
LES
CHEMINS DE FER ÉLECTRIQUES
A TRÈS GRANDES VITESSES
EXPÉRIMENTÉS ACTUELLEMENT EN ALLEMAGNE.

Une Société d'études : la *Studiengesellschaft für Electriche Schnellbahnen*, constituée sous les auspices du gouvernement allemand par les principales maisons d'électricité allemandes, a récemment provoqué, de la part de la Société l'*Allgemeine Electricitats Gesellschaft* et de la maison *Siemens et Halske*, la construction de locomotives et véhicules électriques destinés à être essayés sur la ligne de Berlin-Zossen, tronçon de 23 kilomètres, avec courbes de rayon de 1.000 mètres au moins et rampes maxima de 1/184, conformément au programme suivant, en voie normale avec rails sur traverse en bois.

La voiture, pouvant renfermer 50 voyageurs et passer au gabarit des chemins prussiens, sera portée par deux bogies de trois essieux chacun : poids total par essieu en charge 16 tonnes. Le courant électrique sera triphasé à 10.000 volts et 45 à 50 périodes par seconde : collecteurs, commutateurs et régulateurs aux deux extrémités de chaque voiture ; vitesse de marche, 200 à 220 kilomètres à l'heure ; les moteurs électriques ne doivent manifester aucun échauffement après un parcours de 250 kilomètres.

Chaque voiture aura deux freins indépendants, mécanique et électrique.

Voitures de l'« Allgemeine ».

Après plusieurs projets, on s'arrêta au type Fig. 1 à 6, satisfaisant aux conditions fondamentales du stationnement du conducteur en avant et de la disposition des appareils de manière à réduire au minimum la longueur des câbles et connexions, tout en assurant aux voyageurs le plus grand confort possible. A cet effet, l'appareillage : prise des câbles, dispositifs de sûreté et transformateurs, est disposé au milieu de la caisse, dans un compartiment séparé des voyageurs par un puits d'air à double compartiment en fer. Le conducteur se tient en avant dans un compartiment séparé des voyageurs, où il n'y a pas de connexions à haute pression, et il exerce son contrôle au moyen de transmissions mécaniques.

Il ne fallait pas songer à refroidir les transformateurs par une circulation d'air pris au-dessous de la voiture à cause de la poussière soulevée à ces grandes vitesses ; cette circulation se fait, comme l'indiquent les figures 7 à 10, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, suivant la marche du train, au moyen de

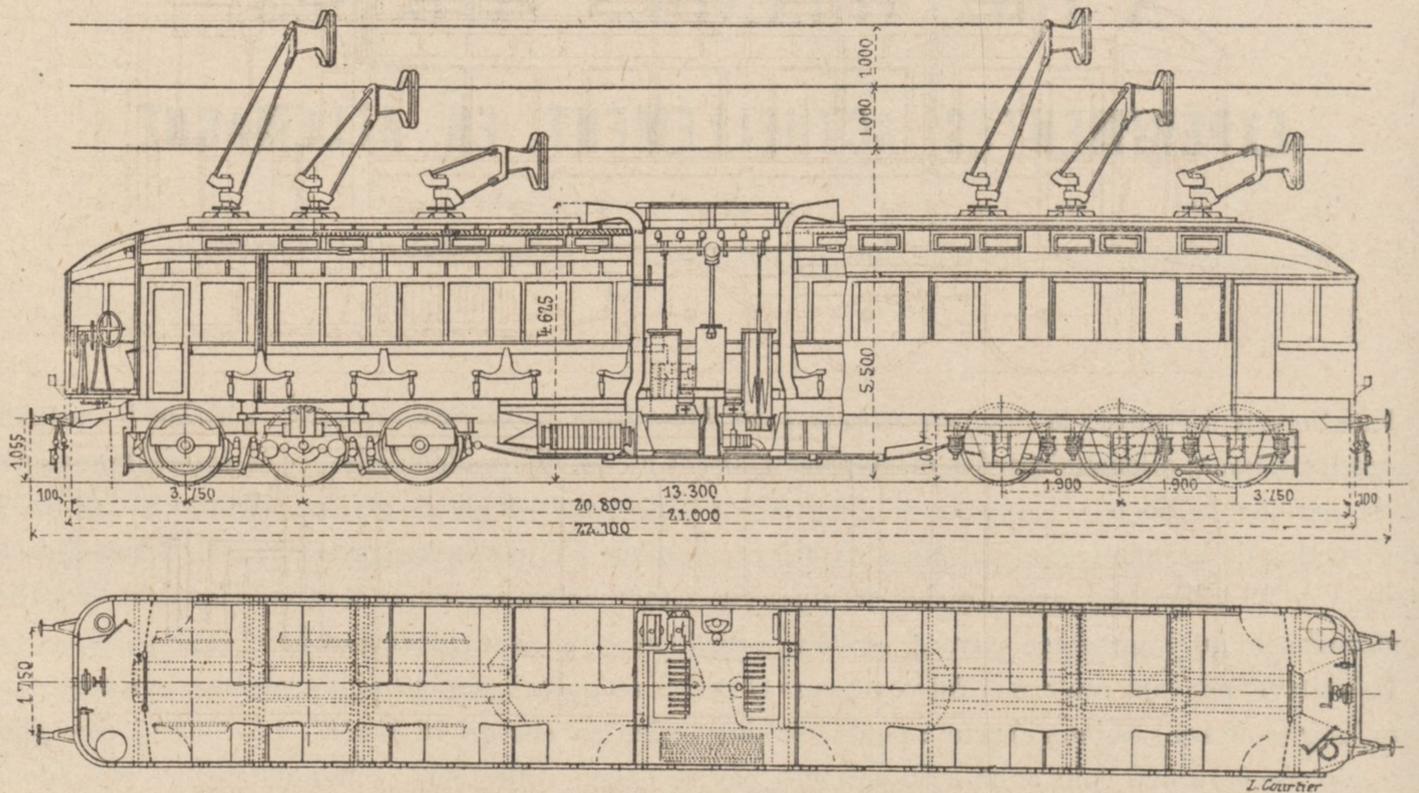
(1) *Vereines Deutscher Ingenieure*, 7, 14 et 28 septembre 1901, mémoires de MM. Lasche et Reichel ; communication de M. Lasche au Congrès de l'exposition de Glasgow, *Traction and Transmission*, Novembre, p. 152.

deux manches à vent, avec prise sur le toit, séchage et filtrage de l'air avant son passage dans les transformateurs.

Le poids total de la machinerie est de 29.850 kilog., dont 6.500, (ou 6^{kil},5 par kilowatt), pour les transformateurs ; 12.800 pour les moteurs, (ou 13 kilogrammes par cheval en marche normale, et 4^{kil},30 en marche forcée) ; 4.750 kilogrammes pour les rhéostats et régulateurs ; 2.600 pour les freins et les accumulateurs d'éclairage ; 1.000 pour les câbles ; 1.400 pour les perches des trolleys.

Les dynamos, non enfermées, sont exposées à l'air qui refroidit par une large surface leurs armatures lamellaires.

Fig. 1 et 2. — VOITURE DE L'ALLGEMEINE. ENSEMBLE.



Après de longs tâtonnements, on prit le parti de suspendre (Fig. 11) les moteurs aux boîtes à graisse par de longs ressorts assez puissants pour ne fléchir que de quelques millimètres et réglables par un taquet *a*, disposé de manière que leur flexibilité soit très souple pour les deux ou trois premiers millimètres et très raide ensuite jusqu'à 8 ou 10 millimètres ; le moteur est fixé à une cage en tôle assujettie sur ces ressorts et guidée latéralement par les guides *b*, et l'armature du moteur est calée sur un arbre creux enfilé sur l'essieu (Fig. 12). Cet arbre creux attaque les roues calées sur l'essieu par l'accouplement représenté par la Figure 13, à doubles bras élastiques attaquant la jante des roues par des osselets symétriques avec un frottement presque nul, d'une sensibilité telle qu'il fléchit, en pleine vitesse, pour une dénivellation de 5 millimètres sur 15 mètres.

Il fallait s'assurer de la possibilité de faire tourner l'arbre creux du moteur, en acier au nickel, dans des coussinets en antifriccion à ces vitesses énormes de 18 mètres par seconde ; à cet effet, on installa un dispositif d'essai où l'on faisait tourner, dans un coussinet subissant de bas en haut une levée égale à la charge en marche sur la voiture, un bloc d'acier au nickel du même diamètre que celui de l'arbre creux ; ce bloc était monté sur un arbre commandé par une dynamo dont on mesurait l'effort à chaque instant ; on dut renoncer au graissage forcé en raison des difficultés du raccordement des tuyaux aux bogies avec leurs pivotements, et l'on prit comme moyen de graissage un disque de grand diamètre calé sur l'arbre et tournant dans un bain d'huile ; ce disque a donné, entre des vitesses de glissement de 2 et de 25 mètres par seconde et des pressions du coussinet sur l'arbre variant de 2 à 5 kilogrammes par centimètre carré, les résultats indiqués par les diagrammes (Fig. 14 et 15), dans lesquelles on a porté en ordonnées les coefficients de frottement μ , et en abscisses les vitesses de glissement v et les températures.

Fig. 3 et 4. — VOITURE DE L'ALLGEMEINE. SCHÉMA DES CIRCUITS ET CONNEXIONS.

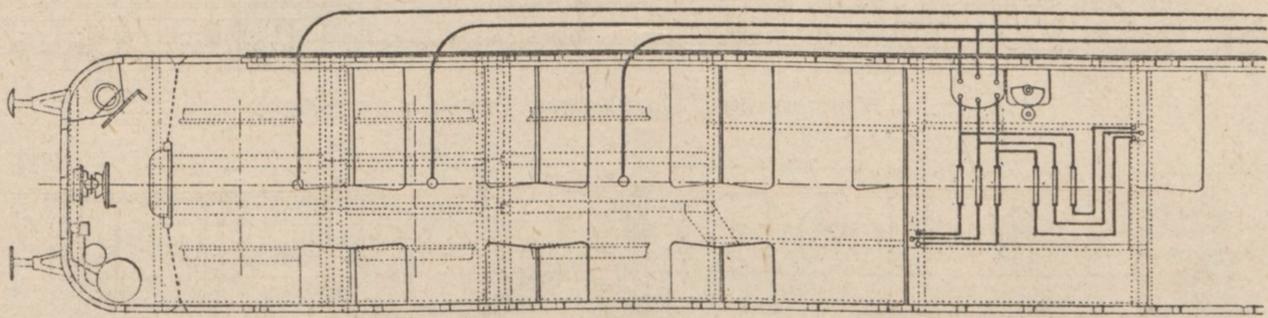
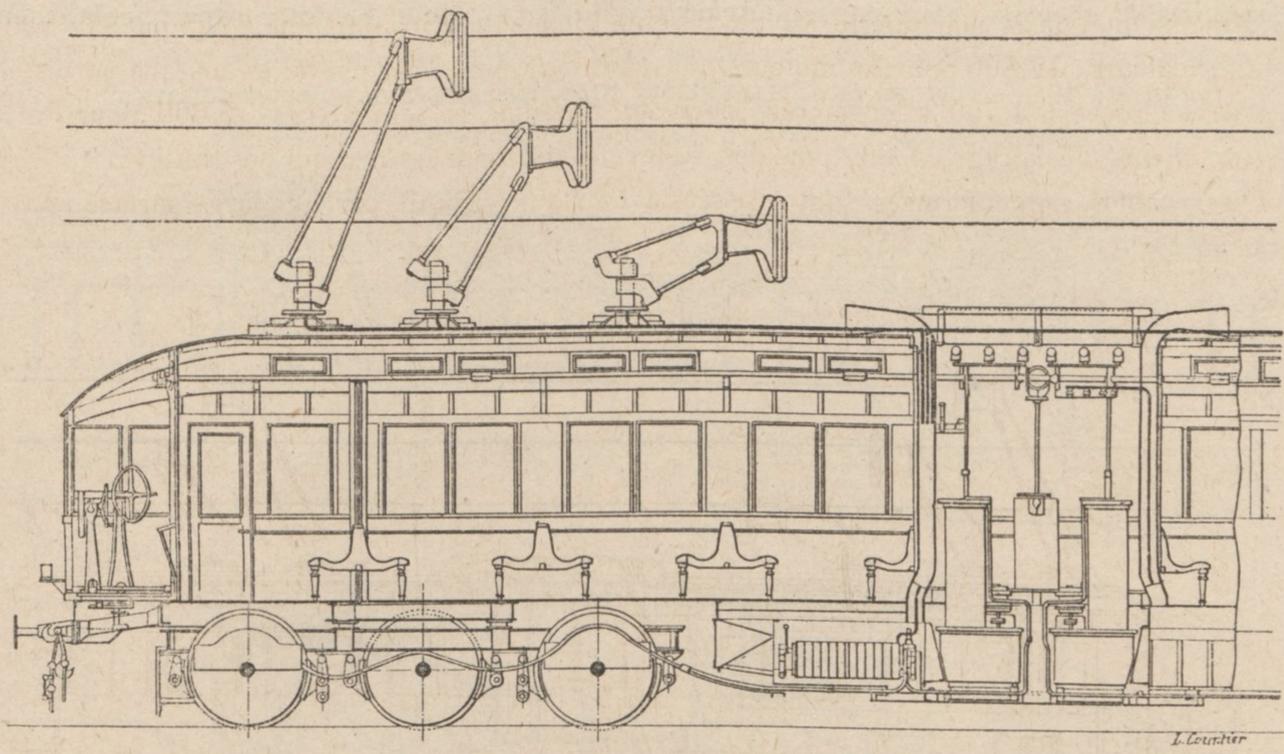
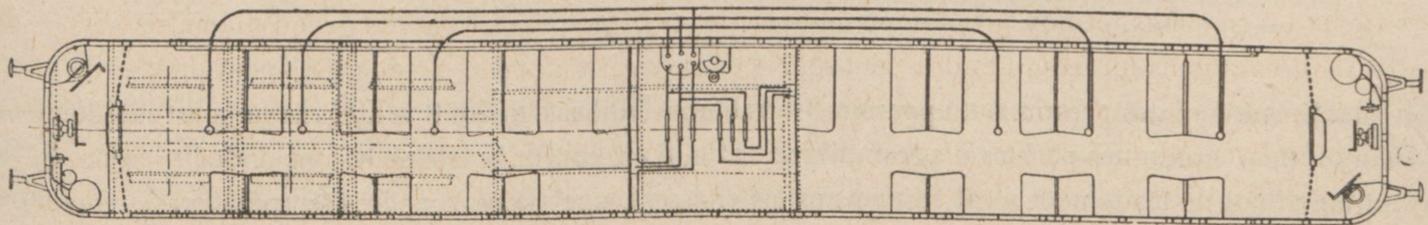
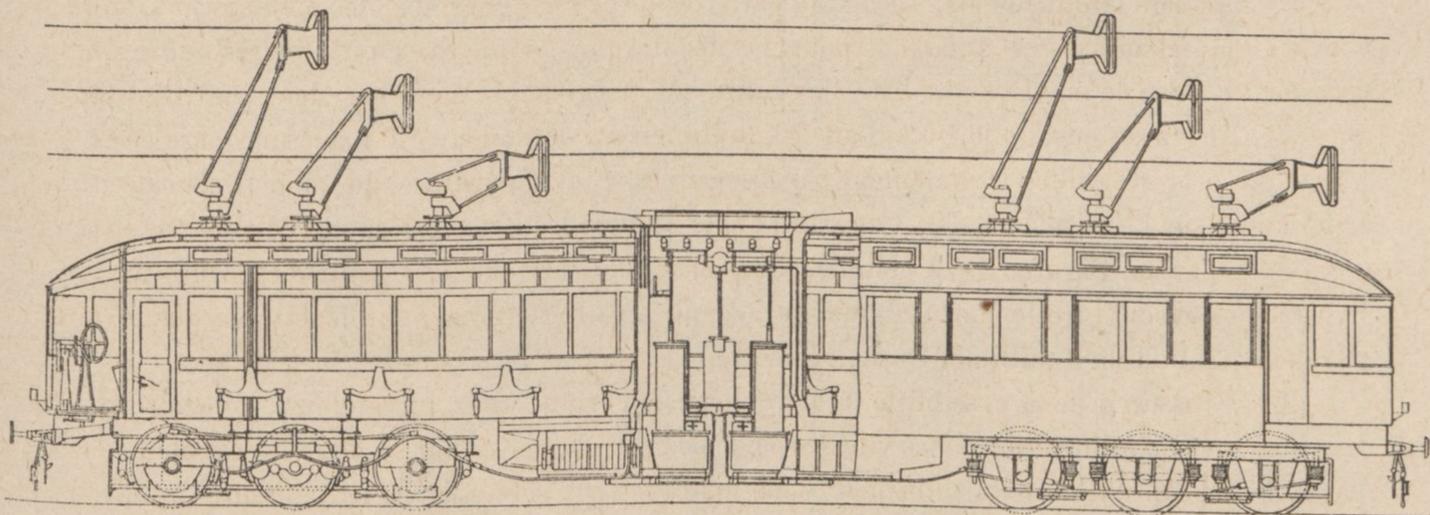


Fig. 5 et 6. — VOITURE DE L'ALLGEMEINE. ENSEMBLE DES CONNEXIONS.



Les dispositifs de mise en train sont montés au milieu de la voiture afin de réduire au minimum la longueur des câbles. L'installation d'un rhéostat régulateur pour une puissance aussi variable et importante, 3.000 chevaux, était particulièrement difficile, et, pour l'étudier expérimentalement, on

Fig. 7 à 10. — VOITURE DE L'ALLGEMEINE. REFROIDISSEMENT DES TRANSFORMATEURS.

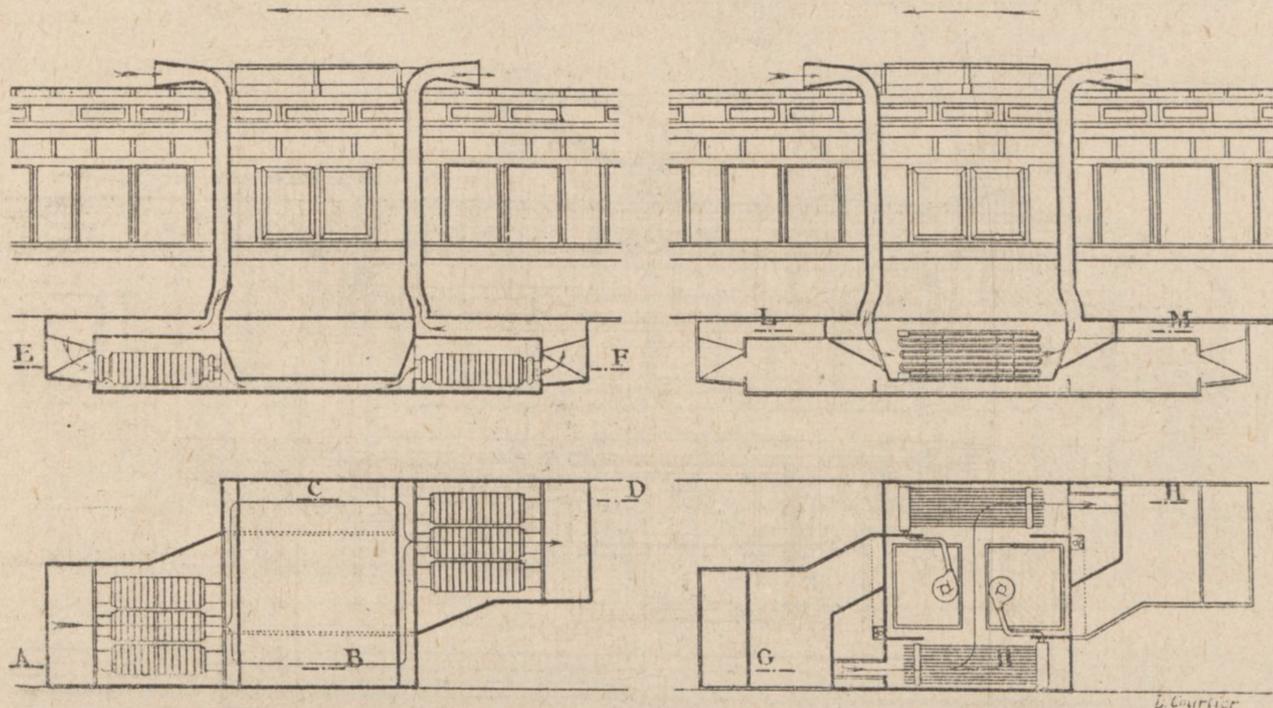
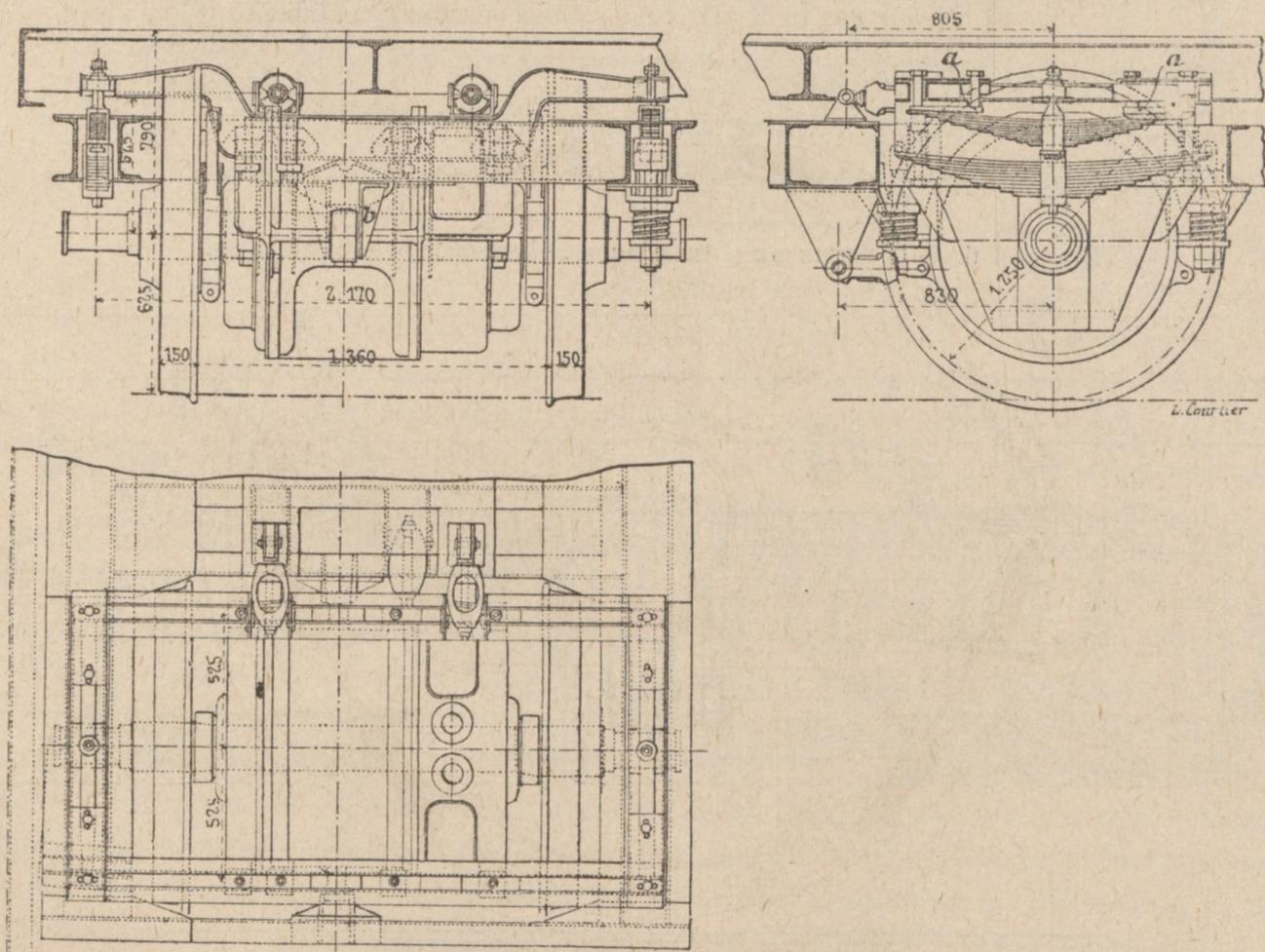


Fig. 11. — VOITURE DE L'ALLGEMEINE. DÉTAIL D'UN ESSIEU.



dut établir un appareil. Dans cet appareil, un moteur triphasé de 300 à 400 chevaux est directement accouplé à un volant assez lourd pour exiger, afin d'atteindre la vitesse correspondant à celle de la voiture au bout de 15 secondes, un torque correspondant à une puissance de 400 chevaux. Une pompe

centrifuge commandée par une dynamo fait continuellement circuler de l'eau autour des lames métalliques d'un rhéostat liquide interposé dans le circuit de l'armature, et la hauteur de ce liquide est réglée par un robinet ou un déversoir ; le courant est d'autant plus fort que ce niveau est plus élevé. Les lames ont une forme telle que leur surface est très faible et leur écartement très considérable, de manière à éviter

Fig. 12. — VOITURE DE L'ALLGEMEINE. DÉTAIL D'UN ESSIEU MOTEUR.

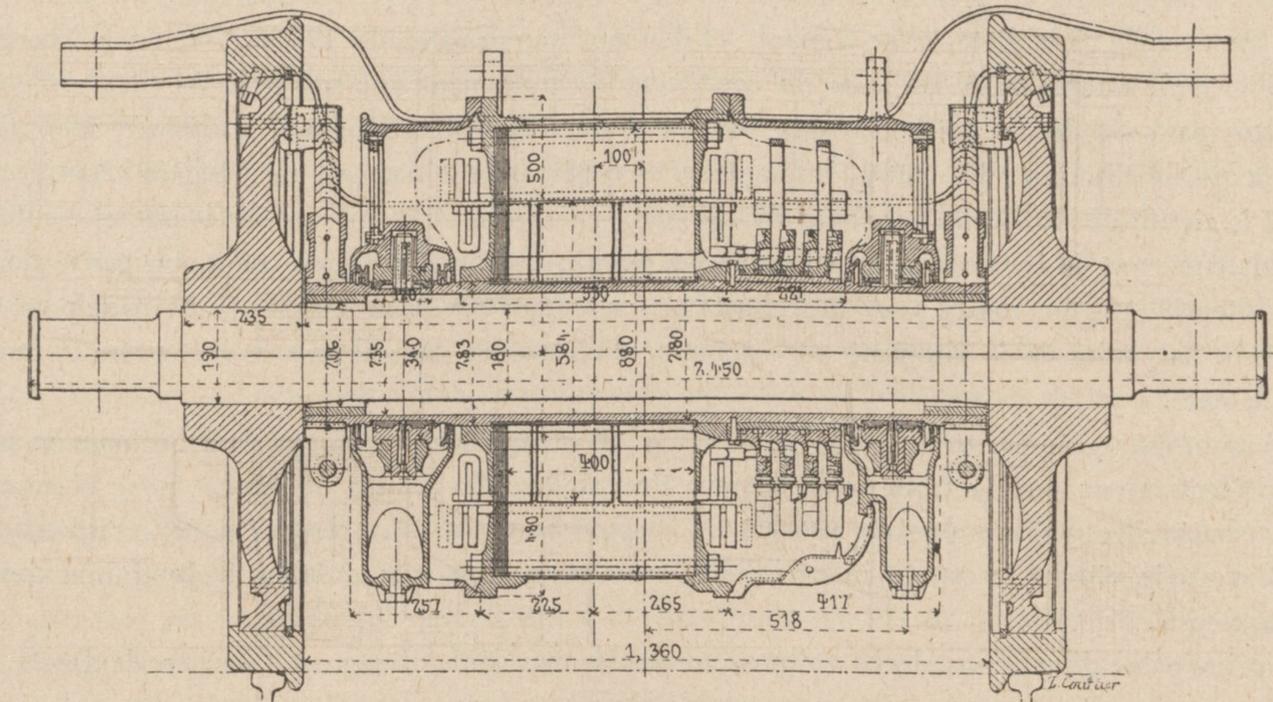
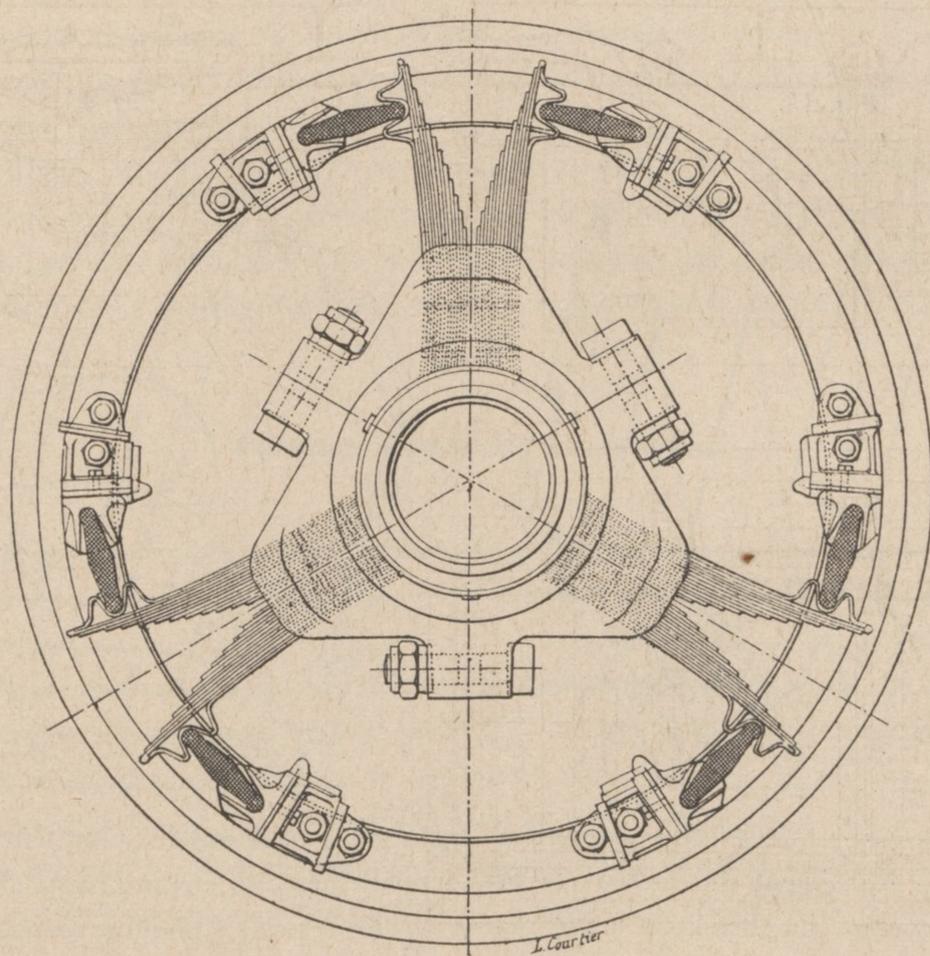


Fig. 13. — VOITURE DE L'ALLGEMEINE. ACCOUPLEMENT DES ROUES.



les mises en court circuit métalliques aux grandes puissances. L'eau qui vient de s'échauffer par son passage dans le rhéostat traverse un serpentin où elle se refroidit, et ce refroidissement, joint à l'effet propre au renouvellement même du liquide, suffit pour assurer le bon fonctionnement de l'appareil

dans les circonstances les plus difficiles. C'est le débit de la pompe centrifuge qui règle la rapidité de la mise en train, de sorte qu'il suffit de limiter ce débit par une valve régulatrice pour éviter que le mécanicien ne provoque un démarrage trop rapide : et, d'autre part, le mécanicien peut, en agissant sur cette valve, modérer à volonté la vitesse. Ce dispositif donne des démarrages progressifs très doux ; en outre, il peut être manœuvré très facilement à la main.

Chaque voiture porte un frein Westinghouse à air comprimé, divisé en deux parties : une pour chaque bogie, commandée de la plate-forme d'avant, et donnant une pression de 170 p. 100 de la charge des roues pour tenir compte de la faiblesse du coefficient de frottement aux très grandes vitesses d'environ 50 mètres par seconde, et ces freins sont pourvus d'un dispositif permettant d'abaisser cette pression quand la vitesse diminue. En outre, les moteurs eux-mêmes sont disposés de manière à faire frein en ouvrant le circuit de l'armature au moyen du rhéostat, puis, soit en le fermant sur le circuit continu des accumulateurs, soit en renversant les phases de son circuit, que l'on ferme plus ou moins par le rhéostat, selon l'intensité que l'on désire pour le freinage ; on a adopté ces deux modes de freinage pour éviter la détresse par suite de la rupture, par exemple, d'un plomb dans le circuit de contre-courant des accumulateurs.

Le courant est amené par trois câbles aériens (Fig. 3) superposés, au moyen de collecteurs en archet, qui se prêtent mieux que le trolley aux flexions des câbles ; il y a ainsi un archet pour chacune des phases ; chacun des systèmes de trois archets est disposé au-dessus d'un bogie, et cette disposition des archets assure la marche en cas de raté de l'un d'eux ; ces archets sont en lames d'aluminium appuyées par des ressorts.

Les principales dimensions de la voiture, construite par MM. Zypen et Charlier de Deutz, pour 50 voyageurs, sont les suivantes : longueur totale, 21 mètres, largeur 2^m,60, entre les pivots des bogies, 13^m,30, hauteur des tampons, 1^m,065. Les pivots des bras et les isoléments des câbles sont essayés à 20.000 volts.

Fig. 14.

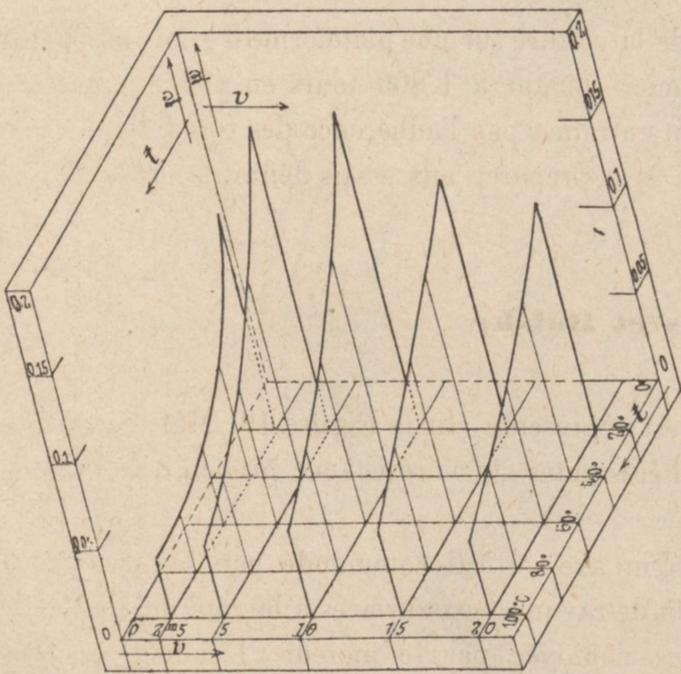
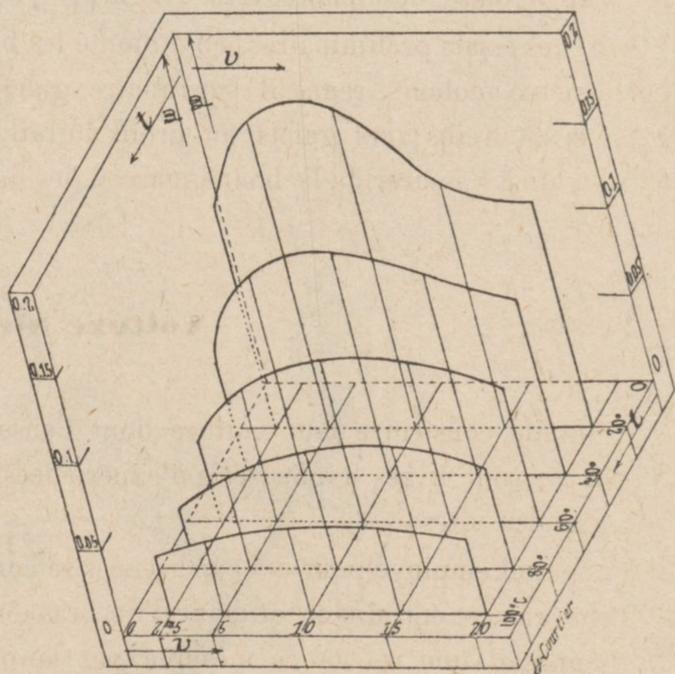


Fig. 15.



Le diamètre des roues est de 1^m,25 ; chacun des bogies est à trois essieux, dont deux moteurs, et celui du milieu porteur, écartement des essieux 1^m,900, empatement de chaque bogie 3^m,80 ; charge par essieu, environ 14 tonnes. Le châssis du bogie repose sur des ressorts à boudins suspendus aux extrémités des ressorts à lames qui en chargent des boîtes à graisse, et sur les étriers desquels reposent les ressorts de suspension des moteurs précédemment décrits, disposés de manière que, en cas de rupture de ces ressorts, le moteur viendrait reposer sur l'essieu par des tasseaux métalliques placés près du moyeu des roues.

Chacun des moteurs, d'une puissance normale de 250 et maxima de 750 chevaux, fait normalement 960 tours par minute, correspondant à une vitesse de 225 kilomètres à l'heure, et reçoit le courant réduit par les transformateurs de 1.200 à 435 volts. L'inducteur est à barres isolées par un tubage en mica, et, pour faciliter les démarrages, l'enroulement de l'armature est à deux phases au lieu de trois. La partie fixe du moteur supporte l'arbre creux de l'armature par deux paliers, dont l'un porte les balais et les bornes; les moitiés inférieures de ces paliers s'enlèvent facilement de manière à permettre l'accès des balais; l'anneau graisseur de chaque palier plonge dans l'huile de 30 à 40 millimètres; l'arbre creux est écarté de l'essieu de 30 millimètres et il est maintenu latéralement sur un des paliers seulement, l'autre bout de l'arbre restant libre de se dilater.

Les ressorts de l'accouplement des roues avec l'essieu creux du moteur sont fixés au moyeu par des coins disposés de manière que l'action de la force centrifuge contribue à leur serrage.

Les transformateurs sont à trois noyaux disposés parallèlement avec l'enroulement intérieur de basse tension: 435 volts, formé par une grosse spirale en cuivre séparée de l'enroulement extérieur à haute tension par un cylindre de mica; de forts courants d'air passent, comme nous l'avons vu, dans ce noyau et entre les deux enroulements. Les noyaux sont supportés en leur milieu de manière à éviter les déformations par les vibrations de la voiture à laquelle le transformateur est suspendu par des boulons.

Les câbles de haute tension sont, outre leur gaine d'isolement essayées à 20.000 volts, posés sur de doubles isolants, et pourvus de plombs de sûreté qui garantissent complètement la voiture; leur disposition générale est indiquée sur les Figures 4 et 5; ils aboutissent aux bogies par des suspensions élastiques qui leur permettent de se prêter aux mouvements de ces bogies.

Le conducteur de la voiture en commande toutes les manœuvres par une seule manette; un ampèremètre lui indique constamment la charge des moteurs, un tachymètre lui donne la vitesse de la voiture; cette manette commande les commutateurs, le freinage électrique et le rhéostat de mise en marche. A sa gauche, se trouve la manette de commande du frein Westinghouse, et, à sa droite, celle du frein à main des manœuvres de gare.

Pour les essais préliminaires, on a monté les bogies de la voiture sur une plateforme d'essais où chacun des essieux moteurs reposait sur quatre galets en acier roulant à 1.800 tours en pleine marche, et pourvus de freins; ces galets au profil du rail, étaient entraînés par l'adhérence des roues des essieux; on a pu ainsi s'assurer de la bonne marche des moteurs, et se préparer aux essais définitifs sur la voie.

Voiture Siemens et Halske.

Avant de construire leur voiture dont l'ensemble est représenté par la Figure 19, MM. Siemens et Halske se sont livrés à une série d'expériences très intéressantes sur la résistance probable de l'air aux très grandes vitesses.

L'appareil employé pour ces expériences se compose d'un axe vertical commandé par une dynamo de 200 chevaux, et entraînant, au bout d'un bras de 3^m,275 de rayon, deux surfaces à la rotation desquelles l'air opposait une résistance mesurée par la puissance déployée par le moteur. L'inducteur de ce moteur était excité séparément, de sorte qu'il marchait en dérivation à vitesse constante pour un voltage donné, et l'armature était excitée par le courant d'une dynamo séparée, variable à volonté; la mise en marche et l'arrêt se faisaient par un rhéostat liquide; la vitesse était donnée par un compteur Morse.

On essaya successivement des surfaces planes rectangulaires, puis paraboliques, comme celles (Fig. 17); les résultats en sont figurés par les courbes du diagramme (Fig. 18); ils montrent, qu'avec des surfaces paraboliques analogues à celles présentées par l'avant de la voiture, la résistance est, par unité de maître

couple, environ le tiers de celle des surfaces planes normales au vent. A la vitesse de 200 kilomètres, cette résistance est d'environ 90 kilogrammes par mètre carré, soit 10 kilogrammes pour une section de 10 mètres carrés, prévue pour la voiture, de sorte que, si l'on admet le chiffre très élevé de 4^{kil.}5 par tonne pour la résistance de roulement, et 100 tonnes pour le poids de la voiture, la puissance nécessaire pour tirer cette voiture, à la vitesse de 55 mètres par seconde, serait, au crochet d'attelage, de $(900 + 450) \frac{55}{75}$, ou de 990 chevaux, soit, en nombre rond, de 1.000 chevaux.

Fig. 16. — APPAREIL DE SIEMENS ET HALSKE POUR L'ÉTUDE DE LA RÉSIDENCE DE L'AIR. SCHÉMA DES CIRCUITS.

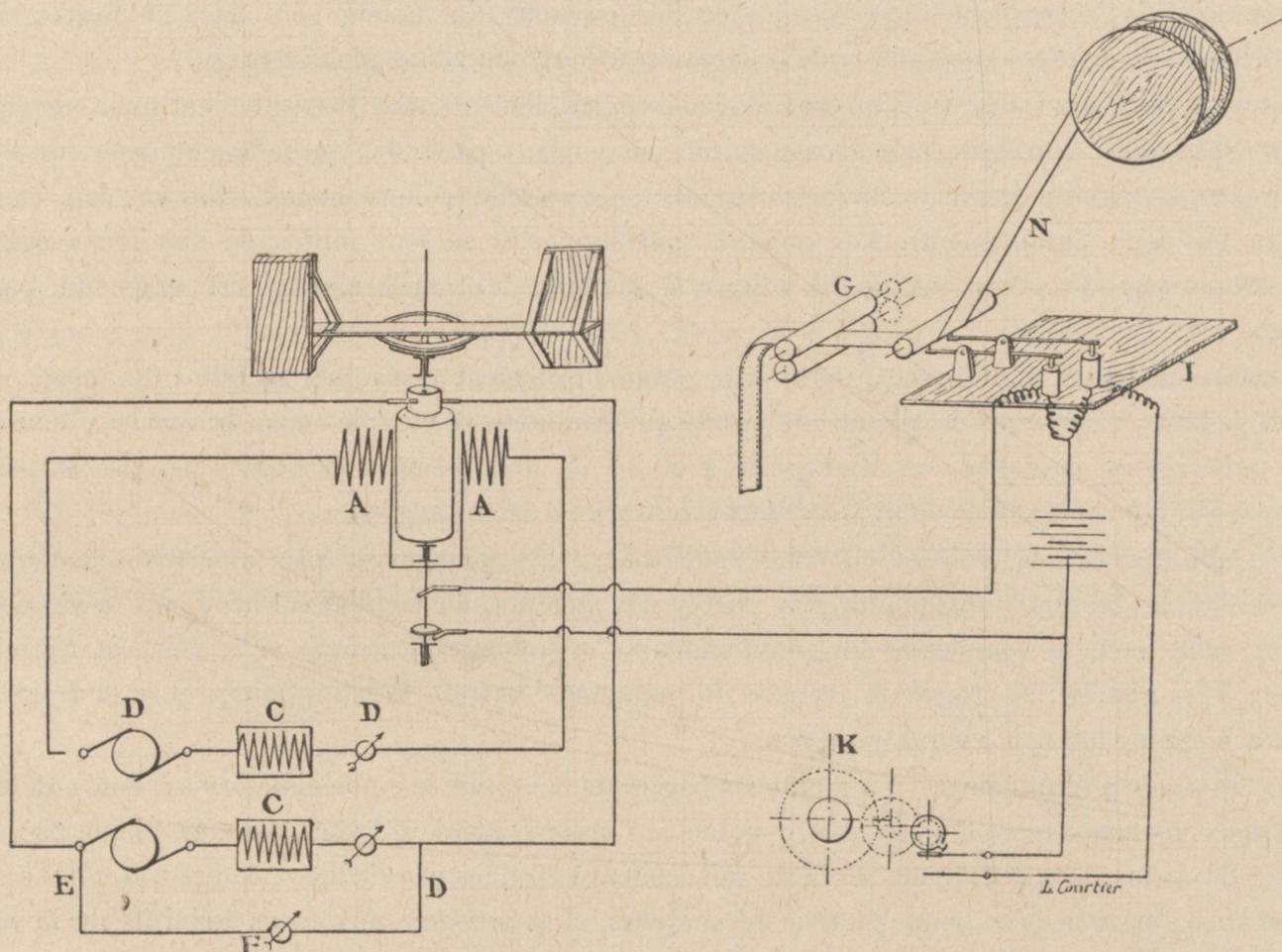
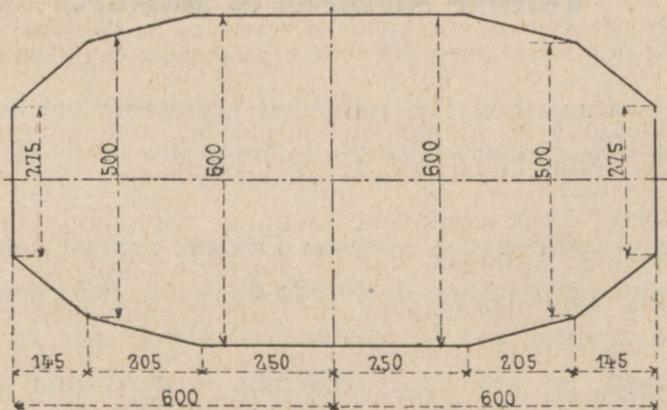


Fig. 17.

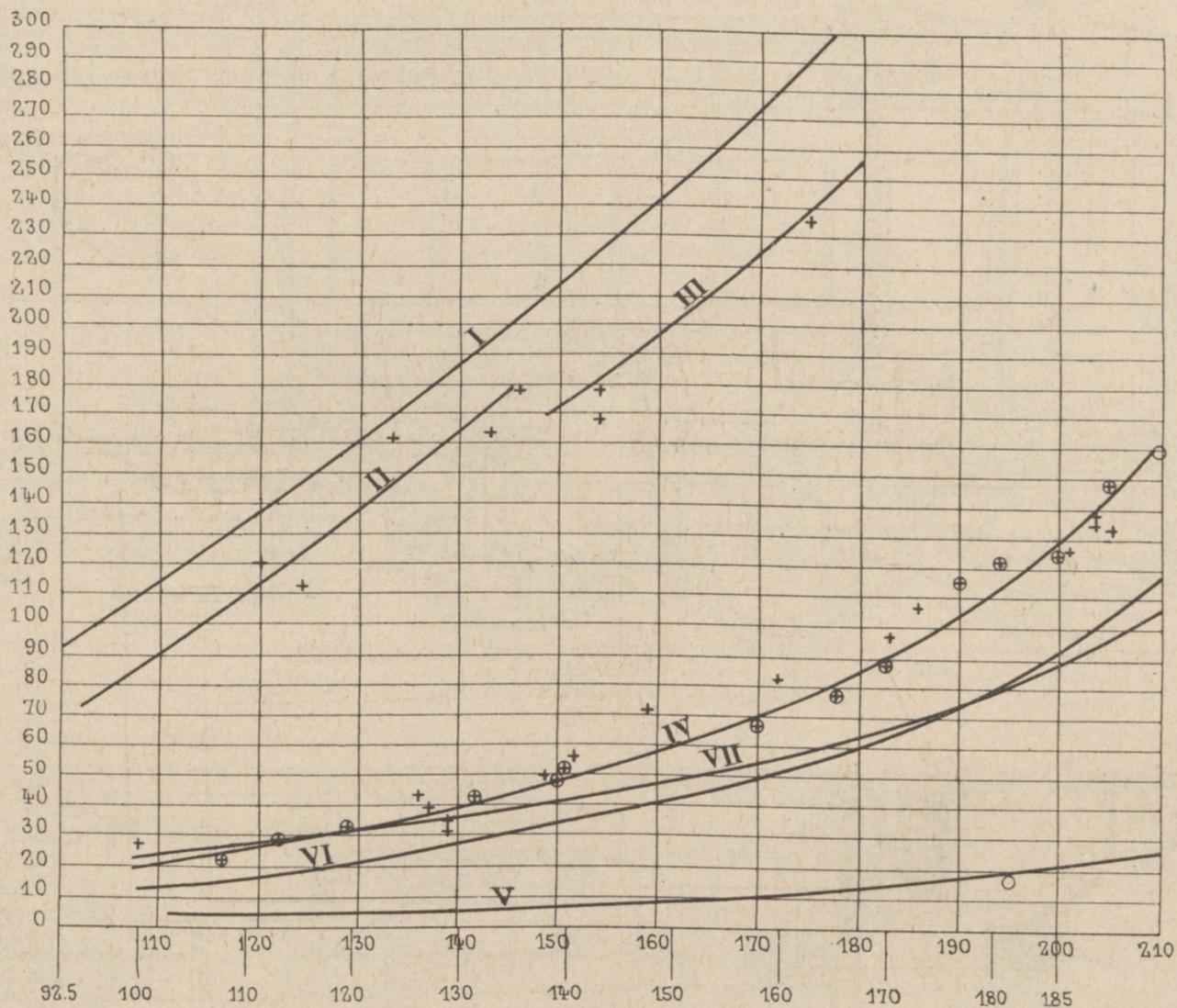


La voiture pèse en réalité, 94^{t.}500, dont 20.700 kilogrammes pour la caisse et les freins, 27.300 pour les bogies et leurs essieux, 48.000 pour les moteurs et leur suspension, 12.300 pour les transformateurs, 4.000 kilogrammes pour les 50 voyageurs, le conducteur et le mécanicien. La voiture a (Fig. 19) 21 mètres de long, 2^{m.}560 de large; hauteur du toit au-dessus du rail 4^{m.}30; diamètre des roues des bogies 1^{m.}250, empatement 3^{m.}80, d'axe en axe des bogies 14^{m.}30; double suspension (Fig. 21) par

ressorts à boudins et lamellaires ; à chaque bogie, deux essieux moteurs et celui du milieu porteur ; frein Westinghouse.

L'appareillage électrique est divisé en deux parties renfermant chacune (a) deux moteurs, deux séries de résistances, deux démarreurs, deux commutateurs et deux coupe-circuits de sûreté (b), un grand

Fig. 18. — RÉSISTANCE DE L'AIR.



Courbe I, calculée par la formule $P = 0,1225$ kil. par mètre carré ; courbe II, mesurée avec une surface plane de 1 mètre carré ou kil. par mètre carré ; courbe III, mesurée avec une surface de $0^m^2,60$; courbe IV, résistance totale avec surface parabolique, en kilowatts ; V, résistance à vide en kilowatts ; VI, résistance effective nécessaire pour vaincre la résistance de l'air avec surface parabolique, en kilowatts ; VII, résistance mesurée avec une surface parabolique de $0^m^2,96$ en kil. par mètre carré.

transformateur avec ses connexions et plombs de sûreté (c), une pompe à air comprimé avec petit transformateur, réservoir d'air et plombs de sûreté (d), un collecteur de courant (e), une plate-forme de mécanicien avec manipulateur à air comprimé pour la commande des manœuvres et appareils indicateurs, suivant les connexions indiquées sur les Figures 22 et 23.

Chaque moteur, enfilé (Fig. 24) directement sur son essieu, peut développer au démarrage 750 chevaux et, en marche normale, 250 ; son circuit primaire reçoit le courant à 1.100 volts en marche normale, et à 1.850 au démarrage ; le réglage, au démarrage, se fait par des rhéostats insérés graduellement dans le circuit secondaire des moteurs, qui part avec 650 volts ; ces résistances sont en fils métalliques disposés dans les panneaux aérés de la voiture. La tension de 1.150 à 1.850 volts est donnée par les grands transformateurs, à commutateurs manœuvrés, de la plate-forme du mécanicien, au moyen de l'air comprimé. Le courant de 1.150 à 1.850 volts arrive à l'inducteur tournant du moteur par trois anneaux de bronze isolés au mica et huit balais de carbone facilement accessibles ; cet inducteur est à corps en disques lamellaires avec barres ; l'enroulement triphasé de l'induit est aussi sur barres et

plate-forme, soit par de l'air comprimé et deux cylindres : un petit, toujours sous pression, et un grand, relié au réservoir d'air pour le démarrage seulement et marchant en opposition du petit sur une même

Fig. 21. — VOITURE SIEMENS ET HALSKE. DÉTAIL D'UN BOGIE.

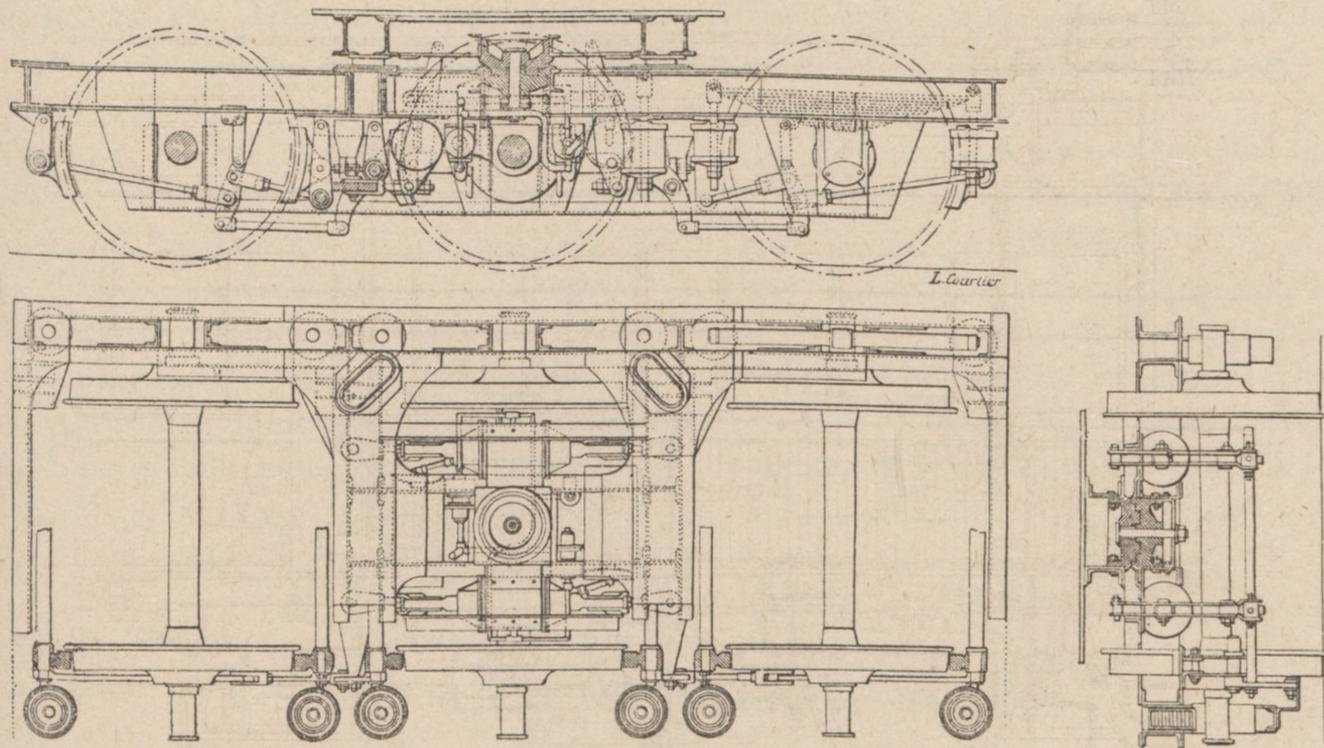
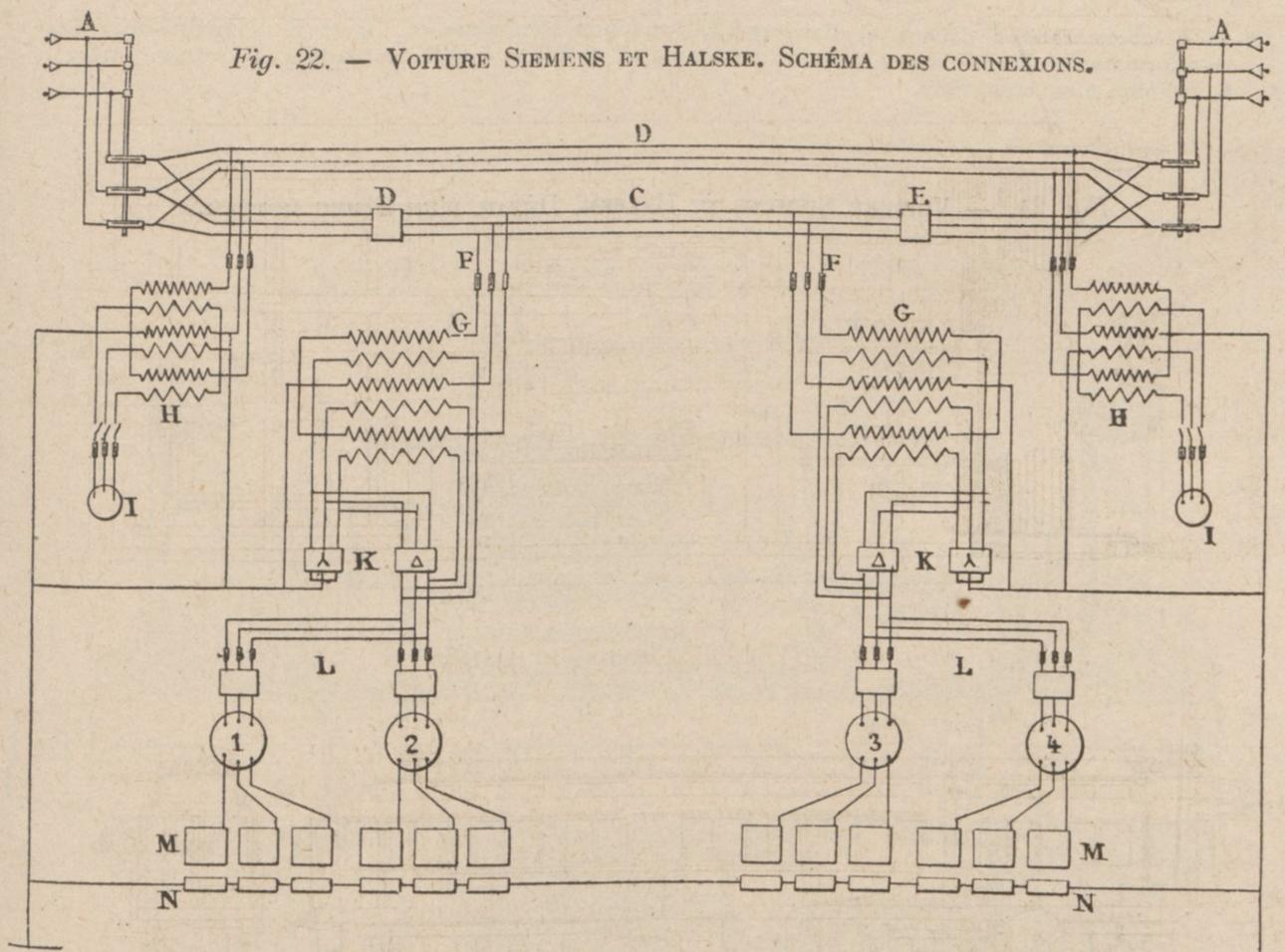


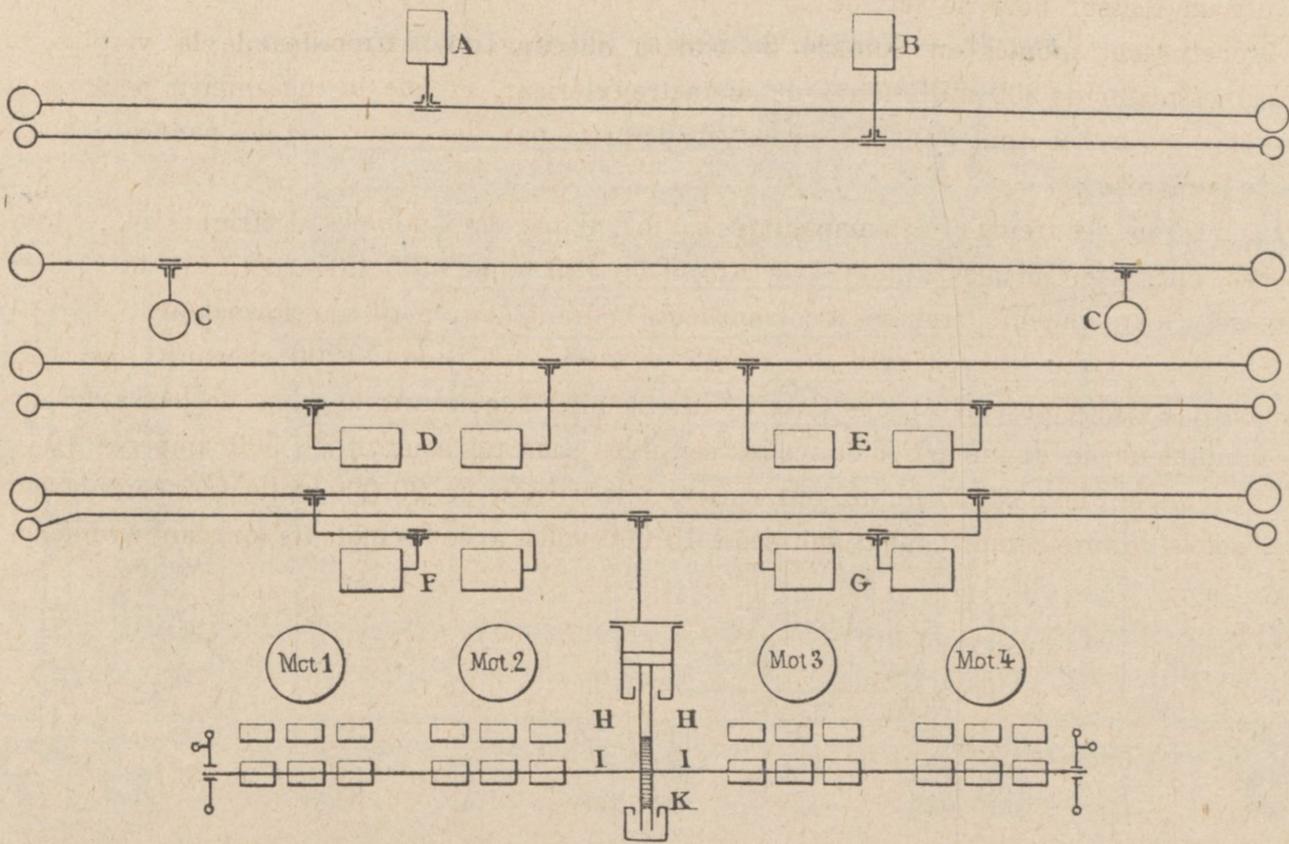
Fig. 22. — VOITURE SIEMENS ET HALSKE. SCHÉMA DES CONNEXIONS.



A, collecteurs ; B, ligne égalisatrice ; C, distribution ; D et E, commutateurs d'avant et d'arrière ; F, plomb de sûreté ; G et H, grands et petits transformateurs ; I, pompes à air ; K, commutateurs ; L, commutateurs des moteurs ; M, résistances ; N, mises en train.

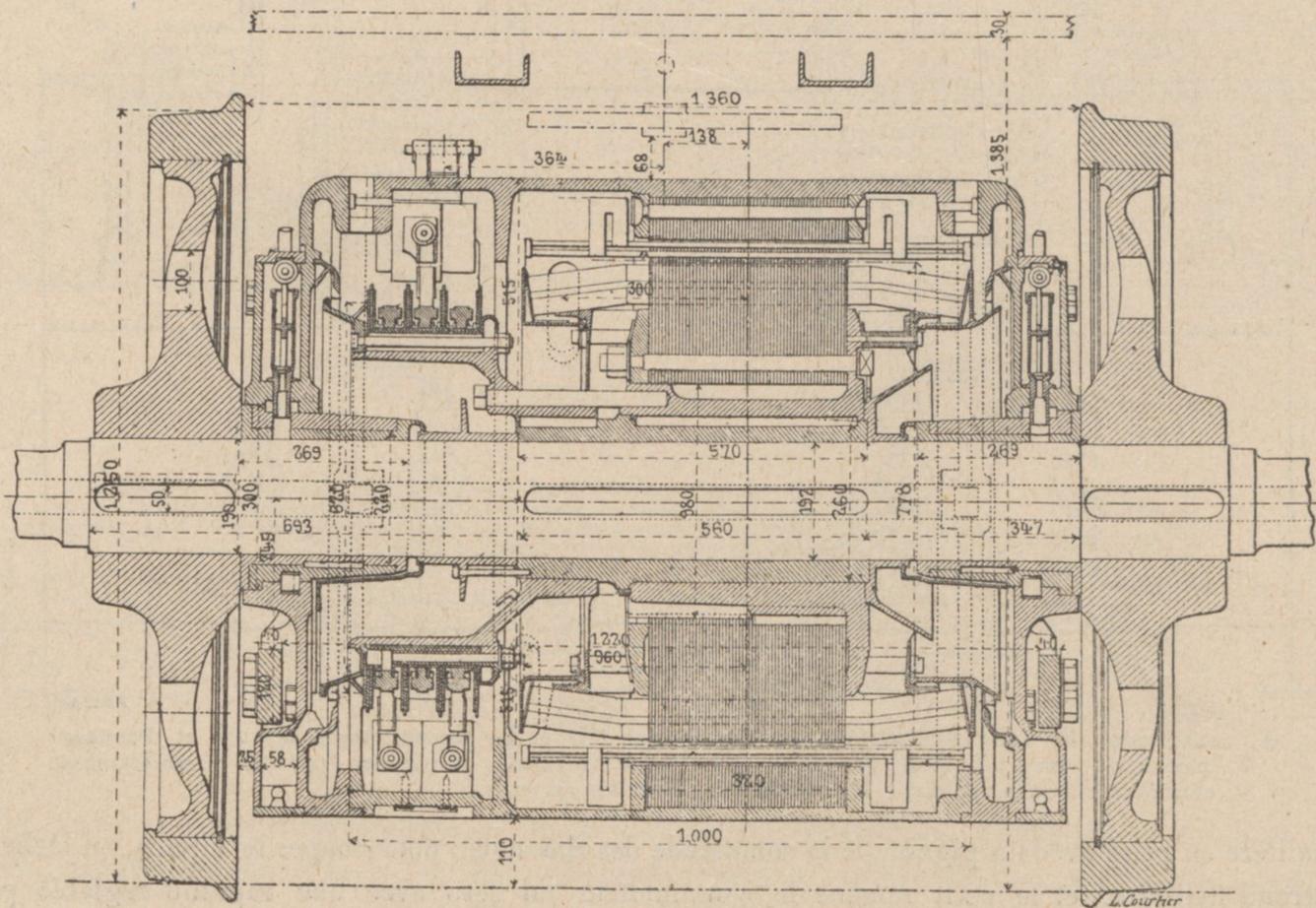
crémaillère en prise avec un pignon de la commande des rhéostats ; pour couper le circuit, on lâche l'air du grand cylindre, et le petit ramène le commutateur au zéro avec une rapidité réglable par le mécanicien.

Fig. 23. — VOITURE SIEMENS ET HALSKE. SCHEMA GÉNÉRAL DES CONNEXIONS.



A et B, commutateurs d'avant et d'arrière ; CC, moteurs compresseurs ; D et E, commutateurs des transformateurs ; F et G, commutateurs des moteurs 1 et 2, 3 et 4 ; HH, résistances ; II, mises en train ; K, cylindre à air comprimé.

Fig. 24. — VOITURE SIEMENS ET HALSKE. DÉTAIL D'UN ESSIEU MOTEUR.



Chaque moteur reçoit son courant du grand transformateur par trois commutateurs de moyenne tension : un pour chaque phase, et un commutateur principal, qu'il suffit de tourner pour retrancher du circuit un moteur hors de service.

Les archets sont montés au nombre de trois à chacune des extrémités de la voiture, sur des tubes Mannesmann de 200 millimètres de diamètre intérieur, et que le mécanicien peut orienter sur leurs pivots ; les archets sont appuyés sur les fils de prise par des ressorts et des panneaux poussés par le vent de la marche.

L'air comprimé des freins et des manœuvres est fourni par deux pompes électriques aux extrémités de la voiture ; elles aspirent par minute, à la vitesse de 190 tours, 400 litres d'air, et les compriment à 6 kilomètres ; leurs moteurs triphasés reçoivent leurs courants d'un petit transformateur.

Les moteurs ont été essayés avec des résultats satisfaisants jusqu'à 200 chevaux ; les rhéostats ne s'échauffent pas dangereusement sous des conditions bien supérieures à celles de leur service futur, et leur commutateur ne donne pas d'étincelles sensibles sous un courant de 500 ampères 40 volts ; les transformateurs ont bien supporté, un jour entier, une tension de 20.000 volts ; les connexions ont été essayées sur la voiture complètement équipée à 15.000 volts, avec les moteurs tournant à vide.
