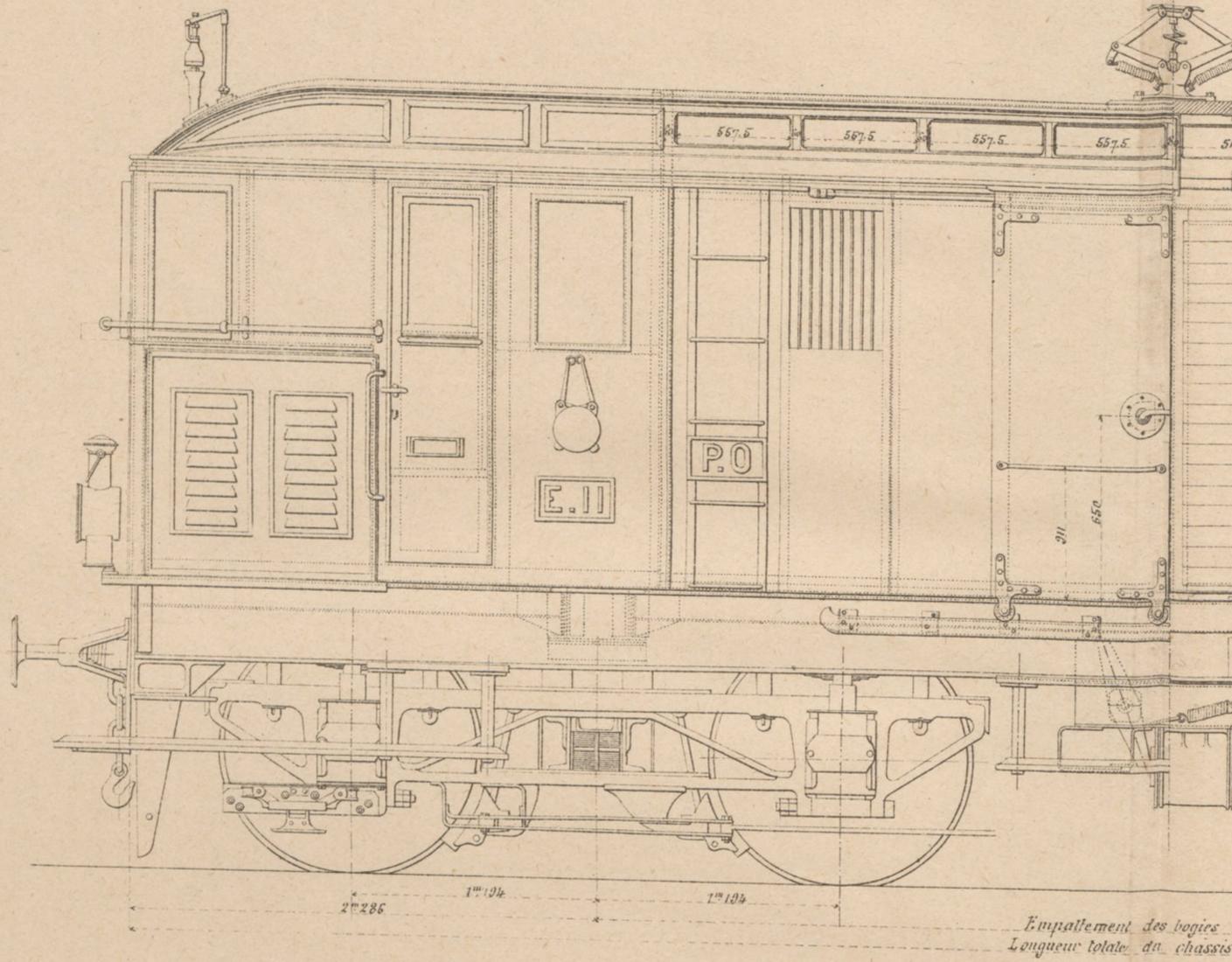
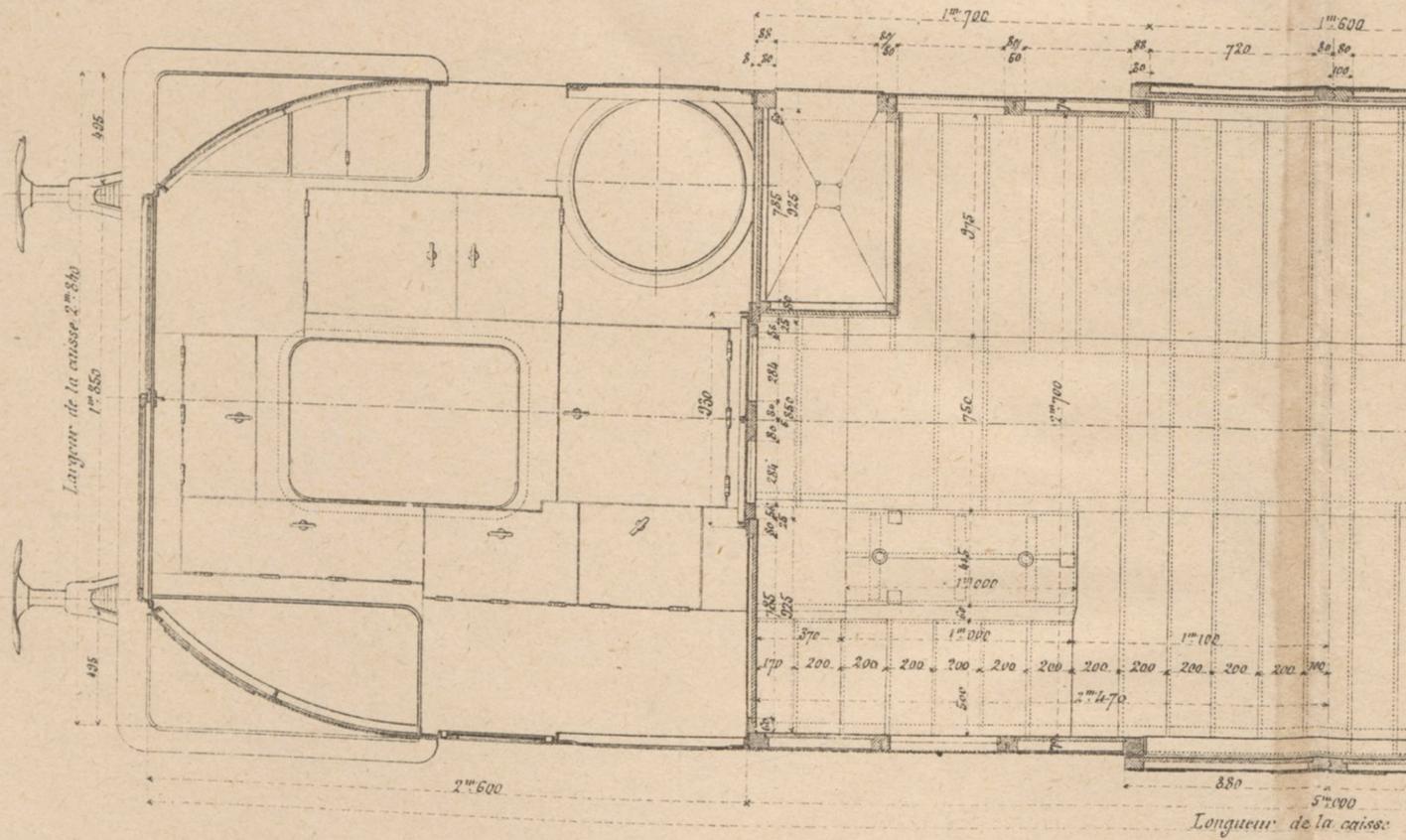


Fig.1. Demi-élévation.



Empalement des bogies
Longueur totale du chassis

Fig.3. Pla



Longueur de la caisse

ANS. — LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE

chelle 1/40^e

Fig. 2. Demi-coupe longitudinale

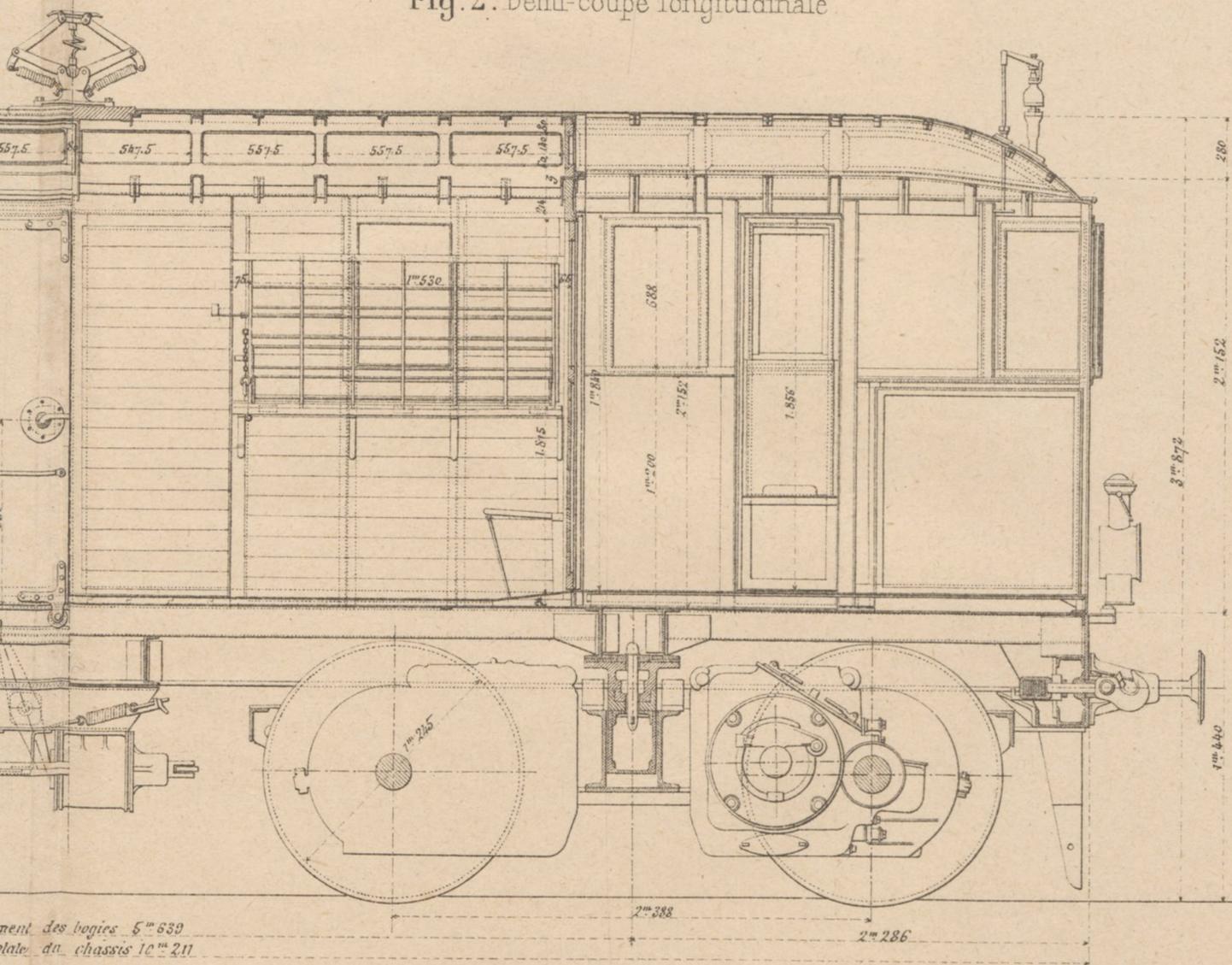
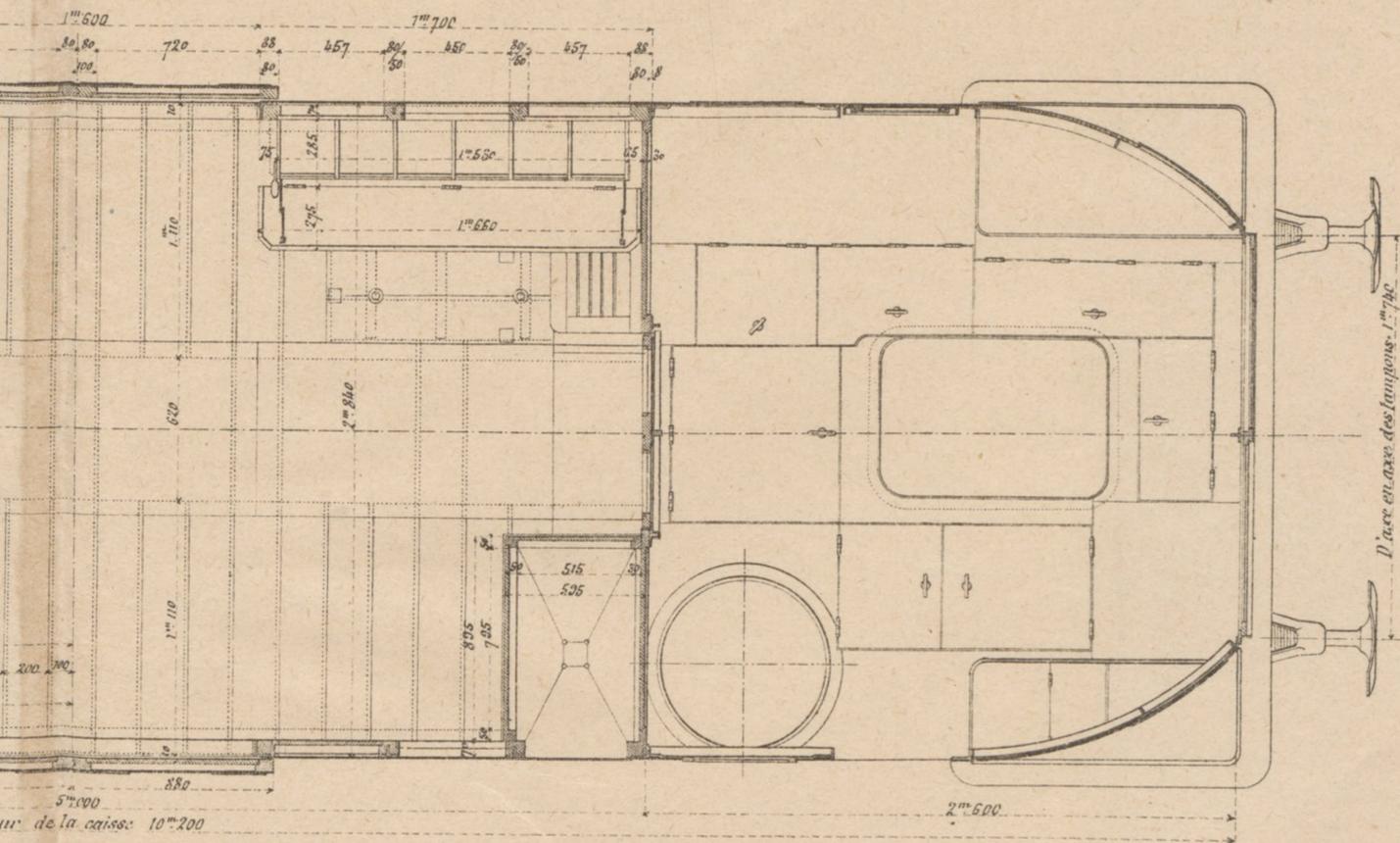


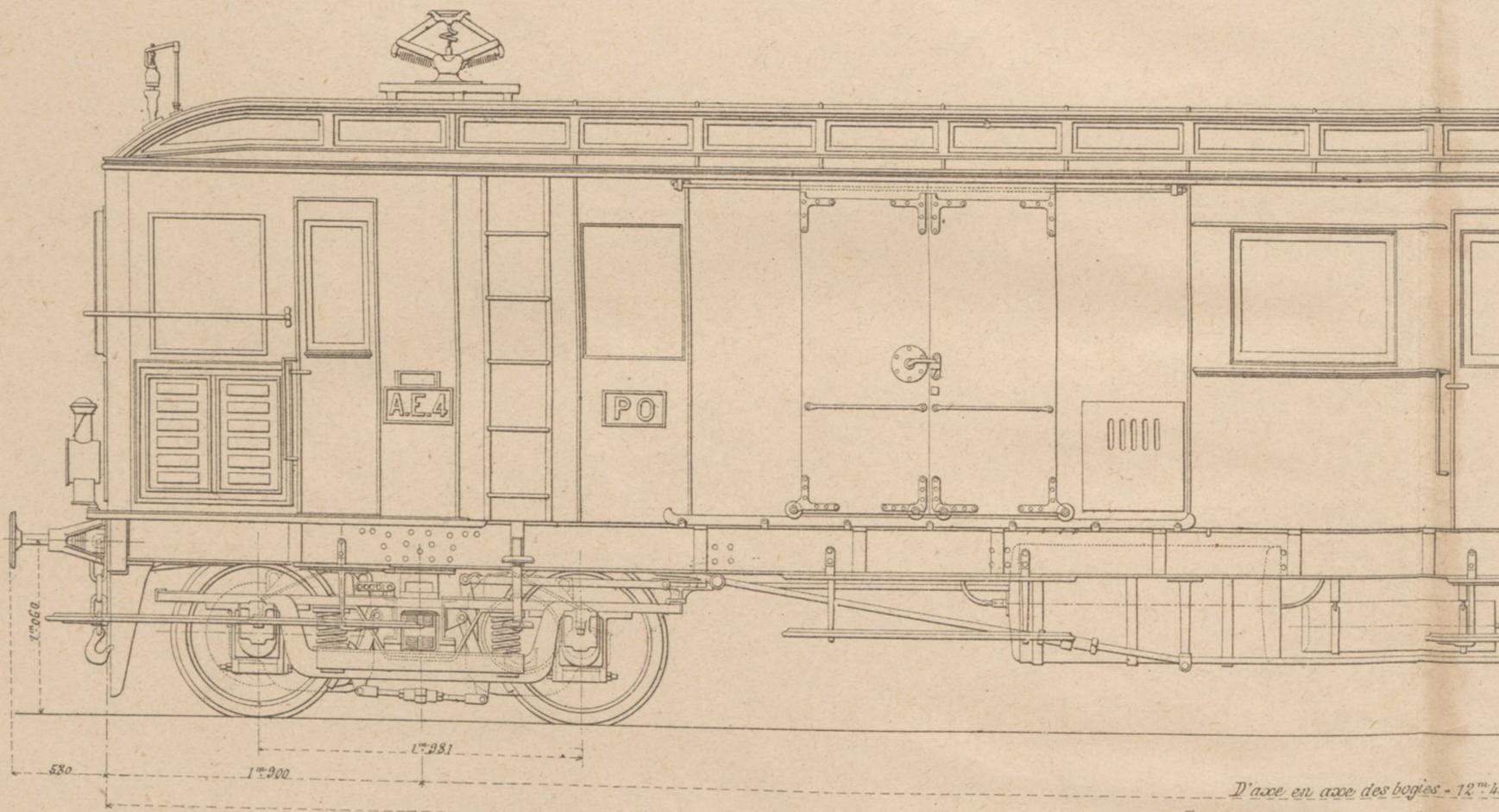
Fig. 3. Plan.



CHEMIN DE FER D'ORLÉANS. — A

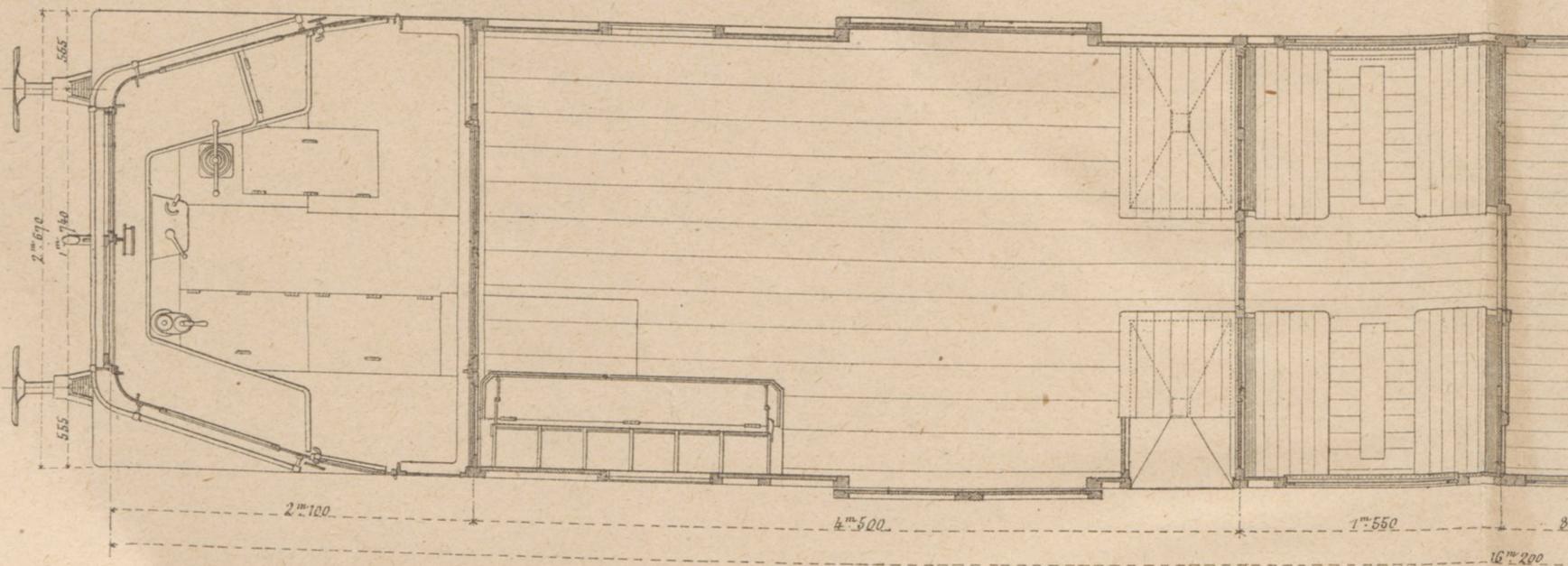
Échelle 1/50^e

Fig.1. Elevati



D'axe en axe des bogies - 12^m 400
Longueur totale du chassis de caisse

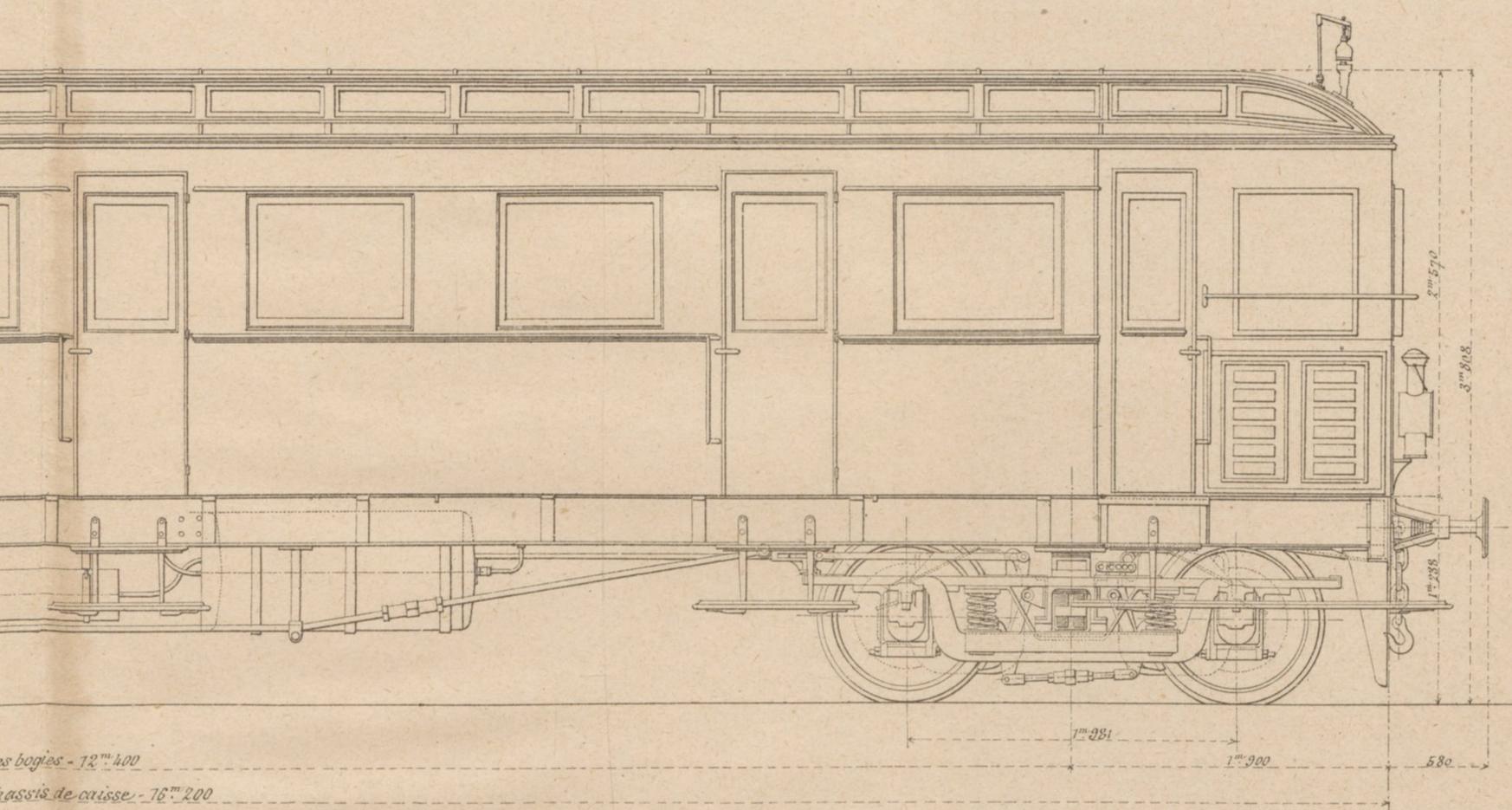
Fig.2. Plan.



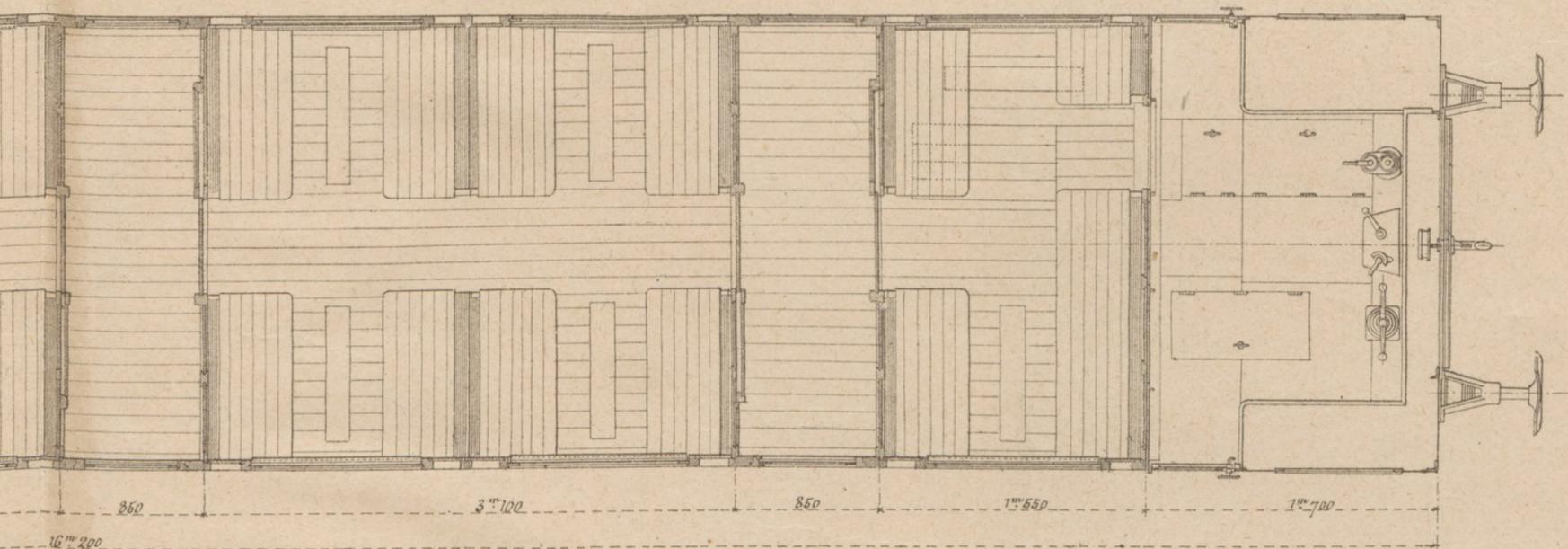
NS. — AUTOMOTRICE ELECTRIQUE

elle 1/50°

1. Elevation.

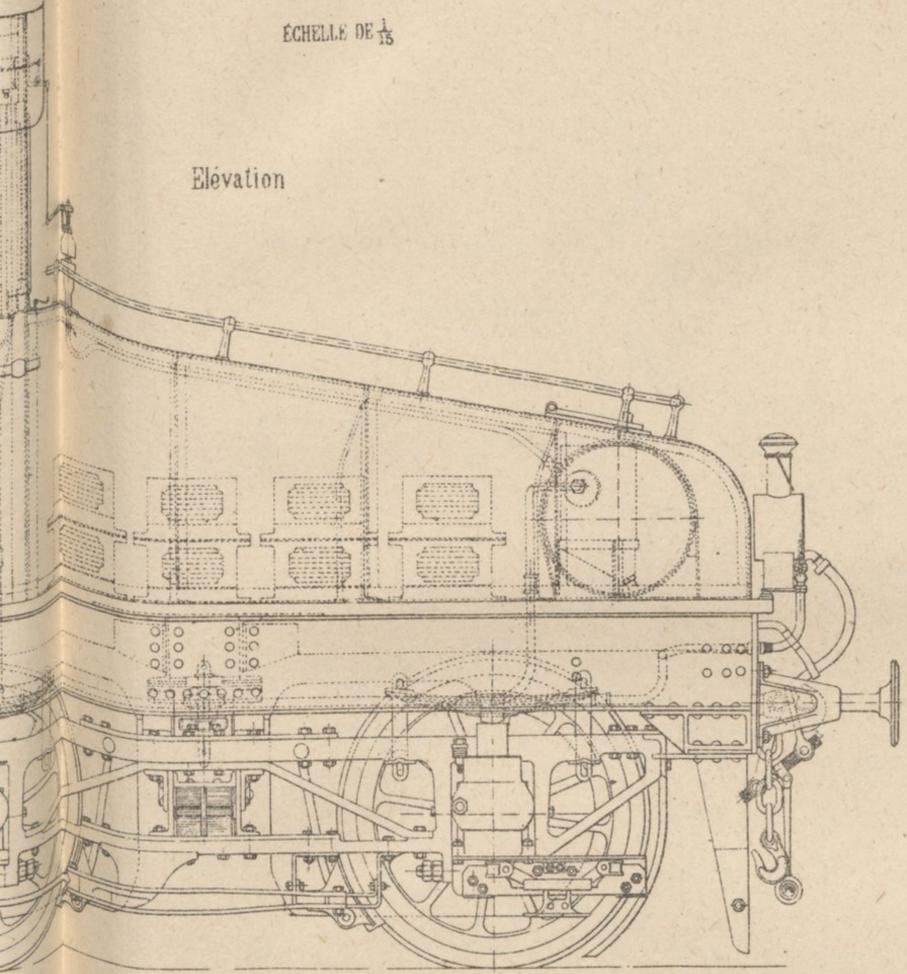


2. Plan.

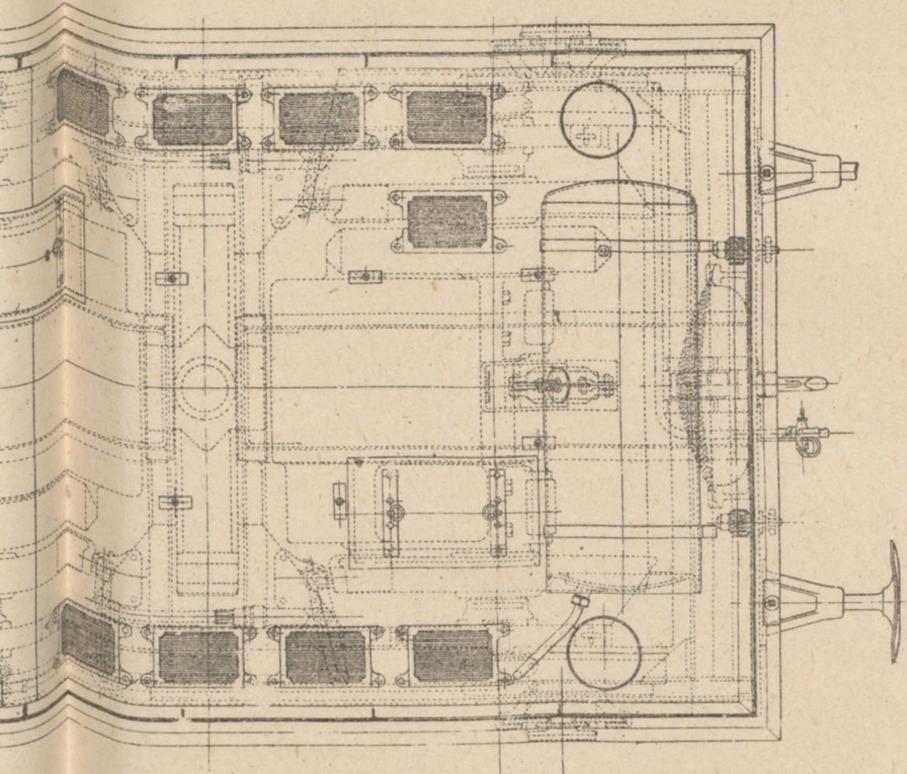
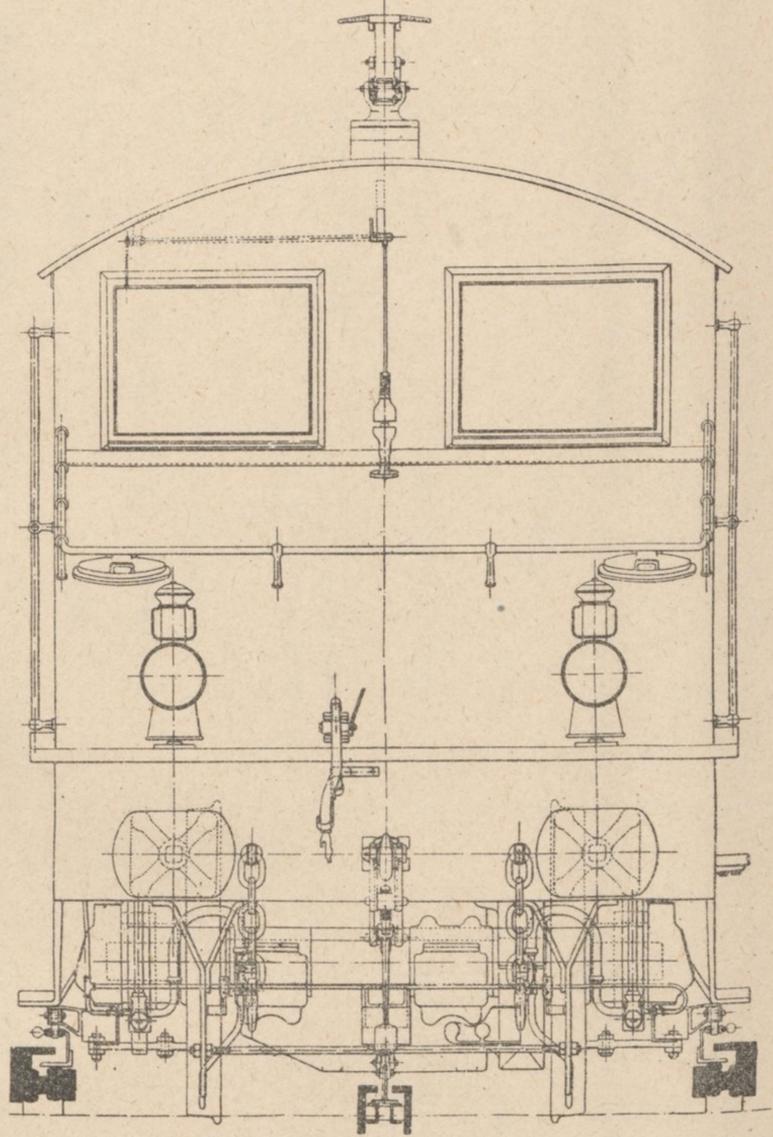


ECHELLE DE $\frac{1}{15}$

Elevation



Vue par bout



Coupe par A B

Coupe par C D

