

LA TRACTION ÉLECTRIQUE

SUR LA

LIGNE DES INVALIDES A VERSAILLES (R.G.)⁽¹⁾

Par M. MAZEN,

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES
INGÉNIEUR DU SERVICE ÉLECTRIQUE DU MATÉRIEL A LA COMPAGNIE DE L'OUEST



La ligne des Invalides à Versailles R. G. comporte comme on le sait entre Meudon et Chaville un souterrain de 3.500 mètres de longueur en rampe continue de 8^m/_m par mètre ; la ventilation de ce souterrain a paru particulièrement difficile à assurer avec les trains à vapeur fréquents, comme en comporte un service de banlieue.

C'est en raison de ces difficultés que la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest a été autorisée par décision ministérielle du 6 septembre 1898 à adopter la traction électrique sur cette ligne.

Le programme élaboré par la Compagnie comportait la production de l'énergie électrique sous la forme de courants triphasés à 5.000 volts et à la fréquence 25 et son utilisation pour la traction sous forme de courant continu à 550 volts résultant de la transformation du courant à haute tension.

La présente note a pour objet de décrire les différentes parties des installations exécutées dans ce but et qui comprennent : une usine centrale de production d'énergie électrique à haute tension, des sous-stations de transformation, l'équipement électrique des voies, le matériel roulant, locomoteurs et trains automoteurs, enfin diverses installations accessoires, éclairages, épaulements, etc...

USINE CENTRALE.

L'usine centrale de production de l'énergie électrique installée et exploitée par la Compagnie générale de Traction et la Société anonyme Westinghouse est située à Issy-les-Moulineaux. Elle occupe un terrain compris entre la station des Moulineaux-Billancourt et le quai de Seine. Sa proximité de la gare aux marchandises des Moulineaux lui facilite ses approvisionnements

(1) Voir *Revue Générale*, N^o de Juillet 1902, la note sur la construction de la ligne d'Issy à Viroflay.

Fig. 1. — PLAN GÉNÉRAL DE L'USINE ÉLECTRIQUE DES MOULINEAUX.

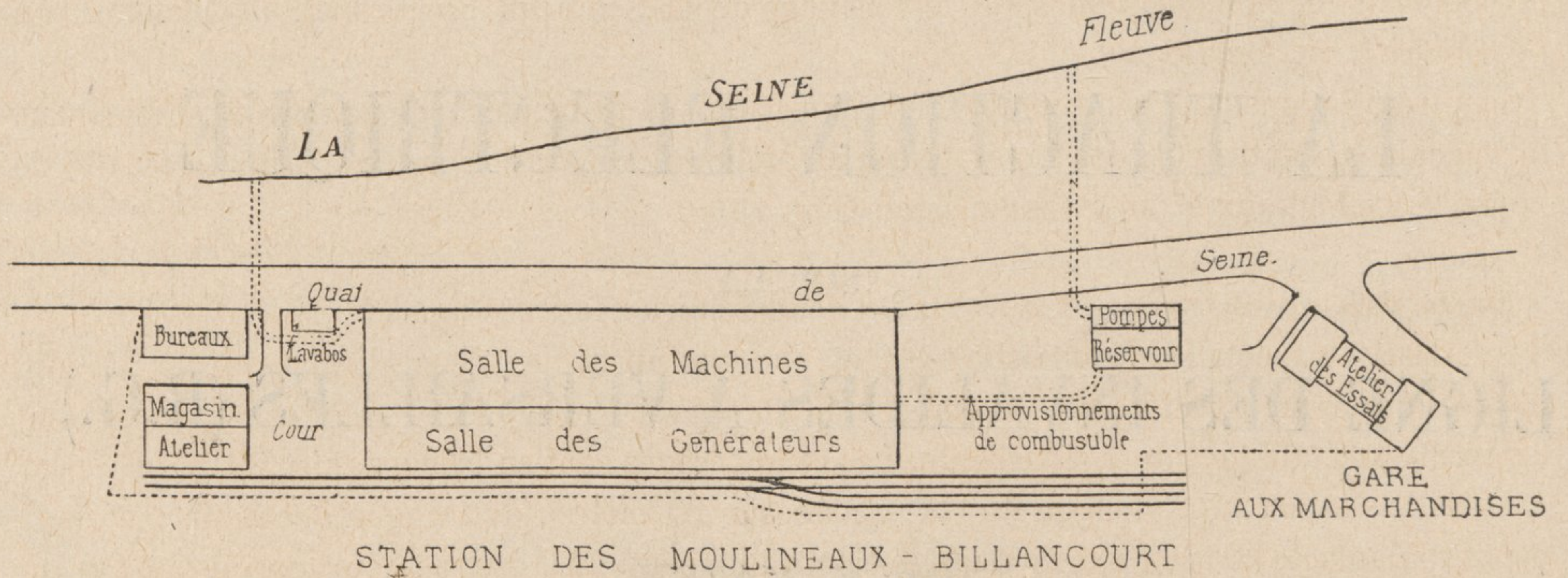


Fig. 2. — USINE ÉLECTRIQUE DES MOULINEAUX. — (Coupe transversale).

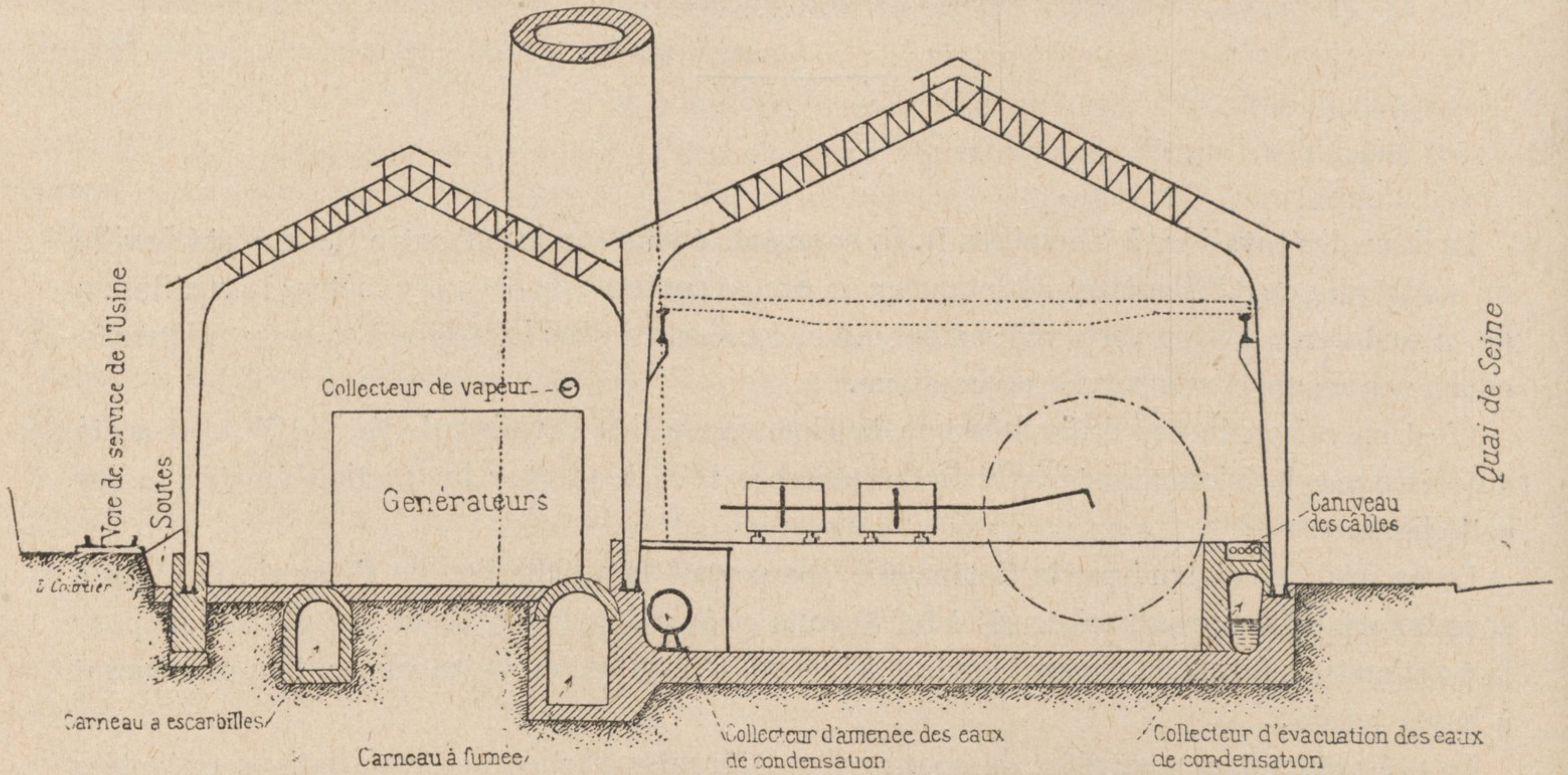
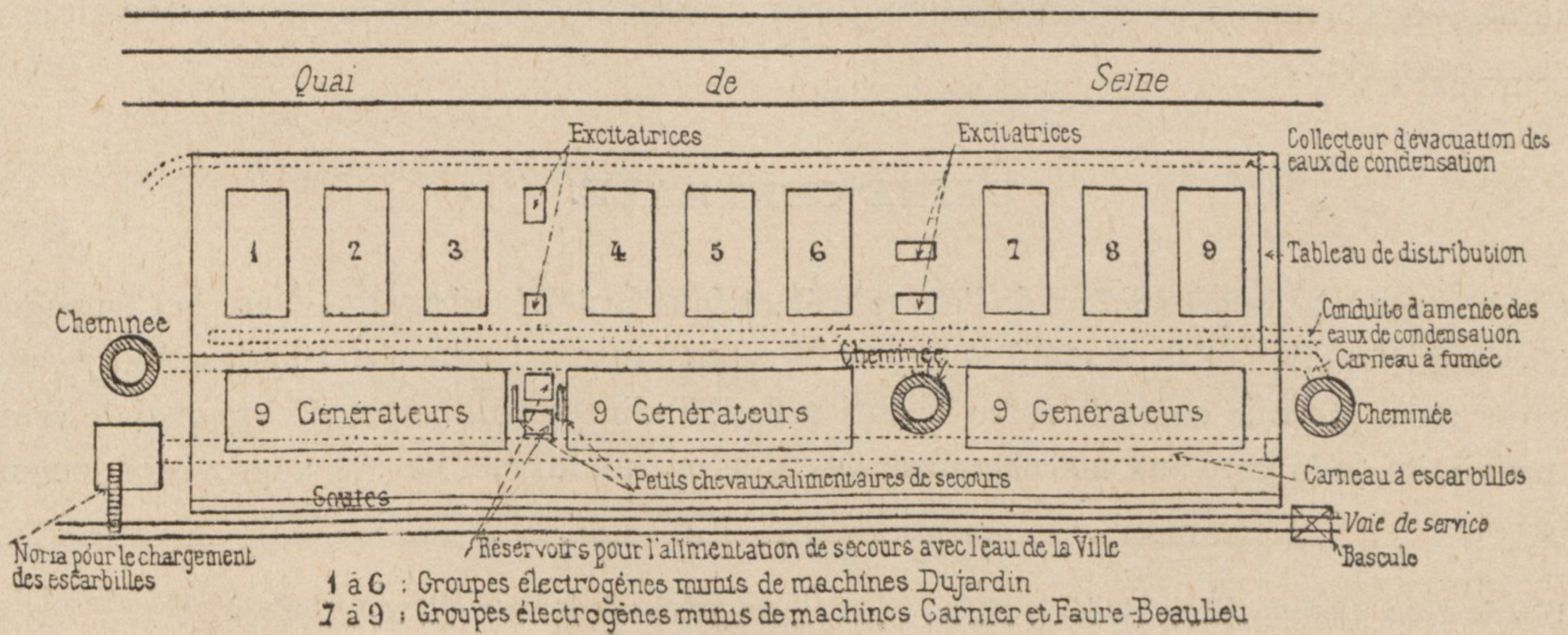


Fig. 3. — USINE ÉLECTRIQUE DES MOULINEAUX.
(Plan de la salle des machines et de la salle des générateurs).



de combustible, en même temps que le voisinage de la Seine lui procure en abondance l'eau nécessaire à son fonctionnement.

Les installations de l'usine comprennent un bâtiment principal à deux travées, l'une pour les machines, l'autre pour les générateurs, un atelier de réparation, un magasin, une salle de pompes, les bureaux et un atelier d'essais (Fig. 1).

Salle des machines. — La proximité de la Seine a nécessité pour la salle des machines des fondations spéciales. Cette salle a été établie sur un radier général en béton armé d'un mètre d'épaisseur formant cuvette étanche. Les murs verticaux qui limitent le radier supportent les fermes métalliques de la charpente. Les remplissages sont en briques (Fig. 2).

La salle des machines longue de 111 mètres sur 20 mètres de largeur desservie par deux ponts roulants de 20 tonnes à commande électrique, contient 9 groupes électrogènes à vapeur d'une puissance normale de 800 kilowatts et 4 groupes d'excitation de 125 kilowatts (Fig. 3).

Les machines à vapeur des groupes électrogènes principaux sont de deux types différents :

6 de ces groupes sont en effet munis de machines Dujardin ; les trois derniers sont actionnés par des machines Garnier et Faure-Beaulieu.

Les machines Dujardin sont à triple expansion, à 4 cylindres par deux en tandem, à distributeurs.

Les caractéristiques principales de ces machines sont les suivantes :

Vitesse.....	80 tours par minute.
Course.....	1 ^m ,350.
Diamètre du cylindre H.-P.....	650 ^m / _m .
Diamètre du cylindre M.-P.....	1.100 »
Diamètre des deux cylindres B.-P.....	1.100 »
Pression normale d'admission.....	10 kilogr.

Le régulateur agit sur l'admission au cylindre à haute pression. L'admission aux autres cylindres est constante : de 35 % pour le cylindre à moyenne pression, de 50 % pour les cylindres à basse pression.

Ces machines marchent normalement à condensation. Chaque machine est munie de deux condenseurs à mélange placés dans le sous-sol, ainsi que les pompes à air, les pompes d'alimentation et les pompes de purge.

Les machines Garnier et Faure-Beaulieu sont compound avec manivelles à 90°.

Leurs caractéristiques principales sont les suivantes :

Vitesse.....	80 tours par minute.
Course.....	1 ^m ,300
Diamètre du cylindre H.-P.....	710 ^m / _m
Diamètre du cylindre B.-P.....	1.320 »
Pression normale d'admission.....	10 kilogr.

Le régulateur agit à la fois sur l'admission aux deux cylindres.

Les condenseurs sont placés dans le prolongement des cylindres.

Les alternateurs accouplés directement aux machines à vapeur produisent du courant triphasé à 25 périodes et 5.000 volts, tension normale de la distribution.

L'inducteur tournant est à pôles feuilletés avec intervalles de ventilation entre les paquets de tôle correspondant à des ouvertures dans la jante du volant de support. Le diamètre de la partie tournante est de 4^m,267.

L'inertie de l'inducteur est insuffisante par elle-même pour assurer la marche régulière de la machine à vapeur. Aussi a-t-on dû monter à côté de l'alternateur un volant de 20 tonnes de jante et de 7^m,50 de diamètre pour les groupes Dujardin et de 25 tonnes de jante et de 7 mètres de diamètre pour les machines Garnier et Faure-Beaulieu.

Toutes les machines sont munies d'un vireur mû électriquement.

Les machines à vapeur des groupes d'excitation sont des machines verticales Westinghouse Compound à simple effet et à grande vitesse.

Leurs caractéristiques principales sont les suivantes :

Vitesse.....	290 tours par minute.
Course.....	330 m/m.
Diamètre du cylindre H.-P.....	330, 2 m/m.
Diamètre du cylindre B.-P.....	558, 7 m/m.
Pression normale d'admission.....	10 kg.

Ces machines sont à condenseur indépendant.

Les excitatrices montées sur l'arbre de la machine à vapeur sont à 8 pôles feuilletés. Elles fournissent du courant continu à 115 volts pour l'excitation des alternateurs, pour l'éclairage de l'usine, pour les moteurs des pompes, de l'atelier de réparation, des ponts roulants, etc.....

Le tableau de réglage et de distribution est placé à l'une des extrémités de l'Usine sur une plateforme surélevée à laquelle on accède par deux escaliers. Il est relié aux machines par des câbles en caniveau.

Au-dessous du tableau de distribution est installé le tableau de départ des feeders où sont placés les compteurs.

Les générateurs sont du type semi-tubulaire à bouilleurs et ont été fournis par la maison Meunier de Lille.

Ils sont au nombre de 27 ; de 235 m²/m² de surface de chauffe chacun.

Les gaz sont évacués par trois cheminées de 50 mètres de hauteur et de 3 mètres de diamètre à la base.

Les escarbilles tombent des foyers dans un carneau qui règne sur toute la longueur de la salle des générateurs. On les transporte au moyen de wagonnets dans une fosse communiquant avec le carneau et où elles sont reprises par une noria mue électriquement qui les déverse dans les wagons servant à leur transport. Le charbon est amené par une voie longeant extérieurement la salle des générateurs et est déversé directement dans les soutes.

Les chaudières sont alimentées par l'eau de condensation puisée à la sortie des condenseurs par des pompes mues par les machines à vapeur principales, deux petits chevaux alimentaires Worthington peuvent fournir une alimentation de secours.

L'eau servant à la condensation est puisée à la Seine par quatre pompes mues électriquement et refoulée dans un réservoir d'une capacité de 300 m³.

Chacune des pompes peut débiter 900 m³ à l'heure, et absorbe une puissance de 40 à 60 chevaux.

Il nous reste à donner quelques indications sur les installations annexes de l'Usine.

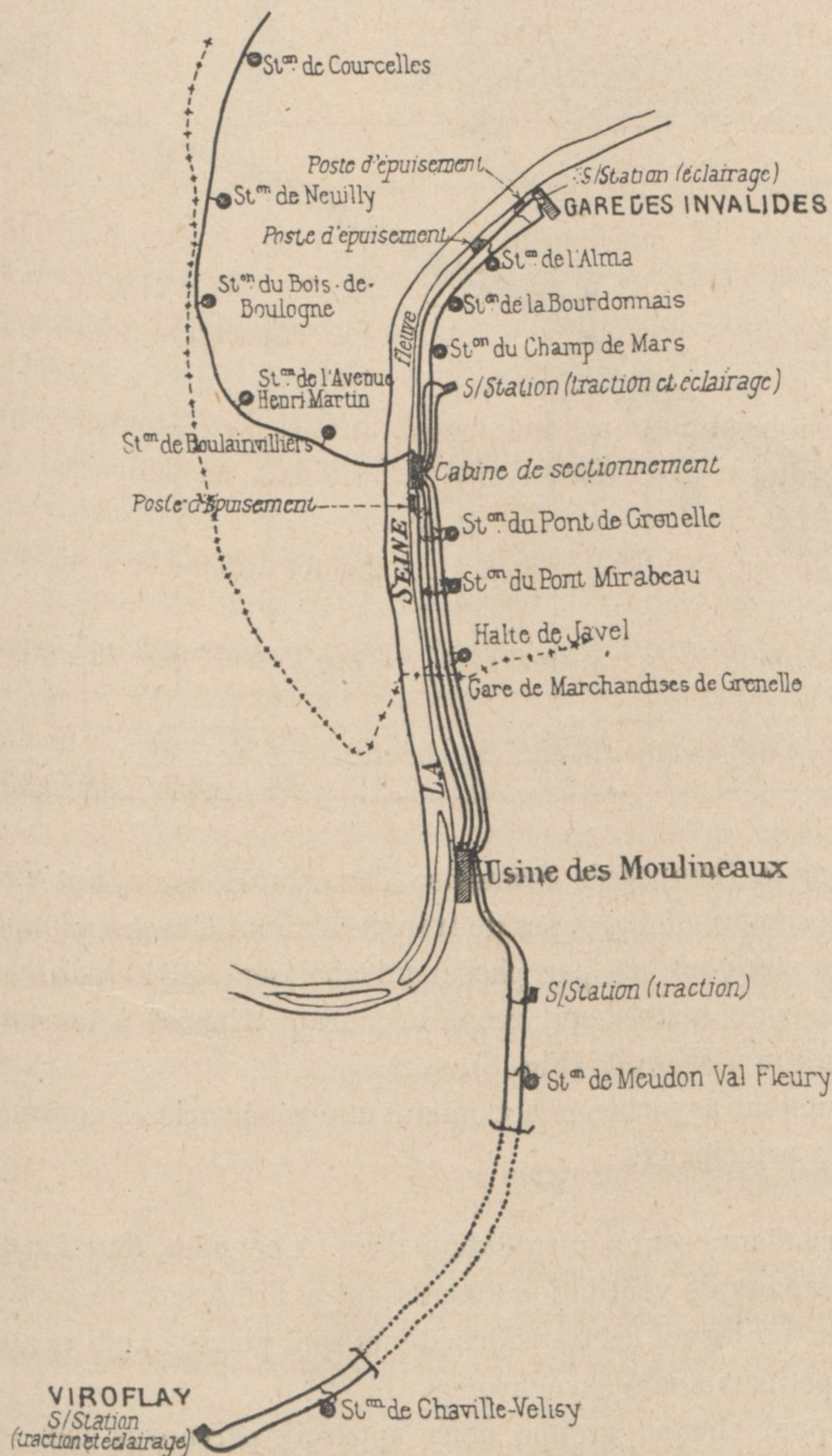
La cour de droite où se trouve l'entrée principale donne accès d'une part aux bureaux et aux logements du personnel, placés dans un bâtiment en bordure du quai de Seine, d'autre part au magasin et à l'atelier de réparation.

La cour de gauche est en grande partie occupée par le parc à combustible. Elle donne en outre accès à l'atelier des essais. Cet atelier effectue l'étalonnage des différents appareils de mesure, les essais de matériaux conducteurs, isolants, magnétiques, de moteurs à courant continu ou alternatif, la photométrie. Il comprend un atelier pour la réparation des lampes et des appareils de mesure.

RÉSEAU A HAUTE TENSION.

Le réseau à haute tension (Fig. 4) est entièrement souterrain. Il est constitué par des câbles

Fig. 4. — RÉSEAU DE CABLES A HAUTE TENSION.



Berthoud Borel à 3 conducteurs protégés par une double couche de plomb et deux couches de feuillard d'acier.

Ces câbles sont placés le long des voies. La fouille est garnie de sable et le câble est protégé par des tuileaux et un treillage recouverts par le ballast. Au passage des ouvrages d'art, il a fallu employer des dispositions particulières pour la pose des câbles. Deux systèmes différents ont été adoptés suivant le cas : la première a consisté à placer le câble dans un drain flamand rempli de sable, fixé à la plinthe ou aux poutres du viaduc.

Dans la seconde disposition le câble est placé dans un petit caniveau en briques rempli de sable.

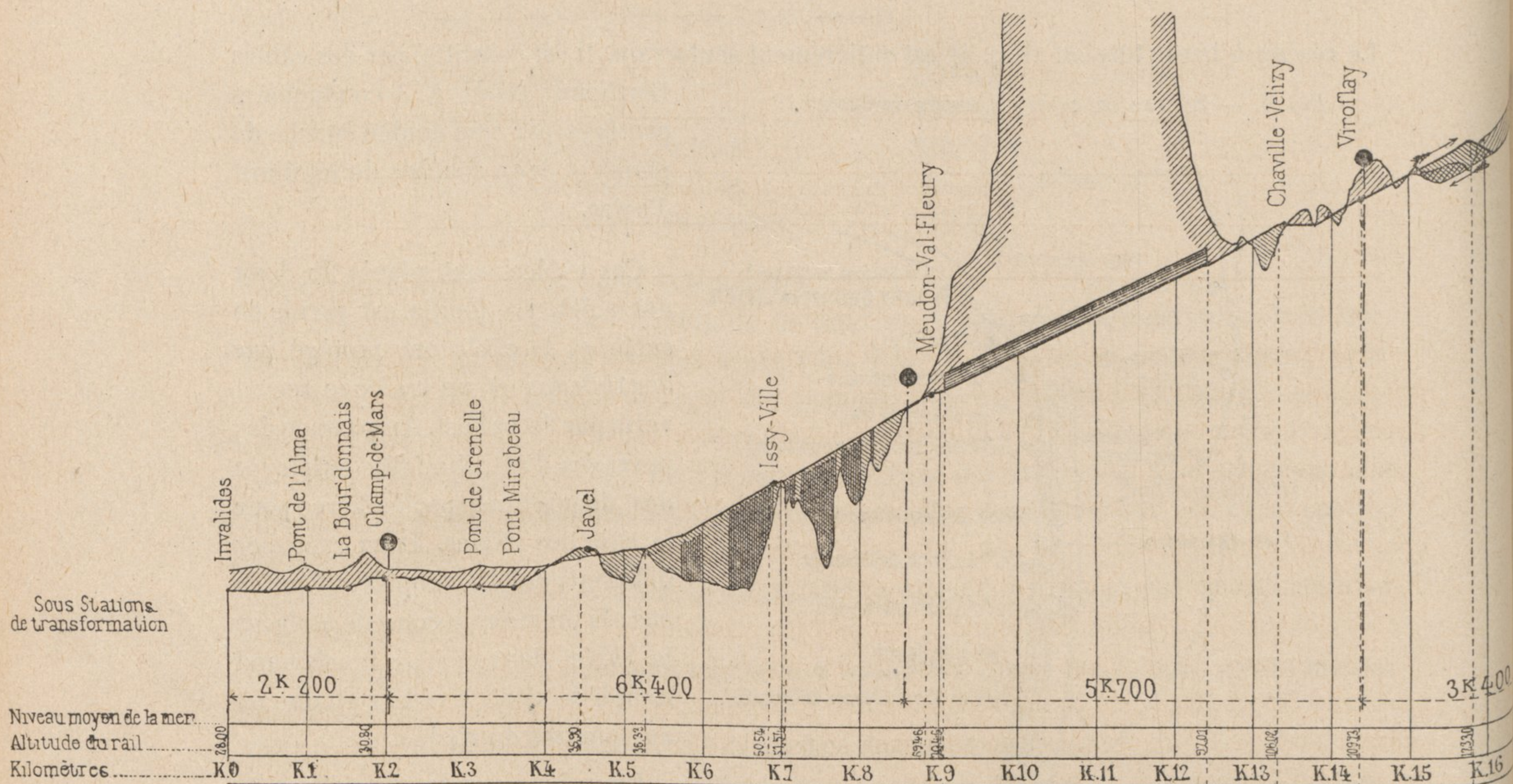
Afin d'assurer le service en cas d'avarie à un câble, chaque sous-station est reliée à 2 feeders distincts que des interrupteurs permettent d'isoler. De plus, les câbles alimentant les sous-stations du Champ-de-Mars, des Invalides et de la ligne de Courcelles-Champ-de-Mars peuvent être coupés à une cabine de sectionnement placée au voisinage du pont de Passy.

SOUS-STATIONS.

Trois sous-stations de transformation ont été réparties le long de la ligne des Invalides à Versailles pour fournir le courant continu à 550 volts nécessaire à la traction électrique.

Ces sous-stations sont situées : la première au Champ-de-Mars, la deuxième à Meudon au pied du viaduc du Val, la troisième à proximité de la station de Viroflay (Fig. 5).

Fig. 5. — PROFIL DE LA LIGNE INVALIDES-VERSAILLES AVEC LES SOUS-STATIONS DE TRANSFORMATION POUR LA TRACTION ÉLECTRIQUE.



Ces trois sous-stations, installées par la Compagnie Française Thomson-Houston, ont une composition identique. Chacune d'elles comprend 4 groupes de transformation. Chaque groupe est constitué par trois transformateurs statiques (un par phase) qui abaissent à 340 volts la tension du courant alternatif et par une commutatrice qui reçoit le courant triphasé à tension réduite et le transforme en courant continu à 550 volts (Fig. 6).

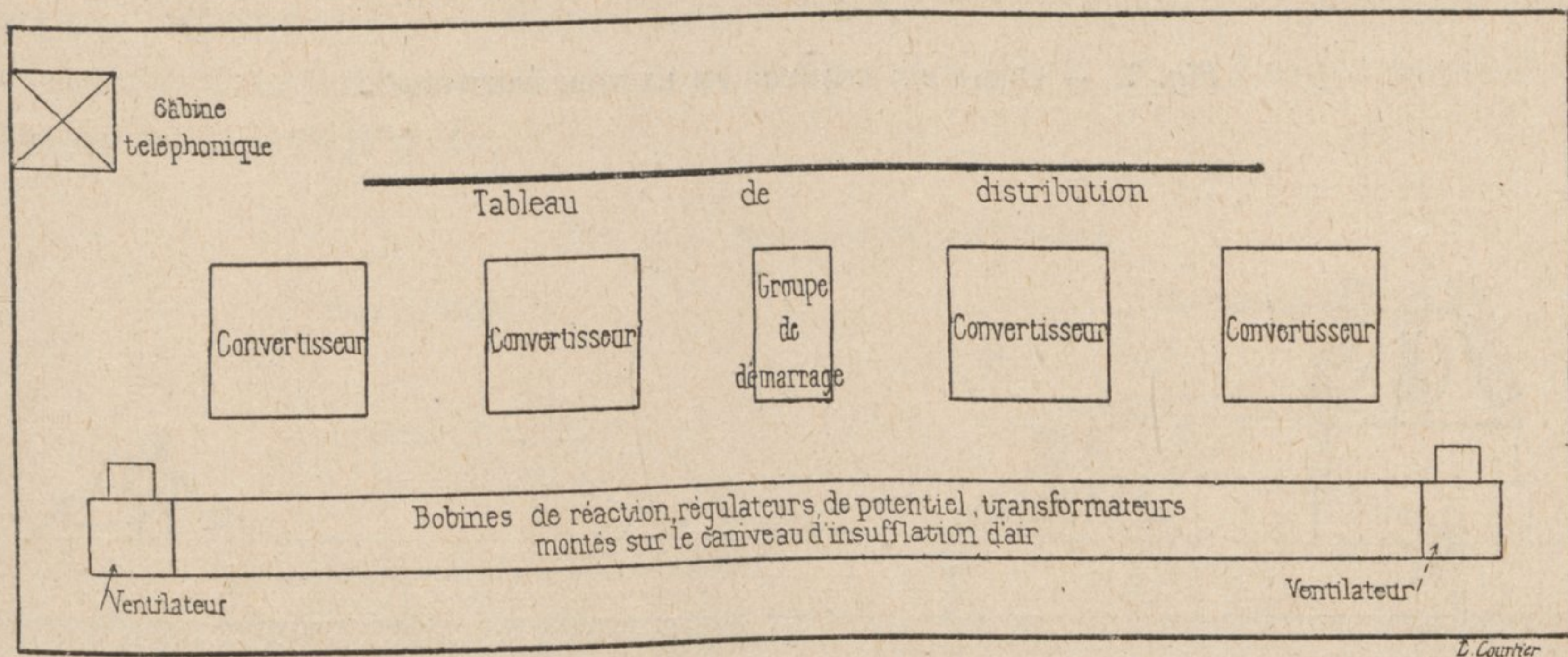
Un groupe spécial constitué par un moteur asynchrone actionnant une génératrice à courant continu sert au démarrage des groupes principaux.

Transformateurs. — Les transformateurs sont à insufflation d'air. A cet effet, leur fer et leur enroulement sont divisés par des canaux de ventilation aboutissant à l'intérieur du socle. Ce socle communique avec un caniveau sur lequel les transformateurs sont placés et qui reçoit l'air de deux ventilateurs mus par de petits moteurs asynchrones.

Sur le même caniveau sont établis pour chaque groupe deux appareils parcourus par le

courant triphasé à tension réduite ; le premier de ces appareils est un régulateur de potentiel qui permet de faire varier de 10 % environ la tension du courant transformé ; l'autre est une bobine de réaction qui concourt avec l'enroulement inducteur série des commutatrices à réaliser le compoundage.

Fig. 6. — PLAN SCHÉMATIQUE D'UNE SOUS-STATION DE TRANSFORMATION POUR LA TRACTION ÉLECTRIQUE.



Commutatrice. — Les commutatrices sont à 6 pôles et tournent à la vitesse de 500 tours par minute. Elles sont munies d'un enroulement inducteur Compound. La puissance normale de chaque commutatrice est de 300 kilowats. Cette puissance peut être portée à 450 kilowats pendant quelques instants.

Le démarrage des commutatrices s'effectue par le courant continu du groupe spécial dont nous avons parlé. Le moteur de ce groupe est mis en route au moyen d'un appareil qui permet d'abaisser la tension au moment du démarrage.

Le tableau de distribution comprend d'une part les panneaux d'arrivée du courant alternatif et les panneaux de couplage côté courant alternatif des commutatrices ; d'autre part les panneaux de couplage côté courant continu des commutatrices et les panneaux de départ du courant continu. Entre ces séries de panneaux se trouvent les deux panneaux de manœuvre du groupe de démarrage.

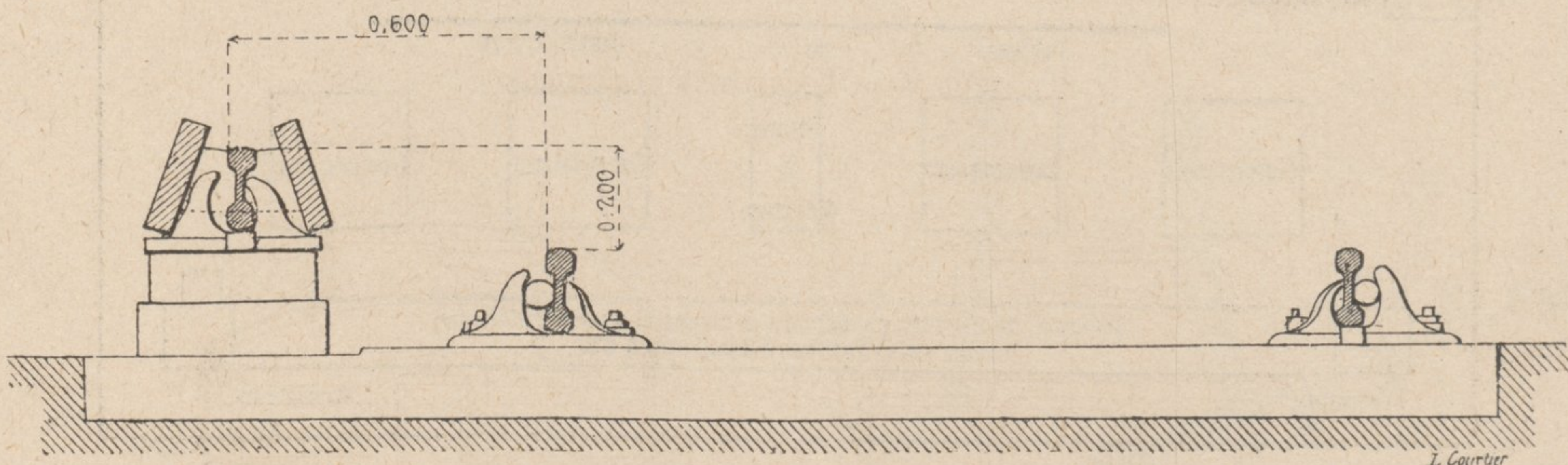
Les trois sous-stations sont desservies chacune par un pont roulant de 6 tonnes. Les bâtiments des sous-stations de Meudon et Viroflay sont à charpente métallique avec remplissage en briques ; ils ont 20 mètres de long sur 8^m,50 de large, la station du Champ-de-Mars a la même largeur mais sa longueur est de 30 mètres. Elle renferme en effet, en outre des transformateurs pour la traction, des groupes servant à l'éclairage de la gare et du dépôt du Champ-de-Mars ; elle est construite en briques avec piliers de maçonnerie.

VOIE ÉLECTRIQUE.

Le courant continu à 500 volts provenant des sous-stations de traction est amené aux locomoteurs et trains électriques au moyen d'un rail conducteur placé dans l'entrevoie parallèlement aux rails de roulement (Fig. 7). Ce rail est du type à double champignon renforcé pesant 46 kilog. 750 le mètre courant. Il est monté sur coussinets avec coins en acier, supportés par des cales en bois paraffiné fixées à l'extrémité des traverses. Les bouts des rails sont réunis par

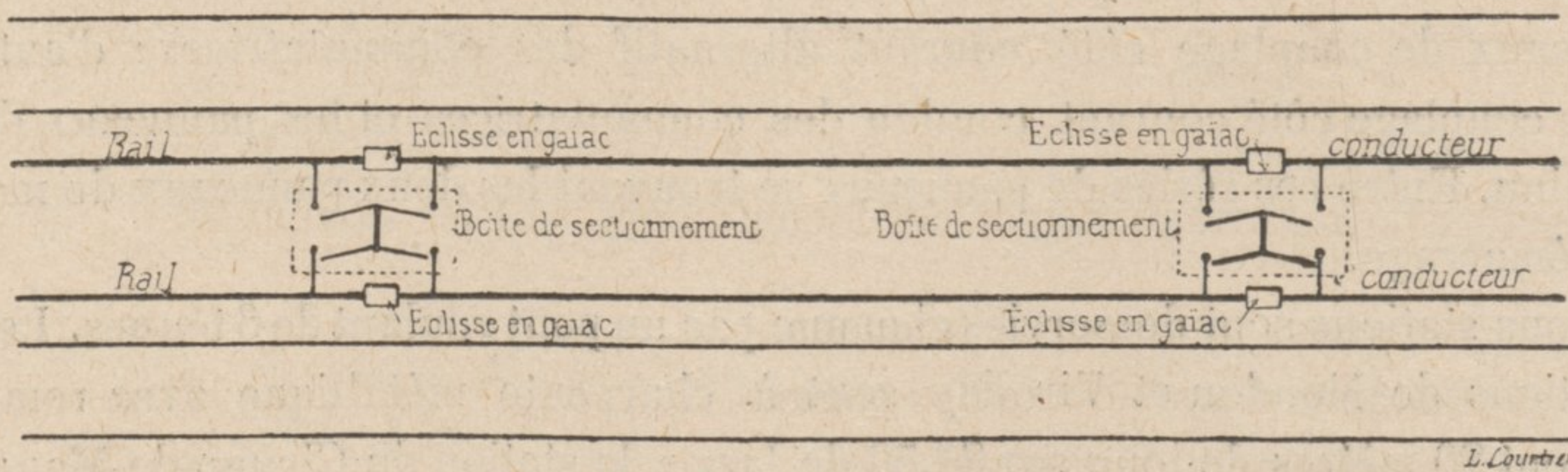
dés éclisses analogues à celles de la voie courante. Des connexions en cuivre montées sous ces éclisses assurent la continuité électrique du rail conducteur. Ces connexions sont constituées par des paquets de lames de cuivre réunis à leurs extrémités à des têtes en cuivre serrées au moyen de coins coniques en acier dans des trous percés dans les rails. Pour les rails de la voie courante, on a adopté également des connexions en cuivre d'un modèle analogue à celui des connexions du rail conducteur.

Fig. 7. — COUPE EN TRAVERS DE LA VOIE ÉLECTRIQUE.



Pour faciliter les travaux d'entretien de la voie, ce rail conducteur a été sectionné tous les 1.000 mètres. Les interrupteurs de sectionnement sont placés dans des boîtes en fonte et peuvent être manœuvrés au moyen de pédales. On voit d'après le schéma (Fig. 8) que la disposition adoptée permet d'interrompre le courant dans une section de conducteur de l'une des voies, tout en le maintenant dans le conducteur de l'autre voie.

Fig. 8. — SCHÉMA DU SECTIONNEMENT DE LA VOIE ÉLECTRIQUE.



Au passage des stations, le rail conducteur est protégé par deux planches inclinées dont la partie supérieure dépasse le niveau du rail et qui laissent entre elles le passage nécessaire aux frotteurs.

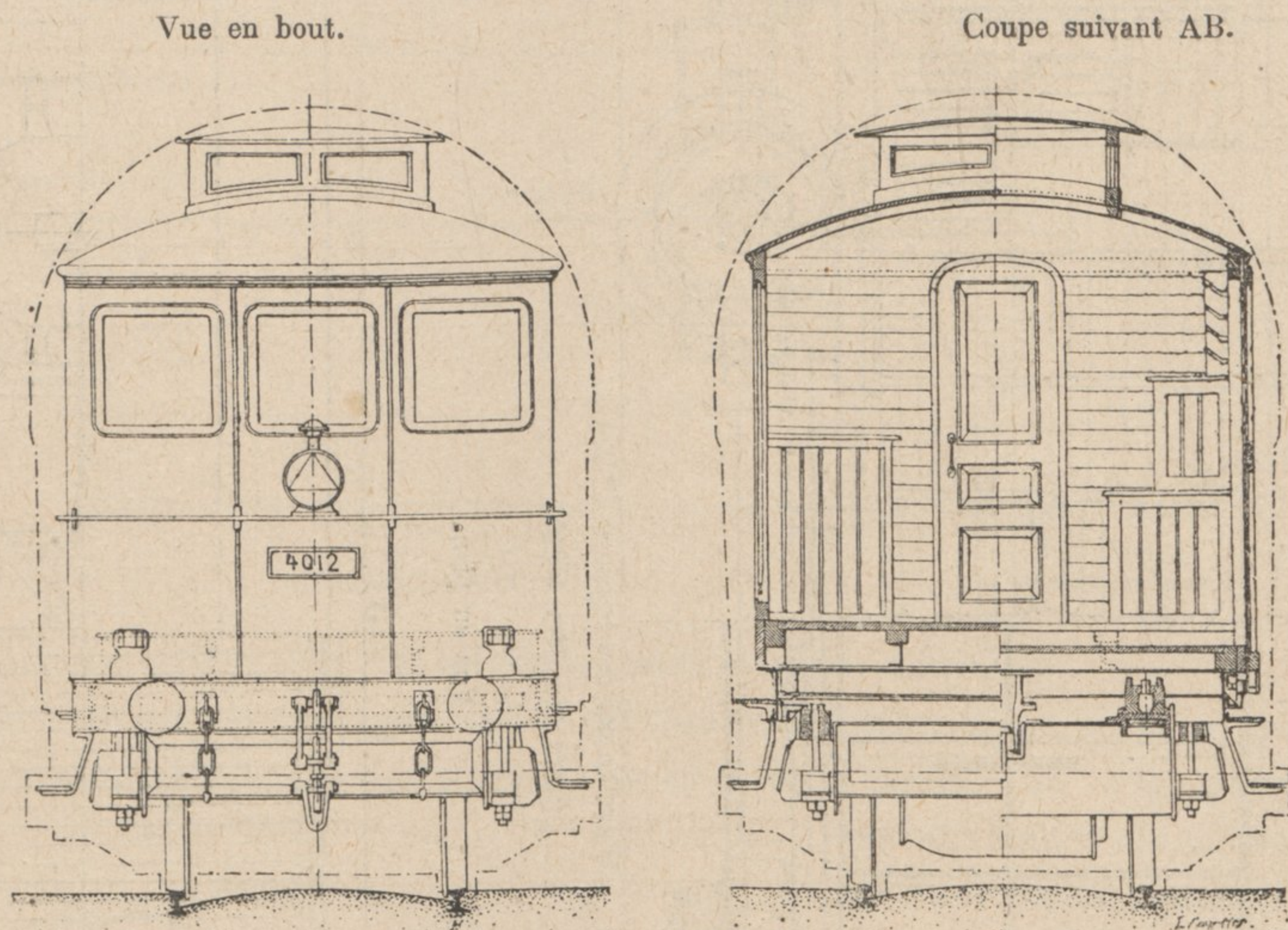
Dans les aiguillages et les traversées, le rail conducteur se trouve nécessairement interrompu. Les extrémités de chaque tronçon sont terminées par des plans inclinés permettant aux frotteurs de les aborder sans choc. Pour réduire l'espace pendant lequel les frotteurs ne se trouvent plus en prise, on a disposé, quand cela a été possible, un tronçon de rail conducteur à l'extérieur de la voie, en face de la partie interrompue. Les différents tronçons sont réunis entre eux par des câbles armés recouverts par le ballast.

L'installation du rail conducteur a été faite par la Société anonyme de Locomotion électrique.

LOCOMOTEURS ÉLECTRIQUES.

Les locomoteurs électriques (Fig. 9 et 9^{bis}) prévus à l'origine pour remorquer des trains de 100 tonnes à la vitesse de 45 kilomètres à l'heure dans le sens des Invalides-Versailles sur la rampe continue de 10 m/m par mètre, sont susceptibles d'atteindre sur cette rampe 52 kilomètres avec 140 tonnes. Ces locomoteurs, fournis par la Société de Locomotion électrique, sont à deux bogies et comportent une cabine de manœuvre à chaque extrémité, et un fourgon pouvant contenir 6 tonnes de bagages (Fig. 10).

Fig. 9. — LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE.



Les caractéristiques principales de ces locomoteurs sont les suivantes :

Longueur totale entre tampons.....	13 mètres.
Distance d'axe en axe des bogies.....	7 mètres.
Empattement d'un bogie.....	2 ^m ,600.
Diamètre des roues.....	1 ^m ,310.
Poids.....	50 tonnes.
Effort de traction normal.....	2.400 kg.
Effort de traction maximum au démarrage.....	6.000 kg.

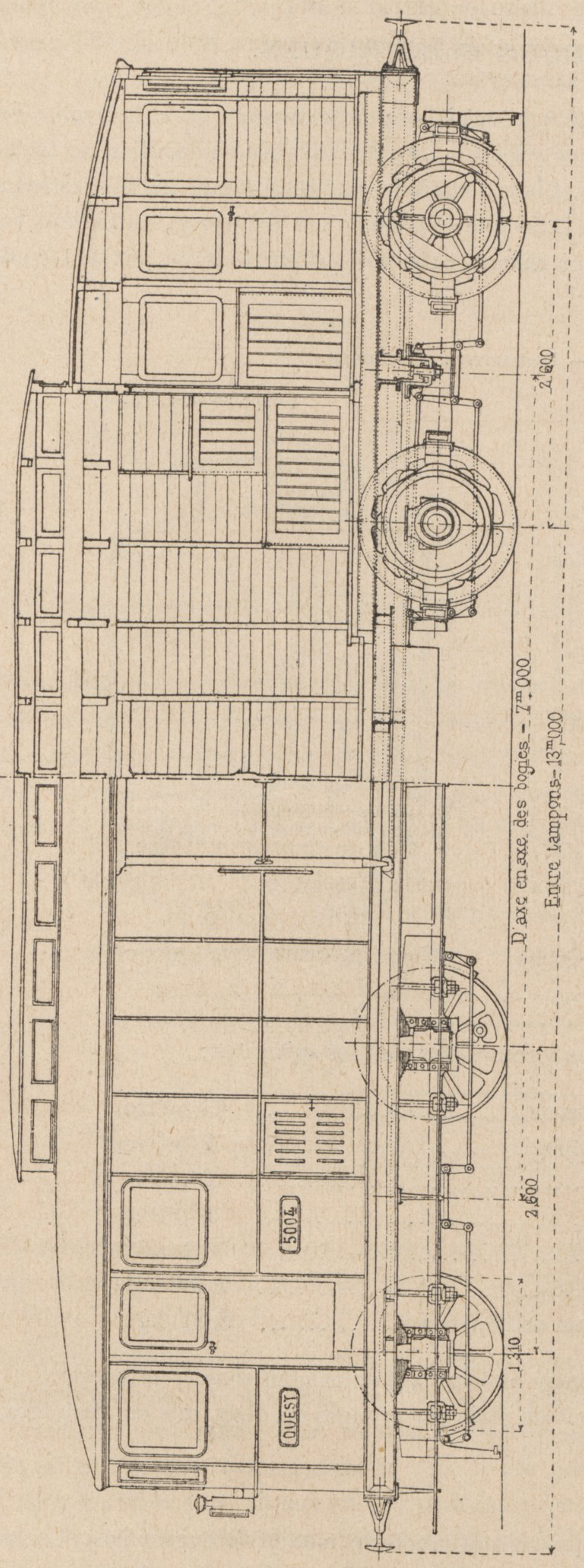
Chaque locomoteur est pourvu de quatre moteurs qui entraînent chacun un essieu.

Ces moteurs peuvent être couplés, soit en série par groupes de deux mis en parallèle, soit tous les quatre en parallèle.

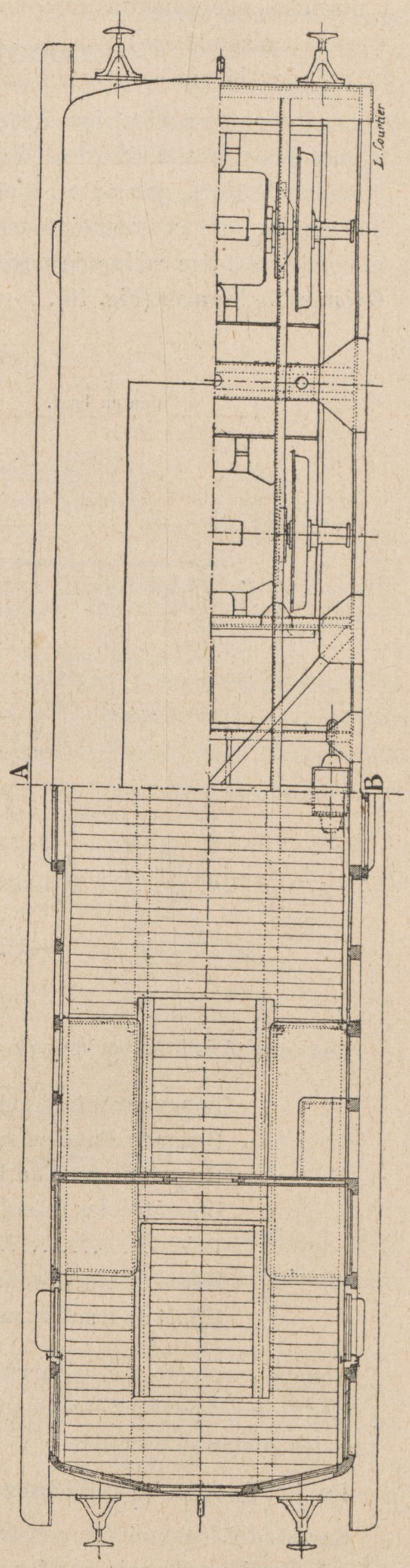
Ils sont de deux types différents :

Sur les dix locomoteurs construits, quatre sont munis de moteurs à engrenages et entraînement élastique fournis par les Etablissements Postel Vinay ; les six autres, de moteurs

Fig. 9 bis. — LOCOMOTIVE ÉLECTRIQUE.
Élévation.

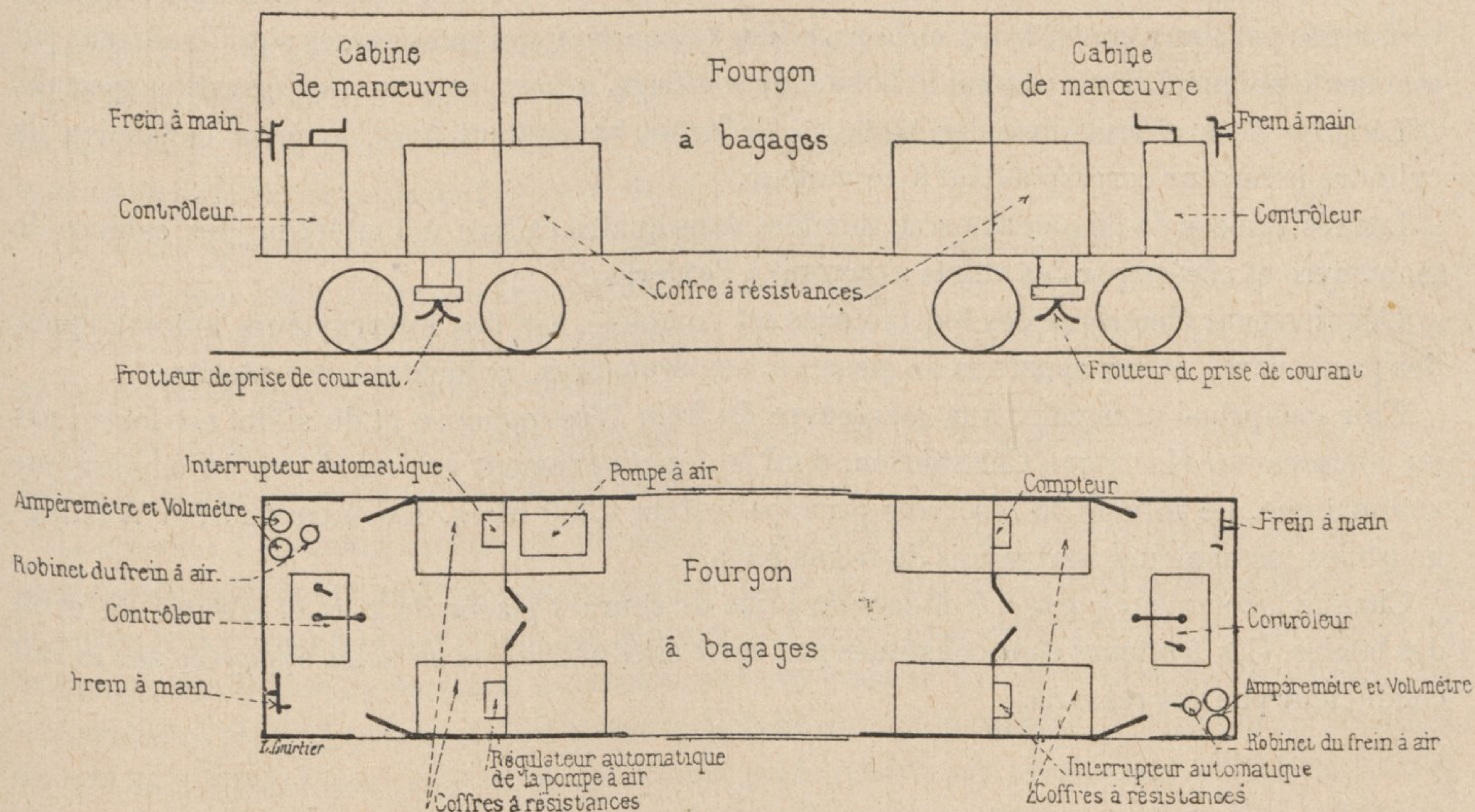


Vue en plan.



à entraînement élastique sans réduction de vitesse fournis par moitié par la Société Westinghouse et par la maison Brow-Boveri de Baden. Ces moteurs d'une puissance utile de 125 chevaux peuvent développer par à coups jusqu'à 200 chevaux.

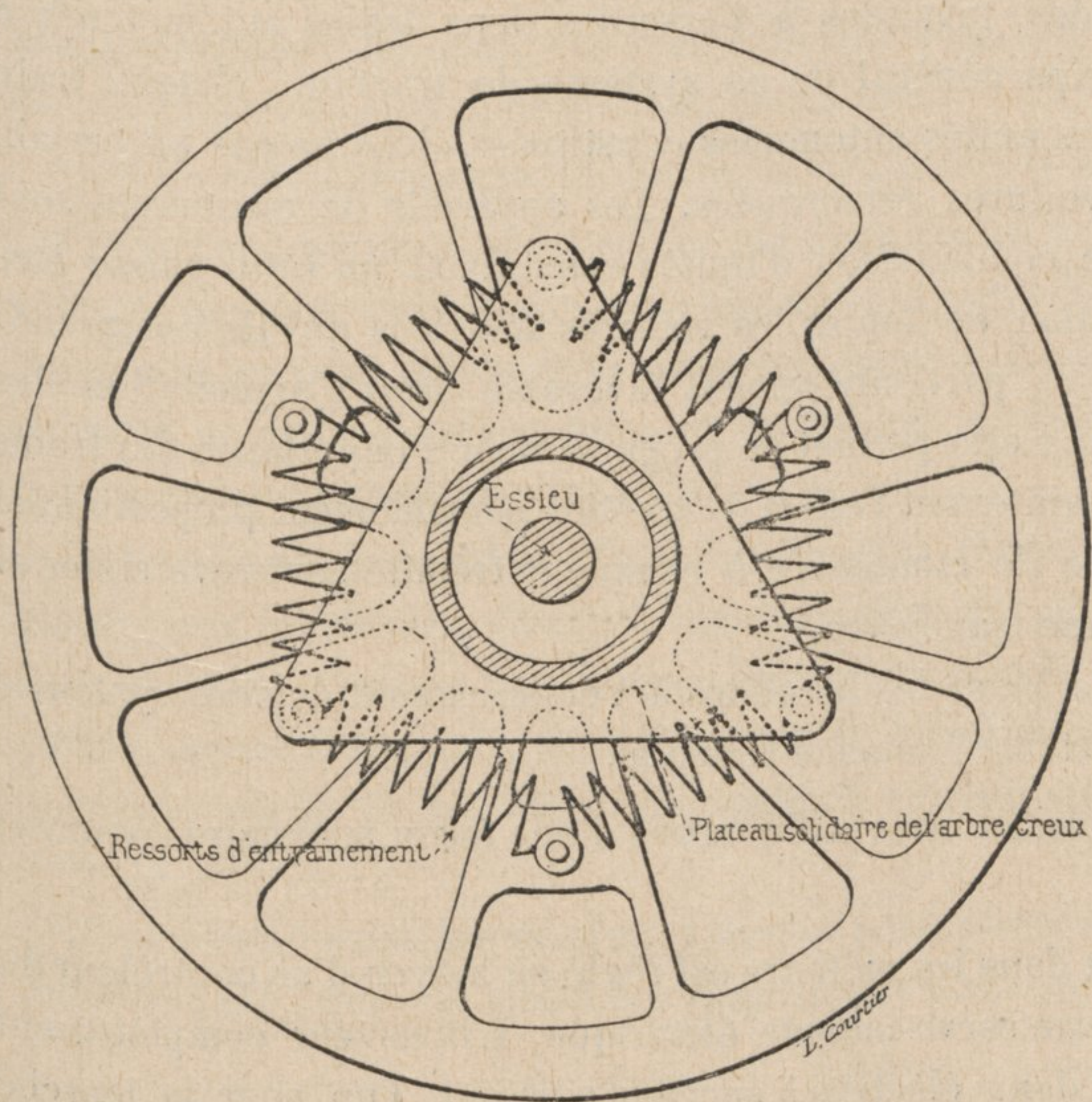
Fig. 10. — SCHEMA D'UN LOCOMOTEUR.



L'entraînement élastique (Fig. 11) est réalisé de la manière suivante :

Dans les moteurs sans engrenages l'induit est calé sur un arbre creux en acier traversé par

Fig. 11. — ENTRAÎNEMENT ÉLASTIQUE DES MOTEURS A ARBRE CREUX.



l'essieu. Cet arbre porte à une de ses extrémités un plateau triangulaire sur lequel viennent s'attacher des ressorts fixés d'autre part à trois points de la roue.

Dans les moteurs à engrenages, l'entraînement élastique a la même disposition, mais l'induit, au lieu d'être calé directement sur l'arbre creux, l'entraîne par l'intermédiaire d'un engrenage. Les paliers qui supportent l'arbre creux sont solidaires de la carcasse du moteur.

Grâce à cette disposition les moteurs profitent de la suspension des bogies, et, d'autre part, le poids non suspendu se réduit à celui des essieux et des roues.

Les contrôleurs employés sont de deux systèmes. Ceux des locomoteurs munis de moteurs

Postel-Vinay ont été fournis par la même maison ; ils comportent un seul cylindre principal effectuant les connexions des quatre moteurs. Les bobines de soufflage sont respectivement montées en série dans le circuit parcouru par le courant dont elles assurent la rupture. Des interrupteurs permettent l'isolement d'un ou plusieurs moteurs.

Les six autres locomoteurs sont munis de contrôleurs Westinghouse. Ces appareils sont constitués par deux contrôleurs série parallèle à deux moteurs manœuvrés simultanément par une seule poignée. Il y a une seule bobine de soufflage, alimentée par une dérivation spéciale.

La mise hors circuit d'un des moteurs s'effectue en mettant hors de prise la portion du cylindre inverseur correspondant à ce moteur.

Les résistances de démarrage sont montées dans quatre caisses à l'intérieur des cabines de manœuvre et aérées par des volets s'ouvrant à l'extérieur.

L'équipement électrique des locomoteurs est complété par des interrupteurs automatiques, des parafoudres et des appareils de mesures, ampéremètres, voltmètres, compteurs.

L'air comprimé nécessaire à la manœuvre du frein Westinghouse et du sifflet est fourni par un compresseur électrique Christensen, dont le fonctionnement est réglé par un modérateur automatique. Le volume du réservoir principal est de 1.300 litres. En outre du frein Westinghouse les locomoteurs sont munis de freins à main.

Chaque locomoteur porte 4 frotteurs de prise de courant placés de part et d'autre au droit des bogies. Ces frotteurs sont constitués par deux ailes articulées en acier appuyées sur le rail conducteur par des ressorts.

TRAINS AUTOMOTEURS.

En outre des 10 locomoteurs électriques que nous venons de décrire, la Compagnie de l'Ouest a mis en essai sur la ligne des Invalides à Versailles deux trains automoteurs à unités multiples. On connaît le principe général de ce système de traction ; chaque train automoteur comprend une ou plusieurs unités autonomes constituées chacune par un certain nombre de voitures motrices et de voitures remorquées. Les appareils de manœuvre sont disposés de telle manière que chaque combinaison d'unités constituant un train puisse être actionnée en utilisant l'effort de traction de toutes les voitures motrices qu'elle comprend. Cette disposition trouve une application particulièrement favorable dans l'exploitation des lignes métropolitaines et de banlieue, car elle permet de proportionner l'importance des trains à l'affluence des voyageurs, tout en maintenant l'effort de traction sensiblement proportionnel au tonnage. Ces trains ayant un poste de manœuvre à chaque extrémité sont réversibles et n'exigent dans les gares terminus aucune manœuvre.

Les trains automoteurs essayés sur la ligne des Invalides à Versailles sont de deux systèmes différents : le système Sprague et le système Thomson-Houston.

Avant de décrire le matériel de ces trains, nous indiquerons d'une façon sommaire comment ces deux systèmes se différencient :

Dans la système Sprague, le courant dans les moteurs est réglé au moyen d'un contrôleur du type ordinaire série parallèle mû par un servo-moteur électrique. L'inverseur complètement indépendant du contrôleur est mû par deux électros à succion agissant, l'un pour la marche avant, l'autre pour la marche arrière.

L'appareil de manœuvre commande des relais qui à leur tour règlent les circuits du servomoteur du contrôleur et des électros de l'inverseur.

Chaque sens de marche comporte seulement trois positions définies de l'appareil de manœuvre et qui correspondent à la marche sans courant (descente de côtes), à la marche en série et à la marche en parallèle.

Le mouvement du contrôleur pour l'admission progressive du courant dans les moteurs est réglé automatiquement de manière à ce que le courant ne dépasse pas une valeur fixée d'avance. Le machiniste reste néanmoins maître d'arrêter le contrôleur à telle position qu'il désire par une manœuvre convenable de l'appareil de conduite.

Le même appareil de manœuvre peut desservir plusieurs contrôleurs et peut être placé en n'importe quel point du train à la condition de faire courir d'un bout à l'autre de celui-ci les 5 fils des circuits de commande correspondant aux deux sens de marche et aux trois positions série, parallèle et marche sans courant.

On voit donc que le principe du système Sprague est de comporter une régulation automatique de l'intensité du courant dans les moteurs.

Le système Thomson-Houston est constitué en principe par un contrôleur de construction analogue à celle des contrôleurs de tramways, mais de dimensions plus réduites et qui sert à envoyer le courant de la ligne dans les bobines d'un groupe de relais. Ces relais effectuent le couplage en série ou en parallèle des moteurs et introduisent les résistances de démarrage. Ils peuvent être placés à proximité des moteurs dont ils règlent la marche. Le contrôleur peut être monté en n'importe quel point du train, les fils qui le relient aux relais étant à faible section et permettant ainsi une intercommunication facile. L'inversion du sens de marche s'effectue également à distance au moyen d'un inverseur à électros.

Le train équipé au moyen du système Sprague (1) comporte 9 voitures à plateforme dont 3 motrices. Lorsque le train est complet, deux des voitures motrices, pourvues de fourgons à bagages occupent les deux extrémités, la troisième est placée au milieu, son poids à vide est de 140 tonnes, en charge de 190 tonnes environ.

Le train réduit comporte 3 voitures, dont 2 motrices aux extrémités de la rame.

Chaque voiture motrice est portée par deux bogies dont l'un est muni de deux moteurs. Les voitures motrices extrêmes comportent un seul poste de manœuvre complet placé à l'avant du fourgon et un poste dit de démonstration placé à l'arrière de la voiture et comportant uniquement un appareil de conduite et un robinet de frein à air. La voiture médiane comporte deux postes de manœuvre complets.

Le train muni du système Thomson-Houston (1) comprend huit voitures dont deux motrices placées aux extrémités. Chaque voiture motrice est portée par deux bogies munis chacun de deux moteurs. Comme dans le train Sprague, le poste de manœuvre est placé à l'avant d'un compartiment à bagages, et à l'arrière de la voiture on a établi un poste accessoire qui ne comporte pas de frein à main. Son poids à vide est de 125 tonnes, en charge de 175 tonnes environ.

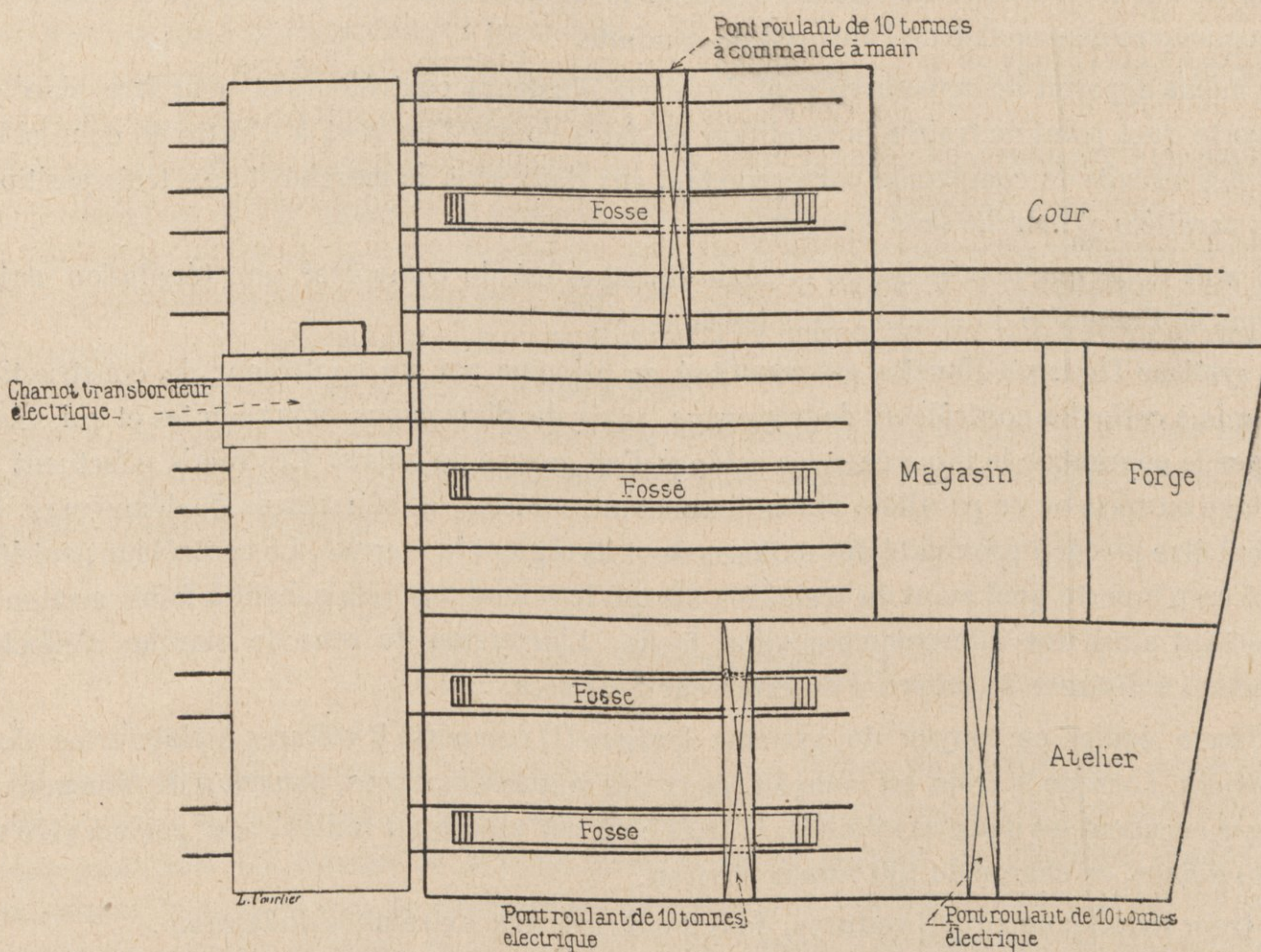
Nous n'insisterons pas sur les appareils accessoires de ces deux trains, compresseurs d'air, frotteurs, etc., qui présentent des dispositions analogues à celles des locomoteurs.

(1) Voir *Revue Générale*, N° de Mai 1902, page 351.

DÉPÔT ET ATELIER.

Pour la construction, l'entretien et le remisage du matériel roulant électrique, on a établi au Champ-de-Mars un dépôt et un atelier. Le bâtiment comprend trois travées dont l'une, en bordure de la rue de la Fédération, est affectée à l'atelier, les deux autres servant de remises (Fig. 12).

Fig. 12. — DÉPÔT DU CHAMP-DE-MARS.



En outre de machines-outils de types courants, tours, perceuses, étaux limeurs, etc., commandées par moteurs électriques, cet atelier comporte une presse hydraulique pour effectuer le calage des roues des locomoteurs sur les essieux après le montage des arbres creux. Une étuve du système Passburg sert au séchage par le vide des enroulements des moteurs. L'atelier est desservi par deux ponts-roulants électriques de 10 tonnes. Des vérins électriques permettent le levage rapide des caisses de locomoteurs ; à l'atelier sont annexés une forge et un magasin.

Les voies de l'atelier et du dépôt sont desservies par un chariot transbordeur électrique de 12 mètres permettant de transporter une charge de 80 tonnes à la vitesse de 0^m,50 par seconde.

INSTALLATIONS ANNEXES. — ÉCLAIRAGE. — ÉPUISEMENT. APPAREILS DE MANUTENTION.

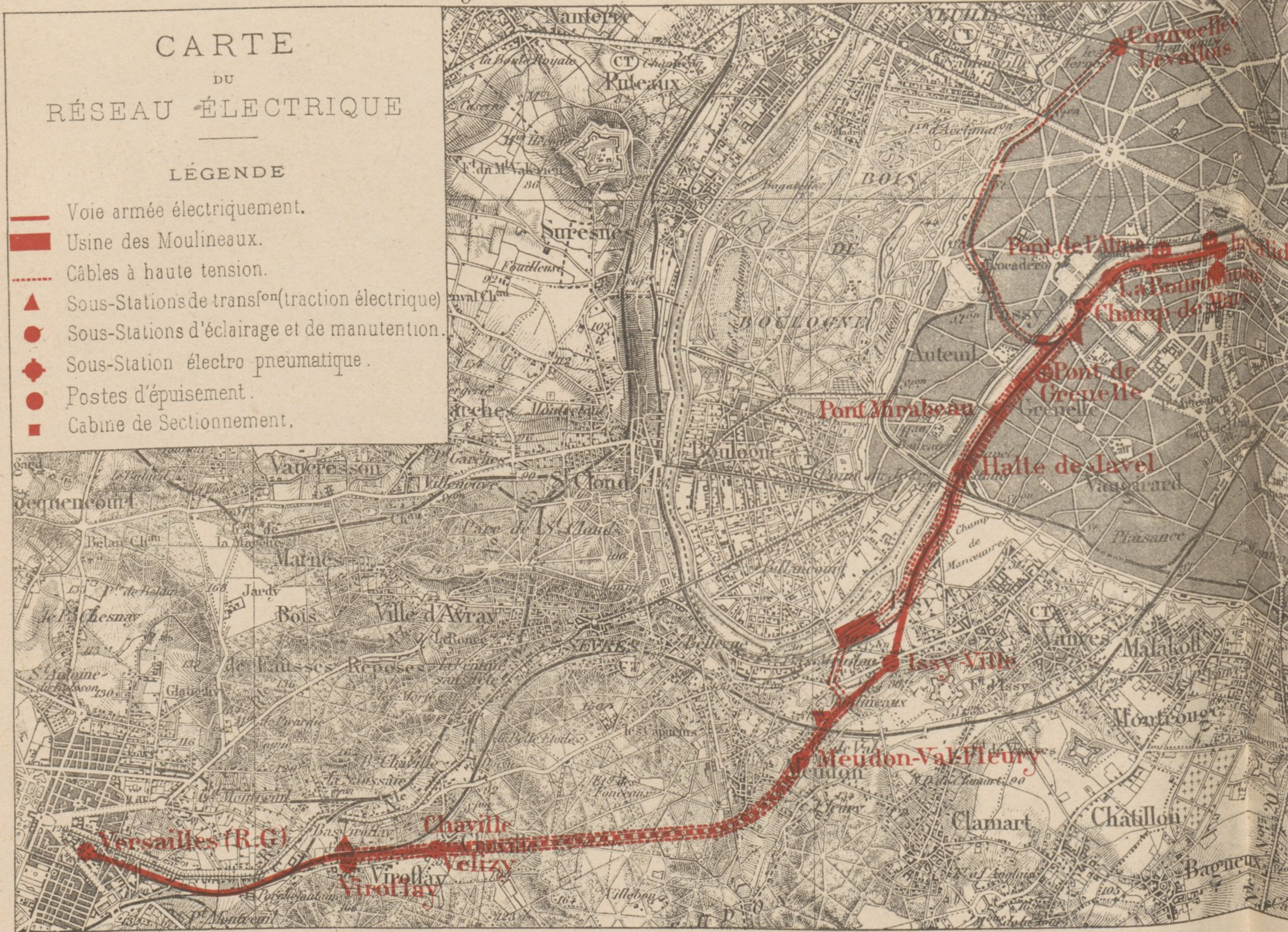
En dehors de son emploi pour la traction, le courant de l'usine des Moulineaux est utilisé pour fournir l'éclairage et la force motrice dans les stations de la ligne des Invalides à

Versailles et de la ligne [de Courcelles au Champ-de-Mars. Nous allons donner quelques indications sommaires sur les sous-stations établies à cet effet. Au Champ-de-Mars et aux Invalides ont été établies deux sous-stations semblables comportant chacune trois groupes de transformation de 60 kilowatts. Chaque groupe est constitué par un transformateur abaissant à 200 volts la tension du courant triphasé et par un groupe moteur générateur comportant un moteur asynchrone triphasé et une dynamo fournissant du courant continu à 120 volts. La sous-station du Champ-de-Mars assure l'éclairage par arc de la gare aux marchandises, du dépôt et de la station, l'éclairage par l'incandescence des bureaux, et fournit du courant pour le transbordeur électrique et les moteurs de l'atelier. La sous-station des Invalides assure, en outre de l'éclairage de la gare, la manœuvre du pont tournant et des ascenseurs.

Les stations de la ligne de Courcelles au Champ-de-Mars sont éclairées au moyen de courant continu fourni par des groupes moteurs générateurs de 12 kilowatts placés dans chaque station. Aux stations de l'Alma, La Bourdonnais, Pont de Grenelle, Pont Mirabeau, Javel, Meudon et Chaville, l'éclairage est effectué par le courant alternatif transformé à 100 volts. La station d'Issy, ne se trouvant pas desservie par un câble à haute tension est éclairée au moyen du courant continu à 500 volts servant à la traction.

La tranchée des Invalides au pont de Grenelle étant exposée à être envahie par les eaux en cas de forte crue de la Seine on a dû prendre des dispositions pour en assurer l'épuisement. Des pompes centrifuges mues par moteurs triphasés ont été établies à cet effet aux Invalides, à la station du Pont de l'Alma et entre le Champ-de-Mars et le Pont de Grenelle.

Fig.1. Carte au $\frac{1}{80.000}$. Réseau électrique.



Niveau moyen de la mer. ---
 Altitude du rail. ---
 Hectomètres. ---
 Kilomètres. ---
 Paliers, pentes et rampes. ---

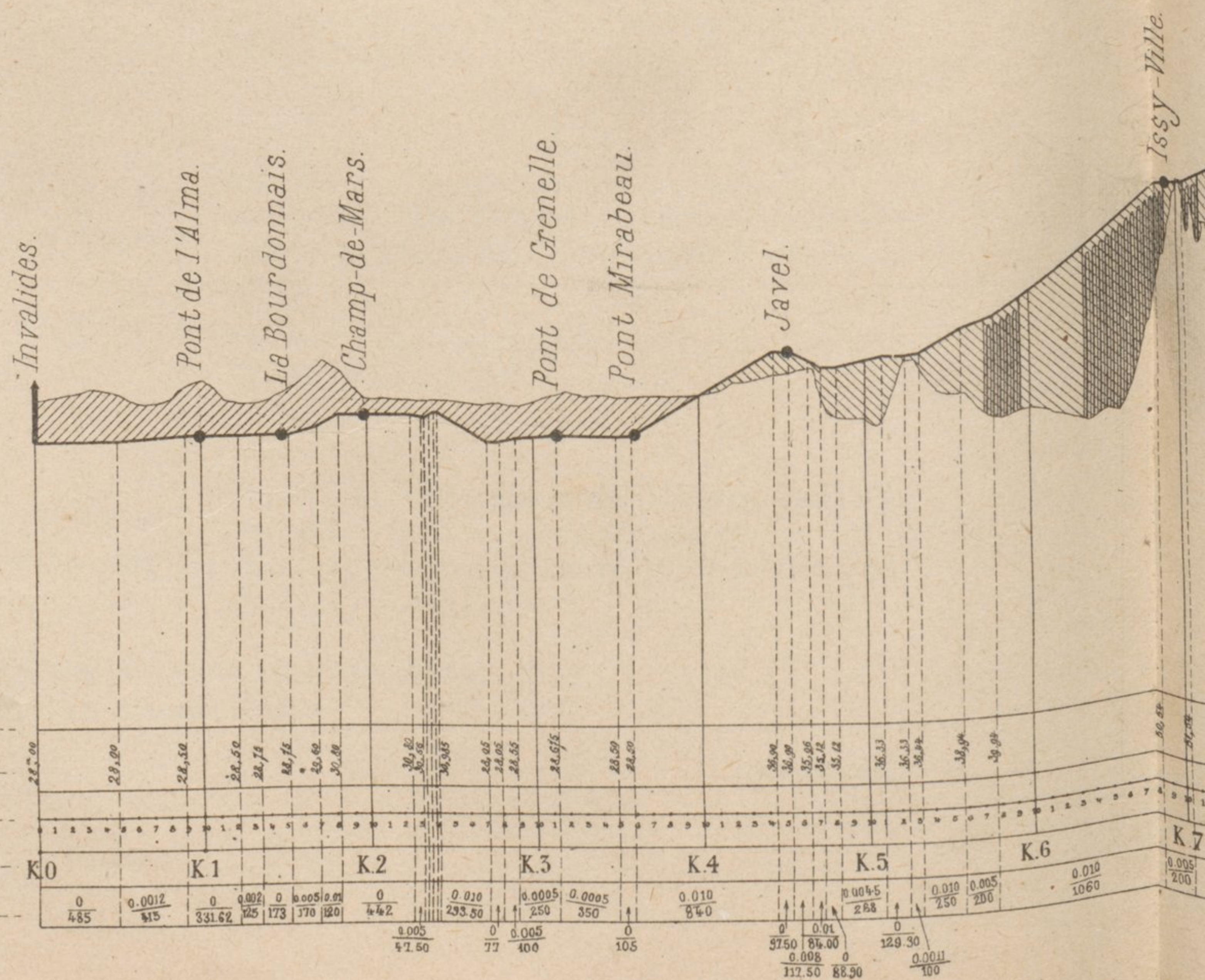




Fig. 3. Voie électrique (Coupe)

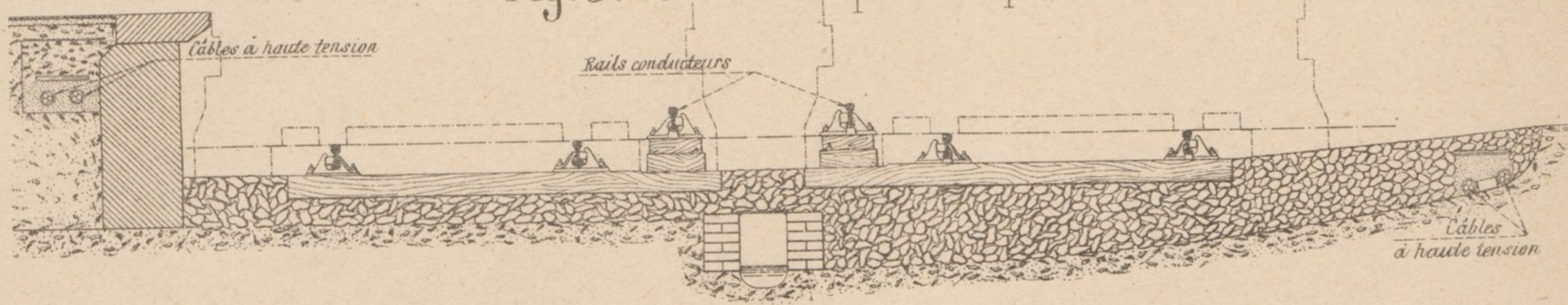


Fig. 2. Profil de la ligne Invalides - Versailles.

Echelle des longueurs : 1^m/m par 60 mètres.
 Echelle des pentes : 0^m001 par mètre.

