Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 30 (1904)
Heft: 2

Artikel: La locomotion électrique à grade vitesse sur voies ferrées
Autor: Gaillard, E.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-24108

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

problème proposé, de déterminer les éléments unis de ces deux ponctuelles superposées.

A cet effet, choisissons sur c trois points quelconques A_1, A_2, A_3 ; en les joignant à C, on obtient trois droites f_1, f_2, f_3 qu'on peut envisager comme les droites représentatives de trois complexes du système (C), et il est possible, en appliquant une construction donnée, de trouver les points représentatifs correspondants φ_1, φ_2 et φ_3. On possède ainsi trois couples d'éléments correspondants $A_1\ \varphi_1$, $A_2\ \varphi_2$, $A_3\ \varphi_3$ et l'on peut obtenir immédiatement, à l'aide du procédé classique, les éléments unis φ_p et φ_q. Chacun de ces éléments coïncidant, enfin, avec le point représentatif d'une directrice, on trouve sans aucune peine tous les éléments représentatifs des deux directrices cherchées. On peut facilement suivre toutes les constructions sur la figure 14, dans laquelle ces éléments représentatifs ont été désignés par f_p, f'_p, φ_p, φ'_p et f_q, f'_q, φ_q, φ'_q.

(A suivre.)

La locomotion électrique à grande vitesse sur voies ferrées [1].

Par M. E. GAILLARD,
Ingénieur.
Professeur extraordinaire à l'Ecole d'Ingénieurs.
Ancien élève de l'Ecole d'Ingénieurs.
(1893-1897).

Introduction. — Les essais de locomotion électrique sur voies ferrées qui viennent d'être effectués en Allemagne — entre Zossen et Marienfelde, près de Berlin — ont eu partout un grand retentissement. La vitesse considérable de 200 km à l'heure a été atteinte, puis dépassée, et cela non pas accidentellement, mais dans des conditions telles qu'il sera facile de renouveler les mêmes expériences à volonté. Nous avons pensé que les lecteurs du *Bulletin* seraient heureux d'avoir sur ce sujet quelques renseignements.

La vitesse de 200 km. n'a pas été obtenue d'emblée ; il a fallu de longs mois d'essais et des expériences nombreuses, permettant de déterminer les divers éléments du problème.

C'est en 1899 qu'il est sérieusement question pour la première fois, de réaliser de pareilles vitesses. Ensuite d'une conversation entre MM. Rathenau et Schwieger, qui s'étaient rencontrés par hasard dans le rapide Berlin-Milan, une entente intervint entre la Société générale d'électricité et la maison Siemens et Halske, toutes deux à Berlin ; on devait construire une ligne pour y effectuer des essais de locomotion à grande vitesse. Ce projet rencontra l'approbation et l'appui sympathique des autorités, de plusieurs maisons de construction importantes et des financiers ; aussi une société put-elle être bientôt constituée, sous le nom de « Société pour l'étude de la locomotion électrique à grande vitesse » (Studiengesellschaft für elektrische Schnellbahnen). Voici quels en étaient les membres fondateurs : la Société générale d'électricité, Siemens et Halske, la Deutsche Bank, la National Bank, MM. Delbruck Leo et C°, Jakob S.-H. Stern, Bowig, Krupp, Ph. Holzmann, van der Zypen et Charlier (Cologne). La présidence du Conseil d'administration de la Société fut confiée à M. Schulz, président du Service impérial des chemins de fer. Un comité technique se mit aussitôt à l'étude et élabora les bases sur lesquelles les essais se feraient. Il fut décidé que les expériences seraient organisées sur la ligne militaire Zossen-Marienfelde ; la maison Siemens et Halske construirait la ligne électrique, et la Société générale d'électricité ferait le nécessaire pour la fourniture du courant depuis son usine de l'Obersprée, à Berlin ; chacun des concurrents équiperait une voiture, dont MM. van der Zypen et Charlier livreraient les bogies et la caisse.

Programme des conditions à remplir par les concurrents. Les constructeurs se mirent à l'œuvre ; ils avaient à satisfaire aux conditions suivantes :

Les essais seront effectués sur la ligne à écartement normal Marienfelde-Zossen, longue de 23 km. ; le rayon minimum de celle-ci est de 1000 m. et la pente maximum 1 : 184.

La voiture, de profil normal, pourra prendre 50 personnes ; elle sera portée par deux bogies, avec chacun 3 essieux chargés de 16 tonnes au maximum, y compris les voyageurs.

L'énergie électrique sera fournie sous forme de courants triphasés, à la tension de 10000 volts (45-50 périodes).

La mise en marche et le réglage devront pouvoir s'effectuer depuis chaque extrémité du véhicule, et il faudra que l'équipement électrique soit calculé et dimensionné de telle sorte qu'après une course de 250 km., l'échauffement de toutes ses parties ne soit pas anormal.

La vitesse sera de 200-220 km. à l'heure.

Le démarrage et le freinage seront tels qu'il reste un temps suffisant pour faire des observations précises, à toute vitesse, entre la fin du premier et le commencement du second.

Tous les appareils de mesure et de contrôle nécessaires seront installés sur la voiture, qui sera éclairée à l'électricité ; il est permis d'utiliser, pour cet éclairage, une batterie d'accumulateurs.

Détermination de la puissance nécessaire. — Comme on le voit, il n'est pas question, dans le programme, de la puissance à donner aux moteurs. C'est qu'on voulait laisser aux constructeurs toute latitude à cet égard. Jamais encore personne n'avait eu l'occasion d'expérimenter des vitesses aussi considérables, et il y avait lieu de déterminer plusieurs éléments inconnus. Quelle serait, par exemple, l'influence de la forme de la voiture, de la résistance de l'air ; comment la déterminer à priori. En prenant les formules anciennes, on arrive à une puissance de 3000 chevaux environ, en marche normale, pour 200 km. de vitesse [1]. Il

[1] Voir *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1901, n°s 34, 37, 38, 41 ; 1902, n° 32. *Revue d'électricité*, 1902, n° 1 et suivants. *Glasers Analen*, 1903, n° 619.

[1] La formule de Grave et Clark donne la résistance suivante : $f = 2{,}25 + 0{,}001\ v^2 = 42{,}25$ kg.

était donc nécessaire de faire une étude nouvelle pour déterminer exactement la puissance à donner aux moteurs, en tenant compte de la résistance de l'air, en particulier. Pour obtenir des valeurs approximatives de cette dernière, la maison Siemens et Halske a construit une sorte de grand tourniquet. Un axe vertical, solidement installé, recevait un mouvement de rotation; il était actionné par un moteur dont on pouvait facilement régler la vitesse et la puissance — cette dernière était, du reste, susceptible d'être portée à 200 chevaux. Deux grands bras, longs de $3^m,175$, chacun, constitués par une poutre métallique, étaient fixés sur cet axe; ils portaient à leur extrémité une plaque verticale, sur laquelle pouvaient être adaptées des carcasses en bois, ayant la forme de l'avant de la voiture (avant rectangulaire, parabolique, etc.). On est arrivé par ce procédé, qui n'est évidemment pas parfait et ne peut donc donner que des résultats approchés, à une puissance de 1000 chevaux environ, pour une vitesse de 200 km. à l'heure[1].

On était dès lors fixé sur la puissance à donner aux moteurs, et on les construisit pour qu'ils puissent fournir, en marche normale, 1000 chevaux. Mais ce n'est pas suffisant; ces moteurs doivent pouvoir satisfaire à une autre condition. Il a été dit précédemment qu'entre la période de démarrage et celle de freinage, il doit rester un temps suffisant pour qu'il soit possible de faire de bonnes observations sur la marche de la voiture en pleine vitesse. Or, la distance étant très courte (23 km.), et par conséquent très vite franchie, surtout en marchant à des vitesses telles que celles qu'on espérait réaliser, il y avait lieu de réduire au strict minimum la durée du démarrage et celle du freinage. Il devenait donc nécessaire de doter le véhicule de moteurs assez puissants, non seulement pour atteindre la vitesse de 200 km. à l'heure, mais pour démarrer en un temps très court; c'est pour cela que les moteurs sont construits pour pouvoir fournir, pendant la première période de la course, 3000 chevaux.

Description de la voiture. — *Moteurs.* Comment répartir cette puissance et où placer les moteurs? Faut-il en mettre un, deux ou trois par bogie; est-il préférable de les caler sur les essieux ou, au contraire, vaut-il mieux attaquer ces derniers par un train d'engrenage? Après de nombreux essais, on est arrivé à la solution adoptée pour les voitures actuellement en expérience, qui consiste à placer deux moteurs sur chaque bogie, la partie mobile du moteur étant concentrique à l'essieu, sans être toujours calée sur ce dernier.

Les moteurs étant au mombre de quatre (deux par bogie), leur puissance variera donc de 250 à 750 chevaux. La construction de ces machines a rencontré de grandes difficultés, qui n'ont pu être vaincues qu'à la suite d'expériences intéressantes, mais longues et coûteuses. En effet,

[1] Il est intéressant de comparer ce résultat avec celui que donne la formule de M. L'Hœst, ingénieur-chef aux Chemins de fer de l'Etat belge; en prenant $f = 1,8 + 0,04\,v + \frac{0,0415\,v^2}{p}$ où p est le poids du véhicule en tonnes, on arrive à environ 1400 chevaux.

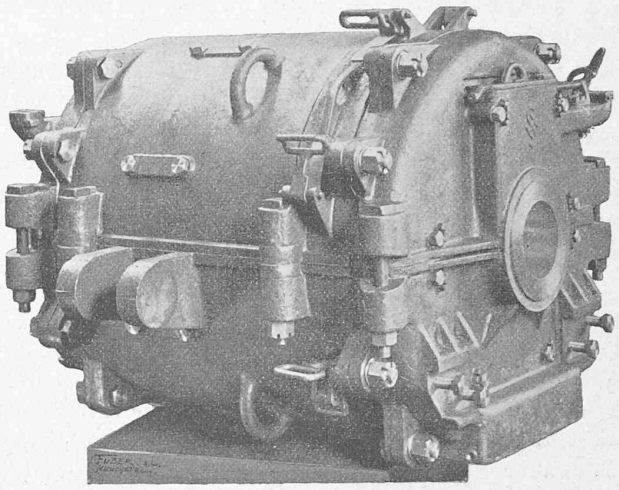
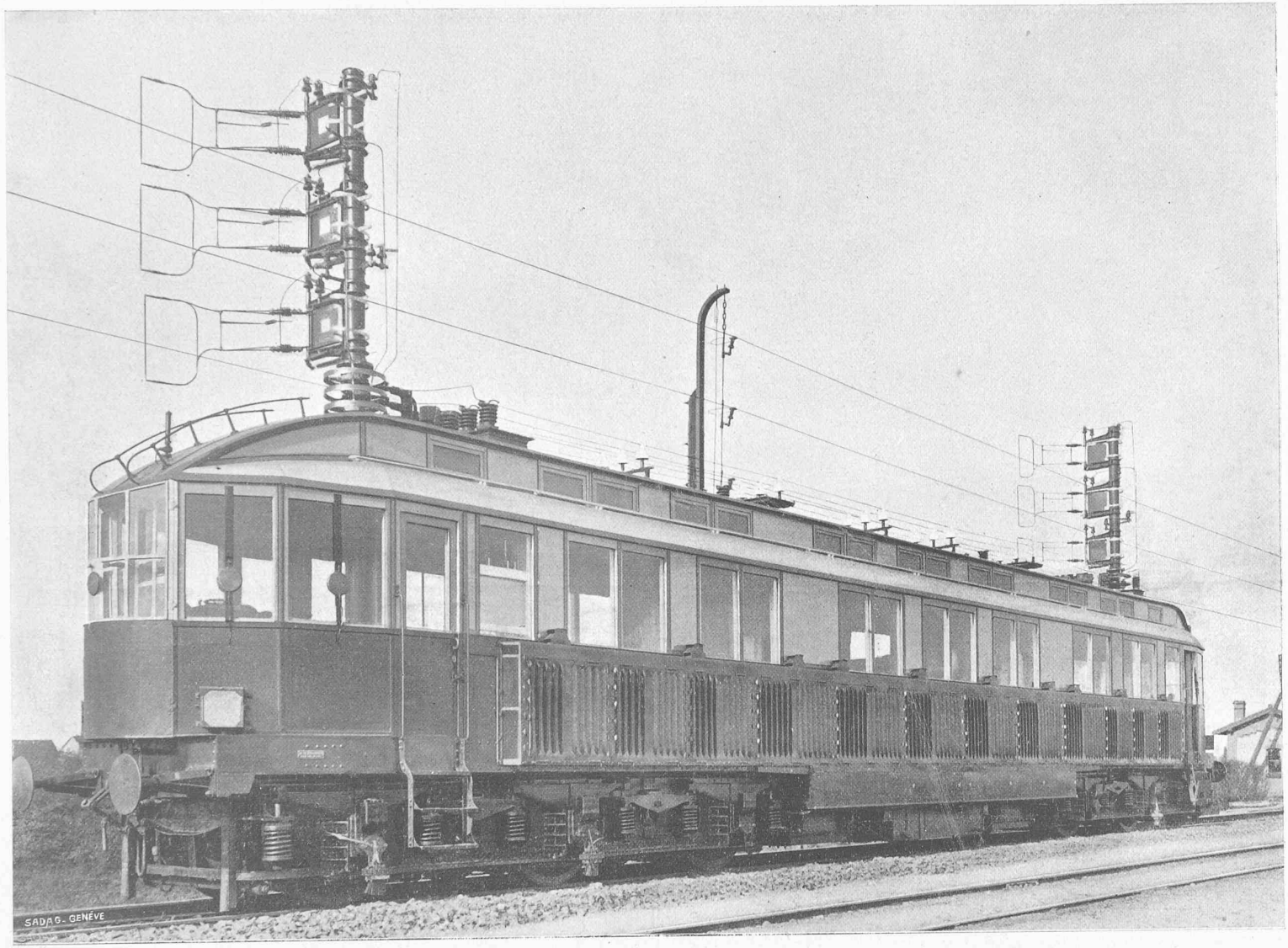


Fig. 1. — Moteur de la voiture de Siemens et Halske (250 à 750 chevaux).

on se heurte ici à des conditions qui semblent au premier abord s'exclure. Le moteur doit être très puissant, donc de dimensions respectables; mais où le loger? On n'a pas de place et il faut le cacher sous le plancher de la voiture! Un pareil moteur est ordinairement lourd (surtout s'il doit satisfaire aux conditions imposées de pouvoir donner 750 chevaux au démarrage, puis de ne pas s'échauffer d'une manière anormale après 250 km. de route), mais on ne peut admettre un tel moteur; on ne dispose que de 16 tonnes par essieu et tous les engins ou appareils sont déjà fort pesants. Il a fallu s'ingénier; aussi est-on arrivé à un excellent résultat. Tandis que les moteurs utilisés dans d'autres circonstances ont un poids spécifique (poids par cheval utile) assez élevé, ici il est très réduit. On admet que les bons moteurs pour voitures électriques pèsent 50 kg. environ par cheval, pour les vitesses normales actuelles; en augmentant la vitesse du moteur, on obtient un poids spécifique plus faible, il est vrai, mais on ne peut dépasser non plus une certaine vitesse périphérique de l'induit, ce qui limite le poids spécifique. Il y a aussi une différence sensible entre les moteurs qui peuvent rester ouverts, dans les organes desquels l'air peut circuler librement, et ceux qui sont au contraire complètement fermés, comme c'est le cas pour les moteurs employés dans la traction électrique; le refroidissement est ainsi réduit au minimum, et les dimensions du moteur, de même que son poids, sont forcément plus élevées.

Pour les moteurs qui nous intéressent, le poids spécifique a été réduit à 5,4 kg., si on tient compte de la puissance maximum, et à 16,3 kg. si, au contraire, on prend la puissance normale.

Il restait encore un autre point à étudier. Comment se comporterait le graissage des essieux, alors que la vitesse de rotation de ces derniers dans les paliers atteint et dépasse 15 m. à la seconde. Il ne fallait pas songer au graissage à bague. La maison Siemens et Halske a utilisé le graissage avec mèche, qui s'est fort bien comporté, tandis que la Société générale d'électricité a adopté un disque poli, d'assez grand diamètre, centré sur l'arbre et élevant



LA LOCOMOTION ÉLECTRIQUE A GRANDE VITESSE SUR VOIES FERRÉES

Voiture automotrice de Siemens et Halske.

(207 km. à l'heure).

Seite / page

leer / vide / blank

constamment l'huile sur le tourillon; on a obtenu ainsi un graissage abondant sans produire le bouillonnement de l'huile.

Le moteur n'est pas relié à l'essieu de la même manière par les deux constructeurs. La Société générale a utilisé un arbre creux, sur lequel est calé le *rotor* du moteur; cet arbre peut tourner sur l'essieu, mais d'un angle assez faible; des ressorts à compression fixés sur lui viennent appuyer sur des pièces boulonnées contre les jantes des roues, qui sont ainsi entraînées. Siemens et Halske, après avoir essayé de transmettre le mouvement à l'essieu par un système d'engrenages, ont abandonné — pour les voitures automotrices — ce procédé, le rotor du moteur est calé directement sur l'essieu. Ajoutons que cette maison, toujours dans le but d'arriver à une solution permettant l'utilisation la plus rationnelle des matériaux, a fait passer le courant primaire dans le rotor, à l'inverse de ce qui se pratique habituellement; le courant à haute tension (1150-1850 volts), arrive dans le rotor au moyen de 8 groupes de balais en charbon, frottant sur trois anneaux, soigneusement isolés et reliés aux enroulements. Il va de soi que ces moteurs doivent être construits d'une façon très robuste puisque la vitesse périphérique atteint 39 mètres à la seconde. Le diamètre du rotor est de 58 cm. pour le moteur de la Société générale, et de 78 cm. pour celui de Siemens et Halske. Ces moteurs sont construits pour faire 960 tours par minute, ce qui correspond, avec des roues de 125 cm. de diamètre, à une vitesse de 225 km. à l'heure.

Rhéostats. — Le courant qui est induit dans le circuit secondaire du moteur (en général le rotor, et pour le moteur de Siemens et Halske le stator) étant très considérable au démarrage et dangereux pour le maintien en bon état du moteur, il est nécessaire d'introduire une résistance. Au fur et à mesure que le moteur se rapproche de sa vitesse normale, l'intensité de ce courant diminue et la résistance supplémentaire peut être progressivement réduite, jusqu'au moment où la marche définitive étant atteinte, le circuit secondaire peut être mis en court-circuit.

D'autre part, il faut pouvoir régler l'allure de la voiture. C'est pour ces raisons que sont installés les appareils de mise en marche et de réglage. Les deux constructeurs ont choisi des solutions complètement différentes. Tandis que la Société générale rejetait d'emblée tout appareil comportant l'utilisation de résistances métalliques, pour n'admettre que des résistances liquides, Siemens et Halske, au contraire, prenaient des rhéostats complètement métalliques.

Nous savons que la puissance des moteurs doit varier de 250 à 750 chevaux et qu'à certains moments la puissance totale atteint 3000 chevaux; jamais rhéostats ne s'étaient trouvés dans de telles conditions. Aussi les constructeurs durent-ils abandonner les anciens appareils. La Société générale utilise un récipient en fonte, dans lequel plongent les lames métalliques reliées au circuit secondaire du moteur. En temps ordinaire — les lames étant isolées les unes des autres — le courant ne peut passer; mais, au moment du démarrage, une pompe envoie dans

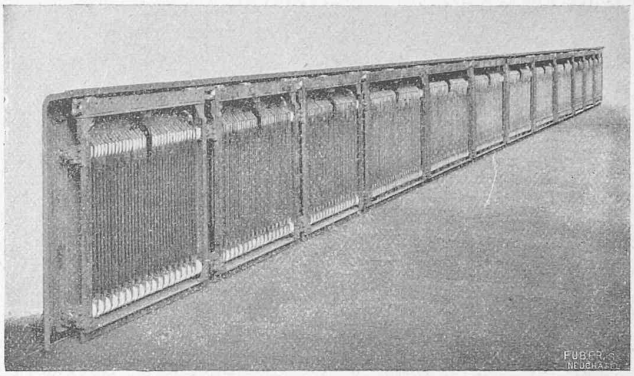


Fig. 2. — Résistances métalliques de la voiture de Siemens et Halske.

le vase une solution de soude, le niveau du liquide monte et atteint bientôt les plaques de tôle en fermant ainsi le circuit. La surface immergée des lames augmente tant que la pompe fonctionne et que le robinet de sortie du liquide est fermé, la résistance diminue donc, jusqu'à prendre sa valeur normale; à ce moment-là on pourrait arrêter la pompe. La rapidité du démarrage peut être facilement réglée; il suffit d'agir sur l'arrivée du liquide dans le rhéostat; si la vanne du tuyau d'amenée d'eau acidulée est grande ouverte, le récipient est bientôt rempli et le démarrage est très rapide. Il sera d'autant plus lent que la vanne sera fermée davantage. En ouvrant le robinet d'évacuation du liquide et en laissant fonctionner la pompe, on peut maintenir le niveau constant dans le rhéostat, tout en obtenant le renouvellement de la solution de soude; celle-ci va se refroidir dans un serpentin. On évite ainsi tout bouillonnement qui finirait par se produire par le fait de l'échauffement du liquide. L'avantage de cette disposition nouvelle est de rendre possible la marche, aussi longtemps que l'on voudra, à une vitesse quelconque, sans que le rhéostat soit détérioré par une élévation de température trop grande. Grâce aussi à ce système de démarrage et de réglage, il n'y a pas d'à-coups lors de la mise en marche de la voiture, qui passe très doucement du repos à une vitesse très grande. Les voyageurs ne sont pas incommodés, comme cela arrive assez souvent avec les appareils ordinaires.

Siemens et Halske construisent leurs rhéostats au moyen de rubans de kruppin de 45 mm. sur 2 mm. L'appareil est divisé en 29 sections, dont 4 servent pour la mise en marche et les 25 autres pour le réglage de la vitesse. L'échauffement des résistances étant considérable, il a fallu les ventiler énergiquement; c'est pour cela que les tôles qui les recouvrent sont découpées et étampées pour former des sortes de jalousies par où l'air s'introduit. Ces résistances sont assez volumineuses et la question de leur emplacement n'a pas été facile à résoudre. Elles ne pouvaient pas être disposées sous le plancher de la voiture, où il n'y avait plus de place; d'autre part, il ne fallait pas songer à les mettre sur le toit. On aurait pu les loger dans la voiture même, mais pour cela il fallait allonger cette dernière de plusieurs mètres, on obtenait ainsi une solution encombrante et peu esthétique. Il a été finalement décidé de les

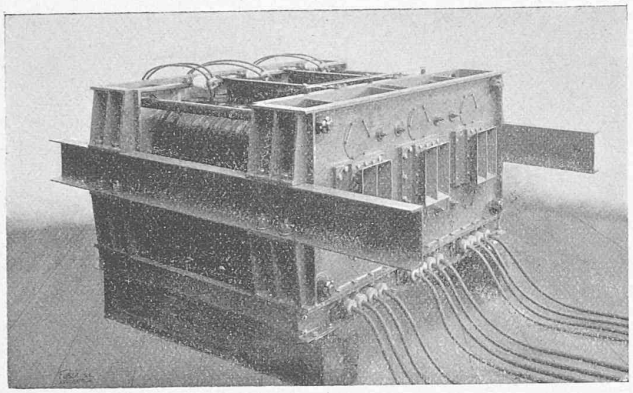


Fig. 3. — Transformateur de 10 000 : 1150 volts de la voiture de Siemens et Halske.

installer le long de la voiture, à l'extérieur, au-dessous des fenêtres, dans des caisses hautes de 122 cm. et profondes de 15 cm. Ces caisses peuvent très facilement se démonter et se remplacer en cas d'avarie, comme, du reste, toutes les parties de l'équipement électrique. Il y a en tout 12 rhéostats, soit un pour chaque phase des quatre moteurs. Les touches sur lesquelles se déplacent les curseurs sont disposées à la partie inférieure des rhéostats (au-dessous des tôles découpées, fig. 2) ; la manœuvre se fait très facilement depuis les deux postes de conducteur. Cette dernière est, en outre, combinée de telle sorte que les 4 moteurs ne sont pas mis en circuit simultanément, mais successivement ; ce point est très important, la demande de courant à l'usine étant ainsi moins soudaine et moins dangereuse. L'air comprimé agissant dans des cylindres et actionnant des pistons permet de commander à distance et sans peine les rhéostats.

Ainsi qu'on peut s'en rendre compte par l'examen de la planche 1, cette solution n'a gâté en rien l'aspect général de la voiture.

Transformateurs. — Le courant arrivant dans la voiture à la tension d'environ 10000 volts, on pouvait construire les moteurs pour fonctionner à cette tension, ou, au contraire, abaisser celle-ci ; c'est ce dernier procédé qui a été choisi. Les transformateurs (fig. 3), d'un type spécial, sont logés sous le plancher de la voiture. Ils sont à refroidissement par l'air ; or, comme il n'est pas possible d'admettre l'air chargé de poussière et souvent d'humidité sur les enroulements primaires et secondaires, il ne restait d'autre ressource que de pratiquer des canaux dans les noyaux mêmes des transformateurs ; la figure montre nettement les sortes d'entonnoirs rectangulaires disposés à l'entrée de ces canaux.

Les transformateurs de la Société générale abaissent la tension à 450 volts, et ceux de Siemens et Halske à 1150 et 1850 volts. Les enroulements de ces derniers sont combinés de telle sorte que les circuits secondaires des trois phases peuvent être couplés en triangle et en étoile (on a alors en triangle 1150 volts, en étoile $\sqrt{3} \times 1150 = 1850$ volts.). Il va de soi que, pour des tensions aussi élevées et pour des appareils qui doivent être très robustes, des précautions spéciales ont été prises dans la construction.

Les difficultés signalées au sujet des moteurs se retrouvent ici ; ces transformateurs doivent être d'une puissance considérable, tout en conservant un volume et un poids minimum ; cette raison a nécessité le refroidissement énergique par l'air, comme nous l'avons rappelé plus haut.

Deux petits transformateurs sont encore prévus pour le courant destiné aux moteurs des pompes à air.

Interrupteurs et coupe-circuits. — Il y a deux séries de coupe-circuits et interrupteurs. Un groupe est destiné à la haute tension (10000 volts) et l'autre à la tension réduite (1150-1850 volts et 450 volts). Pour la voiture de Siemens et Halske, les interrupteurs à haute tension viennent immédiatement après la prise de courant ; ils sont disposés dans une caisse suspendue dans la lanterne du toit du véhicule. Ces appareils, comme, du reste, ceux pour la tension réduite, sont tubulaires ; la rupture du circuit se fait dans un tube isolant ; l'étincelle est ainsi très réduite. La manœuvre de tous les interrupteurs est produite par l'air comprimé. La tige de ces appareils est commandée par un piston qui se déplace dans un cylindre sous l'influence de l'air qui y est envoyé à volonté par le conducteur. Il y a deux interrupteurs à tension réduite pour chaque transformateur ; l'un est utilisé pour le couplage en étoile, l'autre pour le couplage en triangle.

Les interrupteurs de la Société générale sont à commande ordinaire rigide.

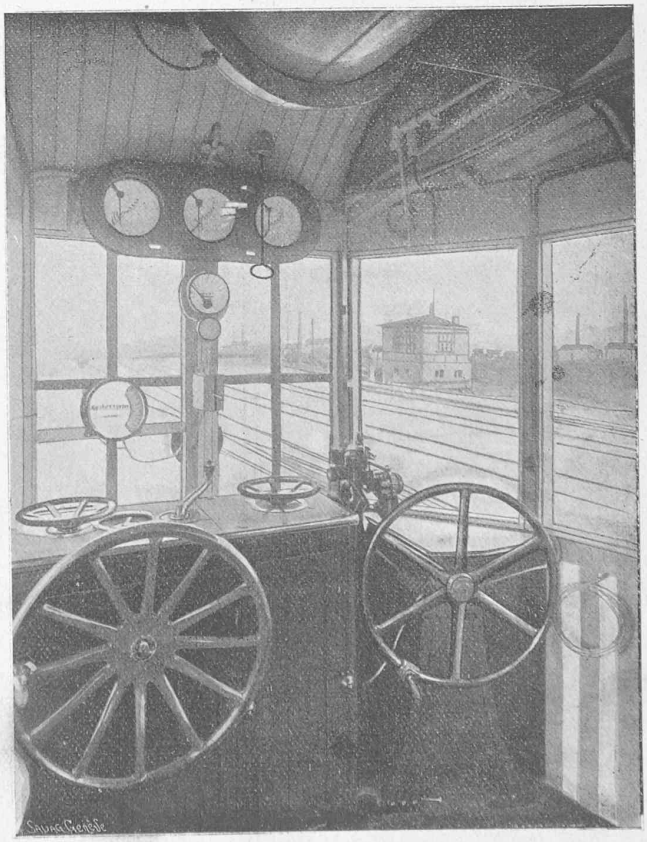


Fig. 4. — Cabine du conducteur de la voiture de Siemens et Halske.

Les coupe-circuits à tension réduite sont construits pour 550 et 1400 ampères. Les fusibles peuvent être très facilement remplacés; d'autre part, ils sont disposés de telle sorte qu'il ne se produise pas d'explosion dangereuse par le fait de la volatilisation du métal fusible, en cas de court-circuit.

Production de l'air comprimé. Freins. — Les deux constructeurs utilisent l'air comprimé pour les freins; en outre, Siemens et Halske l'emploient pour la manœuvre des divers appareils, interrupteurs, mise en marche, rhéostats.

Sur la voiture de la Société générale, le compresseur à air est placé vers le centre de la voiture.

Dans la voiture de Siemens et Halske, les pompes à air sont suspendues sous les postes du conducteur; elles sont actionnées par des moteurs électriques et peuvent comprimer 400 litres à la minute, à la pression de 8 atmosphères. Le courant est fourni aux moteurs à la tension de 110 volts, venant des deux petits transformateurs placés près du toit. L'air est renfermé dans quatre réservoirs, dont deux sont utilisés pour le freinage (8 atmosphères) et les deux autres pour la manœuvre des appareils (4, 5 atmosphères). Les premiers sont placés dans la cabine du conducteur, partie arrière; les seconds sont suspendus au toit du véhicule (voir fig. 4).

La pression des freins atteint 160 % du poids total du véhicule.

Cabine du conducteur. — Grâce à l'utilisation de l'air comprimé, permettant de commander facilement les interrupteurs et rhéostats à distance, les appareils placés dans la cabine du conducteur se réduisent à très peu de chose: quelques manettes ouvrant et fermant la communication de l'air comprimé avec les cylindres de commande.

Remarquons cependant que la simplicité a pu être obtenue, même avec la commande rigide utilisée par la Société générale.

Le grand volant du milieu (fig. 4) commande le réglage de la mise en marche et de la vitesse; il est pourvu d'un cercle gradué permettant au conducteur de savoir exactement à laquelle des 25 positions du rhéostat il est arrivé. Devant lui, le conducteur a divers appareils de mesure: voltmètres, ampèremètres, manomètres, indicateur de vitesse [1]. Le conducteur a encore sous la main l'appareil de mise en marche des moteurs des pompes à air. Un frein à main est aussi prévu; il est surtout utilisé pour les manœuvres en gare. Enfin, derrière le wattman se trouve la colonne supportant les appareils de prise de courant; elle repose sur le plancher dans une crapaudine et est guidée par un collier dans son passage à travers le toit; une roue dentée étant fixée sur la colonne et commandée par des engrenages, le conducteur peut très facilement faire tourner cette dernière et éloigner ainsi les « trolleys » des fils de contacts.

[1] Cet indicateur est combiné de façon très ingénieuse; c'est un voltmètre qui indique à chaque instant le voltage d'une petite machine électrique actionnée par un des essieux; ce voltage étant proportionnel à la vitesse, on a ainsi trouvé un moyen très simple de connaître cette dernière.

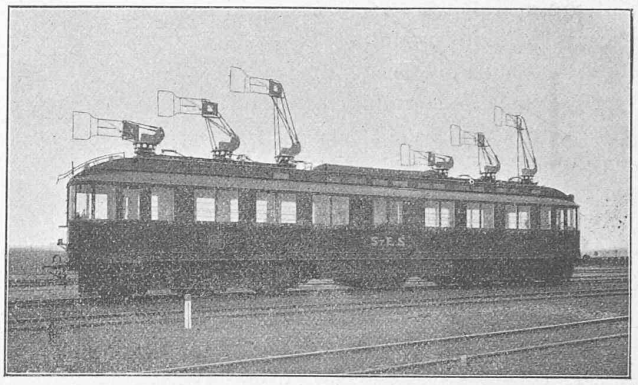


Fig. 5. — Voiture de la Société générale d'électricité.

Appareils de prise de courant. — La Société générale a préféré prendre trois trolleys indépendants; elle a donc installé trois pivots (pour chaque extrémité de la voiture), placés les uns derrière les autres et recevant les trois frotteurs. Ces derniers doivent se trouver sur un même plan vertical, à trois hauteurs différentes, les conducteurs d'amenée du courant étant installés les uns *sous* les autres.

Siemens et Halske, au contraire, ont adopté une seule colonne pour les trois appareils de prise de courant, mais ils en placent aussi une à chaque extrémité de la voiture (pl. 3); cette colonne est formée de deux tubes Mannesman concentriques. A la partie inférieure de la colonne se trouvent les trois anneaux sur lesquels appuyent trois frotteurs, prenant le courant pour l'introduire dans la voiture; cette disposition est utile, puisque la colonne doit tourner d'environ $^3/_4$ de tour lorsque la voiture change de sens de marche.

Les frotteurs sont appuyés contre les conducteurs par des ressorts; en outre, on a utilisé la pression de l'air, due à la grande vitesse de déplacement du véhicule, pour assurer un bon contact. Chaque trolley est pourvu, à cet effet, d'une plaque de tôle rectangulaire (voir pl. 3), sur laquelle l'air vient agir en faisant appuyer l'archet de prise du courant contre le fil. Sur cette colonne sont enfin disposés trois parafoudres à cornes.

Batteries d'accumulateurs. — La Société générale a prévu deux batteries d'accumulateurs — une pour chaque bogie — dont le courant sert à l'excitation du champ des

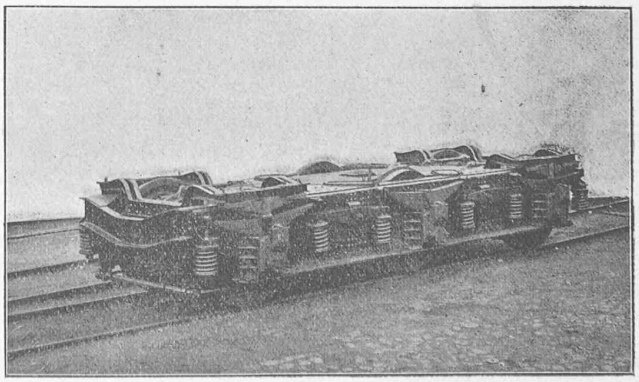


Fig. 6. — Bogie de la voiture de la Société générale d'électricité.

moteurs, qui peuvent alors être utilisés comme génératrices ; le courant produit est envoyé dans les résistances. On obtient ainsi un excellent moyen de freiner.

L'éclairage de la voiture est électrique ; le courant est pris, pour la voiture de la Société générale, sur les batteries d'accumulateurs du freinage ; Siemens et Halske installent une batterie spéciale pour cet usage.

Répartition des charges sur la voiture automotrice. — Voici, pour la voiture de Siemens et Halske, la répartition des charges :

Caisse de la voiture complètement montée, freins		20 700 kg.
Bogies, avec réservoirs à air		27 300 »
Moteurs (4)	16 300	
Rhéostats, transformateurs, compresseurs	19 050	
Eclairage du véhicule (y compris les accumulateurs)	500	
Appareils de prise de courant	1 300	
Interrupteurs, coupe-circuits et conduites	4 750	41 900 »
50 personnes		4 000 »
Total		93 900 kg.

Ce total montre qu'il a fallu réduire au strict minimum le poids de tous les appareils, puisqu'il ne reste que 2100 kg. de marge.

Ajoutons que ces chiffres sont légèrement plus élevés encore pour la voiture récemment essayée, mais la distribution reste sensiblement la même. Le bogie étudié par MM. Lochner et von Borries est allongé ; l'écartement des roues extérieures est porté de 3m,80 à 5 m.

Véhicule proprement dit. — La voiture de Siemens et Halske est longue de 22 m. et large de 2m,56 sans les caisses de résistances, disposées sur ses deux flancs ; en comptant ces dernières, la largeur totale est de 2m,88. La voiture de la Société générale n'a que 40 places (au lieu de 48 pour la voiture de Siemens), elle est longue de 21 m. et large de 2m,80. L'aspect extérieur de ces véhicules est celui d'un wagon ordinaire des trains rapides des chemins de fer prussiens. Les parties extrêmes des voitures ne sont pas exactement de la même forme, cette différence permettra des comparaisons intéressantes sur l'influence de la résistance de l'air.

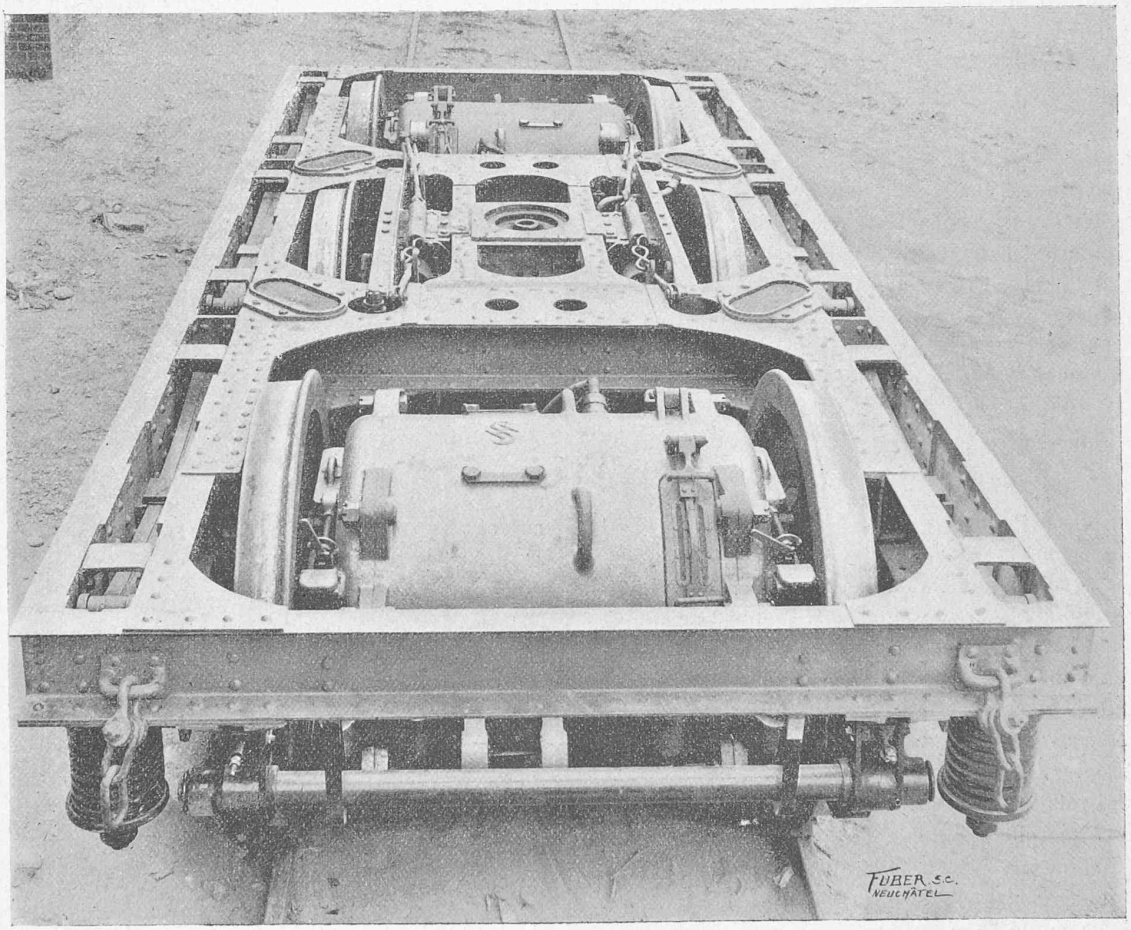


Fig. 7. — Bogie de la voiture de Siemens et Halske.

La caisse de la voiture est très bien suspendue, de telle sorte que, même aux plus grandes vitesses, les secousses sont très peu importantes ; le passage d'un rail à l'autre est à peine sensible. Les observateurs chargés de relever les indications des appareils de mesure toutes les dix secondes ont pu, sans le moindre inconvénient, prendre leurs notes, même lorsque la vitesse était supérieure à 200 km. à l'heure.

Les figures 6 et 7 permettent de voir comment les bogies sont construits et comment les moteurs ont été disposés. La première concerne le bogie de la maison Siemens et Halske, la seconde celui de la Société générale.

Construction de la ligne. — *Plateforme et rails.* Les premiers essais furent effectués en automne 1901, sur une voie plutôt légère (rails de 32 kg. par mètre courant), posée sur une plateforme sablonneuse ; elle se comporta très bien tant qu'on en resta aux vitesses ordinairement employées. Cependant, lorsqu'on atteignit 120 à 140 km. à l'heure, on constata son insuffisance, et, bien que la voiture automotrice de Siemens et Halske eût dépassé, sans accident, 160 kilomètres à l'heure, on préféra, pour éviter un sinistre, arrêter provisoirement les expériences et attendre, pour les reprendre, que la voie eût été renforcée.

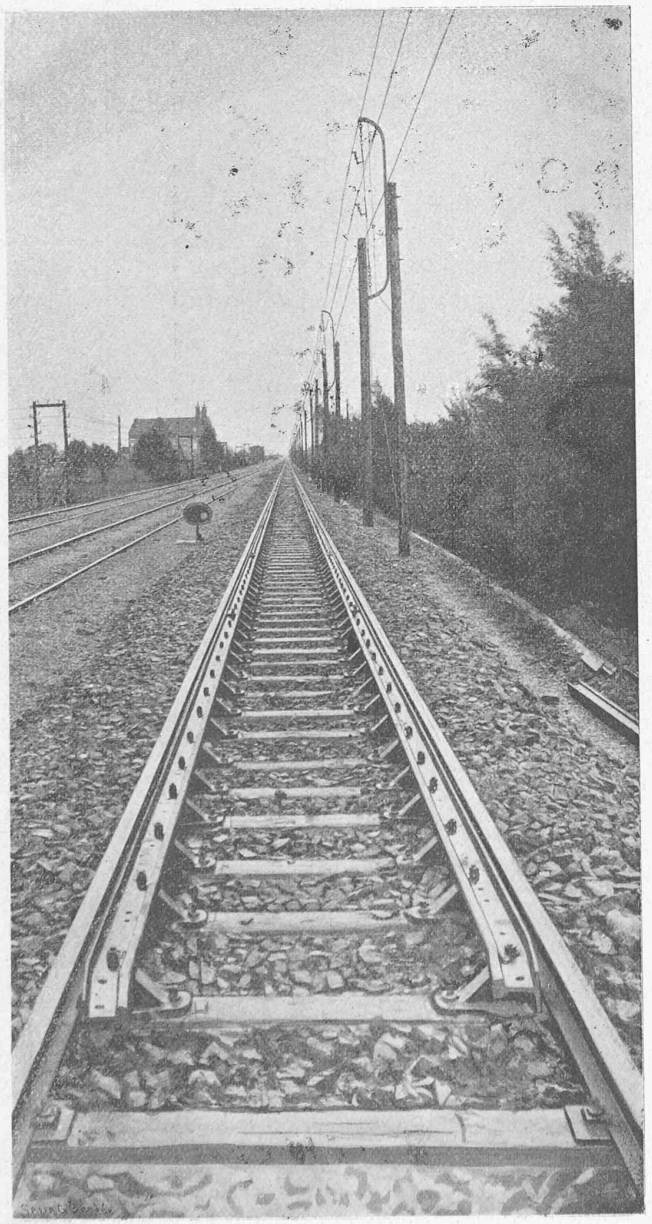


Fig. 8. — Vue de la voie, avec contrerails, de Zossen à Marienfelde.

La nouvelle voie est construite de la façon suivante : Des rails de 12 m. de longueur, pesant 42 kg. au mètre, sont fixés sur 18 traverses en bois, au moyen de crampons spéciaux. Parallèlement aux rails de roulement, on a placé d'autres rails, couchés sur le côté et posés sur des sellettes en fonte. Les deux rails ne sont séparés que par un intervalle très faible, 5 cm., de telle sorte que les bogies ne peuvent plus dérailler ; les mouvements de lacets sont aussi supprimés. Les rails, les sellettes et les traverses pèsent 300 kg. par mètre courant de voie. Cette dernière est maintenant posée sur une bonne plateforme en gravier de basalte. Les travaux ont été effectués par la brigade des chemins de fer de l'armée, en partie même pendant la nuit, pour activer leur achèvement.

Lignes électriques de contact. — Les lignes de contact sont construites de telle sorte que les trois conducteurs ne sont pas juxtaposés, mais installés les uns sous les autres, à la distance d'un mètre. Le fil inférieur est à $5^m,50$ du sol et le plus élevé à $7^m,50$. Ce système ne permet donc pas le passage en tunnels, ni sous les ponts. Il a, du reste, été admis en principe que la voie consacrée aux expériences n'admettait aucun passage à niveau, ni supérieur, mais uniquement des passages inférieurs, soit que les routes puissent être disposées dans des tranchées, soit que la voie soit surélevée aux points où la route ne pourrait être abaissée.

Les conducteurs ont une section de 100 mm²; ils sont en cuivre dur, d'excellente conductibilité (97 % de celle du cuivre chimiquement pur).

Les poteaux en bois supportant la ligne sont à une distance de $2^m,25$ de l'axe de la voie ; ils sont en moyenne à 55 m. les uns des autres. A leur extrémité supérieure, on a boulonné un fer en U qui a ses deux extrémités recourbées de façon à former une sorte d'arc, dont la corde supportera les trois conducteurs (voir fig. 8 et pl. 3). Cette corde porte trois isolateurs en caoutchouc durci, pourvus d'une cape en fonte à laquelle est fixé le conducteur.

Les conducteurs sont à une distance de $1^m,45$ de l'axe de la voie. La ligne est sectionnée tous les kilomètres et chacun des tronçons est haubané ; ces derniers peuvent être rendus indépendants les uns des autres, et il est facile d'enlever le courant à volonté sur une section quelconque. Les trolleys quittent le fil de contact sur une longueur de 10 m. (5 m. avant et 5 m. après le point d'intersection); ce fait ne présente aucun inconvénient, la voiture étant pourvue de deux colonnes de prise de courant, distantes de plus de 17 m. En outre, les poteaux les plus voisins des extrémités de chaque section sont en retrait, de telle sorte que la ligne de contact, en ces points, est à $1^m,83$ de l'axe de la voie, elle se rapproche de cette dernière et reprend rapidement sa position normale. On évite ainsi un choc au moment où les trolleys arrivent en contact avec la ligne, choc qui serait très préjudiciable aux installations, étant donnée la vitesse de la voiture.

Le fait d'avoir au-dessus de la voie une ligne à 10-12000 volts, constitue un danger permanent pour le personnel chargé de la surveillance et de l'entretien. Si un fil vient à quitter son point d'attache, il peut tomber assez bas pour

qu'on puisse le toucher ; les accidents seraient ainsi nombreux. Aussi, la maison Siemens et Halske a-t-elle imaginé un dispositif spécial, mettant automatiquement à la terre tout conducteur qui viendrait à tomber. Voici comment ce résultat est obtenu : A l'intérieur de la corde de suspension des conducteurs on a tendu, dans l'arc en fer à U, un fil de cuivre (voir fig. 8 et pl. 3). En outre, des anneaux de laiton ont été fixés à la cape en fonte placée sur la tête des isolateurs. Le fil de cuivre dont nous venons de parler passe à l'intérieur de ces anneaux. Si maintenant un conducteur tombe, la traction du fil sur l'isolateur fait toucher l'anneau contre le fil de cuivre ; celui-ci étant soigneusement relié aux rails par un fil de 8 mm. de diamètre, toute la ligne interrompue est ainsi mise à la terre, et ne présente plus aucun danger. (Les rails sont reliés entre eux par des conducteurs en cuivre ; ils sont en outre pourvus de plaque de terre tous les kilomètres et connectés au neutre du système triphasé, par une ligne spéciale). La figure 8 permet aussi de voir comment ces fils de contact sont suspendus.

Le courant est amené à Marienfelde, aux conducteurs longeant la voie, par une ligne de quatre fils (la section des fils de phase est de 70 mm² et celle du fil neutre de 50 mm²) ; il est produit dans l'usine génératrice que la Société génénérale d'électricité possède à Oberschöneweide. Un alternateur produit le courant à la tension de 6000 volts ; cette dernière est ensuite élevée à l'aide de transformateurs à 14 000 volts.

Essais effectués. Résultats obtenus. — La ligne de Zossen à Marienfelde se prêtait bien aux premières expériences. En effet, elle est près de Berlin, où se trouvent la plupart des personnes intéressées et les ateliers des constructeurs. Cette ligne ne présente pas de nombreuses courbes, ces dernières sont en outre à grands rayons (1000 m. au minimum) ; la pente maximum est de 1 : 184.

Ainsi que nous le savons déjà, les essais ont commencé en 1901, ils furent continués en 1902. A ce moment-là, on avait constaté la nécessité de transformer la voie et quelques parties des voitures, aussi se borna-t-on à faire des courses sans dépasser 130 km. à l'heure. Mais ce temps ne fut pas perdu, on en a profité pour faire de nombreuses expériences, aussi intéressantes qu'instructives, dans le but de déterminer exactement les éléments divers encore mal connus du problème de la traction électrique à des vitesses de 70 à 130 km. à l'heure (effort de traction, résistance de l'air, consommation de courant).

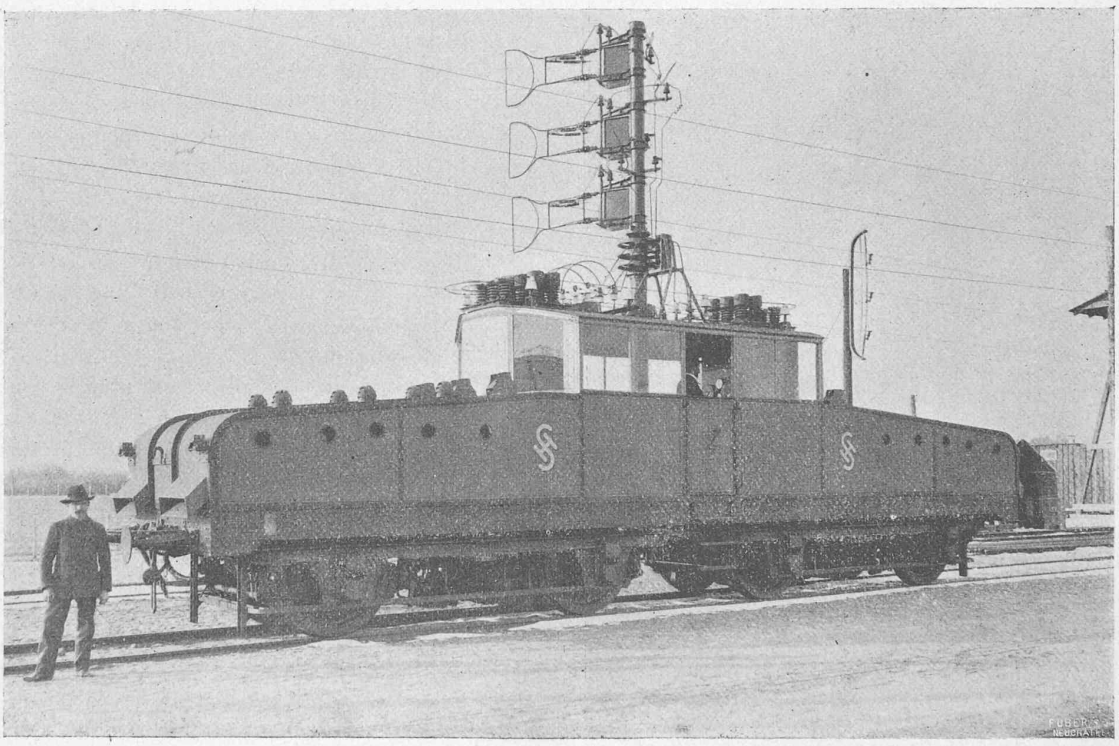


Fig. 9. — Locomotive électrique de Siemens et Halske pour lignes à haute tension.

Pendant cette même année, une série d'essais furent encore effectués avec une *locomotive* spéciale, construite par la maison Siemens et Halske (fig. 9). Nous ne voulons pas la décrire en détails ici, mais seulement signaler quelques-unes de ses particularités.

En 1900 déjà, M. l'ingénieur Reichel avait émis l'idée d'utiliser directement la haute tension pour les moteurs destinés à actionner la voiture automotrice. L'étude de pareilles machines n'étant pas assez avancée, on conserva les transformateurs ; mais, pour la locomotive, on a choisi des moteurs pouvant recevoir directement les 10000-12000 volts de la ligne. Ces moteurs se sont très bien comportés, et les essais ont fourni la preuve que cette solution peut parfaitement être admise comme pratiquement réalisable, avec toutes garanties de bon fonctionnement.

La locomotive est actionnée par quatre moteurs de 150-

180 chevaux, faisant 885 tours à la minute. La vitesse correspondant à ce nombre de tours des essieux étant d'environ 200 km. (roues de $1^m,25$ de diamètre), il faut réduire ce dernier. Or, si on prend un rapport de réduction de $^1/_2$, pour réaliser des vitesses pouvant atteindre 100 km., on a des vitesses telles des roues dentées que les procédés habituels de graissage sont tous insuffisants (on arrive en effet à 25 m. par seconde). Il a fallu chercher autre chose, et on est parvenu à graisser suffisamment les roues dentées en aspergeant de l'huile sur les dents, dans le sens de la rotation. Comme la locomotive doit pouvoir marcher dans les deux sens, on a disposé deux injecteurs d'huile, l'un en dessus et l'autre en dessous du point d'attaque des roues, servant pour la marche avant ou pour la marche arrière. L'huile s'écoule dans le fond de la boîte qui enveloppe les engrenages ; elle y est puisée par une pompe à main ou électrique, puis envoyée dans un réservoir dans lequel la pression est maintenue. On a aussi essayé des engrenages permettant de réduire la vitesse d'un quart ; dans ce cas, on utilise les procédés de graissage ordinaires.

Les résistances sont disposées dans les parties plus basses de la locomotive, et les appareils dans le corps central.

Cette locomotive a été essayée à diverses vitesses ; elle avait, par exemple, à remorquer des wagons représentant une charge de 100 ou 200 tonnes. Dans ce dernier cas, elle dépassait facilement la vitesse de 50 km. à l'heure sur une rampe de 5 pour mille.

Les résultats acquis pour l'utilisation des moteurs à haute tension pourront être utilisés dans la construction des voitures automotrices. Dans ce cas, le poids ne serait plus que de 76 tonnes, y compris les 50 personnes ; les transformateurs, avec leurs interrupteurs et leurs coupe-circuits, sont en effet fort lourds, et leur suppression permet encore une diminution du poids du bogie, des moteurs, etc. Il y a lieu de remarquer en outre que le fait d'alléger la voiture d'environ 20 tonnes est extrêmement important au point de vue de l'entretien de la voie, qui est moins travaillée. Il va de soi que la puissance consommée est aussi moindre, surtout au démarrage.

On a aussi essayé la voiture en ne se servant que d'un seul groupe transformateur-moteur ; elle a parfaitement effectué les courses, montrant ainsi la possibilité de continuer le service en cas d'avarie à une des parties de l'équipement électrique.

Il résulte des expériences faites qu'avec une voiture automotrice telle que celle projetée par la maison Siemens et Halske, on arrive à 1000-1200 kg. de poids brut par voyageur, en admettant 100 voyageurs par train (soit 50 dans l'automotrice et 50 dans une voiture remorquée pesant 42 tonnes). Avec la traction à vapeur, le poids serait de 1800 kg. environ par personne.

La voiture de 95 tonnes a aussi été soumise à des essais de longue durée ; on a fait, par exemple, dix courses successives de 23 km. ; il fallait pour cela un peu moins de trois heures, en marchant à la vitesse de 120-125 km. à l'heure. La vitesse *moyenne* atteint dans ce cas 85 km. à l'heure. Les appareils ont donné entière satisfaction et ne présentaient dans aucune partie une élévation de température dangereuse.

On a ensuite ajouté à la voiture motrice deux wagons, de façon à constituer un train de 200 tonnes environ, et on a porté aisément la vitesse à 120 km. à l'heure.

Pendant l'été dernier, la ligne Zossen à Marienfelde a été reconstruite, et cet automne les essais ont pu recommencer avec les nouvelles voitures.

C'est la maison Siemens et Halske qui fut la première prête. Sous la direction de M. le Dr Walter Reichel, ingénieur, les courses se répétaient chaque fois à une allure plus rapide et, le 23 octobre dernier, la vitesse de 207 km. à l'heure était réalisée sur une rampe de 1 : 200.

Le problème était donc résolu.

Bientôt après, la Société générale d'électricité pût, à son tour, essayer sa voiture et, le 27 du même mois, cette dernière a dépassé 210 km. à l'heure.

Le but que s'était proposé la Société d'études est atteint, puisque les deux concurrents ne s'en sont pas tenus à 200 km., mais sont allés au delà. La faible différence existant entre les deux résultats ne prouve pas la supériorité d'un système sur l'autre ; ils sont équivalents.

La réalisation de vitesses atteignant et dépassant 200 km. à l'heure, sur la ligne de Zossen-Marienfelde, est un véritable tour de force. En effet, la distance séparant ces deux stations est si courte, les conditions imposées si serrées, qu'il semble impossible au premier abord de réussir. On demandait de marcher à 200 km. à l'heure, non pas un instant, juste le temps de le constater, mais assez longtemps pour pouvoir faire des lectures utiles des instruments de mesure. On a pu obtenir ce résultat en réduisant, comme nous le disions plus haut, les durées de la mise en marche et de l'arrêt au strict minimum.

C'est pour réaliser ce démarrage rapide que les moteurs doivent être si puissants ; ils permettraient d'atteindre la vitesse de 200 km. à l'heure, soit 57 m. à la seconde, après 150 secondes de marche seulement, ce qui correspond à un trajet de 4000 m. environ. Pendant le démarrage, le débit du courant à haute tension monte à 230 ampères, tandis qu'en marche normale il ne dépasse guère 60 ampères.

Pour s'arrêter, la voiture met un peu moins d'une minute, si le conducteur utilise les divers freins dont il dispose.

Ce qui rendait la difficulté de réaliser la vitesse voulue encore plus grande, c'est le fait qu'en courbe on ne peut dépasser 160 km. à l'heure ; le mécanicien devait connaître à fond et ses machines et le trajet à parcourir, pour atteindre le but. Quand chaque seconde représente près de 60 m. de chemin, on comprend que la plus petite inattention, la moindre fausse manœuvre, rendent le succès impossible.

Les deux concurrents sont arrivés, en utilisant des dispositions et des appareils différents, à une solution pratique et pleine de promesses pour l'avenir.

Toutes les parties des voitures se sont bien comportées, et elles pourront faire les 200 km. à l'heure aussi souvent qu'on le jugera nécessaire.

Il va de soi que ces résultats ne pourraient être généralisés, et que les chemins de fer ne vont pas de sitôt essayer de faire de pareilles prouesses. Il n'en reste pas moins prouvé que les vitesses atteintes peuvent être réalisées pratiquement, sans danger et sans inconvénients pour les voyageurs. Par conséquent, on peut en conclure que la traction électrique est appelée à transformer complètement le transport des voyageurs pressés. Le temps c'est de l'argent. Pour beaucoup, le temps est ce qu'il y a de plus précieux ; il faut donc réduire au strict minimum tout celui qui est perdu en courses longues et pénibles. Et si ces voyageurs pressés ne peuvent bientôt utiliser des trains extra-rapides faisant du 200 à l'heure, du moins peut-on affirmer que les essais récents ont fait faire à la question un grand pas et que, sans attendre trop longtemps, il sera possible de circuler entre Berlin et Hambourg, Berlin et Leipzig, Berlin et Francfort, par exemple, en express atteignant, s'il ne la dépasse pas, la vitesse de 150 km. à l'heure.

Nous l'avons dit, le but que s'était proposé la Société d'études, il y a trois ans, est atteint, grâce à beaucoup de persévérance, à un travail opiniâtre et à des sacrifices importants volontairement consentis. Tous ceux qui, directement ou indirectement, ont contribué à la réussite des expériences, par leurs conseils ou leurs travaux, leurs encouragements ou leur appui financier, ont droit à notre reconnaissance.

En terminant, nous remercions vivement les maisons de construction qui ont bien voulu mettre à notre disposition de nombreux documents intéressants, en particulier les photographies qui nous ont permis d'illustrer ces quelques notes.

La responsabilité contractuelle de l'architecte.

(ÉTUDE DE JURISPRUDENCE).

Par M. JEAN SPIRO, Docteur en droit.
Avocat.
Professeur extraordinaire à l'Ecole d'Ingénieurs.

Dans le cours ordinaire des choses, l'architecte peut se trouver lié au propriétaire, au maître, pour employer les termes du Code des Obligations, par trois rapports de droit différents.

L'architecte s'est borné à fournir les prestations qui lui incombent en cette qualité ; mais il n'a pas passé de contrat au nom du maître, il ne s'est pas non plus chargé de l'exécution de l'ouvrage ; nous aurons l'occasion de revenir, au cours de cette étude, sur la qualification juridique de ce rapport de droit ; nous indiquons dès maintenant, et en passant seulement, qu'il doit être considéré comme un louage de services.

Le louage de services se combinera fréquemment avec un mandat ; ce sera le cas, par exemple, lorsque l'architecte sera chargé de conclure des contrats avec des entrepreneurs au nom du maître, de régler au nom du maître le prix de leurs travaux ; mais l'existence de ce mandat ne se présume pas et il appartient à celui qui l'invoque d'en faire la preuve.

Enfin, l'architecte se chargera lui-même de la construction de l'édifice ; il y aura louage d'ouvrage ; on conçoit difficilement une combinaison des contrats de louage de services et de louage d'ouvrage ; ils s'excluent l'un l'autre, mais rien ne s'oppose à ce qu'ils succèdent l'un à l'autre ; il en sera ainsi au cas où l'architecte aura d'abord fourni des plans et un devis, puis, plus tard, se sera chargé de l'exécution de l'ouvrage.

Louage de services, mandat, louage d'ouvrage, sont les trois rapports de droit dans lesquels l'architecte se trouvera généralement placé vis-à-vis du propriétaire. De chacun de ces contrats découle, pour l'architecte, des obligations spéciales engageant sa responsabilité d'une manière différente. Notre intention n'est pas d'examiner la responsabilité de l'architecte dans chacun de ces rapports de droit, mais, au contraire, de restreindre cette étude à la responsabilité encourue par l'architecte à l'occasion de l'exécution des obligations naissant du louage de services, sans nous préoccuper de celles qu'il peut encourir en qualité de mandataire ou d'entrepreneur ; dans ce domaine encore, nous laissons de côté la responsabilité encourue par l'architecte, tant à l'égard des tiers qu'à l'égard du maître, à l'occasion de faits étrangers au contrat (C. O., art. 50 et suivants), pour nous attacher uniquement à la responsabilité naissant du contrat passé entre le maître et l'architecte[1].

La nature juridique du contrat qui lie le maître et l'architecte ne se discute plus aujourd'hui en Suisse ; la question a pu se poser, au début, de savoir s'il devait être considéré comme un louage d'ouvrage ou comme un louage de services, et divers tribunaux de la Suisse romande, influencés sans doute par les dispositions actuellement abrogées des codes civils cantonaux, avaient assimilé l'architecte à l'entrepreneur et avaient appliqué aux relations entre maître et architecte les dispositions concernant le louage d'ouvrage (C. O., art. 350 et suiv.) ; mais la jurisprudence constante du Tribunal fédéral s'est prononcée au contraire pour le louage de services (C. O., art. 338 et suiv.), faisant rentrer la profession d'architecte au nombre des professions libérales qui supposent des connaissances professionnelles ou une culture scientifique et qui s'exécutent moyennant paiement d'honoraires convenus expressément ou tacitement. (C. O., art. 348).

« L'architecte qui se borne à dresser les plans d'une » construction, à passer des contrats au nom du maître avec » les entrepreneurs chargés des travaux, à diriger ceux-ci et » à vérifier les comptes de la construction n'a pas la qualité » d'entrepreneur ; il ne se charge pas en effet de l'exécution » de l'ouvrage, mais se borne à fournir certains services re-

[1] Co-existence vis-à-vis du maître de la responsabilité contractuelle (art. 110 et suiv. C. O.) et de la responsabilité naissant d'un quasi-délit (art. 50 et suiv. C. O). (Zurich, Cour d'appel, 26 septembre 1894, Gull c. Bodmer, B.-E., 1895, p. 61).

Responsabilité de l'architecte à l'égard des tiers à l'occasion d'un quasi-délit (C. O., art. 50 et suiv.). (Arrêts du Trib. féd., du 2 oct. 1903, Linder-Bischoff c. veuve Bitterli-Rueb et ses enfants et c. veuve Hansel-Egle et ses enfants).