

LES
AUTOMOBILES ÉLECTRIQUES

PAR

GASTON SENCIER

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES

ET

A. DELASALLE

INGÉNIEUR

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE

AVEC UNE PRÉFACE DE

CHARLES JEANTAUD

PARIS

V^{VE} CH. DUNOD, ÉDITEUR

49, Quai des Grands-Augustins, 49

—
1901

VIENT DE PARAITRE

LE

GUIDE MICHELIN

INDISPENSABLE AUX TOURISTES & CHAUFFEURS
VOYAGEANT EN FRANCE

LE GUIDE MICHELIN SE DIVISE EN TROIS CHAPITRES

CHAPITRE I^{er}. — Tout ce qui a trait à la Maison MICHELIN.

Stock Michelin (but, composition, liste des dépositaires). — Tarif des pneumatiques avec code télégraphique. — Instruction sur l'emploi des pneus (montage, démontage, réparations), etc.

CHAPITRE II. — Plans et renseignements sur les villes pouvant intéresser un chauffeur.

Plans détaillés des villes principales. — Distances aux localités voisines. — Poste, télégraphe, téléphone. — Hôtels (prix, aménagements). Dépôts d'essence. — Stations électriques. — Mécaniciens. — Routes pittoresques et routes ennuyeuses.

CHAPITRE III. — Renseignements utiles à un chauffeur.

Calcul de la vitesse à laquelle on marche. — Circulation des automobiles. — Taxe. — Transports. — Assurance. — Outillage, accessoires et pièces de rechange qu'il faut avoir dans son automobile. — Notices des constructeurs sur la conduite et l'entretien de leurs voitures.

Le Guide Michelin ne doit pas être vendu

Si l'on veut le recevoir franco, envoyer 0 fr. 45 en timbres-poste, à MICHELIN GUIDE, Clermont-Ferrand, ou 105, boulevard Péreire, Paris.

AUTOMOBILES

A VAPEUR

Gardner-Serpollet

Chauffées au pétrole lampant

SILENCIEUSES -- SANS TRÉPIDATIONS

TYPES 1901

De 6, 12 et 24 Chevaux

APPROVISIONNEMENTS POUR 200 KILOMÈTRES

9 et 11, rue Stendhal, 9 et 11

PARIS

TÉLÉPHONE 905.99

VOITURES ÉLECTRIQUES

JEANTAUD

51, Rue de Ponthieu, 51

PARIS

Voitures de Luxe et de Service

STATION DE CHARGE

ACCUMULATEURS

MOTEURS ET COMBINA TEURS

Brevetés S. G. D. G.

ABONNEMENTS ET ENTRETIEN A FORFAIT

CH. MILDÉ FILS & C^{IE}

Siège Social : 60, rue Desrenaudes (Avenue Niel)

PARIS

ATELIERS POUR ENTREPRISE DE CONSTRUCTION & DE RÉPARATION

DE

VOITURES AUTOMOBILES ÉLECTRIQUES DE TOUS SYSTÈMES

7 bis, Rue Deguingand, LEVALLOIS Téléphone 517.52

Moteurs, Combinateurs, Interrupteurs, Rhéostats
Tableaux de charge, Châssis, Freins, Pièces détachées

MOTEUR ÉLECTRIQUE A DEUX INDUITS, BREVETÉ S. G. D. G.

A grand rendement, supprimant le différentiel et les chaînes

FREIN PROTÉGÉ POUR LES DEUX SENS DE MARCHÉ, BREVETÉ S. G. D. G.

DYNAMOS ET MOTEURS à courant continu et alternatif,
monophasé et triphasé, pour lumière, force et groupes de charge,
depuis 0,2 jusqu'à 20 kilowatts.

Devis et Travaux à façon sur Plans. — Exécution rapide. — Prix modérés.

EXPLOITATION GÉNÉRALE DE CAOUTCHOUC

Anciennes Maisons MENIER et J.-N. REITHOFFER

3,500 OUVRIERS

L. ALBERTI, 12, RUE D'ENGHEN, PARIS (X^e)

Agent Général pour la FRANCE et l'Exportation

CAOUTCHOUC SOUPLE ET DURCI (ÉBONITE)

BACS EN ÉBONITE POUR ACCUMULATEURS

Séparateurs en ébonite,
perforés, unis, ondulés et à côtes.

Cylindres polis pour
enveloppes de bobines Ruhmkorff.

Fournitures pour l'Électricité.

Ébonite brute ou polie, en plaques,
bâtons et tubes de toutes dimensions.

Pièces moulées en tous genres,
caoutchouc souple et durci (polies ou brutes).

Tapis caoutchouc en tous genres.

PNEUMATIQUES "HARBOURG-VIENNE"

A entoilage tressé, le plus élastique et le plus durable

Pour Bicyclettes, Motocycles, Voitures et Automobiles

TRANSFORMATION

De tous les Moteurs

DE DION-BOUTON ET ASTER

VOITURETTES DE DION

De 3 chevaux, 5 chevaux, 6 chevaux, 7 chevaux et 8 chevaux

CULASSES A EAU

DE

DION-BOUTON & ASTER

DECKERT

CONSTRUCTEUR

20, rue Bacon, 63, rue Bayen, Paris (XVII^e)

CATALOGUES FRANCO

SOCIÉTÉ ANONYME
POUR LE
TRAVAIL ÉLECTRIQUE DES MÉTAUX
Capital: 1.000.000 de Francs

ACCUMULATEURS ÉLECTRIQUES

Brevetés S. G. D. G.

Brevets Laurent-Cély et Brevets de la Société pour le Travail
Électrique des Métaux

EXPOSITION UNIVERSELLE 1900, HORS CONCOURS, MEMBRE DU JURY

FOURNISSEUR DES ADMINISTRATIONS DE L'ÉTAT
DE LA VILLE DE PARIS — DES COMPAGNIES DE CHEMINS DE FER
DES PRINCIPALES STATIONS D'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

APPAREILS A POSTE FIXE
APPAREILS SPÉCIAUX POUR LA TRACTION ÉLECTRIQUE

Siège Social: 13, RUE LAFAYETTE

USINE: 4, Quai de Seine, SAINT-OUEN (Seine)

Téléphone: SIÈGE SOCIAL, 116.28
USINE, 506.49

USINES DE PERSAN (Seine-et-Oise)

MANUFACTURE GÉNÉRALE DE

CAOUTCHOUC
GUTTA-PERCHA
CABLES & FILS
ELECTRIQUES

Spécialité
de

BACS ÉBONITE

Pour
Accumulateurs

Usine:
PERSAN
(Seine & Oise)

**THE INDIA RUBBER, GUTTA PERCHA
& TELEGRAPH WORKS CO (LIMITED)**

Usine:
SILVERTOWN
(Angleterre)

97, Boulevard Sébastopol — PARIS

Exposition Universelle 1900, GRAND PRIX et MÉDAILLE D'OR
ENVOI FRANCO SUR DEMANDE DE TOUS NOS TARIFS

ACCUMULATEUR FULMEN

pour

VOITURES ELECTRIQUES

Bureaux et Usine : à CLICHY, 18, Quai de Clichy

Adresse télégraphique : FULMEN CLICHY.

TÉLÉPHONE : 511-86

SOCIÉTÉ DES ÉTABLISSEMENTS POSTEL-VINAY

Société anonyme; capital : 3 000 000 de francs

PARIS — 41, rue des Volontaires — PARIS

MACHINES DYNAMOS

Éclairage électrique

Transport d'énergie

MOTEURS POUR TOUTES APPLICATIONS

Ateliers spéciaux pour la construction du
matériel *Thomson Houston*

MOTEURS SPÉCIAUX ET ÉQUIPEMENTS
POUR VOITURES ET CAMIONS ÉLECTRIQUES

Appareils téléphoniques et Accessoires perfectionnés

CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES ET ÉLECTRIQUES

ÉLECTROMOBILES

R. LEGROS ET A. MEYNIER

BREV. S. G. D. G. — DERNIERS PERFECTIONNEMENTS

VOITURES ÉLECTRIQUES de LUXE. VOITURES de LIVRAISON
CAMIONS

Moteurs électriques spéciaux pour traction, grande puissance spécifique, très faible vitesse angulaire. Le rendement de nos moteurs est constant par une grande variation de charge.

COMBINA TEURS

Voitures légères à pétrole à 2 et 4 places
6 et 10 Chevaux

R. LEGROS, CONSTRUCTEUR
à FÉCAMP (Seine-Inférieure)

APPAREILS DE MESURE ET DE CONTROLE POUR L'ÉLECTRICITÉ ET L'INDUSTRIE

Jules RICHARD *

INGÉNIEUR-CONSTRUCTEUR

FONDATEUR ET SUCCESSION DE LA MAISON RICHARD FRÈRES

25, rue Mélingue (anc. imp. Fessart), Maison de Vente : 3, rue Lafayette, PARIS

EXPOSITION DE 1900
3 GRANDS PRIX
3 MÉDAILLES D'OR

TÉLÉPHONE
419-63



AMPÈREMÈTRES ET VOLTMÈTRES A CADRAN
ET ENREGISTREURS

SANS AIMANT PERMANENT ET RESTANT EN CIRCUIT
POUR COURANTS CONTINUS OU ALTERNATIFS

VOLTMÈTRES THERMIQUES br. S. G. D. G.
WATTMÈTRES

Ces galvanomètres se recommandent à l'attention des ingénieurs électriciens par les soins apportés à leur construction et à leur graduation.

Les appareils enregistreurs, par la surveillance constante et le contrôle qu'ils exercent sur toutes les opérations industrielles permettent de réaliser de notables économies qui amortissent très rapidement le prix de l'appareil.

Ampèremètres et voltmètres à cadran et enregistreurs. Voltmètres sans self-induction, wattmètres enregistreurs, compteurs horaires. Indicateurs de tension, avertisseurs.



32 DIPLOMES
D'HONNEUR

ADRESSE TÉLÉGRAPHIQUE
ENREGISTREUR-PARIS

Manomètres pour le contrôle des pompes de circulation d'eau. — Indicateurs de vide à cadran et enregistreurs. — Dynamomètres pour l'essai des moteurs. — Enregistreurs de vitesse pour automobiles.

EN VENTE A LA LIBRAIRIE V^{te} CH. DUNOD, ÉDITEUR
49, Quai des Grands-Augustins, PARIS

VIENT DE PARAITRE
TRAMWAYS
ET
AUTOMOBILES

PAR MM.

E. AUCAMUS

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES
CHEF D'ATELIER A LA COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU NORD

ET

L. GALINE

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES
INSPECTEUR A LA COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU NORD

1 vol. grand in-16 de 481 pages avec 234 figures..... 12 fr.

ACCUMULATEURS

pour

TRACTION

LUMIÈRE

MÉDECINE

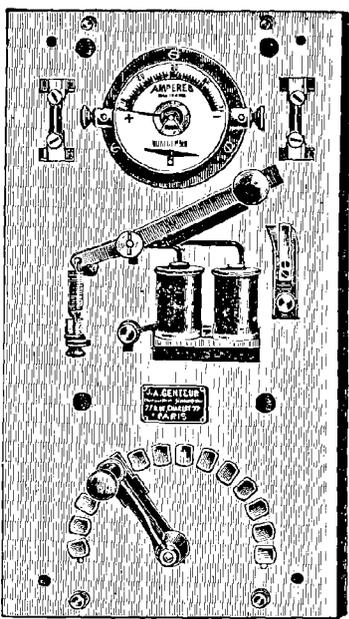
HEINZ

16, rue Rivay, 16,

LEVALLOIS (Seine)

(Téléphone)

Exposition Universelle 1900 : MÉDAILLE D'ARGENT



MANUFACTURE
d'Appareils Électriques

J.-A. GENTEUR

77, rue Charlot et
14, rue de Normandie

PARIS

Fabrication robuste et soignée
DE
RÉFÉRENCES DE PREMIER ORDRE

EXPOSITION DE 1900
Trois médailles: Or, Argent et Bronze

Téléphone 100.31

Tableau de charge pour voiture
électromobile.

Envoi franco du Catalogue illustré sur demande

SOCIÉTÉ DES ÉTABLISSEMENTS MALICET & BLIN AUBERVILLIERS - SEINE

ENSEMBLES COMPLETS A ENGRENAGES POUR VOITURES

DE TOUTES ESPÈCES D'ENGRENAGES INDUSTRIELS

DIFFÉRENTIELS
DIRECTION
IRREVERSIBLES
JOINTS A CARDAN

ENGRENAGES TAILLÉS
POUR INDUSTRIELLES

PONTS & ESSIEUX MOTEURS
CHANGEMENTS DE VITESSES
POMPE

AUBERVILLIERS

VOITURETTES & MOTOCYCLES

Fourniture & Tailage à façon

Établissements MALICET & BLIN, 103, Avenue de la République, AUBERVILLIERS

LES
AUTOMOBILES ÉLECTRIQUES

TOURS. -- IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES.

LES
AUTOMOBILES ÉLECTRIQUES

PAR

GASTON SENCIER

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES

ET

A. DELASALLE

INGÉNIEUR

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE

AVEC UNE PRÉFACE DE

CHARLES JEANTAUD

PARIS

V^{VR} CH. DUNOD, ÉDITEUR

49, Quai des Grands-Augustins, 49

—
1901

PRÉFACE

Vous me demandez, mes chers amis, une préface pour l'ouvrage : *les Automobiles électriques*, que vous allez publier.

C'est avec plaisir que j'accepte de dire ce que je pense de votre œuvre. Vous m'aviez envoyé les épreuves en me disant : « Tranchez, rognez, ajoutez. » J'ai lu et je n'ai pas eu à trancher, rien à rogner et rien à ajouter. Votre livre, en effet, est complet.

Il suffit, du reste, de parcourir la table des matières pour se rendre compte que pas une des multiples questions relatives à la voiture électrique n'a été négligée.

La difficile question des accumulateurs y est magistralement traitée.

A ce sujet, laissez-moi vous dire où nous en sommes. A la suite du Concours de fiacres de 1898, dans une conférence sur les voitures électriques que je faisais aux ingénieurs civils, je disais que l'accumulateur est l'âme des voitures électriques qui lui sont indissolublement liées, et j'ajoutais que les progrès de la voiture électrique avaient suivi pas à pas ceux de l'accumulateur.

Déjà, à cette époque, la voiture électrique était suffisamment pratique pour être mise en exploitation. Actuellement elle est parfaite. Le moteur, à haut rendement, est presque sans usure ; le combinateur permet de faire varier les vitesses et la puissance du moteur dans des limites très étendues. Les véhicules eux-mêmes, si critiqués dans leur forme dès leur apparition, sont confortables. L'art du carrossier les a rendus élégants. Il n'y a que l'accumulateur qui, depuis ces trois dernières années, est resté stationnaire.

Parti de 6 ampères-heures au kilogramme de plaques en 1881, lors de sa création par Faure, il avait gagné un demi-ampère-heure par an jusqu'en 1898. Cette marche régulière laissait supposer que les progrès allaient continuer ; malheureusement il n'en est rien.

Si cet état de choses devait subsister, la voiture électrique pour services publics dans les villes serait bien malade ; mais ne nous laissons pas aller au découragement, comme ce pauvre Camille Faure, dont je parlais tout à l'heure, qui, désespéré de ne rien trouver, s'est suicidé.

Dix mille cerveaux, dans le monde entier, sont en éveil sur la question ; ils savent que la découverte d'un accumulateur léger et durable, capable de faire parcourir à une voiture 100 kilomètres et entrant pour une proportion de 10 à 15 0/0 dans le poids total du véhicule sera récompensée par une prime de plusieurs millions.

Le perfectionnement de l'accumulateur ne sera pas dû au hasard. Quoiqu'on n'ait pas tiré du plomb tout ce

qu'on pouvait en tirer, je ne pense pas qu'on puisse arriver avec lui à la solution souhaitée. Je ne crois pas non plus à l'accumulateur au gaz, ni à la pile thermique, je crois plutôt à la découverte d'un appareil produisant directement de l'électricité, ne pesant pas plus de 100 kilogrammes et pouvant donner économiquement un courant de 3.000 watts.

Voilà, mes chers amis, le problème que je pose à tous les lecteurs de votre livre, avec espoir de le voir résoudre.

CHARLES JEANTAUD.

LES AUTOMOBILES ÉLECTRIQUES

CHAPITRE I

HISTORIQUE ET CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

C'est en 1834 qu'un américain, Thomas Davenport, appliqua à la traction la réversibilité des machines magnéto-électriques, en l'utilisant au déplacement d'une voiture circulant sur rails. Après les essais de Jacobi sur la Néva — essais faits uniquement en vue de la navigation — après ceux de Davidson, en 1838, sur les chemins de fer, et après les tentatives d'autres chercheurs, qui eurent tous d'abord pour objectif la traction sur voie ferrée, il faut arriver jusqu'en 1881, époque à laquelle l'accumulateur, qui jusqu'à présent est l'âme de la voiture électrique, fut rendu pratique, pour voir trace des premiers véhicules ayant véritablement fonctionné sur rails et sur routes.

En 1871, Gramme, en cherchant à perfectionner les machines magnéto-électriques, inventait la dynamo génératrice d'électricité qui, par sa réversibilité, pouvait devenir machine motrice.

Dès ce moment on pouvait prévoir l'avènement de la voiture électrique; mais l'énergie à fournir au moteur n'était obtenue qu'à l'aide des piles primaires, seul agent transportable de production d'électricité que l'on connût alors.

Gaston Planté, à la suite d'une série de recherches, arrivait à constituer un appareil qu'il appelait une pile secondaire, et qui était l'accumulateur. L'électricité fournie à

cette pile secondaire, par une source chimique ou mécanique quelconque, produisait entre les plaques de l'accumulateur, composé de deux lames de plomb immergées dans une solution étendue d'acide sulfurique, une action chimique réversible pouvant donner lieu à la production d'un courant continu utilisable.

En 1880, Camille Faure, s'inspirant des travaux de Planté, eut l'idée de diminuer la durée de la formation du peroxyde de plomb et du plomb réduit en empâtant mécaniquement des cadres avec du minium et de la litharge.

En 1881, Faure vendait son brevet à la société « Force et Lumière », dirigée par un ingénieur financier Philippart, et de sérieux essais de traction étaient tentés.

La voiture électrique semblait avoir, dès ce moment, à sa disposition tous les organes nécessaires à son fonctionnement. Elle possédait un moteur, le plus parfait qu'on pût désirer, un appareil à rotation continue sans complications mécaniques, d'une souplesse considérable et, par surcroît, d'un rendement parfait.

Les accumulateurs Faure donnaient le cheval-heure sous un poids de 80 kilogrammes environ, poids qui ne semblait pas prohibitif pour la traction sur rails. Aussi, sous la poussée puissante de Philippart, Faure et Raffard entreprirent-ils l'aménagement électrique d'un tramway à chevaux, obligeamment mis à leur disposition par la Compagnie générale des omnibus.

Cette voiture portait une batterie de soixante éléments et pouvait parcourir environ 15 à 20 kilomètres sur rails sans rechargement.

Pour éviter le ripement dans les courbes, Raffard, chargé de la partie mécanique, faisait sur cette voiture la première application du différentiel inventé, en 1828, par Pecqueur, de Rouen.

En même temps que les essais de cette voiture, qui accomplit divers parcours dans des conditions très satisfaisantes,

on poursuivait ceux d'un tricycle automobile, qui évoluait à merveille autour de l'usine de construction des accumulateurs.

La Société « Force et Lumière » commandait à la maison Jeantaud un dog-car électrique à quatre roues. C'est sur cette voiture qu'a été faite la première application de l'avant-train à deux pivots, universellement adopté aujourd'hui dans les voitures automobiles (*fig. 1 et 2*).

Ces premiers essais, qui avaient ouvert la voie à la traction électrique sur route et sur rails, ne purent malheureusement pas être poursuivis; leur sort était lié à celui d'une affaire financière qui les avait patronnés et qui sombra quelque temps après. Ce fut la cause d'un retard de quelques années dans la réalisation du problème qu'on s'était proposé de résoudre.

Ce n'est qu'en 1887 qu'un Anglais, Magnus Volk, déjà connu par ses essais de chemin de fer électrique (1883), reprit la question. Il construisit une voiture constituée par un truck à trois roues avec caisse de dog-car à quatre places, actionné par un moteur de 10 volts empruntant son courant à une petite batterie de six accumulateurs; la puissance maximum du moteur était de 50 kilogrammètres.

En 1888, la maison Immish construisit une voiture d'un poids total de 1.000 kilogrammes, pouvant marcher à une vitesse moyenne de 12 kilomètres à l'heure, avec un moteur de 1 cheval. L'énergie était empruntée à une batterie de piles secondaires.

En 1891, H. de Graffigny, jugeant que l'emploi des accumulateurs augmentait outre mesure le poids mort du véhicule, eut l'idée de se servir de piles primaires pour produire l'énergie nécessaire; sa première voiture était un tricycle à caoutchoucs pleins autour des jantes, actionné par un moteur électrique commandant les deux roues motrices; la batterie était constituée par 24 piles zinc-charbon plongeant dans une solution sulfurique d'acide chromique. Le poids de la

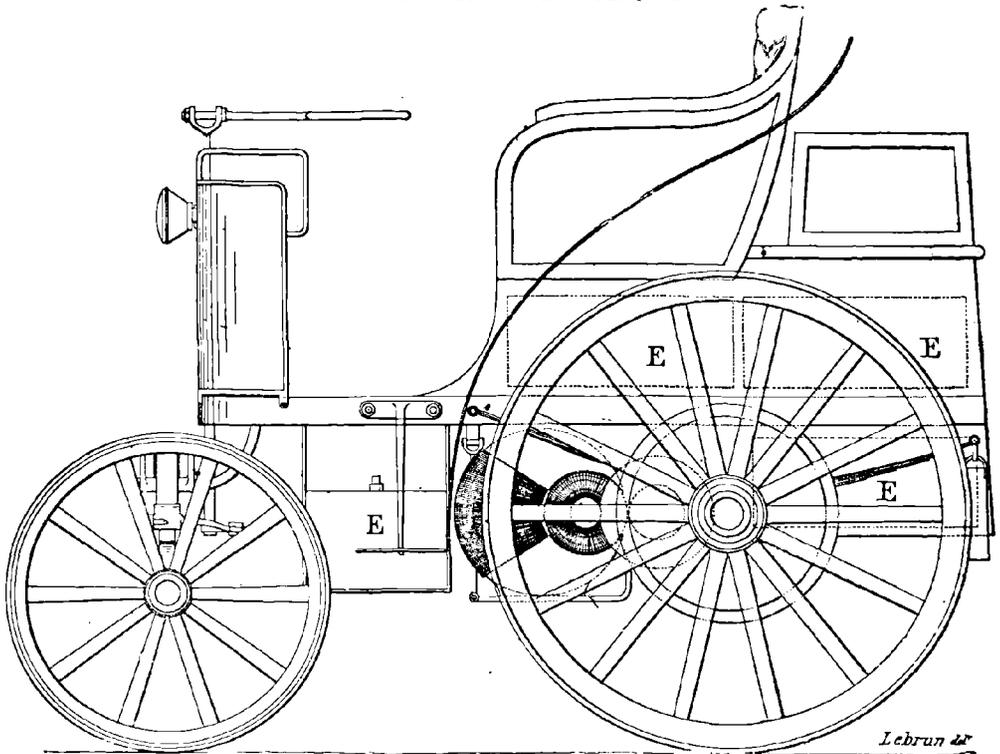


FIG. 1. — Première voiture Jeantaud (1881). — Elevation.

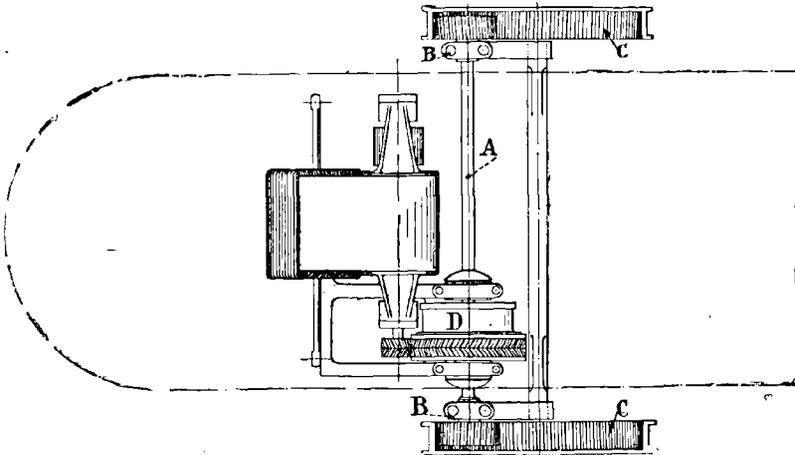


FIG. 2. — Première voiture Jeantaud (1881). — Plan.

batterie était de 32 kilogrammes, pour une puissance de 350 watts pendant deux heures et demie ou une énergie de 875 watts-heures, soit 26 kilogrammes par cheval-heure. Le prix de revient du cheval-heure était de 8 francs, soit 0 fr. 40 par kilomètre-voiture. Ce résultat, de l'aveu même de Graffigny, était très élevé et prohibitif; aussi, sans se laisser décourager, continua-t-il ses essais en montant une voiture à quatre roues, mue par un moteur Trouvé, dont le mouvement était transmis aux roues motrices par un intermédiaire et deux chaînes; les piles étaient des couples Bunsen avec un système de siphonage particulier permettant le renouvellement du liquide; le prix de revient du cheval-heure était de 2 francs, résultat déjà bien meilleur, mais encore peu industriel.

La voiture de Blanche, qui vient dans l'ordre chronologique après celle-ci, est particulière par l'application des accumulateurs plomb-zinc; la forme de la voiture était celle d'un tricycle dont la roue directrice était également motrice, afin d'éliminer l'emploi du différentiel. La très grande attaque à circuit ouvert des plaques négatives rendit l'essai infructueux.

Les premiers résultats satisfaisants furent obtenus en 1893, par Pouchain. La caisse était un phaéton à six places monté sur quatre roues; le moteur, du type Rehniewski, excité en série, d'une puissance de 3.500 watts environ, faisant à la marche normale 1.650 tours à la minute, avec un rendement de 84 0/0 à pleine charge, actionnait l'essieu arrière à l'aide d'une chaîne commandée par un intermédiaire engrenant avec le pignon du moteur par la couronne extérieure du différentiel.

La batterie d'accumulateurs était composée de 54 éléments à trois plaques: une positive Fulmen et deux négatives Dujardin, plongées dans un électrolyte immobilisé par addition de silicate de soude à l'acide sulfurique. La capacité totale était de 70 ampères-heures en cinq heures.

Les changements de vitesse étaient obtenus par un commutateur composé d'un cylindre en bronze portant des pièces de cuivre isolées qui, par la rotation du cylindre, pouvaient venir s'engager entre des mâchoires communiquant avec la batterie et le moteur ; les vitesses variaient par le couplage de toute la batterie en tension ; ou des deux moitiés de la batterie en tension, réunies en quantité ; ou de la batterie en quatre groupes montés en parallèle.

Dans la voiture Pouchain nous voyons, pour la première fois, faire usage du frein électrique par la mise en court-circuit de l'induit. Le poids total de la voiture était de 1.270 kilogrammes, dont 500 kilogrammes pour la batterie, et 110 kilogrammes pour le moteur.

La même année, la Société du travail électrique des métaux faisait aussi des essais d'accumulateurs sur un mylord de la Compagnie générale des voitures, sous la direction de Sarcia et Moussette, et l'Amérique entraît en ligne par la mise en service du fiacre Cummings.

L'année 1894 marque, pour l'automobile en général, le commencement d'une ère nouvelle ; nous passons des essais isolés aux essais en grand et en commun.

Blumfield et Garrard, deux constructeurs de cycles, très connus à Coventry, construisaient une voiture électrique que nous reproduisons (*fig. 3*). Toutes les pièces du train, des roues, avaient été fabriquées dans le genre cycle ; le châssis composé uniquement de tubes, les roues avec d'énormes pneumatiques, l'essieu d'arrière tournant comme dans les tricycles qui se construisaient à cette époque, faisaient un ensemble nouveau, qu'on devait imiter plus tard pour la construction des voiturettes.

La direction devait également servir de type pour les lourdes voitures électriques à avant-train à cheville ouvrière fabriquées quelques années après en Angleterre.

De façon à laisser le moteur tourner à une vitesse constante correspondant à son meilleur rendement, les cons-

tructeurs avaient imaginé un changement de vitesse mécanique, composé de deux plateaux actionnés par un galet

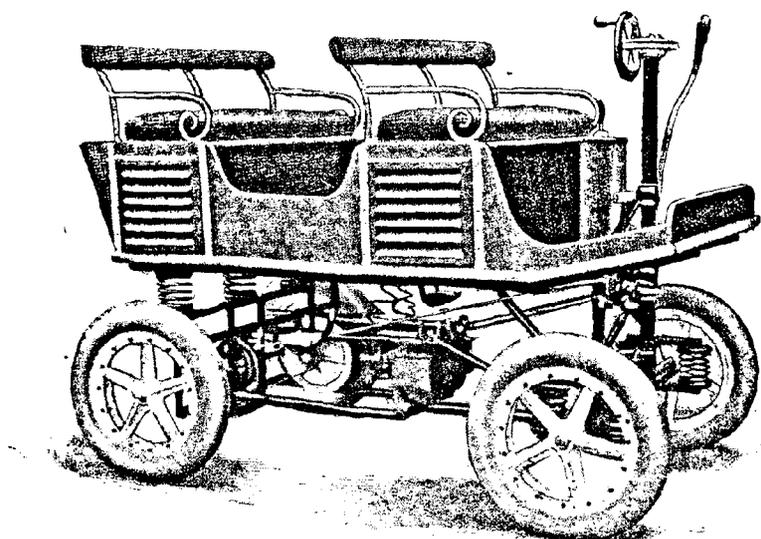


FIG. 3. — Voiture Blumfield et Garrard.

mobile couissant sur un arbre; ce galet attaquait les plateaux, du centre à la périphérie, faisant ainsi varier la vitesse de l'essieu sur lequel ils étaient montés.

La course du *Petit Journal*, à laquelle devait prendre part le tricycle Carli, qui, heureusement pour lui, fait remarquer de la Valette, reste en douane et trouve, en ce nouveau remisage, une garantie contre un échec probable; puis, en 1895, la course Paris-Bordeaux, qui nous met en présence de la voiture Jeantaud (fig. 4 et 5); et la course du *Times Herald*, en Amérique, dans laquelle étaient engagées les voitures Sturges et Morris et Salom, commencent à attirer l'attention sur les voitures électriques.

Dans la course Paris-Bordeaux, Jeantaud couvrit 600 kilomètres avec des batteries changées plusieurs fois en cours de route; cela était néanmoins un pas en avant.

A présent Jeantaud peut être considéré comme l'instigateur et le lanceur de la voiture électrique en France.

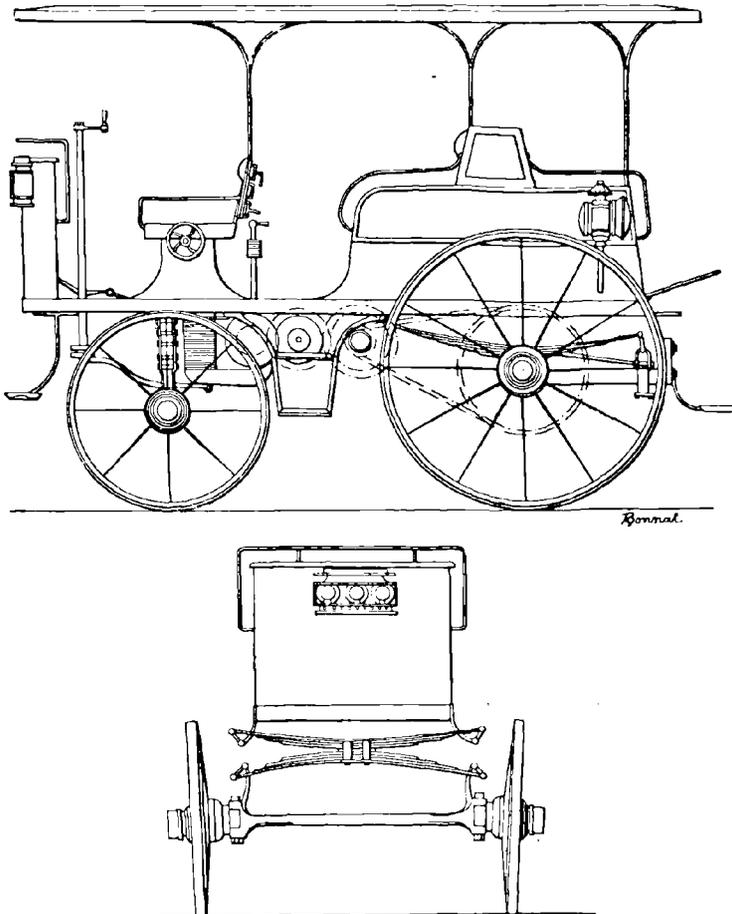


FIG. 4 et 5. — Voiture Jeantaud, de la course Paris-Bordeaux.

Les Américains qui, pour toutes les questions électriques, vont toujours vers le progrès, organisaient en même temps la course du *Times Herald*, entre Milwaukee et Chicago (28 novembre 1895), dans laquelle deux voitures électriques

prenaient place, seulement, sur neuf engagées : la voiture Morris et Salom était munie d'un moteur Lundell ; la voiture Sturges de deux moteurs supprimant le différentiel.

A partir de ce moment l'automobile électrique entre dans la période contemporaine avec les concours et les expositions de l'Automobile-Club de France en 1898 et 1899 ; ces deux premiers concours, parfaitement organisés, donnèrent aux constructeurs l'émulation nécessaire ; de toutes parts les sociétés se créent, s'organisent, mais ce qui leur manque à toutes, ce sont les réservoirs de l'énergie, les accumulateurs ; ceux-ci, en effet, limités toujours au couple plomb-plomb, ne font qu'alourdir la voiture ; leur entretien, par suite de la légèreté que bien des fabricants, à tort, leur demandent, est d'un prix coûteux ; mais ce n'est là qu'un léger temps d'arrêt, et certainement bientôt, avec une plus juste conception de l'état actuel de l'industrie, en se limitant à la traction urbaine ou fort peu écartée des centres de ravitaillement, la locomotion électrique sur route pourra trouver un large développement.

Comparaison entre le coût de la traction animale et celui de la traction électrique. — Lors du premier concours de fiacres, en 1898, Forestier donna, dans son rapport, les prix comparatifs entre le prix de revient de la traction animale et ceux de la locomotion mécanique et électrique.

La seconde étant complètement en dehors de notre sujet, nous la laisserons entièrement de côté.

Les chiffres donnés montraient que, toute autre considération à part, le fiacre hippomobile revenait un peu moins cher que l'accumobile ; en effet le premier coûte, d'après les rapports du Conseil d'administration de la Compagnie générale des Voitures à Paris, 19 fr. 26 par jour, répartis de la façon suivante :

Dépenses d'administration.....	0,82
Accidents, avaries.....	0,34
Taxes.....	2,42
Loyer des dépôts et entretien.....	1,02
Cochers.....	5,37
Palefreniers et laveurs.....	0,94
Voiture.....	2,67
Pneus.....	0,00
Cavalerie.....	5,68
	<hr/>
	19,26

En se basant sur des données probables, et sur les chiffres donnés par le concours de 1898, le prix de la traction électrique était établi comme suit, dans une évaluation dont les événements ont montré le trop grand optimisme :

Dépenses d'administration.....	0,82
Accidents et avaries.....	0,34
Taxes.....	2,00
Loyer et entretien des dépôts.....	0,51
Cochers.....	5,37
Laveurs.....	0,44
Véhicule.....	2,00
Moteurs et transmissions.....	1,00
Pneus.....	2,00
Entretien des accumulateurs.....	4,00
Énergie électrique consommée à l'usine.....	1,65
Graissage.....	0,09
	<hr/>
	20,22

Ceux de ces chiffres qui n'ont pas trait à l'entretien de la partie mécanique des voitures et à celui des accumulateurs sont faciles à admettre ; les frais d'administration et les accidents sont les mêmes ; le loyer est certainement moins élevé pour un même nombre de véhicules, les batteries tenant bien moins de place que les chevaux et les ateliers de réparation étant tels qu'ils n'occupent pas l'emplacement d'une écurie. Les frais de palefrenier sont enlevés ; la carrosserie est à peu près semblable comme entretien.

La cavalerie est remplacée par le moteur, les transmis-

sions, l'entretien des accumulateurs et l'énergie dépensée pour la charge.

De ces deux tableaux de frais, il résultait une différence de 0 fr. 96 à l'avantage du cheval, d'après les chiffres relevés au concours. En admettant 45 kilomètres parcourus dans la journée pour une seule charge de la batterie et le prix du kilowatt-heure étant supposé de 0 fr. 15, chiffre relativement bas, et qui ne peut être obtenu que dans de bonnes conditions de marche, et par grandes quantités. On verra plus loin par le coût réel de dix mois d'exploitation des fiacres Jeantaud que le prix des accumulateurs est réellement de 7 à 8 francs au lieu de 4, pour un parcours journalier de 40 kilomètres seulement, ce qui prouve bien le danger des conclusions prématurées qu'on veut tirer des concours.

Il eût été intéressant de mettre en parallèle avec ces prévisions des chiffres obtenus en exploitation mais, à l'heure actuelle, malgré des essais effectués en grand, il est impossible de se faire une idée exacte du prix de revient du kilomètre-voiture. La cause en est aux batteries d'accumulateurs, dont l'entretien est très élevé, à moins qu'on ne prenne des types lourds, comme cela se fait pour les tramways; seulement, dans ce cas, le poids d'accumulateurs comparé au poids du véhicule (4.500 kilogrammes sur 20 ou 21.000) est faible, tandis que, dans les voitures, on arrive alors facilement à une batterie représentant 45 à 50 0/0 du poids total. La distance kilométrique moyenne parcourue devient alors très faible et nécessiterait, dans l'intérieur des villes, des postes de charge et le courant aux bornes de ces postes reviendrait à un prix beaucoup plus élevé qu'il ne revient à l'extérieur.

Il est assez normal actuellement, dans les différentes exploitations qui fonctionnent, que des conducteurs vident leur batterie à fond avant de rentrer et, par suite, l'éreintent; cela aussi est un gros inconvénient.

A la Compagnie générale des voitures, de Clausonne

à jusqu'ici essayé de tous les types d'éléments actuellement existant et on a dû suspendre l'exploitation ; si tout marchait bien au point de vue de l'équipement électrique de la voiture, de la production économique du courant, et de la charge qui se faisait à intensité constante, il n'en a pas été de même pour les batteries qui étaient d'un prix d'achat élevé et d'un entretien extrêmement onéreux.

Jeantaud, voulant se rendre compte du prix d'entretien d'une voiture électrique, mettait en service de place, le 1^{er} décembre 1898, le landaulet portant le numéro 16.060, qui avait été précédemment engagé au concours de fiacres au mois de juin de la même année.

Cette voiture a circulé pendant onze mois dans les rues de Paris, accomplissant son service journalier comme les fiacres à chevaux et au même tarif.

La batterie d'accumulateurs, composée de 44 éléments Fulmen, type B. 17, a subi deux réparations pendant le cours de ces 330 journées. La première, après 120 jours de travail, était nécessitée par le remplacement des plaques positives. La deuxième, après encore 110 journées de travail, consistait également dans le renouvellement des plaques positives. Une inspection minutieuse de la batterie démontrait alors que les négatives pouvaient encore fonctionner ; mais, après cent nouvelles journées de travail, les plaques positives et négatives étaient complètement détériorées.

La batterie avait coûté.....	4.700 francs
Les deux réparations.....	680
TOTAL.....	<u>2.380 francs</u>

Ce qui fait une dépense journalière de

$$\frac{2.380 \text{ francs}}{330 \text{ jours}} = 7\text{f},20.$$

Un compteur kilométrique, placé sur la voiture, indiquait

une moyenne de 40 kilomètres par journée de travail ; la voiture, avec trois voyageurs, était du poids de 1.500 kilogrammes ; le prix de la tonne kilométrique pour l'entretien des accumulateurs était donc revenu à 0 fr. 12, compris le prix d'achat, et à 0 fr. 034 non compris le prix d'achat, ce qui met le prix d'entretien par kilomètre voiture à 0 fr. 0515.

Voici, d'autre part, le résultat de l'exploitation, pour voitures de grande remise, de la Compagnie française des voitures électromobiles avec ses voitures à avant-train moteur (Voir chap. xiv), pour un trajet journalier de 40 à 50 kilomètres :

Courant électrique.....	4 ^f ,30
Entretien des accumulateurs.....	3,50
Entretien des pneumatiques.....	3,00
Entretien de la carrosserie.....	1,00
Entretien de la partie mécanique.....	1,00
Entretien de la partie électrique.....	0,80
Nettoyage et graissage.....	0,20
Conducteur.....	7,00
Habillement.....	0,80
Assurances.....	1,00
Contributions.....	0,30
	23,10

Soit, pour le trajet maximum de 50 kilomètres par jour :

0^f,462 par kilomètre voiture

dans lesquels les accumulateurs et les pneumatiques sont compris pour :

Accumulateurs.....	0 ^f ,07 par kilomètre voiture
Pneumatiques.....	0,06 —

Mais il ne faudrait pas, d'après ces chiffres, conclure que la voiture électrique est un véhicule impossible en tant qu'exploitation ; à notre avis, bien au contraire, c'est le rêve

comme propreté, douceur, conduite et fonctionnement ; ce qu'il faut c'est de la patience et l'espoir qu'on arrivera à modifier suffisamment l'accumulateur au plomb, pour qu'il soit d'un emploi économique, ou qu'une autre matière plus légère mais solide, d'une capacité spécifique plus grande, sera mise sur le marché, ce qui n'est pas impossible, loin de là. Le tout est d'attendre.

Dans les prix de revient ci-dessus, il faut remarquer que les frais généraux, l'intérêt du capital et l'amortissement ne sont pas comptés. Or l'amortissement des batteries doit être fait rapidement, surtout si on emploie les batteries légères, ce qui est une grosse faute au point de vue de l'exploitation, ainsi que nous le verrons plus loin. En ne mettant, au contraire, sur les voitures, que des batteries robustes on pourra, en diminuant à la fois le prix de l'entretien et le taux d'amortissement, réduire le prix de revient global de la traction par accumobiles.

Comme toute industrie encore à son début, celle-ci tâtonne encore, surtout parce qu'on veut lui demander plus qu'il ne serait équitable d'exiger d'elle et qu'au lieu de voir ses avantages incontestables, on en exagère les inconvénients.

D'autre part il est à remarquer qu'une grande partie des sociétés de voitures électriques qui ont été créées à Paris, dans ces dernières années, étaient des entreprises presque exclusivement financières. Trop souvent leurs directeurs techniques n'avaient que des connaissances beaucoup trop restreintes sur la construction des automobiles électriques et sur leur entretien. Les tristes résultats obtenus par certaines de ces sociétés ont souvent tenu à l'incapacité de leurs dirigeants.

CHAPITRE II

DONNÉES THÉORIQUES SUR LES UNITÉS ÉLECTRIQUES C. G. S. ET PRATIQUES. COEFFICIENT DE TRACTION

Dans ce traité, nous allons employer couramment des unités que nous croyons utile de rappeler dès le commencement, afin de n'y point revenir pendant le cours de l'ouvrage.

Le courant électrique est défini d'une façon générale par deux facteurs : sa *force électromotrice* (analogue à la pression), et son débit ou *intensité*.

Le Congrès international des Électriciens de 1889, qui a adopté le système C. G. S. ayant pour unités fondamentales le centimètre, le grammé et la seconde, jugeant ces unités peu commodes pour la pratique, a consacré pour l'emploi industriel d'autres unités qui sont des multiples ou des sous-multiples des premières.

Les quantités que nous aurons à évaluer seront les suivantes :

- 1° Force électromotrice ; différence de potentiel ;
- 2° Intensité d'un courant ;
- 3° Résistance d'un conducteur ;
- 4° Quantité d'électricité ;
- 5° Intensité du champ magnétique ;
- 6° Puissance électrique ;

- 7° Énergie électrique ;
- 8° Puissance et énergie mécanique ;
- 9° Coefficient d'induction.

La force électromotrice et la différence de potentiel se mesurent en *volts*. Le volt répond à la relation suivante :

$$1 \text{ volt} = 10^8 \text{ unités C. G. S. de force électromotrice (}^1\text{)}.$$

L'erg est l'unité C. G. S. de travail ; c'est le travail produit par une dyne agissant sur une longueur de 1 centimètre ; La dyne est l'unité C. G. S. de force et correspond à la force qui, appliquée à 1 gramme-masse, lui donne une accélération de 1 centimètre par seconde.

Il est bon d'établir dès maintenant le lien qui existe entre la force électromotrice et la différence de potentiel : l'une est causée par l'autre ; il n'y a différence de potentiel entre deux points qu'autant qu'une force électromotrice y est appliquée.

Résistance. — De même qu'un liquide éprouve une certaine résistance à passer dans des conduites, de même un conducteur offre un certain obstacle au passage du courant, obstacle proportionnel à la longueur du circuit, à un certain facteur propre au corps, et inversement proportionnel à la section :

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

- R, résistance du conducteur ;
- l, longueur du conducteur en centimètres ;
- S, section du conducteur en centimètres carrés ;
- ρ , résistivité du conducteur.

(¹) L'unité C. G. S. de force électromotrice est la différence de potentiel qui fait produire à 1 unité C. G. S. de quantité un travail égal à 1 erg.

Cette formule donne la résistance en *ohms*, ρ étant exprimé en microhms-centimètres.

L'ohm vaut 10^9 unités C. G. S. de résistance, l'unité C. G. S. de résistance étant la résistance d'un conducteur dans lequel passe 1 unité C. G. S. d'intensité, quand il existe une différence de potentiel égale à 1 unité C. G. S. entre ses extrémités.

Le mégohm vaut 10^6 ohms.

Le microhm vaut 10^{-6} ohms.

Intensité. — Quand une force électromotrice E est appliquée entre les deux extrémités d'un conducteur de résistance R , le conducteur est traversé par un courant d'une intensité $I = \frac{E}{R}$.

L'unité d'intensité ou de débit est l'*ampère*, et

$$\begin{aligned} 1 \text{ ampère} &= \frac{1 \text{ volt}}{1 \text{ ohm}} = \frac{10^8 \text{ unités C. G. S.}}{10^9 \text{ unités C. G. S.}} \\ &= 10^{-1} \text{ unité C. G. S. d'intensité.} \end{aligned}$$

Quantité d'électricité. — La quantité d'électricité est définie par la relation

$$Q = It.$$

C'est le produit du débit en ampères par le temps pendant lequel le débit a lieu.

On la mesure par le *coulomb*, qui est égal à 1 ampère par seconde

$$1 \text{ coulomb} = 1 \text{ ampère-seconde} = 10^{-1} \text{ unités C. G. S.}$$

Industriellement l'heure est plus commode, et on emploie l'ampère-heure :

$$1 \text{ ampère-heure} = 3.600 \text{ coulombs.}$$

Intensité du champ magnétique. — L'intensité d'un champ magnétique est le quotient de la force exercée sur un pôle placé dans le champ par l'intensité de ce pôle :

$$H = \frac{F}{m}.$$

L'unité C. G. S. sera un champ qui exercera sur 1 unité C. G. S. de pôle magnétique une force égale à 1 *dyne*. (La dyne est la force qui peut donner à 1 gramme-masse une vitesse de 1 centimètre par seconde.)

L'unité C. G. S. de champ est couramment employée sous le nom de *gauss*.

Puissance électrique. — La puissance électrique est le produit de la différence de potentiel par l'intensité

$$P = UI.$$

L'unité C. G. S. est l'erg par seconde.

L'unité pratique est le *watt* :

$$1 \text{ watt} = 1 \text{ volt} \times 1 \text{ ampère.}$$

Énergie électrique. — L'énergie électrique est :

$$W = QU,$$

c'est le produit de la quantité d'électricité par la différence de potentiel.

L'unité C. G. S. est l'*erg*.

L'unité pratique : le volt-coulomb ou *joule* :

$$\begin{aligned} 1 \text{ joule} &= 1 \text{ volt} \times 1 \text{ coulomb.} \\ &= 10^8 \times 10^{-4} = 10^4 \text{ ergs.} \end{aligned}$$

puisque $Q = It$, on a aussi :

$$W = UIT,$$

et

$$1 \text{ joule par seconde} = 1 \text{ watt.}$$

L'unité industrielle, plus communément employée, est le watt-heure, analogue à l'ampère-heure.

$$1 \text{ watt-heure} = 3.600 \text{ joules.}$$

Le kilowatt-heure vaut donc 3.600.000 joules.

Puissance et énergie mécanique. — L'énergie électrique s'évaluant sous une autre forme, lorsqu'elle est transformée en énergie mécanique, il est utile de relier ensemble ces deux formes :

$$1 \text{ watt} = 10^7 \text{ ergs par seconde}$$

$$1 \text{ erg} = \frac{1}{9,81} \text{ kilogrammètre par seconde.}$$

$$1 \text{ kilogrammètre par seconde} = 9,81 \text{ watts.}$$

$$1 \text{ cheval-vapeur} = 75 \text{ kilogrammètres par seconde} = 736 \text{ watts.}$$

Ainsi que le fait remarquer depuis longtemps Hospitalier, on doit abandonner le cheval-vapeur, qui n'est plus en relation avec notre système purement décimal, et adopter l'unité proposée par le Congrès de Mécanique de 1889 : le *poncelet*, qui représente 100 kilogrammètres par seconde avec, comme sous-multiple, le *prony* ou 10 kilogrammètres par seconde.

$$1 \text{ poncelet} = 100 \text{ kilogrammètres par seconde} = 981 \text{ watts.}$$

$$1 \text{ prony} = 10 \text{ kilogrammètres par seconde} = 98,1 \text{ watts.}$$

Ces unités présentent, en outre, cet avantage d'être beaucoup plus simples pour les calculs rapides, le poncelet pouvant être pris comme équivalent au kilowatt.

Coefficient de traction. — L'effort résistant que tout véhicule oppose à la traction est proportionnel à différents

facteurs; généralement, quand on calcule la puissance en watts P nécessaire pour déplacer à une vitesse V une voiture de masse M sur une rampe faisant un angle α avec l'horizontale, k étant l'effort de traction par kilogramme en palier on adopte la formule :

$$P_{\text{watts}} = \frac{MV(k \pm \text{tg} \alpha)}{0,102}$$

M étant mesuré en kilogrammes, et V en mètres par seconde.

En effet, la puissance en chevaux est donnée par :

$$P = \frac{MV(k \pm \text{tang} \alpha)}{75}$$

Or :

$$1 \text{ cheval-vapeur} = 75 \text{ kilogrammètres par seconde} = 736 \text{ watts.}$$

Donc :

$$\begin{aligned} P_{\text{watts}} &= \frac{MV(k \pm \text{tang} \alpha)}{75} \times 736, \\ &= MV(k \pm \text{tang} \alpha) 9,81, \\ &= \frac{MV(k \pm \text{tang} \alpha)}{0,102} = \sim \frac{MV(k \pm \text{tang} \alpha)(1)}{0,1}. \end{aligned}$$

le dénominateur 0,102 étant l'inverse de 9,81.

D'une façon générale, ainsi que le fait remarquer Forestier⁽²⁾, cet effort de traction ou, plus exactement, de translation, qui résulte lui-même de plusieurs causes, n'est pas le seul à retarder la marche de la voiture.

Le travail résistant se trouve en effet composé de :

- 1° Le frottement des fusées ;
- 2° L'effort de translation :
 - a) L'effort pour franchir les aspérités ;
 - b) L'effort pour les flaches de la route ;
 - c) La déformation du sous-sol ;

Ces trois derniers éléments ont été étudiés par Dupuit et Coriolis (*Annales des Ponts et Chaussées*);

(1) Le signe \sim signifie environ.

(2) FORESTIER, *Rapport au Congrès de l'Automobile 1900.*

3° L'effort provenant des vibrations de la voiture, qui varient avec la nature du moteur et des bandages. Ces vibrations causent des pertes de force vive.

Pour le cas des aspérités de la route, l'effort nécessaire pour franchir une côte est donné par :

$$P \sqrt{\frac{h}{D}}$$

où P est le poids du véhicule en tonnes ;

h, la hauteur de la côte en mètres ;

D, le diamètre de la roue en mètres.

Pour un parcours donné, l'effort total sera :

$$\Sigma P \sqrt{\frac{h}{D}}$$

Autrement dit, on calculera de combien de mètres on devra s'élever verticalement du point central au point final, et on calculera la puissance nécessaire.

L'ensemble de la valeur des pertes par la nature du terrain et les vibrations est donné ainsi :

Pavé de grès en mauvais état.....	60 kilogrammes par tonne	
Terrain couvert d'herbe.....	50	—
Route empierrée.....	80 à 160	—
Pavé.....	22	—
Asphalte.....	40 à 15	—
Macadam sec en bon état.....	15	—
Macadam défectueux sec.....	18	—
Macadam bon, mais mou.....	20	—
Macadam défectueux et mou.....	22	—
Macadam détrempe.....	25	—

avec des bandages pleins élastiques; avec des bandages rigides, ces chiffres doivent être augmentés de 10 0/0.

Pour les déclivités on emploie la formule :

$$P_{\text{watts}} = \frac{MV(k \pm \tan \alpha)}{0,102},$$

On évalue la tangente en millimètres.

Démarrage. — Au moment d'un démarrage, il est nécessaire de faire produire au moteur un effort supplémentaire, qui est égal à $M \frac{dv}{dt}$, ce qui montre qu'on a intérêt, pour réduire la puissance, à opérer un démarrage lent. Ce terme doit s'ajouter à l'équation principale du mouvement du véhicule.

Dans cette égalité :

M représente la masse de la voiture.

$\frac{dv}{dt}$ l'accélération dans le temps t .

Au point de vue de la rapidité du départ, les moteurs électriques sont ceux qui atteignent le plus rapidement leur vitesse de régime; ils présentent en cela un réel avantage sur les moteurs à vapeur et à pétrole. Leur démarrage, s'il est bien conduit, se fait sans secousses et en quelques instants l'allure normale est atteinte. Seulement il est de toute importance de démarrer lentement, d'abord afin de réduire la puissance consommée, puis pour éviter la fatigue du moteur et de tous les organes mécaniques de la voiture qui pourraient être détériorés par des à-coups trop brusques et trop violents comme ont souvent l'habitude d'en produire les conducteurs inexpérimentés qui, soit par bravade, soit par ignorance, démarrent souvent trop vite. Les démarrages effectués brutalement ont, en outre, l'inconvénient de faire subir aux accumulateurs des décharges exagérées qui, bien que de très courte durée, ne sont pas très favorables aux plaques.

CHAPITRE III

PRODUCTION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE PAR LES PILES PRIMAIRES

Avant que la découverte des accumulateurs, faite par Gaston Planté, bien connue et utilisée, fût rendue applicable à la traction légère par les modifications de Camille Faure, les premières sources d'énergie auxquelles on s'adressa furent les piles.

Les piles sont des appareils qui effectuent la transformation de l'énergie chimique en énergie électrique; elles sont définies, comme tous les producteurs ou transformateurs d'énergie électrique, par leur force électromotrice et leur différence de potentiel mesurées en volts, le débit qu'elles peuvent fournir exprimé en ampères, et leur puissance en watts.

Les deux électrodes d'une pile sont toujours inégalement attaquées par l'électrolyte; la plaque le plus attaquée est à un potentiel moins élevé que la plaque moins attaquée ou non attaquée; le courant circule donc de celle-ci (+) à celle-là (—).

La puissance utile maximum que peut fournir une pile étant proportionnelle au carré de sa force électromotrice, on a intérêt, dans le cas de la traction, à employer des corps susceptibles de donner de grandes forces électromotrices, et, en même temps, de faible résistance intérieure, la puis-

sance étant en même temps inversement proportionnelle à la résistance intérieure.

En effet :

La puissance d'une pile est :

$$P = ei,$$

e étant sa force électromotrice ;
 i , l'intensité du courant produit.

Une partie de cette puissance peut seule être utilisée, puisqu'il en existe une autre qui est absorbée à l'intérieur de l'élément par ce qu'on a nommé l'effet Joule.

L'effet Joule est la perte de puissance par production de chaleur exprimée en watts. On a :

$$P = uI$$

Or la différence de potentiel aux bornes d'une résistance quelconque r parcourue par un courant I , est :

$$u = rI$$

d'où la puissance dépensée est :

$$P = rI \times I = rI^2$$

qui est désigné par le nom d'effet Joule.

La puissance utile est alors égale à la puissance totale diminuée de la puissance perdue :

$$(1) \quad P_{\text{utile}} = ei - ri^2,$$

fonction qui passe par son maximum, pour :

$$(2) \quad 0 = e - 2ri$$

obtenue en dérivant et en égalant à zéro; cette équation nous donne :

$$e = 2ri \\ i = \frac{e}{2r}$$

Portant cette valeur dans (1), on a :

$$P_{\text{max}} = \frac{e^2}{2r} - \frac{re^2}{4r^2} = \frac{e^2}{2r} - \frac{e^2}{4r} = \frac{e^2}{4r}.$$

Parmi les piles employées jusqu'à présent on a, pour cette raison, pris celles ayant la plus haute force électromotrice : les piles au bichromate et les piles Bunsen. Il faut citer aussi la pile Renard (1888), constituée par un couple zinc-argent avec une solution d'acide chromique dans l'acide chlorhydrique et dont la puissance spécifique était de 15 watts par kilogramme, donnant une énergie spécifique de 28 à 30 watts-heures par kilogramme d'électrodes. Examinons pourquoi ce mode de production est aujourd'hui abandonné, d'abord au point de vue du prix de revient de l'énergie.

Prix de revient de l'énergie au moyen des piles chromiques. — La force électromotrice d'une pile zinc-charbon, avec le bichromate de potasse comme dépolarisant, est d'environ 2 volts. En circuit fermé, la différence de potentiel utilisable n'est plus que de 1,8 volts.

Pour produire 1 kilowatt-heure, elle devra donc donner une quantité d'électricité de :

$$Q = \frac{1000}{1,8} = 555,5 \text{ ampères-heures.}$$

L'équivalent électrochimique du zinc, c'est-à-dire la masse en grammes libérée par coulomb étant de : 0^{gr},00034, cette quantité correspond à une dépense en zinc de :

$$0,00034 \times 3600 \times 555,5 = 685 \text{ gr.}$$

La dépense théorique de bichromate est de 1,8 par ampère-heure, soit :

$$1,8 \times 555,5 = 999^{gr},9.$$

En comptant le zinc pur à 0 fr. 60 et le bichromate à 1 fr. 20 le kilogramme, la pile nous coûtera *théoriquement* :

$$\begin{aligned} 685 \times 0,6 &= 0,41 \\ 999,9 \times 1,2 &= 1,19 \\ \text{Soit au total...} &= 1,60 \text{ fr.} \end{aligned}$$

non compté l'acide sulfurique. En pratique le zinc, afin qu'il s'attaque moins, sera amalgamé et coûtera 0 fr. 80 le kilogramme; la consommation sera au moins augmentée de 40 0/0, de même pour le bichromate, à cause des couples secondaires et de la densité qu'il est toujours nécessaire d'avoir. Se basant sur ces chiffres, il est incontestable qu'on ne peut obtenir le kilowatt-heure à moins de 3 francs, ce qui nous donne, avec un très bon moteur de 85 0/0 de rendement, le cheval-heure à 2 fr. 60.

En admettant une voiture électrique d'un poids de 1.000 kilogrammes consommant 50 watts-heures par tonne-kilomètre de poids total, ce qui est loin d'être conforme à ce qu'on a trouvé jusqu'ici, pour faire 60 kilomètres, on aurait besoin de 3 kilowatts-heures, soit : 9 francs de produits chimiques et, en réalité, avec les consommations actuelles, c'est au minimum 15 francs qu'il faudrait compter.

Autres causes du rejet des piles. — Au point de vue du poids, les piles ne présentent aucun avantage. Par suite de la grande quantité d'eau nécessaire pour obtenir la dilution du bichromate de potasse, le poids d'une pile est excessivement fort; la puissance spécifique ne dépasse pas, au maximum, 2 watts par kilogramme de poids total, et l'énergie spécifique 5 watts-heures par kilogramme de poids total.

Ensuite ces piles nécessitent tout un mécanisme pour retirer les cathodes de l'intérieur du bain pendant les arrêts, afin d'éviter l'attaque à circuit ouvert. Les frais de

la main-d'œuvre nécessitée par les diverses manipulations à faire subir aux éléments (changement de l'électrolyte, dissolution du sel chromique, nettoyage des électrodes, etc.), sont très élevés.

Ces motifs font qu'en dépit de leur rendement très grand les piles primaires n'ont trouvé jusqu'ici aucun emploi sérieux dans la traction électrique, et il est de fait que, à part les essais de H. de Graffigny, tous les véhicules électriques ont emprunté l'énergie nécessaire à leur déplacement aux accumulateurs.

Toutes les prétendues découvertes qu'on a voulu lancer n'ont été, en général, que des opérations financières plus ou moins hardies qui n'ont jamais eu d'autre résultat que de sortir de la poche des actionnaires des sommes qui eussent été mieux employées dans des industries plus rationnelles.

Jusqu'à présent il est certain qu'il n'existe pas de pile primaire applicable à la traction et que ces appareils, pour être économiques, devront donner naissance à des actions chimiques réversibles. La vente des sous-produits, comme l'ont annoncée à grands renforts de réclame certains inventeurs, paraît un peu exagérée, surtout quand on prétend que la traction rapporte au lieu de dépenser.

Tout cela n'est que pure chimère d'esprits en mal d'invention, aussi n'y a-t-il pas lieu de s'y arrêter, pour le moment du moins. En matière d'industrie il est, en effet, toujours très risqué de dire *a priori* qu'une chose est irréalisable. Tout ce qu'on peut dire, sans vouloir décourager personne, c'est qu'elle n'est pas encore réalisée, mais, si difficile que soit le problème à résoudre, il est très possible qu'un chercheur, plus heureux que ses devanciers, nous dote un jour d'une pile utilisable.

CHAPITRE IV

ACCUMULATEURS ÉLECTRIQUES

Les accumulateurs électriques sont des appareils qui permettent d'emmagasiner de l'énergie électrique par sa transformation en énergie chimique et de la retrouver ensuite au moins en partie, au bout d'un temps plus ou moins long.

Les phénomènes qui ont donné naissance à leur invention ont été observés pour la première fois en 1801 ; en 1803 Ritter, d'Iéna, après avoir décomposé de l'eau avec deux électrodes : l'une de platine et l'autre d'argent, obtint, par réunion de ces deux fils, un courant auquel il donna le nom de courant secondaire.

De la Rive, en 1826, et Grove, en 1842, continuent les recherches sur ce courant ; mais il faut arriver en 1859, jusqu'à Gaston Planté, pour trouver véritablement trace de l'accumulateur actuel. Par ses études sur les courants secondaires Planté trouva que le plomb paraissait particulièrement apte à fournir des courants de ce genre ; il opérait sur deux plaques de plomb, qui étaient séparées par du feutre imbibé de solution sulfurique au 10^e et faisait passer, pendant un certain temps, le courant d'une batterie de piles. Par cette opération ou *formation de l'élément*, il obtenait un dépôt brun de peroxyde de plomb sur l'anode, tandis que l'oxyde, déjà formé sur la cathode par son exposition à l'air, donnait naissance à du plomb réduit. En réunissant les deux électrodes après un certain temps, Planté obtenait

une étincelle, preuve concluante qu'un courant prenait naissance; l'accumulateur actuel [dit plomb-plomb était trouvé, bien qu'alors très imparfait.

Nous n'entrerons pas plus en avant dans les études de Planté, ni dans celles des autres ingénieurs qui s'occupèrent de cette question, cela sortirait du cadre de cet ouvrage. Jusqu'en 1880, les piles secondaires furent toujours obtenues à l'aide de plomb recouvert de peroxyde par action électrochimique; à cette époque, Camille Faure prit ses brevets pour la fabrication des accumulateurs en se servant d'un cadre dans lequel on rapportait de la matière active;

On est donc en présence de deux types d'éléments :

- 1° Accumulateurs à formation Planté ou autogène;
- 2° Accumulateurs à formation Faure, ou hétérogène.

Données théoriques sur les accumulateurs. — Un accumulateur, comme une pile primaire, est caractérisé d'une façon fondamentale par sa force électromotrice, son débit et sa résistance intérieure.

La quantité d'électricité Q , ou capacité, qu'on pourra retirer d'un accumulateur chargé, pendant un temps t , sera donnée par :

$$Q = It.$$

Cette capacité dépend essentiellement de la nature du type et d'autres facteurs.

Si l'on donne à un accumulateur une certaine quantité de courant, il est certain qu'on n'en retirera pas la même quantité. L'idée du rendement entre donc ici en ligne de compte, et nous aurons à considérer deux rendements :

- 1° Le rendement en quantité;
- 2° Le rendement en énergie.

Si U_1 est la valeur de la différence de potentiel que prend un élément en charge sous un courant de I_1 ampères pendant un temps t , la quantité d'électricité emmagasinée à

l'instant t depuis le temps initial sera :

$$\int_0^t I_1 dt,$$

l'élément étant considéré comme entièrement vide. Une fois chargé, l'accumulateur sera déchargé complètement à ses différents régimes (car, ainsi que nous le verrons plus loin, sa capacité varie avec le temps), de façon à en retirer toute la quantité d'électricité qu'il est capable de donner à chaque régime, quantité qui est, en représentant par I_2 les intensités de décharge :

$$\int_0^t I_2 dt.$$

Le rendement total en quantité, rendement que nous désignerons par η_q sera pour chaque régime de décharge :

$$\eta_q = \frac{\int_0^t I_2 dt}{\int_0^t I_1 dt}.$$

Il est d'autant plus élevé que le courant de décharge est faible.

L'énergie emmagasinée pendant la charge se décompose en une partie perdue en effet Joule (Voir page 24) et en une autre qui reste utilisée dans l'élément, on a donc :

$$\begin{aligned} \int_0^t U_1 I_1 dt &= \int_0^t r I^2 dt + \int_0^t U_1 I_1 dt - r I^2 dt \\ &= \int_0^t r I^2 dt + \int_0^t (U_1 - r I_1) I_1 dt. \end{aligned}$$

Si E est la force électromotrice de l'élément, la différence de potentiel aux bornes pendant les décharges est :

$$U_2 = E - r I_2,$$

et la quantité d'électricité restituée :

$$\begin{aligned} \int_0^t U_2 I_2 dt &= \int_0^t r I^2 dt + \int_0^t (E - r I_2) I_2 dt \\ &= \int_0^t r I^2 dt + \int_0^t U_2 I_2 dt. \end{aligned}$$

et η_e , ou le rendement en énergie, est :

$$\eta_e = \frac{\int_0^t U_2 I_2 dt}{\int_0^t U_1 I_1 dt}$$

Chaque essai doit être répété au moins quinze à vingt fois, afin d'établir une moyenne, et l'élément doit être dans les mêmes conditions avant chaque décharge. La valeur du rendement n'est pas une quantité rigoureusement constante ; elle varie suivant la nature de la méthode de chargement employée ; le rendement en énergie est d'autant plus élevé que le courant de charge est plus faible.

D'une façon générale, en opérant au régime normal, le rendement en quantité oscille dans les environs de 90 0/0, et le rendement en énergie dans ceux de 70 à 75 0/0.

Variation de la capacité en fonction du débit.

— La capacité d'un accumulateur n'est pas une quantité constante, elle varie avec le régime. Tel élément qui a 40 ampères-heures à un débit de 40 ampères n'en a plus que 35 si le régime est de 50 ou en a 45 si on lui fait débiter 35 ampères.

La variation de la capacité en fonction de l'intensité varie suivant une courbe logarithmique dont une formule a été donnée par Peukert sous la forme (*fig. 6*) :

$$I^n t = C^e,$$

I étant le débit en ampères de la décharge;
 t , la durée correspondante;
 n , une constante dite constante de Peukert, et variable suivant les types.

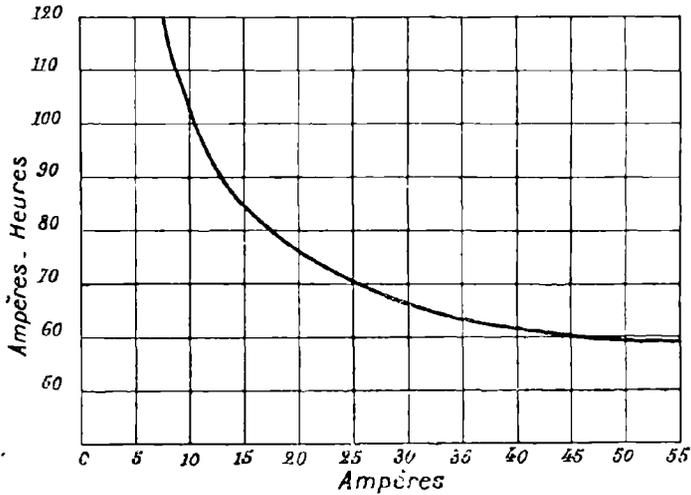


FIG. 6. — Variation de la capacité en fonction du débit.

D'après cette équation nous aurons :

$$I_1^n t_1 = I_2^n t_2, \text{ etc.},$$

et si

$$C_1 = I_1 t_1, \quad C_2 = I_2 t_2.$$

Le rapport entre deux capacités sera :

$$\frac{C_1}{C_2} = \left(\frac{I_1}{I_2} \right)^{n-1},$$

C étant exprimé en ampères-heures.

Loppé a donné, dans *l'Éclairage électrique*, les facteurs n trouvés pour les différents types connus; nous en

extrayons quelques-uns intéressant la traction automobile.

Fabius Henrion	1.37
Walls et C ^{ie}	1.58
Mouterde	1.40
Société du travail électrique des métaux..	1.26
Société Tudor.....	1.40
Accumulateur Pulvis	2.00
Accumulateur B. G. S.....	1.26

L'accumulateur le meilleur serait celui pour lequel la constante serait voisine de 1, c'est-à-dire dont la capacité serait invariable, quel que soit le régime de décharge. La représentation de la fonction serait alors une droite parallèle à l'axe des intensités.

Force électromotrice. — Différence de potentiel. — Résistance intérieure. — Si e est la force électromotrice d'un élément, et r sa résistance intérieure, on aura pour valeur de la différence de potentiel u , sous un courant i :

$$u_1 = e + ri,$$

pour la charge, et

$$u_2 = e - ri,$$

pour la décharge.

Pendant la charge et la décharge, ces trois facteurs subissent des variations, u variant en même temps que e et r .

La force électromotrice augmente pendant la charge et diminue pendant la décharge.

La résistance intérieure diminue pendant une certaine partie de la décharge puis croît vers la fin. A ce moment l'accumulateur est chargé à refus, et le dégagement des gaz, produisant une certaine polarisation, augmente la résistance intérieure dans de notables proportions. Pendant la décharge, elle reste stationnaire pendant un temps assez long, puis monte très vite à la fin, par suite de l'abaissement

du degré Baumé de l'électrolyte et de la nature des plaques qui est modifiée par la décharge.

La valeur de la résistance peut se déduire de la différence entre la courbe de force électromotrice et celle de différence de potentiel.

Types autogènes ou hétérogènes. — Différence entre eux. — Leurs avantages et leurs inconvénients. — On a vu plus haut que les plaques d'accumulateurs étaient fabriquées de deux façons :

1° Les électrodes positives et négatives sont obtenues par l'oxydation et la réduction du plomb à l'aide du courant ;

2° La matière active est empâtée dans des supports, sous forme de minium ou de litharge, puis oxydée par le courant.

Les plaques de la première catégorie sont dites du *type Planté* ou *autogène* ; celles de la seconde sont dites du *type Faure* ou *hétérogène*, ou encore à *oxyde rapporté*.

Sans vouloir entrer dans le détail de la fabrication des électrodes il est bon, néanmoins, d'indiquer que la fabrication des plaques autogènes se fait actuellement de deux façons différentes.

Afin d'obtenir une couche de peroxyde assez grande pour donner rapidement en service le maximum de capacité, on est obligé de faire passer le courant pendant très longtemps, avec des tours de main particuliers. Cette formation nécessite, par suite, des capitaux engagés assez importants, puisque le plomb en formation est un capital absolument inerte. Nombre de fabricants ont alors pensé à hâter la formation par des procédés électrochimiques et sont arrivés, là où il fallait six semaines à deux mois, à ne mettre que quatre à cinq jours. Evidemment, au point de vue de la fabrication, cela paraît un très grand progrès. Pratiquement, au contraire, ce n'en est pas un.

Tous les procédés de formation rapide, donnant en

quelques jours à une plaque son maximum de capacité, sont basés sur l'emploi de rongeurs qui modifient considérablement la constitution moléculaire de la plaque et ne peuvent qu'abrèger la durée de sa vie.

Il est donc utile de laisser impitoyablement de côté tout accumulateur à formation rapide, sous peine de voir s'élever encore plus tous les frais d'entretien.

Les plaques à oxyde rapporté sont, de prime abord, d'un emploi bien plus commode que les autres. Leur capacité spécifique est en général beaucoup plus élevée, mais elles sont malheureusement beaucoup moins solides que la généralité des plaques Planté. On peut même dire que, si une batterie Faure est solide, c'est que les plaques sont épaisses et lourdes, et alors on ne voit plus l'avantage. En outre, les plaques positives de ce type supportent mal les régimes élevés de charge et de décharge. Le dégagement des gaz produit une désagrégation de la matière, la répartition du courant par le grillage est, en général, défectueuse et lorsque la dimension des pastilles dépasse une certaine limite, leur centre ne travaille pas, ou presque pas. De plus, le foisonnement (qui se produit aussi dans les plaques Planté) provoque des gonflements des pastilles ou des ruptures du cadre. Si la pastille est, au contraire, très petite, la surface de contact entre la matière active et le support étant très grande les pertes de charge à circuit ouvert sont très augmentées et on n'a plus aucun intérêt à l'emploi de ce type.

Types mixtes. — On a vu plus haut que les positives à oxyde supportaient mal les forts régimes, par suite des réactions qui se passent à la charge et à la décharge, et dont bien des théories ont été données; la négative, au contraire, se fatigue beaucoup moins. Ce fait a été appliqué à la constitution d'éléments mixtes à positive Planté et à négative Faure. Cette association donne, du reste, d'assez bons résultats, car la négative est d'un entretien plus facile que

la positive et d'un prix de revient moins élevé. Elle permet, en outre, d'abaisser très fortement le poids d'un élément.

Calcul du poids d'accumulateurs nécessaires à une voiture automobile (1). — Soit :

P, le poids de la batterie ;

P', le poids de la voiture en charge ;

m, le rapport du poids de la voiture en charge au poids de la batterie ;

W, la consommation spécifique en watts-heures par kilogramme-kilomètre de poids total ;

U, la différence de potentiel moyenne de la batterie ;

V, la vitesse en kilomètres à l'heure en palier ;

n, le nombre d'éléments de la batterie ;

c, la capacité spécifique en ampères-heures par kilogramme d'élément de la batterie.

On peut se poser différentes inconnues, soit le poids de la batterie, soit la capacité spécifique, soit le rapport entre le poids de la voiture et celui de la batterie, soit encore, le nombre maximum de kilomètres parcourus en palier sur une route normale.

L'énergie nécessaire pour faire se déplacer une voiture quelconque est :

$$\pi = P' \times V \times W$$

En effet, W étant la consommation de la voiture en watts-heures par kilogramme et par kilomètre, l'énergie nécessaire pour déplacer le véhicule est bien égale au nombre de kilogrammes-kilomètres multiplié par la consommation spécifique.

Soit :

$$(1) \quad P' = mP$$

$$(2) \quad \pi = mP \times V \times W \text{ en watts-heures.}$$

L'énergie spécifique varie depuis 14,7 watts-heures par

(1) La *Locomotion automobile*, 1900.

kilogramme de poids total pour les types lourds, jusqu'à 25 pour les types très légers. Le cheval-heure est donc donné sous des poids pouvant varier depuis 50 kilogrammes jusqu'à 26^{kg},3, pour le type léger.

L'équation (2) étant exprimée en watts-heures, on en tire la valeur de l'intensité I correspondante :

$$I = \frac{mP \ V \ W}{U}.$$

Puisque la vitesse est mesurée en kilomètres parcourus en 1 heure, si on désigne par t la durée du parcours, la capacité totale nécessaire C sera :

$$C = It = \frac{mP \ V \ W \ t}{U};$$

or, comme

$$(2 \text{ bis}) \quad C = \frac{P}{n} c,$$

on a :

$$(3) \quad \frac{mP \ V \ W \ t}{U} = \frac{P}{n} c$$

$$\frac{c}{n} = \frac{mWVt}{U}$$

$$(4) \quad c = \frac{mW \ V \ t \ n}{U}$$

qui nous donne la valeur de la capacité spécifique au régime de t heures, et nous indique à quel type d'accumulateur nous devons nous adresser.

On tire aussi de (2 bis) :

$$(5) \quad P = \frac{CU}{mW \ V \ t}$$

De 3 et de 4 :

$$(6) \quad m = \frac{CU}{P \ W \ V \ t} = \frac{cU}{W \ V \ t \ n}$$

et

$$(7) \quad Vt \text{ en kilomètres} = \frac{CU}{PmW} = \frac{cU}{mW \ n}$$

Loppé, dans l'*Électricien* du 7 juillet 1900, a donné des formules analogues en prenant pour valeur de la con-

sommation spécifique 85 watts-heures par tonne-kilomètre et 85 volts pour la différence de potentiel..

Un cas particulier peut se présenter, c'est celui où l'on veut mettre sur une voiture une batterie d'accumulateurs permettant de gravir une côte d'une certaine inclinaison à une vitesse donnée. Ceci peut se produire dans le cas d'un véhicule de transport public, un omnibus par exemple, qui doit effectuer un parcours donné dans un temps donné.

Si on désigne par :

π , la puissance nécessaire pour déplacer la voiture ;

P , le poids de la voiture sans la batterie, exprimé en kilogrammes ;

V , la vitesse en mètres par seconde ;

K , l'effort de traction par kilogramme en palier ;

α , l'angle de la route avec l'horizontale ;

p , le poids de la batterie en kilogrammes.

L'équation du mouvement est :

$$\pi = \frac{PV(K \pm \text{tang } \alpha)}{75} \text{ chevaux.}$$

En transformant en watts on, a :

$$\pi = \frac{PV(K \pm \text{tang } \alpha)}{75} \cdot 736 = PV(K \pm \text{tang } \alpha) 9,81.$$

Dans le cas présent :

$$\pi_{\text{watts}} = PV(K + \text{tang } \alpha) 9,81$$

désignons par p le poids de la batterie, et par w la puissance spécifique en watts par kilogramme du type d'élément choisi :

$$\pi_{\text{watts}} = pw = (P + p) V (K + \text{tang } \alpha) 9,81,$$

$$p = \frac{PV}{\frac{w}{(K + \text{tang } \alpha) 9,81} - V}.$$

Bien entendu on fera bien de majorer les chiffres trouvés par le calcul.

Choix de la batterie. — On peut diviser en trois classes les différentes applications des voitures électriques :

- 1° Voitures de luxe et de plaisance ;
- 2° Voitures d'exploitation ;
- 3° Voitures de poids lourds.

Il est certain que, pour ces trois catégories différentes on ne peut, dans l'état actuel de l'industrie, mettre les mêmes accumulateurs.

Les voitures de luxe, achetées par une clientèle riche, plus soucieuse de se maintenir dans le train et de suivre la mode du jour que de réaliser des économies sur la traction animale et tenant surtout à posséder des voitures élégantes, ne pourront être équipées avec le même matériel que les fiacres. Dans ces voitures, les batteries légères ont leur application, à cause de leur faible poids et de leur encombrement restreint qui permet de les dissimuler facilement.

Leur entretien sera coûteux, mais aussi sera probablement bien fait, car on regardera peu aux soins à y faire apporter. Néanmoins, il sera utile de choisir des batteries à positives Planté, si un faible parcours suffit ; dans le cas contraire, si le propriétaire de la voiture veut malgré les frais affronter de grandes distances (oh bien vite limitées!), choisir le type léger par excellence.

Dans les voitures d'exploitation, le problème est plus complexe ; mais en tous cas, avec l'accumulateur au plomb, il faudra prendre une batterie de poids moyen, soit avec des positives Faure lourdes, soit de préférence avec des positives Planté, associées à des négatives à oxyde.

Si la charge doit être faite dans une usine où les voitures vont changer de batterie, c'est-à-dire où la charge peut s'effectuer par suite de l'échange, à intensité constante, sans fatiguer la batterie, rien n'oblige à prendre des positives

excessivement robustes, qui augmentent le poids mort, mais on doit toujours tenir compte des trépidations, très nuisibles aux plaques à oxyde et même à certaines plaques Planté.

Dans les exploitations où la charge devrait s'effectuer en station par des prises de courant, sous différence de potentiel constante en charge rapide, il faudrait bannir d'une façon absolue les accumulateurs à positives hétérogènes et ne prendre que des positives Planté, en les choisissant telles que les chances de gondolage des plaques soient extrêmement faibles.

Pour les voitures de poids lourds, on est dans la même situation que pour les tramways. Il ne faut pas regarder au poids. Actuellement l'accumulateur n'est applicable aux poids lourds qu'à la condition de rencontrer souvent des postes de charge, distants de 30 à 35 kilomètres.

On peut appliquer avec succès les accumulateurs aux omnibus, ainsi que cela s'est fait à Berlin, avec recharge en bout de ligne, soit sur des bornes, soit sur une ligne de tramways électriques; les accumulateurs à oxyde ne sont pas d'un emploi commode sur ces exploitations, et les éléments Planté, par leur grande surface, supportent mieux les à-coups et les services durs.

Montage de la batterie. — Les bacs contenant les électrodes et l'électrolyte ont été faits jusqu'ici en celluloïd ou en ébonite.

La première matière doit être rigoureusement proscrite, à cause des risques d'inflammabilité facile qu'elle présente; tous les avantages qu'on peut lui trouver sont malheureusement trop contre-balancés par son danger.

La seconde est très communément employée, sur les voitures comme sur les tramways. Un bac en ébonite doit être solide, mais cette solidité ne doit pas être obtenue par dureté. L'ébonite dur est cassant. Si cependant le bac est trop souple il laisse suinter l'électrolyte et est trop facilement attaqué par lui. Il doit présenter de très grandes

qualités isolantes et ne pas se laisser percer par l'étincelle d'induction; il doit résister à un certain effort de traction et de compression.

Les bacs sont généralement munis d'aspérités, de préférence en caoutchouc souple, afin d'éviter qu'il n'aient de trop grands points de contact avec leurs voisins; il est en même temps assez utile de placer en dessous des tasseaux en ébonite, afin que les bacs ne reposent pas par leur fond sur la caisse principale et laissent écouler l'acide qui peut tomber dehors par projection.

La fermeture doit être aussi hermétique que possible, mais facile à défaire pour ne pas trop compliquer les manipulations d'entretien. Les connexions des différents bacs entre eux ne doivent pas être trop rigides, afin de ne point casser par les trépidations; on les fait soit en plomb antimonié à 2 ou 3 0/0, soit en plomb, qu'on soude au chalumeau ou électriquement, soit en feuilles de clinquant. En faisant le montage, on doit disposer ses éléments de façon à n'avoir jamais de grandes différences de potentiel entre deux bacs voisins.

Il est bon de ménager sur les couvercles des orifices qu'on débouche à la charge, afin de laisser les gaz se dégager librement.

Variations apportées dans les différentes parties de l'accumulateur au plomb. — L'électrolyte des éléments secondaires est constitué par de l'acide sulfurique dont le degré varie entre 21° et 28° B. Cet électrolyte, par suite de sa mobilité, présente de grands inconvénients; aussi n'est-il pas étonnant qu'on ait de tout temps cherché à obtenir un électrolyte sec qui présenterait de grands avantages pour les accumulateurs transportables, comme ceux des automobiles.

Le Dr Paul Schoop, dont le nom fait autorité en matière d'accumulateurs, indique un procédé à la silice gélatineuse, obtenue par addition de silicate de soude dans l'acide sul-

furique avec de l'amiante bouillie. L'emploi de cette dernière matière aurait pour effet de permettre le dégagement des gaz le long de ses filaments; malheureusement cette fabrication demande un tour de main assez facile mais qui ne donne pas toujours de très bons résultats. C'est un électrolyte semblable qui se trouvait dans la batterie de la voiture Pouchain (chap. 1^{er}, p. 5).

Les Allemands prétendent avoir un électrolyte sec remarquable avec celui de l'accumulateur Watt, mais ne donnent sur lui aucun renseignement. En France, des essais analogues se poursuivent actuellement et pourraient bien donner des résultats. A l'Exposition de 1900 un accumulateur sec figurait, dans l'exposition du Laboratoire Volta.

D'Arsonval avait eu l'idée, afin d'augmenter la force électromotrice des éléments, d'ajouter à l'électrolyte du sulfate de zinc, qui se déposait sur la cathode pendant la charge, et à la décharge, donnait 2,3 volts. Malheureusement l'attaque du zinc à circuit ouvert ne permettait aucune conservation de la charge.

Werner emploie comme électrolyte une dissolution de sulfate de zinc et de sulfate de cadmium, et un peu de sulfate de magnésium; à la charge, le zinc et le cadmium se portent sur la négative, et la présence du cadmium diminue énormément l'attaque, en même temps que le sulfate de magnésium empêche la sulfatation et l'attaque. La force électromotrice est de 2,4 volts.

Outre les accumulateurs plomb-zinc, certains accumulateurs ont été construits en partant du principe de la réversibilité de la pile Lalande et Chaperon. La plaque positive est en cuivre poreux et la négative en fer; l'électrolyte est constitué par du zincate de potasse. Aucun de ces types, à part le type Waddel-Entz, employé en Autriche, n'a donné de résultats.

CHAPITRE V

MONOGRAPHIE DES DIFFÉRENTS TYPES D'ACCUMULATEURS DE TRACTION ÉLECTRIQUE DE VOITURES AUTOMOBILES.

Nous allons passer en revue les différents modèles d'éléments secondaires, employés actuellement dans l'automobilisme électrique.

Certains d'entre eux ont déjà été expérimentés en grand; d'autres ne se sont encore fait connaître que par des essais réduits ou par le concours d'accumulateurs. Nous les diviserons en trois catégories.

I. Éléments à positives Planté et négatives Faure :

Accumulateurs Blot-Fulmen ;

— Majert ;

— Tudor ;

— de la Société pour le travail électrique des métaux.

II. Éléments à positives et négatives Faure :

Accumulateurs Faure-Sellon-Volckmar ;

— de l'Electrical power storage Co ;

— Fulmen ;

— de la Société pour le travail électrique des métaux ;

— B. G. S ;

— Phénix ;

— Pope and Son ;

— Lagarde ;

Accumulateurs HeimeI ;

— Heinz;

— Pisca.

III. Éléments mixtes. — Sous ce nom, on désigne les accumulateurs, qui sont empâtés tout d'abord, puis ensuite, après la chute de la matière active, travaillent par leur support, qui s'est formé en plaque Planté. Les accumulateurs de ce type que nous étudierons sont :

Accumulateurs Pollak;

— Pescetto;

— Heinz.

I. Accumulateurs à positives Planté et négatives Faure. — *Accumulateurs Blot-Fulmen.* — Cet élément est constitué par des plaques positives Planté, de la Compagnie générale des Accumulateurs G. R. Blot, et des négatives à formation Faure, de la Société des accumulateurs Fulmen.

Les positives sont donc du type dit à navettes, type connu avantageusement (*fig. 7*). Les navettes constituant les plaques Blot sont formées par des rubans alternativement ondulés et striés (les rubans ondulés étant préalablement striés) et enroulés en forme de navette; cette navette est ensuite coupée en deux par le milieu, perpendiculairement à la longueur des rubans, et chaque ensemble est soudé électriquement à un cadre en plomb antimonié, dont le montant supportant la soudure est de 4 millimètres d'épaisseur, tandis que les trois autres n'ont que 1^m,5; entre l'extrémité des navettes et le cadre, on ménage un espace vide, de façon à laisser les rubans foisonner librement. Les navettes sont placées horizontalement.

Chaque navette de l'élément de traction est constituée par huit rubans unis et huit rubans gaufrés, dont la longueur moyenne totale est de 210 millimètres donnant une longueur totale de la navette de 105 millimètres. La plaque est constituée par six navettes ayant au total une surface

active de 30 décimètres carrés; la largeur des rubans étant de 8 millimètres, la surface projetée est de 2^dm²,30, ce qui donne 13 décimètres carrés de surface active par décimètre carré de surface projetée.

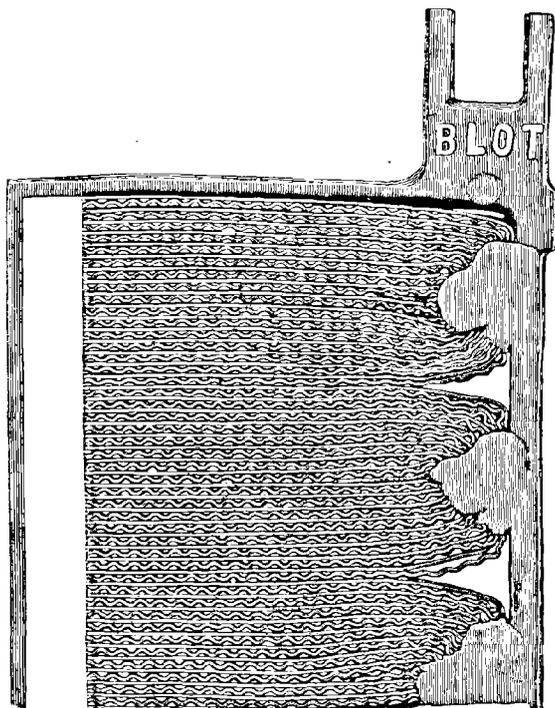


FIG. 7. — Plaque positive Blot⁽¹⁾.

La capacité est de 0,67 ampère-heure par décimètre carré de surface active et de 8,71 ampères-heures par décimètre carré de surface projetée.

Ces chiffres indiquent la capacité maximum. Le poids de chaque positive est de 1.120 grammes, soit 487^{gr},2 par décimètre carré de surface projetée.

⁽¹⁾ Les clichés des figures 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 24, 25 et 26 nous ont été obligeamment prêtés par l'*Industrie électrique* et l'*Eclairage électrique*.

La queue des plaques porte, à sa partie supérieure, une encoche rectangulaire, dans laquelle vient s'adapter une barre de plomb servant à réunir les plaques entre elles par soudure.

La plaque négative est semblable à celle que nous décrivons plus loin dans la monographie de l'accumulateur Fulmen, dimensions à part.

Son poids est de 600 grammes.

Les plaques sont isolées les unes des autres par des feuilles en ébonite perforées et ondulées; le fond du bac porte des cales à rainures destinées à supporter les électrodes.

Le bac porte des nervures extérieurement; la réunion entre deux éléments est faite par des feuilles de clinquant soudées électriquement.

Les constantes de l'accumulateur Blot-Fulmen peuvent être résumées dans le tableau suivant, en désignant par N le nombre des plaques positives et négatives.

Capacité garantie en ampères-heures au régime de décharge en 5 heures.....	$11.5 \times (N - 1)$		
Largeur en millimètres	{	Intérieur du bac.....	129
		Extérieur.....	136
		Avec les saillies.....	139
Longueur en millimètres	{	Intérieur du bac.....	$11N - 3$
		Extérieur.....	$11N + 4$
		Avec les saillies.....	$11N + 7$
Hauteur du bac sans connexions.....		260	
— avec connexions.....		280	
Épaisseur du bac en haut en millimètres.....		3,5	
— en bas —.....		4	
Poids du bac.....	$0,05N + 0,450$		
Dimensions des positives : Hauteur en millimètres..		200	
— Longueur.....		125	
— Épaisseur.....		8	
Dimensions des négatives en millimètres	{	Hauteur.....	183
		Longueur.....	100
		Épaisseur.....	4
Section du cadre de la positive en millimètres carrés.		30	
— de la queue de connexion de la positive en millimètres carrés.....		160	
Écartement des plaques en millimètres.....		5	

Pour un élément de 180 ampères-heures de capacité garantie, le poids de l'électrolyte est de 3 kilogrammes, correspondant à un volume de 2,5^{dm³} et à un poids d'acide sulfurique libre de 888 grammes, soit un peu plus de quatre fois la quantité théorique nécessaire, qui est de 219^{gr},6 ; le chiffre trouvé par Darrius étant rapproché de 1^{er},83 par ampère-heure.

Le poids total d'un élément tel est de 19^{kg},6, donnant une capacité de 9,18 ampères-heures par kilogramme de poids total.

Accumulateur Majert. — Cet accumulateur, qui, au point de vue automobile, n'a encore été employé que comme type de poids lourd, est un type robuste, pouvant résister aux à-coups de charge et de décharge exagérés sans aucune détérioration. C'est le type parfait pour une exploitation à faible parcours avec charge rapide.

Sa plaque positive est en plomb laminé, dans lequel, à l'aide d'un outil spécial, on vient faire une série de rainures parallèles ; ce travail est effectué sur une machine analogue à un étau limeur.

Dans certains types de plaques Planté obtenues de fonderie, les lamelles ont une forme à section triangulaire très fine ; or c'est précisément par cette partie que la plaque se fatigue et s'use, au point que, en un certain nombre de décharges, la matière active comble rapidement les espaces entre les lamelles. En outre, l'âme de ces plaques est très faible et, de deux choses l'une, ou bien on finit par avoir des plaques qui ne sont qu'un gros tas de peroxyde ou bien on voit le jour au travers ; la plaque s'effrite, perd de sa surface et est hors d'usage.

Dans la plaque Majert, comme le montre la figure (*fig. 8*) l'extrémité des lamelles est, au contraire, assez épaisse par suite de son biseau, et l'épaisseur est identique tout le long du ruban ; ensuite l'âme a l'épaisseur qu'on veut lui donner, et si, pour les éléments de traction automobile, on réduit à

1 millimètre ou $1^{\text{mm}},5$ l'épaisseur de l'âme, on peut la pousser à 2 ou $2^{\text{mm}},5$ dans d'autres applications (tramways).

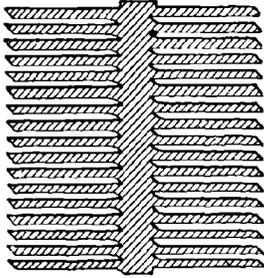


FIG. 8. — Coupe de la plaque positive Majert.

Les lamelles sont extrêmement solides et il faut, pour pouvoir en arracher une, la fatiguer beaucoup par des balancements autour de son point d'attache. Enfin l'épaisseur de l'âme, donnant à cette plaque une excellente répartition du courant en même temps qu'une très faible résistance intérieure, sous des débits élevés, la chute de tension est faible. Les lamelles au lieu d'être perpendiculaires à l'âme sont légèrement relevées vers le haut.

Ajoutons que le plomb laminé s'use beaucoup moins que le plomb fondu sous pression et encore moins que le plomb simplement fondu ; à cause de sa densité plus grande et de la compression de ses molécules.

La plaque négative est constituée par un grillage type Faure. Elle est divisée verticalement en deux parties égales par une rainure profonde, destinée à servir de guide au tube de verre maintenant l'écartement des plaques par le milieu.

Les alvéoles, qui viennent droites de fonderie, sont rabattues de bas en haut après l'empâtage pour maintenir les pastilles (*fig. 9*).

Le nombre des pastilles est de 6 par compartiment, soit 12 pour la largeur et 47 pour la hauteur, soit 564 pastilles pour toute la plaque, dont la hauteur est 200 millimètres et la largeur 184 millimètres, pour le type d'élément que nous allons décrire qui a été employé pour la traction d'omnibus.



FIG. 9. — Coupe de la plaque négative Majert.

Le bac est en ébonite de 5^{mm},5 d'épaisseur; il présente, sur un de ses grands côtés, des nervures en caoutchouc souple placées en chicane, c'est-à-dire les uns partant du haut et dépassant un peu le milieu, les autres partant du bas, alternées avec les précédentes. Il y a cinq nervures allant de haut en bas, et six allant de bas en haut. Les petits côtés portent, au tiers de la hauteur, des demi-cercles en caoutchouc souple, dont le diamètre égale la largeur du bac. En outre, le bac porte, sous sa partie inférieure, deux tasseaux en caoutchouc souple.

La Compagnie française des accumulateurs Union qui exploite les brevets Majert a cherché à obtenir un isolement très grand, afin d'éviter les ennuis pouvant provenir des contacts entre les bacs imprégnés d'acide et situés à la masse qui, parfois, peut se trouver plus ou moins isolée.

Cet accumulateur est particulièrement bien constitué pour les charges à potentiel constant, qu'il supporte d'une façon suivie sans trop de détérioration.

Les constantes de ce type peuvent se résumer ainsi :

PLAQUES POSITIVES

Nombre de positives.....	2
Longueur.....	200 ^{mm}
Largeur.....	180
Épaisseur.....	8
Nombre de rainures par centimètre.....	10
Profondeur des rainures.....	3 ^{mm} ,5
Épaisseur de l'âme.....	1
Section de la queue.....	85 ^{mm} 2
Surface projetée.....	3 ^d 2,6
— apparente.....	7 ,2
— active.....	65 ,6
$\frac{\text{Surface active}}{\text{Surface projetée}} = 18,2^{\text{dm}^2}$ par décim. carré de surface projetée.	
Surface active par décimètre carré de surface apparente.....	9,1 ^{dm} 2
Poids.....	1 ^{kg} ,7

AUTOMOBILES ÉLECTRIQUES.

PLAQUES NÉGATIVES

Nombre des négatives.....	3
Longueur.....	200 ^{mm}
Largeur.....	184
Épaisseur {	
Plaque de milieu.....	7
Plaque d'extrémité.....	5
Écartement des plaques.....	7
Poids des négatives de milieu.....	1 ^{kg} ,858
Poids du cadre.....	1,290
Poids de la matière.....	0,548
Poids des négatives d'extrémité.....	1 ^{kg} ,35
Poids du cadre.....	0,954
Poids de la matière active.....	0,396

BAC

Hauteur.....	295 ^{mm}
Longueur.....	215
Largeur.....	84
Épaisseur.....	6
Densité de l'électrolyte : Fin de charge.....	1,
— Fin de décharge.....	1,17

Les plaques sont maintenues dans des guides en ébonite qui soutiennent les négatives par la partie inférieure et les positives par la partie supérieure.

Les capacités garanties de cet élément sont les suivantes :

Décharge en 1/2 heure.....	23,5 ampères-heures
— 1 heure.....	30 —
— 2 heures.....	41,25 —
— 3 heures.....	55 —
— 5 heures.....	60 —

Accumulateur Tudor. — La plaque positive est une plaque type Planté en plomb doux, obtenue par fonderie ; elle est divisée dans le sens horizontal et sur les deux faces par 140 rainures d'une profondeur d'environ 3^{mm},5 et laissant entre elles une âme d'environ 1 millimètre. Les lamelles limitant les rainures ont, comme longueur, toute la largeur de la plaque, soit 16 centimètres ; elles sont divisées verti-

calement en trois parties égales par deux cloisons de 1 millimètre d'épaisseur, les extrémités étant limitées par les côtés latéraux de la plaque venus de fonderie en même temps qu'elle.

Chacun des trois compartiments est sectionné, par 4 cloisons de 0^{mm},5, en cinq parties ayant environ 1 centimètre de longueur; la plaque est donc, en résumé, constituée par une série de 140 bandes, formée par la réunion de 15 lamelles de 1 centimètre (*fig. 10*).

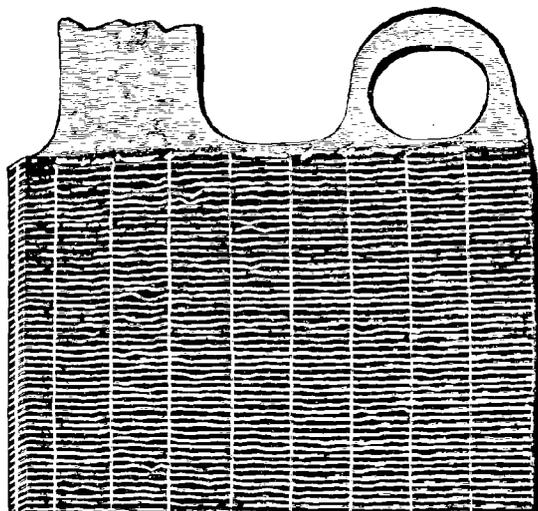


FIG. 10. — Plaque positive Tudor.

Cette plaque est d'une très grande difficulté comme fonderie; la queue de la plaque est fondue en même temps qu'elle ainsi qu'un anneau placé de chaque côté sur le haut, symétriquement à la queue qui se trouve au milieu de la plaque; ces anneaux reçoivent une baguette d'ébonite par laquelle les plaques positives reposent sur les plaques négatives.

La surface active de la plaque est de 24 décimètres carrés, soit pour les cinq plaques constituant l'élément 120 déci-

mètres carrés, d'où une capacité de 1 ampère-heure par décimètre carré de surface active de plaque positive. Si nous rapportons à la surface projetée, qui est de $2^{\text{dm}^2},9$, on a 8,2 ampères-heures par décimètre carré et une surface active de $8,^{\text{dm}^2}2$ par décimètre carré de surface projetée.

La plaque positive Tudor est une de celles qui, jusqu'à présent, ont donné les résultats les plus satisfaisants; le seul reproche qu'on puisse faire à la positive, c'est la facilité relative avec laquelle elle se voile et gauchit quand elle atteint de trop grandes dimensions; dans l'application présente, cet inconvénient est presque annulé par suite des faibles dimensions obligatoires pour les accumulateurs de voitures électriques.

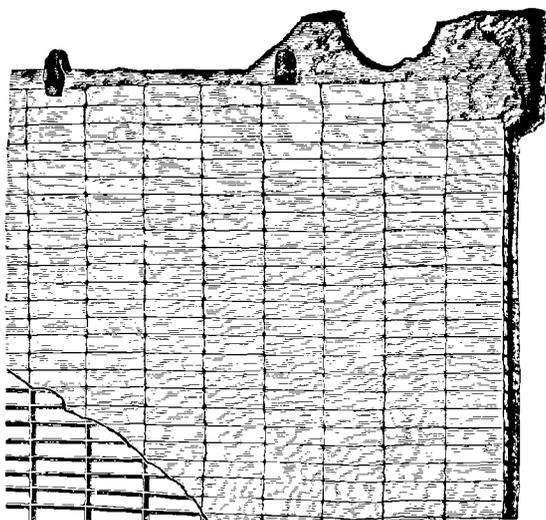


FIG. 11. — Plaque négative Tudor.

La plaque négative est du type Faure (*fig. 11*): elle se compose de 900 cellules de $3^{\text{mm}},0 \times 11^{\text{mm}},0$, disposées de façon que la plus petite dimension soit dans le sens de la hauteur de la plaque; en haut du cadre se trouve une saillie qui est des-

tinée à recevoir des tubes en verre en forme d'U servant à assurer l'écartement des plaques de polarité contraire; en haut et en bas, le cadre porte des deux côtés une saillie qui reçoit la tige de connexion faisant un seul ensemble des plaques négatives. Le rapport du poids du cadre à celui de la matière active est de 0,35.

Le poids de la plaque positive est de 1^{kg},8, soit une capacité de 13,3 ampères-heures par kilogramme de plaque positive. La capacité par kilogramme de plaques est de 7,5 ampères-heures et de 5,58 ampères-heures par kilogramme de poids total, celui-ci étant de 21^{kg},500, réparti en :

Poids du bac	1 ^{kg} ,990
Poids de l'électrolyte	3 ,000
Poids des positives	9 ,000
Poids des négatives	6 ,960
Connexions	0 ,550

La plaque positive a ses deux angles inférieurs enlevés sur une hauteur de 30 millimètres et une longueur de 10 millimètres, afin d'éviter que les plaques positives ne viennent toucher les connexions des plaques négatives.

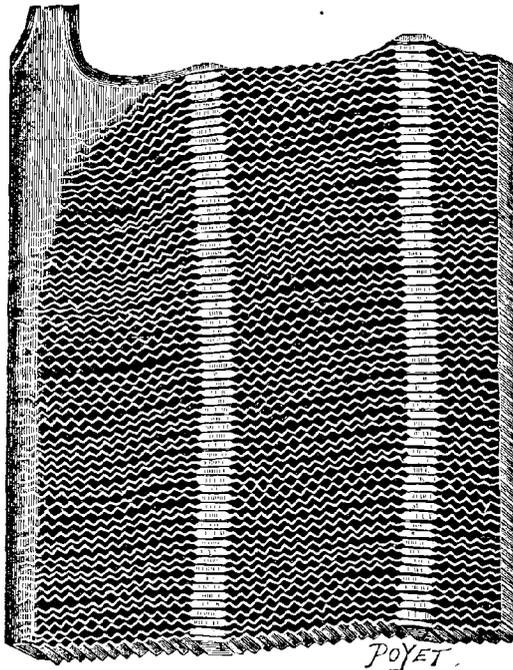
La densité de l'électrolyte est de 1,2 à la fin de la charge et de 1,18 à la fin de la décharge.

Les bacs, au lieu d'être en ébonite unie, portent des saillies sur les faces externes, afin d'éloigner les bacs les uns des autres dans les caisses de groupement.

Accumulateur de la Société pour le travail électrique des métaux. — Les éléments sont composés de 7 plaques positives à formation autogène et 8 plaques négatives à formation hétérogène.

La plaque positive est constituée par des lamelles de plomb doux ondulées, de 0^{mm},5 d'épaisseur et de 8 millimètres de largeur, formant l'épaisseur de la plaque; le nombre des rubans est de 120, superposés les uns au-dessus des autres et réunis entre eux verticalement : 1° par deux tiges de

plomb qui les traversent au tiers de leur longueur; 2° par deux soudures verticales, faites aux extrémités; le tout forme quatre montants, les extrêmes étant plus forts que les deux autres. A l'endroit où les tiges traversent les rubans, ceux-ci sont renforcés de 5/10 à 6/10 de millimètre, par des surépaisseurs en plomb qui assurent en même temps l'écartement des lamelles (*fig. 12*).



g. 12. — Plaque positive de la Société pour le travail électrique des métaux.

La longueur de chaque ruban est de 120 millimètres, produisant, pour la totalité de la plaque, une surface active de 25 décimètres carrés.

La hauteur totale étant de 20^{cm},2 et la largeur de 12^{cm},2 donnent une surface projetée de 2^{dm}2,5 et une surface apparente de 5 décimètres. Le rapport entre la surface active et

la surface projetée est donc de 10 ; avec la surface apparente, c'est-à-dire la surface des deux côtés de la plaque, le rapport est de 5.

Pour la décharge en cinq heures, avec une capacité de 120 ampères-heures, la capacité pour cet élément, dont la surface active totale mesure 175 décimètres carrés pour l'électrode positive, est de 0,60 ampère-heure par décimètre carré de surface active de plaque positive et de 6,8 ampères-heures par décimètre carré de surface projetée.

Le poids de la plaque est de 1^{kg},11, dont 0,15 pour les montants.

La plaque négative est au chlorure de plomb, procédé de fabrication qui a donné jusqu'à présent les meilleures négatives ; le chlorure de plomb est fondu en pastilles autour desquelles on coule le cadre ; ces plaques sont transformées en plomb spongieux en constituant avec des lames de zinc des couples zinc-chlorure de plomb.

Le quadrillage est en plomb antimonié, afin de rendre son attaque aussi réduite que possible (*fig.* 13) ; son poids est de 550 grammes ; ses dimensions sont les mêmes que celles de la plaque positive, sauf l'épaisseur, qui n'est que de 4 millimètres ; il est divisé en deux parties égales dans le sens de la hauteur, et chacun de ses compartiments est partagé en quatre cases de 56 millimètres de longueur sur 50 millimètres de largeur. Le rapport du poids du cadre à celui de la matière active est de 1.

Pour assurer une meilleure répartition du courant chaque pastille est divisée en trois par des tiges de plomb antimonié qui, placées en regard de chaque côté de la plaque, sont rivées entre elles. Afin de permettre la circulation du liquide et le dégagement des gaz, chaque pastille est percée de 9 trous. Le poids de la matière active est égal à celui du cadre.

Le bac est en ébonite ; il porte sur le fond des tasseaux de la même matière sur lesquels viennent reposer des

plaques, qui sont séparées entre elles par des feuilles d'ébénite ondulées et perforées.

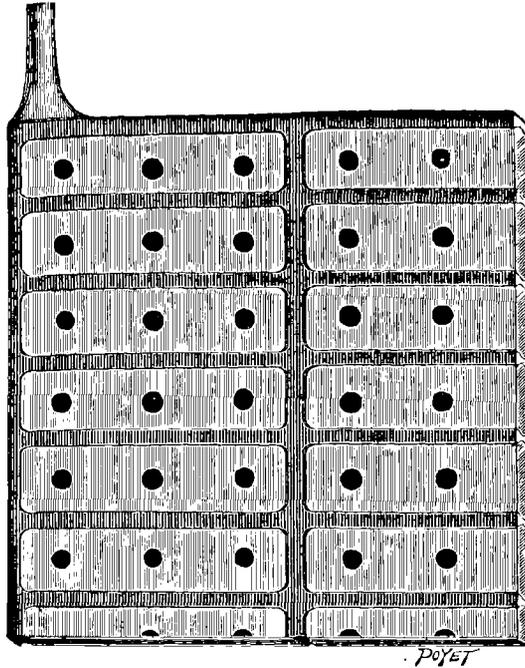


FIG. 13.— Plaque négative de la Société pour le travail électrique des métaux.

L'électrolyte est de l'acide sulfurique d'une densité de 1,22 à la fin de la charge; à la fin de la décharge, cette densité tombe à 1,16; le poids de l'électrolyte est de 4,9 kilogrammes avec un volume de $3^{\text{dm}^3},7$. Ce poids représente environ le quart du poids total.

L'énergie spécifique est de 14,7 watts-heures par kilogramme de poids total.

REMARQUE. — Tels sont actuellement les différents types d'accumulateurs à formation Planté, employés dans la traction électrique; les uns, comme le Majert et le Tudor, sont particulièrement solides relativement aux autres; on devra

les choisir de préférence là où les courants de charge et de décharge sont élevés; les autres conviendront pour les régimes moins durs des voitures à deux ou quatre places, où il est important que la batterie prenne le moins de poids possible, comparé au poids du véhicule en ordre de marche.

II. Accumulateurs à positives et négatives Faure.

— *Accumulateur Faure-Sellon-Volckmar (Walls et C^{ie})*. — Cet accumulateur est constitué par un grillage en plomb antimonié très robuste, et divisé en un grand nombre de petites cellules carrées; une âme assez épaisse est ménagée au milieu de la plaque; de place en place des trous sont ménagés, pour permettre la circulation du liquide.

La négative est un quadrillage ajouré dont les barrettes sont plus épaisses au centre qu'aux extrémités, afin de mieux maintenir la pastille.

Voici les principales caractéristiques de ce type, pour un élément à 23 plaques :

Nombre des positives.....	11
— des négatives.....	12
Hauteur des plaques en millimètres.....	145
Largeur — —.....	145
Surface en décimètres carrés.....	4 ^{kg} ,2
Énergie spécifique en watts-heures par kilogramme d'élément.....	19 ,8
Poids de la positive.....	0 ^{kg} ,4
— de la négative.....	0 ,650
— des électrodes.....	12 ,2
— d'un élément complet.....	15 ,95

Les éléments de l'Electrical power storage C^o, qui exploite es brevets Faure et King, différant peu de ceux-ci, nous n'en parlerons pas.

Accumulateur Fulmen. — Cet accumulateur est un des plus anciens parmi ceux qui tentèrent, les premiers, la traction des voitures automobiles; ce que l'on y cherche surtout c'est une grande légèreté; là où ses concurrents fournissent 5 à 6 ampères-heures par kilogramme de poids total, lui four-

nit 13 ampères-heures ; mais naturellement sa solidité mécanique est moins grande et les frais d'entretien seraient plus élevés avec lui qu'avec des types comme Tudor, Blot ou Majert.

Le prix d'entretien journalier d'une batterie de quarante-quatre éléments Fulmen ressort d'après les documents de la Société :

à 3 ^f ,90	pour le type	B-13
4 ^f ,40	—	B-14
4 ^f ,75	—	B-17
5 ^f ,90	—	B-21, etc.

Les plaques ont 4 millimètres d'épaisseur pour les deux pôles.

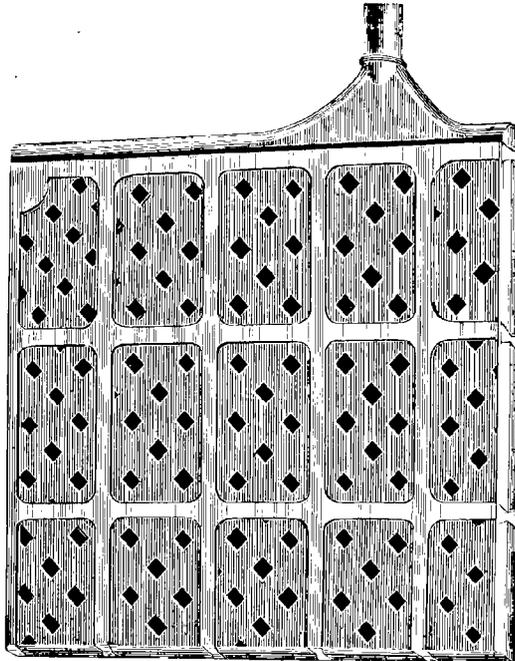
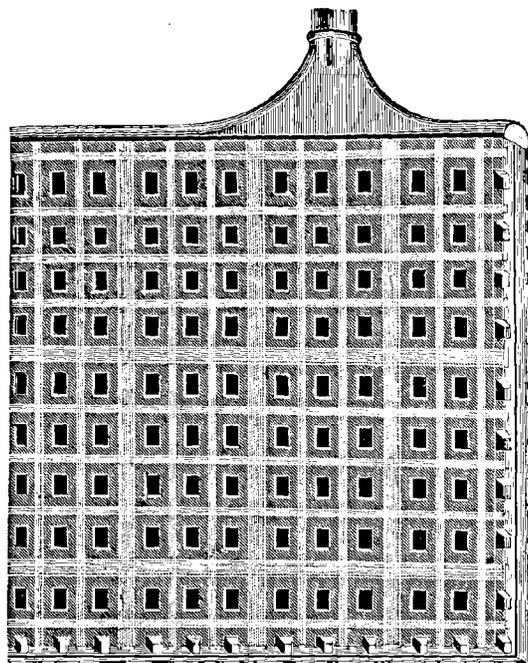


FIG. 14. — Plaque positive Fulmen.

Le cadre de la plaque positive est en deux parties se

superposant, et présente des divisions en rectangles de $25^{mm},5 \times 16^{mm},5$; les séparations entre les différentes alvéoles sont constituées par des tiges en plomb antimonié, du reste comme tout le cadre dont la section est en forme de trapèze; lorsqu'on fait l'empâtage, on place d'abord un des grillages avec la petite base placée en haut et, après avoir mis la pâte, on place la seconde grille, la petite base en bas, de façon à former un creux emprisonnant la pastille (*fig. 14*).

Le nombre des pastilles est de 30 par plaque; chaque



ROYET

FIG. 13. — Plaque négative Fulmen.

pastille est percée de 8 trous; les séparations ont $2^{mm},5$ de largeur à la grande base et 3 millimètres pour le cadre extérieur.

Pour la négative (*fig. 15*), la division est la même, sauf que les points de croisement de deux barrettes sont à angle droit, sans aucun renforcement, et que, de plus, chaque pastille est divisée, en douze parties égales, par une série de petites cloisons de 1/2 millimètre d'épaisseur et placées, 4 dans le sens de la largeur, et 3 dans le sens de la longueur de la pastille; ce quadrillage ne pénètre pas jusqu'au centre de la plaque, il forme comme un filet pour empêcher la pâte de partir. Le poids de la plaque positive, est de 0^{kg},445 pour les dimensions de 18 centimètres en hauteur sur 10 centimètres de largeur et 0,4 centimètres d'épaisseur. Dans les 445 grammes que pèse la plaque positive, la matière active entre pour 285 grammes, de même dans la négative, qui pèse 0^{kg},44, dont 0^{kg},26 pour la matière active. Le rapport du poids du cadre à celui de la matière active est de 0,56 pour la positive et 0,69 pour la négative.

Les plaques reposent, par l'intermédiaire de caoutchouc souple, sur des taquets en ébonite situés sur le fond du bac; elles sont maintenues en haut par deux barres de connexion, sur lesquelles viennent se souder des bornes qui traversent le couvercle par des bouchons de caoutchouc assurant une assez bonne étanchéité.

L'électrolyte, qui occupe 1^{dm}3,8 a une densité de 1,26 en fin de charge et 1,16 en fin de décharge.

Les éléments Fulmen, applicables à la traction, sont les types ci-dessous, dont nous donnons les constantes, le nombre en tête des colonnes indiquant le nombre de plaques :

	B 13	B 15	B 17	B 21
Dimensions {	Hauteur en millimètres....	250	250	250
	Longueur.....	113	129	146
	Largeur.....	112	112	112
Poids des plaques en kilogrammes.....	5,6	6,4	7,3	9
Poids total.....	8,1	9,3	10,5	13,0
Décharge normale.....	5 h.	5 h.	5 h.	5 h.
Différence de potentiel moyenne à la décharge en volts.....	4,9	4,9	4,9	4,9

	B 13	B 15	B 17	B 21
Capacité en ampères-heures :				
1° Par kilogramme d'électrodes.....	18,6	18,6	18,6	18,6
2° — d'élément.....	13	13	13	13
3° Par élément.....	104	116,6	134,2	166,4
Énergie spécifique par kilogramme d'élément.....	25 watts-heures.			

Dans la fin du chapitre, nous verrons que, malgré sa légèreté, l'accumulateur Fulmen s'est tiré à son honneur du concours d'accumulateurs organisé par l'Automobile-Club de France en 1899. On a vu d'autre part (chap. 1^{er}, p. 12) les résultats obtenus avec lui par les fiacres Jeantaud

Accumulateur de la Société pour le travail électrique des métaux. — La Société pour le travail électrique des métaux fabrique depuis quelque temps des accumulateurs extra-légers, destinés à la traction automobile.

Les plaques des électrodes sont constituées par des quadrillages très légers en plomb antimonié, garnis de matière active par des procédés tout nouveaux qui permettent d'obtenir pour cette matière une très grande capacité, tout en la retenant bien dans les quadrillages.

Ces plaques contiennent, en poids, environ 65 0/0 de matière active.

L'énergie spécifique par kilogramme d'électrodes atteint les chiffres suivants :

48 watts-heures au régime de 6 watts par kilogramme			
45	—	7,5	—
40	—	10	—

Ce qui correspond à une capacité spécifique de :

Ampères- heures			Ampères par kilogramme
25,2 par kilogramme d'électrodes au régime de 3,1			
23,6	—	—	4
21	—	—	5,2

Accumulateur B. G. S. — Cet accumulateur diffère excessivement peu du Fulmen, dont il dérive comme idée générale. Construit par la Société des voitures élec-

triques et accumulateurs B. G. S. (Brevets Bouquet, Garcin et Schivre), pour ses voitures électriques de luxe, il a été fait dans le but de réunir, sous le plus faible poids, la plus grande capacité possible, afin de pouvoir couvrir de longs parcours.

Le quadrillage en plomb antimonié est composé de deux pièces, assemblées comme dans le Fulmen; seulement les pastilles, au lieu d'être rectangulaires, sont en forme de losange. La pâte diffère un peu, quant à la composition première, une petite quantité de sulfate alcalin étant introduite pour augmenter la porosité. Ces plaques sont montées dans des bacs en celluloïd et soudées à la soudure autogène; une queue, soudée au milieu de la barrette de connexion, traverse le couvercle dans un bouchon de caoutchouc. On ne saurait trop s'élever contre l'emploi du celluloïd, comme matière première des bacs.

Cet accumulateur peut rentrer dans la catégorie des extra-légers. Il donne le cheval-heure, sous un poids de 26 kilos alors que le Fulmen le donne avec 29^{kg},1, au même régime de cinq heures.

Par rapport au volume, le B. G. S. est moins encombrant pour le même poids, sa densité générale étant de 2,58, alors que celle du Fulmen est de 2,35.

Les principales caractéristiques de ces éléments sont les suivantes :

Constantes	Type					
	V ₁₁	V ₁₃	V ₁₅	V ₁₇	V ₁₉	
Nombre de positives.....	5	6	7	8	9	
— de négatives.....	6	7	8	9	10	
Dimensions en millimètres {	Hauteur... 265	265	265	265	265	
		Longueur.. 79	93	107	121	135
		Largeur... 110	110	110	110	110
Poids des plaques en kilogrammes.....	4,05	4,8	5,5	6,28	7,02	
Poids total de l'élément.....	5,9	6,95	8,05	9,1	10,18	
Capacité en 5 heures en ampères-heures.....	82	98	112	115	145	

Constantes	Types				
	V11	V13	V15	V17	V19
Capacité par kilogramme de plaques.....	20,24	20,34	20,25	20,24	20,24
Puissance en watts par élément.....	32	37,5	43,3	49	54,6
Énergie disponible en watts-heures par élément.....	159,9	191,1	218,4	243,75	282,7
Énergie spécifique par kilogramme d'élément.....	27,9 watts-heures.				

Accumulateur Phénix. — Cet accumulateur diffère essentiellement par sa constitution de ceux décrits jusqu'à pré-

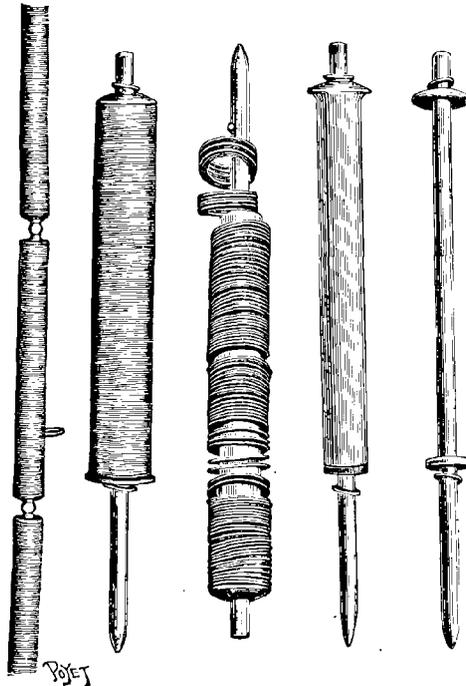


FIG. 16. — Électrodes élémentaires de l'accumulateur Phénix.

sent; au lieu d'être constitué par un certain nombre de plaques de polarités contraires, il est formé par une série

d'électrodes élémentaires très petites et de forme cylindrique; quelle que soit la puissance d'un élément, il est toujours composé avec les mêmes électrodes mais celles-ci sont en nombre variable et ajoutées les unes aux autres, soit qu'on en montre en quantité plusieurs groupes soit qu'on sonde ces groupes par leurs extrémités (*fig. 16*).

Le modèle le plus généralement employé pour la traction comporte des cylindres ou crayons élémentaires de 7 centimètres de longueur, réunis par 6 à la suite l'un de l'autre; 90 électrodes ainsi composées forment le pôle positif de l'accumulateur, 90 autres semblables le pôle négatif.

Chaque crayon est constitué par une tige de plomb antimonié à 20/0, de 2 millimètres de diamètre, portant, écartés de 7 centimètres, deux disques en plomb antimonié venus de fonderie avec la tige. La tige totale a 8 centimètres, dont 5 millimètres de chaque côté des épaulements; autour de cette âme on empâte l'oxyde de plomb destiné à devenir, après la formation, soit du peroxyde de plomb, soit du plomb réduit. Cet empâtage amène le crayon à un diamètre de 6 millimètres. Afin de maintenir la matière active autour de la tige et de réduire ses chutes au minimum possible, on enfile avec le crayon une série de rondelles d'ébonite de 0^{mm},3 d'épaisseur et de 0^{mm},1 de hauteur, ce qui donne à l'électrode terminée l'aspect d'une pile de petits disques d'ébonite, masquant absolument la vue de la matière active; grâce à ce fait que l'épaulement inférieur de la tige de plomb antimonié est un peu plus large que celui des rondelles, celles-ci ne peuvent tomber.

Chaque électrode élémentaire pèse 12 grammes dont 4 grammes pour le support et 8 grammes de matière active. Le rapport entre ces deux derniers poids est de 0,5.

Chaque électrode positive a une capacité spécifique de 18,46 ampères-heures par kilogramme d'électrode positive et 9,23 ampères-heures par kilogramme d'électrodes.

Par suite de la nature spéciale de cet accumulateur, son

montage est assez particulier (*fig. 17*). L'écartement nécessaire entre les tiges positives et négatives est assuré par deux plateaux en ébonite, percés de trous disposés en quinconces; dans un de ces plateaux s'engage la partie inférieure des crayons, dans l'autre leur extrémité supérieure, les crayons positifs et négatifs étant alternés. On réunit tous les négatifs par une feuille de plomb antimonié, disposée parallèlement à la plaque d'ébonite supérieure, et percée d'autant de trous de 2 millimètres qu'il y a d'électrodes négatives; dans ces trous viennent passer les âmes de ces électrodes, qui sont fixées à la plaque par une goutte de soudure; cette première plaque de plomb antimonié porte en outre, au-dessus de chaque crayon positif, un trou plus large que les autres, dans lequel passe chaque tige; celles-ci sont réunies ensemble, de la même façon que les négatives, par une plaque placée 1 centimètre en dessus.

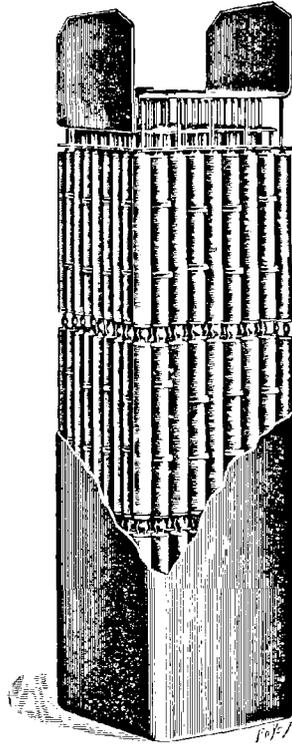


FIG. 17. — Élément Phénix.

La densité de l'acide est de 1,27 à la fin de la charge, et 1,22 à la fin de la décharge.

Le bac est en ébonite et est clos par une couche de paraffine percée d'un trou pour le dégagement des gaz; cette partie paraît la moins bonne du montage.

Le poids total de l'élément est de 18^{kg},4.

D'après des essais qui ont été faits au Laboratoire central d'électricité sur un élément pesant 16^{kg},75, dont 9 kilo-

grammes d'électrodes, la capacité limite à un régime de décharge de six heures a été de 16,65 ampères-heures par kilogramme d'électrodes et 8,9 ampères-heures par kilogramme de poids total.

Ces essais, qui ont porté sur 90 décharges à des régimes variés, dont 15 en une heure, ont été faits avec de l'acide à 31° B. en fin de charge; après la quatre-vingt-dixième décharge, les tiges ne présentaient aucun gondolement, et la matière active positive adhérait toujours bien à l'âme; quant à la matière négative, elle présentait seulement quelques fentes dont les plus importantes ont été remarquées pour les tiges qui se trouvaient à la périphérie du bloc d'électrodes:

Le résidu trouvé au fond du bac représentait 1,02 0/0 du poids total des tiges empâtées.

Ce type d'accumulateur, qui est celui qui a subi les opérations du concours des accumulateurs, a été remplacé maintenant par un autre modèle, qui est formé par une série d'électrodes bipolaires cylindriques, qui ont environ 35 millimètres de diamètre et 230 millimètres de hauteur.

Cet ensemble cylindrique contient les deux pôles; ce n'est donc pas, à, proprement parler une électrode dans le sens exactement scientifique du mot, puisqu'il renferme deux électrodes, l'une positive, l'autre négative: c'est un accumulateur complet ou une fraction d'accumulateur, selon que l'élément considéré est constitué par un ou plusieurs de ces cylindres.

Au centre du cylindre est la matière active positive, contenue dans un vase poreux; ce vase est entouré de la matière active négative, maintenue par une enveloppe en plomb antimonié perforé. Le tout forme un ensemble d'un aspect à première vue robuste et tout à fait différent de celui que présentent les plaques ordinaires.

Ces électrodes bipolaires sont naturellement verticales dans

les accumulateurs qu'elles constituent; chacune d'elles pèse environ 0^{kg},700 et donne, une fois chargée, dans de l'acide à 30° B., un débit de 2 ampères pendant cinq à six heures, soit par électrode 10 ampères-heures utilisables, la décharge étant arrêtée à 1,80 volt : cela correspond à une capacité utilisable de 14 ampères-heures par kilogramme d'électrodes à un régime de 3 ampères au kilogramme, pendant près de cinq heures.

Au régime de 1 ampère par kilogramme d'électrodes, on arrive couramment à une capacité de 18 à 20 ampères-heures utilisables, toujours par kilogramme d'électrodes.

Le but de la matière poreuse est d'empêcher tout court-circuit entre la positive et la négative; mais la matière qui la constitue augmente un peu trop la résistance intérieure de l'élément, lui donnant, par suite, une mauvaise caractéristique; ce défaut est très préjudiciable au point de vue automobile. Le montage est le même que pour l'ancien type précédemment décrit. Cet élément n'a pas mieux réussi que le premier et la société Phénix a dû liquider.

Accumulateur Pope and Son. — La constitution de l'électrode positive rappelle celle du premier élément Phénix, en ce sens que les plaques sont constituées par une série de neuf crayons ou cylindres; mais ici les électrodes élémentaires sont plus grosses, leur diamètre est de 13 millimètres. Chaque cylindre est formé par une âme en plomb antimonié venue de fonderie, sous l'aspect d'une lame perforée enroulée en spirale; cette âme est empâtée, puis ensuite entourée par un ruban en ébonite, dont la spirale est en sens inverse de celle de l'âme; ce ruban pénètre dans la pâte et l'affleure, ne laissant apercevoir de la matière active que la moitié de sa surface, c'est-à-dire le pas de la spirale du ruban d'ébonite, qui est égal à la largeur de celui-ci.

Les neuf cylindres, ainsi constitués, sont soudés à leur partie supérieure par le prolongement cylindrique de l'âme sur une barre de plomb qu'ils traversent et qui porte la tige de

connexion; à leur partie inférieure, ils sont réunis par une bande de plomb (*fig. 18*).

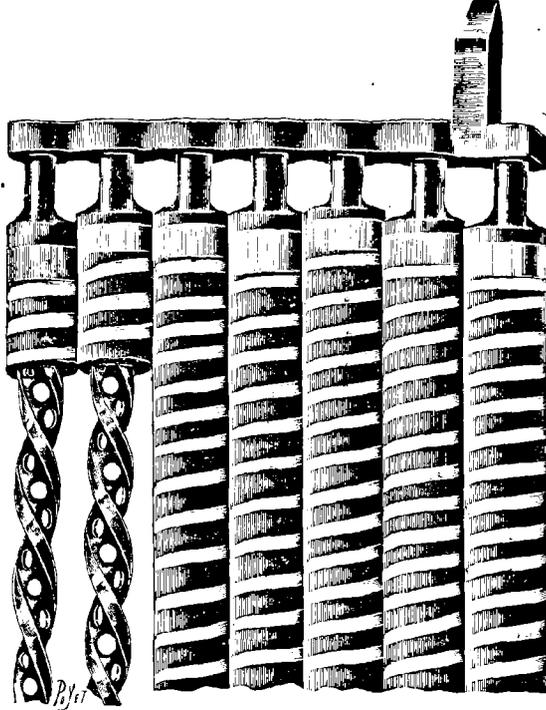


FIG. 18. — Plaque positive Pope and Son.

Les dimensions de la plaque positive ainsi constituée sont de 20 centimètres de hauteur sur 11^{cm},5 de largeur et 1^{cm},3 d'épaisseur.

Le poids est de 1^{kg},12; le nombre de plaques par élément est de huit.

La plaque négative (*fig. 19*) est simplement constituée par un quadrillage en plomb antimonié, dont les barres ont une section extrêmement faible; le nombre des divisions de ce cadre est de 14 dans le sens de la largeur et de 3 dans celui de la hauteur, soit 42 rectangles ayant 50 millimètres sur

6 millimètres ; une fois l'empâtage terminé, on n'aperçoit plus que le cadre et les trois barrettes divisant la plaque longitudinalement. L'épaisseur de l'électrode est de 0sm,5 ; son poids est de 0^{kg},6 dont 0,25 pour le cadre.

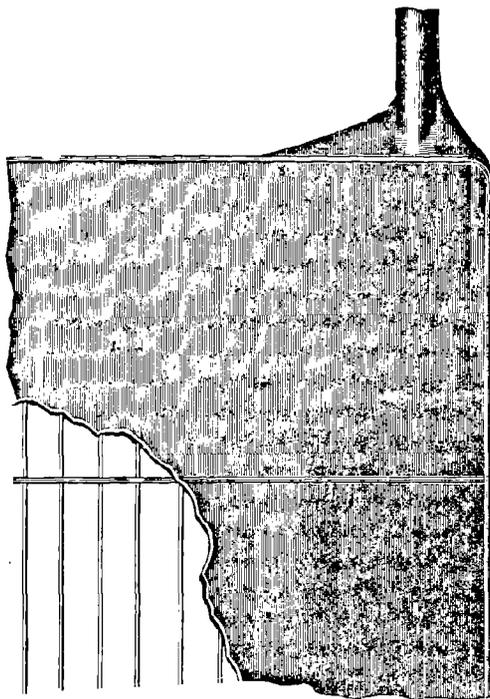


FIG. 49. — Plaque négative Pope and Son.

Les plaques des deux pôles sont entourées par une gaine en ébonite perforée, qui assure l'écartement ; le bac est en ébonite et fermé par un couvercle en bois à emboîtement, ce qui nous semble un peu insuffisant.

La densité de l'acide varie pendant la décharge de 1,28 à 1,24.

Le poids total de l'élément est de 20 kilogrammes don-

nant 6 ampères-heures par kilogramme de poids total au régime de cinq heures.

Accumulateur M. Pisca. — Cet accumulateur en lui-même ne présente rien de particulier; au lieu de s'attacher comme d'autres à faire un élément léger, Pisca a cherché à faire robuste afin d'obtenir plus de durée.

Pour la décharge en trois heures, la capacité est de 8,5 ampères-heures par kilogramme d'électrodes et de 6,4 ampères-heures par kilogramme d'élément. Une batterie de 44 éléments, d'une capacité de 120 ampères-heures, pèse 792 kilogrammes. Les éléments d'une telle capacité comportent 11 plaques; ils sont renfermés dans un bac en ébonite, dont les dimensions sont :

Longueur en millimètres.....	220
Largeur.....	110
Hauteur.....	335

La différence de potentiel moyenne est de 1,9 volt. La puissance normale est de 5,3 watts par kilogramme de plaques et 4 watts par kilogramme de poids total; ce qui donne une énergie de 16 watts-heures par kilogramme de plaques et 12 watts-heures par kilogramme d'élément.

Accumulateur Lagarde. — La positive et la négative sont identiquement composées d'un quadrillage en plomb antimonié à 10 0/0 (*fig.* 20 et 21).

La section des croisillons est de 1 millimètre; les carrés formés ont 8 millimètres de côté; il y a au total 352 pastilles.

Toutes les plaques positives et négatives forment un bloc; les positives sont placées dans un sac en fil de caoutchouc qui les isole des négatives, lesquelles sont absolument nues.

Toutes les queues des plaques de chaque électrode sont soudées entre elles, et la barre qui les réunit porte une borne en plomb antimonié munie d'une pièce de cuivre faisant ressort; des capuchons en cuivre, vissés dans des pièces en ébonite qui les protègent contre les projections

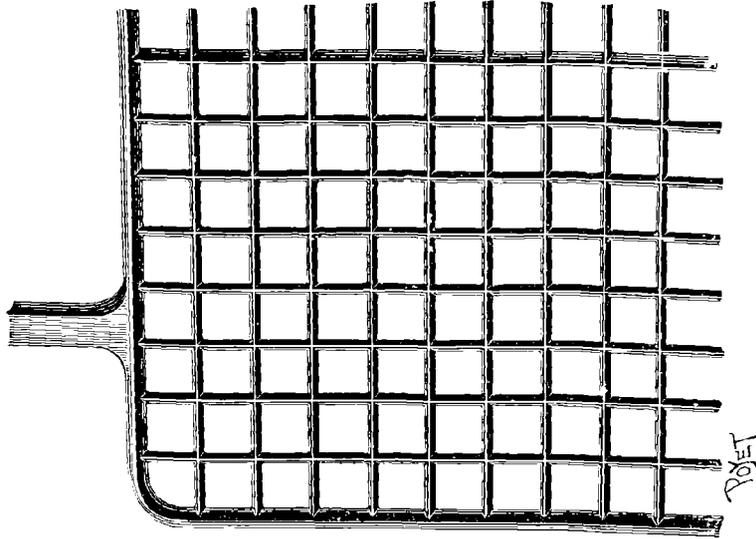


FIG. 21. — Grillage de la plaque Lagarde.

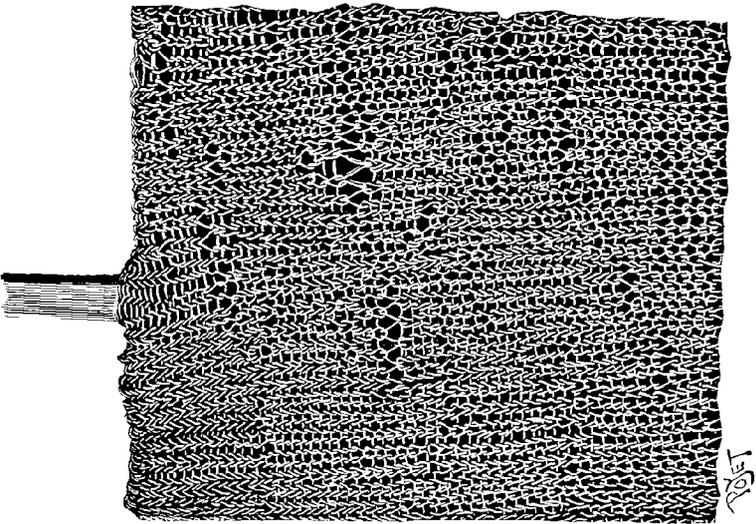


FIG. 20. — Plaque positive Lagarde.

ensemble est ensuite perforé d'un très grand nombre de trous placés en chicane des deux côtés et dont les bavures sont refoulées à l'intérieur.

Pour une plaque de $160^{\text{mm}} \times 100^{\text{mm}}$, le nombre de trous est de 1040 par face.

Une particularité de cet accumulateur peut être immédiatement condamnée : c'est l'emploi de celluloid ondulé pour séparer les plaques ; en principe, ceci doit toujours être évité, le celluloid se détériorant rapidement en présence des positives, ainsi que cela a été maintes fois démontré.

Le poids total d'un élément est de 12 kilogrammes, avec une capacité de 10 ampères-heures par kilogramme de poids total.

Le poids des positives est de $0^{\text{kg}},890$ et celui des négatives de $0^{\text{kg}},450$.

Accumulateur Heinz. — Ce type est le plus nouveau qui existe actuellement, mais il ne diffère pas des autres quant à sa constitution première ; la plaque positive est constituée par un grillage en plomb antimonié à 8 0/0 en une seule pièce, dont les alvéoles ont respectivement :

Hauteur.....	30 millimètres
Largeur.....	20 —

La plaque a les dimensions suivantes :

Hauteur.....	210 millimètres
Largeur.....	98 —
Épaisseur.....	4,3 —

L'empâtage est fait à l'aide d'un mélange à parties égales de minium et de litharge, qui est comprimé mécaniquement dans le grillage et en même temps perforé afin de permettre le bon dégagement des gaz. Il rentre, par cette opération, dans un grillage de 185 grammes, un poids de 345 grammes de mélange d'oxydes ; soit un rapport de 65 0/0. Au sortir des bacs de formation, la plaque séchée est comprimée for-

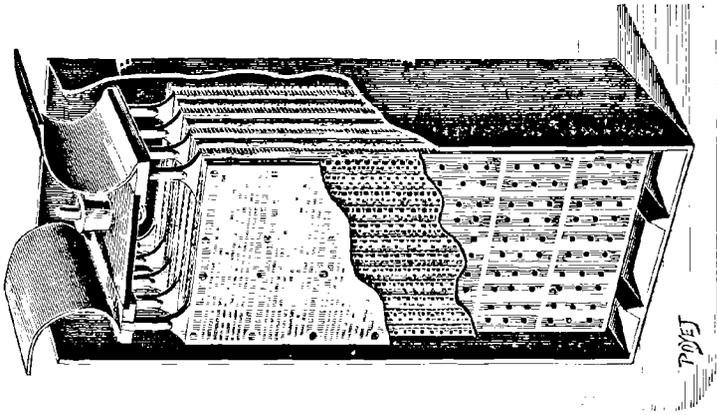


Fig. 23.
Montage de l'élément Heintz.

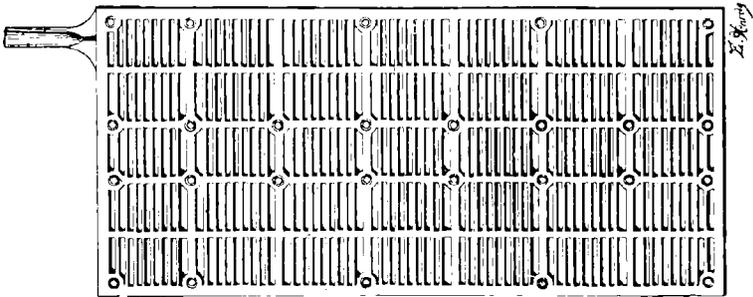
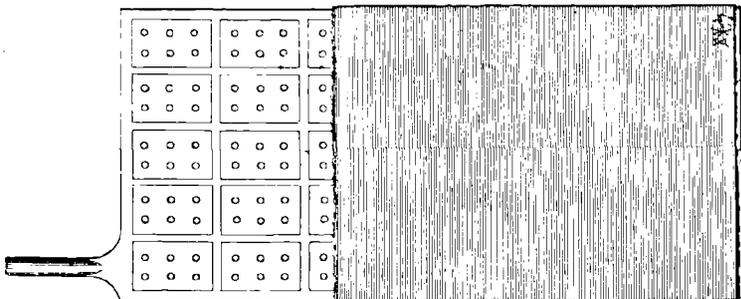


Fig. 22.
Grillage de la plaque négative Heintz.



Plaque positive Heintz.

tement avec de la corde d'amiante caoutchoutée, de façon à bien maintenir la pâte (*fig. 22*).

La négative, comme dans les plaques Fulmen et B. G. S., est constituée par un cadre en deux pièces pénétrant l'une dans l'autre par des tenons qui sont soudés et rivés. Le grillage est formé par une série de pastilles subdivisées par des petits barreaux à section triangulaire très rapprochés, afin d'augmenter la solidité (*fig. 23*).

Le malaxage est fait avec de la litharge additionnée d'une solution de sulfate de magnésie ; par l'évaporation, ce sulfate de magnésie reste dans la plaque, pour se dissoudre à la formation et augmenter ainsi la porosité des plaques.

Le support pèse 300 grammes et la litharge 500 grammes.

Avec des éléments tels, le nombre minimum garanti de charges et décharges est de 150.

Le bac en ébonite a les dimensions suivantes :

Hauteur (connexions comprises).....	270 millimètres
Longueur.....	486 —
Largeur.....	110 —

Les plaques reposent sur des tasseaux situés sur le fond du bac.

Un élément normal de traction automobile a les constantes suivantes :

Nombre des plaques.....	19	
Dimensions en millimètres	hauteur.....	210
	longueur.....	100
	épaisseur positive.....	4
	— négative.....	6
	— négative extrême....	3
Poids des positives en kilogrammes.....	4,77	
— des négatives.....	7,200	
— des électrodes.....	11,97	
— de l'élément.....	15,90	
	Amp.-heures -	
Capacité en	2 heures.....	155
	4 —	172
	6 —	200
	8 —	210

Capacité spécifique :

		Amp.-heures	Par kilog. de poids total
En 2 heures par kilogramme de plaque.....		12,9	9,75
4	— — — 14,3	10,8
6	— — — 16,6	12,5
8	— — — 17,5	13,2

Accumulateurs mixtes. — *Accumulateur Pescetto.* — Les deux électrodes sont à oxyde rapporté. Les supports de la matière active sont assez complexes et entrent pour une bonne part dans le poids total des plaques.

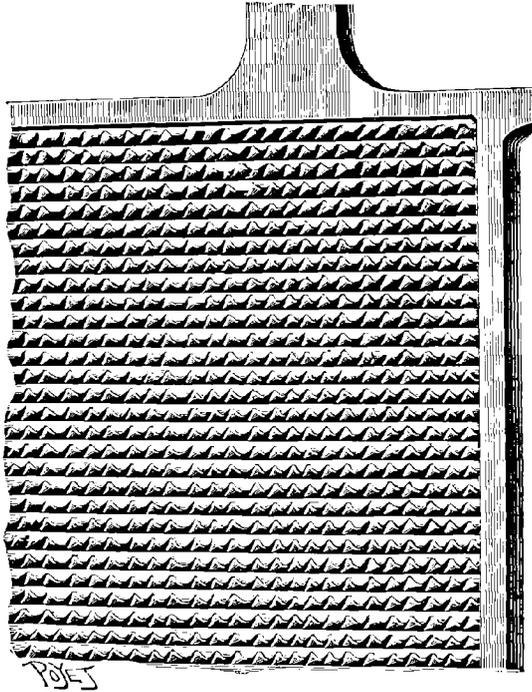


FIG. 24. — Plaque positive Pescetto.

La plaque positive est constituée par un cadre de 27 millimètres carrés de section, à l'intérieur duquel se trouve une plaque pleine, dont les deux côtés présentent des saillies lon-

gitudinales ou cloisons, entre lesquelles sont d'autres saillies en angle, mais à section horizontale rectangulaire ; une fois la dépouille de fonderie faite, on rabat les saillies de façon à obtenir des griffes entre les deux lamelles longitudinales, dont l'écartement est de 2 millimètres sur environ 2 millimètres de profondeur (*fig. 24*).

L'épaisseur de la plaque est de 6 millimètres ; le cadre a 4 millimètres de largeur ; le nombre des augets est de 49, contenant chacun 42 griffes ; le côté supérieur du cadre est terminé aux deux extrémités par des oreilles débordant d'environ 12 millimètres les côtés de la plaque. L'électrode positive est formée par la réunion de 7 plaques, dont les dimensions sont :

Hauteur.....	15 ^{cm} ,8
Largeur.....	14 ,2
Épaisseur.....	0 ,6

Le poids de chaque plaque est de 8^{kg},96, dans lequel le cadre entre pour 0^{kg},7 ; le rapport entre le cadre et la matière active est donc relativement faible. La capacité par kilogramme de plaque positive est de 17,6 ampères-heures.

La plaque négative a son support constitué par un grillage rectangulaire dont les alvéoles forment des carrés de 5^{mm} \times 5^{mm} ; les barrettes limitant ces ouvertures ont une section en losange de façon que, pénétrant dans les pastilles, elles les maintiennent encastrées ; en plus, au sortir du moule, les grillages sont façonnés de manière à relever, à l'angle des alvéoles, une griffe en plomb suivant l'arête de l'intersection des barrettes verticales et horizontales. L'épaisseur de la plaque est de 5^{mm},5 ; lorsqu'elle est empâtée, la matière active affleure au niveau du cadre du support ; les griffes sont alors rabattues sur les pastilles, de sorte que celles-ci sont maintenues autant que possible (*fig. 25*).

Le poids d'une négative est de 0^{kg},9, dont 0,64 pour le cadre.

Les bacs en ébonite, au lieu d'être à parois entièrement planes, sont plus larges en haut, pendant une longueur de 7 centimètres à partir du bord supérieur, formant ainsi un rebord de 12 à 15 millimètres, sur lequel les plaques viennent

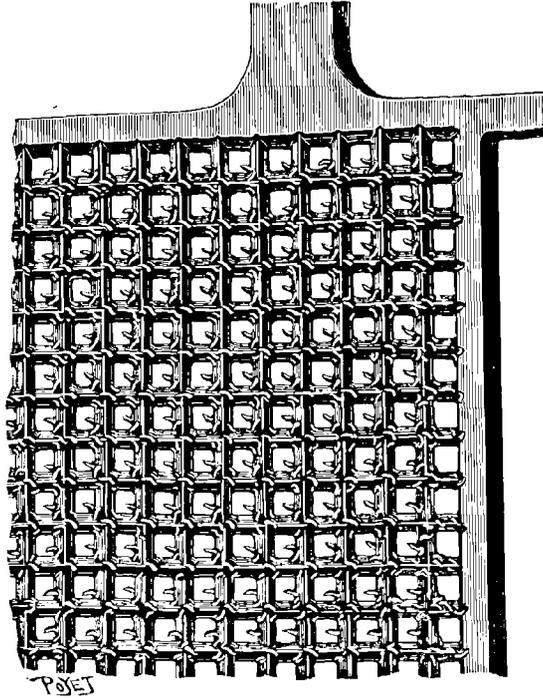


FIG. 25. — Plaque négative Pescetto (Grillage).

reposer par leurs oreilles ; le couvercle s'emboîte dans le bac, et celui-ci repose par son rebord supérieur sur des cales placées dans les boîtes de groupe et garnies de caoutchouc.

L'électrolyte a une densité de 1,26 à la fin de la charge et de 1,21 à la fin de la décharge avec un volume de 3^{dm^3} ,3.

Accumulateur de la Compagnie générale électrique de Nancy (système Pollak). — Le support des plaques est fait en plomb doux et peut, comme précédemment, après la

chute de la matière active, fonctionner comme plaque Plâtée, puisqu'il se sera préalablement formé.

L'âme de la plaque est constituée par une feuille de plomb; sur ses deux faces, avec un outil, on trace des sillons, en soulevant des copeaux aussi bien dans le sens de la longueur que dans celui de la largeur, tout en ménageant de place en place des bandes non taillées, perpendiculairement à leur longueur, et partageant l'ensemble en 30 rectangles. La plaque est empâtée et laminée de façon à rabattre les pointes formées par le taillage sur la matière active. La queue de connexion est prise à même l'âme de l'électrode (*fig. 26*).

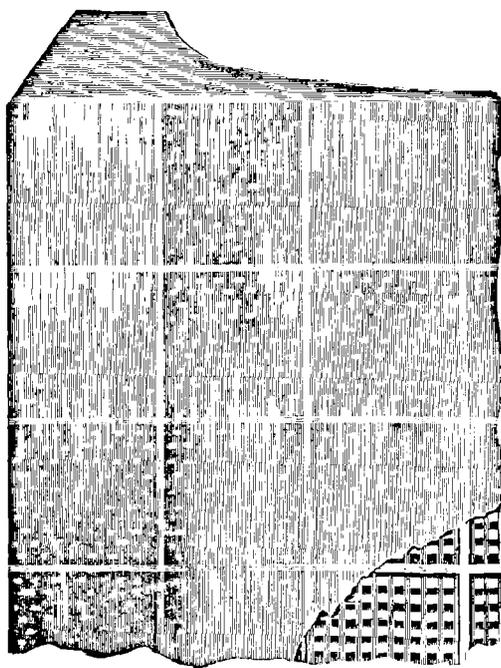


FIG. 26. — Plaque Pollak.

Ces plaques sont faites par bandes de 15 mètres, puis découpées ensuite, avant l'empâtage.

Le nombre des plaques est de 6 positives et 7 négatives. Leurs dimensions sont de 18 centimètres de hauteur sur 17 centimètres de largeur et 0^{cm},5 d'épaisseur. Le poids de chaque plaque, est de 1^{kg},25 pour la positive, dont 1^{kg},15 pour le support, et 1^{kg},15 pour la négative dont 1^{kg},05 pour le support.

Chaque plaque contient donc 0^{kg},1 de matière active.

Les plaques sont isolées les unes des autres par des feuilles d'ébonite perforées dont les nervures croisées maintiennent l'écartement des électrodes.

Les bacs en ébonite présentent, perpendiculairement au sens des plaques et dans les coins, des rainures intérieures dans lesquelles on fait glisser des tasseaux portant au fond du bac, et servant à supporter les plaques; ces tasseaux sont rainés de façon à assurer encore l'écartement; la hauteur des tasseaux est telle que les plaques se trouvent à 4 centimètres du fond.

L'acide sulfurique est à 1,22 correspondant à un poids de 3^{kg},6; à la fin de la décharge, il descend à 1,14.

Le poids total de l'élément est de 22 kilogrammes, dont 15^{kg},55 pour les plaques.

Accumulateur Heinz. — Indépendamment de l'élément que nous avons décrit plus haut, la maison Heinz et C^{ie} construit un accumulateur solide destiné aux tramways ou aux exploitations d'automobiles sur routes (omnibus ou poids lourds), à faibles parcours avec charge sous potentiel constant.

La plaque positive est en plomb fondu sous pression; elle se présente avec une série de lamelles de 3 millimètres de profondeur et une âme de la même épaisseur; l'écartement entre les lamelles est de 0^{mm},8, et leur épaisseur de 0^{mm},9. La plaque est attaquée dans une solution chaude d'acide sulfurique, puis empâtée au minium et formée; quand le peroxyde tombe par l'usage, la plaque a eu le temps de se former en Planté.

La négative est la même que dans l'élément léger et a une épaisseur de 3^{mm},5.

Les dimensions des plaques étant de $300^{\text{mm}} \times 150^{\text{mm}}$ cela donne une surface projetée de $4^{\text{m}^2},5$, avec une surface active d'environ 50 décimètres carrés et un poids de $2^{\text{kg}},8$.

Cet élément, construit spécialement pour les poids lourds, possède une capacité de 4 ampères-heures au kilogramme de poids total au régime de une heure dix minutes.

Résultats donnés par le concours de l'Automobile-Club de France, en 1899. — L'Automobile-Club de France, en 1899, a organisé un concours ayant pour but de connaître quels étaient les types d'accumulateurs capables de supporter le plus longtemps sans aucun entretien un régime analogue à celui qu'ils ont à subir dans les voitures automobiles; le concours portait en outre sur le rendement industriel en énergie des batteries et sur le poids rapporté à la capacité.

Ce concours était en somme insuffisant et son règlement aurait pu être favorablement modifié si on avait fixé la durée du concours à une année par exemple; dans le prochain concours, qui doit avoir lieu en 1901, l'Automobile-Club veut en outre accepter les réparations et l'entretien des batteries afin d'établir le prix de revient du kilowatt-heure sur toute la durée. Il est à craindre que la tâche soit bien lourde, mais il est certain que plusieurs modifications, comme celles relatives à la charge qui sera faite à 2,5 volts constants pour les éléments de plus de 12 kgs, sont une excellente innovation à condition qu'on en tienne compte dans le rendement en énergie.

Les épreuves étaient faites par périodes de six jours avec un jour de repos; le sixième jour, les batteries étaient déchargées en tension, au régime de 24 ampères pendant cinq heures; toute batterie dont la différence de potentiel aux bornes tombait en dessous de 8,5 volts (5 éléments) était mise hors circuit.

Après quatre mises hors circuit la batterie était éliminée,

Le poids de chaque batterie ne devait pas excéder 110 kilogrammes pour 5 éléments ; la seule manipulation permise était le nettoyage et le maintien du degré de l'acide.

La charge, faite au maximum en huit heures, commençait à 30 ampères et se terminait à 15 ampères.

La décharge avait lieu à intensité variable pendant cinq heures, sur un appareil trépidant, suivant le diagramme suivant :

Intensité en ampères	Durée en minutes	Quantité d'électricité	
		Ampères-minutes	Ampères-heures
20	2	40	»
100	0,5	50	»
30	3	90	»
40	2,5	100	»
70	3	210	»
30	5	150	»
20	4	80	»
0	10	0	0
	30	720	12

soit, en une heure, 24 ampères et, en cinq heures, 120 ampères.

Il y avait une décharge par jour pendant cinq jours.

Le concours, commencé le 3 juin, fut terminé le 2 décembre.

Nous extrayons du rapport officiel les renseignements suivants :

Le nombre officiel de charges et de décharges est de 153, réparties sur vingt-six semaines.

La durée totale de ces cent cinquante-trois charges et cent cinquante-trois décharges est de sept cent soixante-cinq heures pour chaque nature d'opération.

26 décharges à courant constant sans trépidations..	130 heures
130 décharges à courant variable avec trépidations..	635 —
	<u>765 heures.</u>

« Pour des raisons diverses, le trépidateur n'a pu fonctionner réellement que cent vingt-deux heures quarante

minutes, ainsi réparties :

Juin.....	0	—	0	—
Juillet.....	16	heures	30	minutes
Août.....	11	—	45	—
Septembre.....	26	—	40	—
Octobre.....	24	—	45	—
Novembre.....	43	—	0	—
	<hr/>			
	122 heures 40 minutes.			

« L'arrêt définitif a eu lieu le 14 novembre ; le rapport de la durée réelle des trépidations à la durée théorique de marche est :

$$\frac{122,66}{635} = 0,19,$$

« soit un peu moins de un cinquième. »

Sur seize batteries mises au concours, huit ont effectué plus de soixante décharges ; celles-là seulement ont été retenues par la commission d'examen et les chiffres s'y rapportant sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Sur les huit batteries négligées, il y en a sept à formation Faure et une à positives Planté ;

Sur les huit ayant fait l'objet du rapport :

Trois étaient à positives Planté ; deux étaient à positives à oxyde, destinées à devenir type Planté par chute de la matière active ; trois étaient à positives Faure.

Ce premier résultat indique déjà que la supériorité des plaques robustes a été ainsi manifestement constatée, puisque les accumulateurs à oxyde qui ont résisté jusqu'au bout étaient aussi lourds que certains éléments à positives Planté mais on doit dire aussi que leur capacité réelle était très supérieure à celle demandée, en particulier pour le Phénix et le Fulmen ; celui-ci très léger, n'a certainement dû son succès qu'à cette dérogation au règlement qui eut dû exiger des concurrents une capacité totale absolument identique.

Le tableau donne les résultats des essais :

Conditions de construction et de fonctionnement des batteries et des éléments.

AU CONCORDS D'ACCUMULATEURS DE L'AUTOMOBILE-CLUB DE FRANCE. — PRINCIPAUX FACTEURS SPÉCIFIQUES.

CONDITIONS de CONSTRUCTION ET DE FONCTIONNEMENT	1	2	3	7	10	11	12	22
	F MÉTAUX	L POLYAK	K TUDOR	T PSBERTO	O BLATT-FULMEN	N FULMEN	H PRÉNIX	S POLE
BATTERIE								
Poids, en kilogrammes :								
Avec caisse de groupement.....	104,0	119,5	125,7	128,0	109,8	76,5	102,0	110,0
Sans	95,5	110,0	107,5	106,0	98,0	67,5	92,0	100,0
Encombrement, en centimètres :								
Longueur.....	75,0	88,0	98,0	115,0	73,0	59,0	64,0	90,0
Largeur.....	21,0	24,0	19,0	22,0	23,0	20,0	15,0	26,0
Hauteur.....	30,0	36,0	34,0	35,0	33,0	33,5	60,0	31,5
Volume, en décimètres cubes.....	47,4	76	63,3	88,5	58,7	39,0	57,6	87,5
Nombre officiel de charges-décharges pendant la vie de la batterie.....	82	82	141	141	135	100	103	135
Nombre de charges réelles.....	82	82	139	141	135	100	103	135
Nombre de décharges réelles.....	71	77	135	138	132	98	102	135
Nombre de décharges :								
Complètes.....	61	62	105	68	112	56	99	132
Partielles.....	10	15	30	60	20	42	3	3
Energie :								
Energie totale absorbée, en kilowatts-heures.....	136,05	133,75	226,65	228,8	210,85	154,7	180,9	220,75
— restituée.....	76,4	79,55	135,85	130,6	143,9	101,9	118,85	155,5
Energie restituée, en kilowatts-heures, pendant décharges complètes.....	66,5	65,8	110,95	75,8	124,0	64,1	116,35	152,55
Energie restituée, en kilowatts-heures, pendant décharges incomplètes.....	9,9	13,75	24,9	54,8	19,9	37,8	2,5	2,95
Energie totale absorbée.....	1,66	4,63	1,607	1,622	1,560	1,547	1,756	1,655
Nombre officiel de charges, en kilowatts-heures.....	0,93	0,97	,964	0,925	1,065	1,019	1,154	1,151
Energie totale restituée, en kilowatts-heures.....								
Nombre officiel de décharges.....								
ÉLÉMENTS								
Poids, en kilogrammes :								
Électrolyte.....	4,5	3,5	3,0	4,0	3,0	2,20	4,80	2,5
Bac.....	1,9	1,51	1,99	2,0	1,125	1,70	1,20	1,27
Plaques.....	12,345	15,60	15,95	14,54	14,90	9,29	12	15,765
Élément prêt à fonctionner.....	19,1	22,0	21,50	21,20	19,60	13,50	18,40	20,0

<i>Dimensions d'encombrement du bac, en centimètres :</i>									
Longueur.....	43,7	44,0	18,5	haut bas	20,5 46,5	19,0	18,0	42,0	20,7
Largeur.....	48,3	48,5	45,5		48,5	43,0	44,3	42,0	43,2
Hauteur.....	29,0	28,5	27,5		26,0	26,0	24,0	57,0	26,5
<i>Volumes du bac, en décimètres cubes.</i>	7,26	7,36	7,90		8,19	6,42	5,16	8,2	7,25
<i>Nombre total de plaques</i>	15	13	11		15	17	21	10,80	17,0
PLAQUES :									
<i>Dimensions, en centimètres :</i>									
Hauteur.....	20,2	48,0	47,8		45,8	20,0	48,3	7	20,0
Largeur.....	43,2	47,0	46,3		44,2	42,5	40,0	0,6	14,5
Épaisseur de la plaque positive (+).....	0,8	0,5	0,8		0,6	0,8	0,4	0,6	1,3
— négative (-).....	0,4	0,5	0,5		0,55	0,4	0,4	0,6	0,3
<i>Poids, en kilogrammes :</i>									
Positive.....	4,440	4,250	4,800		0,960	4,420	0,445	0,012	4,420
Négative.....	0,560	1,130	1,155		0,990	0,600	0,440	0,012	0,600
FACTEURS SPÉCIFIQUES									
<i>Energies spécifiques :</i>									
Energie totale absorbée, en kilowatts-heures.....	1,42	1,216	2,1		2,138	1,952	2,291	1,966	2,207
— Poids total, en kilogrammes.....									
Energie totale restituée, en kilowatts-heures.....	0,8	0,723	1,263		1,232	1,332	1,309	1,291	1,535
— Poids total, en kilogrammes.....									
Energie restituée pendant les décharges complètes, en kw-h.....	0,735	0,60	0,975		0,715	1,263	0,95	1,263	1,53
— Poids total, en kilowatts-heures.....									
Energie totale absorbée, en watts-heures.....	17,3	44,8	44,9		43,3	44,4	22,9	49,0	46,3
— Poids total, en kilogrammes.....									
Energie totale restituée, en watts-heures.....	9,7	8,8	8,9		8,7	9,8	45,0	42,5	41,5
— Poids total, en kilowatts-heures.....									
<i>Rapport à l'énergie moyenne disponible.</i>									
Poids total, en kilogrammes.....	101,2	411,7	410,6		435,3	92,2	65,0	80,0	87,0
Energie moyenne disponible, en kilowatts-heures.....									
Rapporté à l'énergie moyenne disponible pendant les décharges complètes.....	87,4	101,8	100,3		94,5	89,0	59,3	75,4	86,5
<i>Energie moy. disponible aux décharges complètes, en kw-h.</i>									
<i>Rendements en énergie en pour 100 :</i>									
Rendement maximum hebdomadaire.....	76,5	68,5	67,0		67,5	76,0	77,0	73,0	74,0
— mensuel.....	73,0	63,0	66,0		60,5	74,0	76,0	70,0	73,0
Rendement minimum hebdomadaire.....	48,0	42,0	28,0		47,0	31,0	49,0	33,5	62,5
— mensuel.....	36,5	43,0	49,5		48,0	30,0	55,0	51,0	62,5
Rendement moyen.....	56,0	59,5	60,0		57,0	68,0	66,0	66,0	70,0

Étude sur les résultats du concours. — Les essais de ce concours ont été assez durs, au point de vue des décharges à intensité variable, en particulier en ce qui concerne le débit de 100 ampères dont la durée était excessive. En réalité, au lieu de durer trente secondes, cet à-coup était parfois de soixante et soixante-dix secondes ; or un démarrage, quelque dur soit-il, ne dure jamais si longtemps ; quand on suit, sur un ampèremètre, les débits d'une batterie de traction, on voit, au démarrage, une simple oscillation de l'aiguille ; il eût mieux valu faire cette manœuvre quatre fois par demi-heure qu'en un seul débit aussi long.

Il est fâcheux que le trépidateur n'ait pas pu remplir exactement son travail ; son fonctionnement, qui devait être de cinq heures par jour, soit six cent trente-cinq heures au total, n'a été que de cent vingt-deux heures. Il est certain que cela aurait pu singulièrement influencer sur la durée de chaque élément. Les chutes de matière active auraient été, de ce fait, beaucoup augmentées, et par suite les mises hors circuit avancées pour certains concurrents ; de plus, les trépidations ayant eu lieu d'une façon irrégulière, toutes les batteries n'ont pas été, sous ce rapport, traitées de la même façon, puisqu'il en est qui ont été mises hors circuit après un certain nombre de décharges, alors que cette heure fatale aurait sonné bien plus tôt pour elles après les secousses.

Le règlement avait fixé à 110 kilogrammes le poids maximum de chaque caisse de cinq éléments ; la première ligne du tableau indique assez, à première vue, que les accumulateurs ayant fourni le plus grand nombre de kilowatts-heures pesaient tous entre 95 et 110 kilogrammes.

Pope and Son, 135 décharges, 155,5 kilowatts-heures, 100 kilogrammes ;

Tudor, 135 décharges, 135,85 kilowatts-heures, 107^{kg},5 ;

Blot-Fulmen, 132 décharges, 143,90 kilowatts-heures, 98 kilogrammes.

Les accumulateurs légers n'ont donc point, à part le Ful-

men, qui a donné 98 décharges réelles avec une énergie restituée de 101,9 kilowatts-heures, montré la supériorité que certains leur prêtent, bien à tort, pour ce genre d'exploitation.

Il est certain, d'après ce concours, que jusqu'à présent les accumulateurs dits à poids lourds conviennent seuls, pour une traction relativement économique comme entretien.

S'il est une chose intéressante au point de vue de l'esthétique et de l'élégance de la voiture, c'est certainement l'encombrement causé par la batterie; tout en cherchant à avoir des éléments solides et ayant une capacité convenable, il est aussi utile qu'on obtienne le plus grand nombre possible de watts-heures sous le volume le plus restreint.

Celui-ci est très variable suivant les types et change par caisse de 5 éléments, depuis 47 jusqu'à 88 décimètres cubes. Les trois batteries Pescetto, Pope et Pollak, qui occupent respectivement 88,5; 87,5 et 76 décimètres cubes, sont toutes trois à formation hétérogène, et doivent leur grand volume à ce que leur pâte est probablement peu poreuse, la surface active de la positive restreinte et le rapport entre le cadre et la matière active grand; d'où, pour obtenir la capacité voulue, on est obligé d'augmenter et le nombre des plaques et leur dimension. De plus, il est certain que certains constructeurs, n'étant pas gênés par le poids, ont donné ainsi qu'on l'a vu plus haut (p. 83) des éléments ayant plus des 120 ampères-heures demandés, afin que les plaques travaillent respectivement moins et, par suite, aient une fatigue atténuée.

Les batteries de la Société pour le travail électrique des métaux, de Blot-Fulmen et de Tudor, qui sont toutes trois à positives Planté, occupent un volume plus faible, puisqu'il est de :

74^{dm³},4 pour la Société du Travail des métaux;

58^{dm³},7 pour la Société Blot-Fulmen;

63^{dm³},3 pour la Société Tudor; et cela avec un poids à peu près analogue aux trois batteries précédentes.

La raison de ceci est fort simple : dans les plaques à for-

mation autogène, la nature même de l'âme permet de multiplier la surface active dans de très grandes limites, qui sont plus ou moins longues à atteindre, suivant le genre de construction; tandis que, dans le type de plaque Faure, il serait plus difficile d'augmenter la surface active, sans courir le danger d'enlever beaucoup de solidité à l'électrode.

Une remarque qu'on peut faire, c'est que, même entre ces trois derniers éléments à formation Planté, il existe une différence sensible, et que les plaques constituées avec des rubans de plomb, comme les Blot, et celles de la Société des Métaux, pouvant avoir une surface réellement active bien plus grande que les plaques à rainure obtenues par fonderie, occupent un volume plus faible.

Restent les éléments Fulmen et Phénix; c'est le premier qui, sous ce rapport, détient actuellement le record; par suite de la constitution intime de la plaque et grâce à sa conductibilité, il donne une grande capacité sous un faible volume, ce que lui permet, du reste, la très petite épaisseur de ses plaques, qui sont néanmoins assez solides, par suite du mode de fabrication. Quant au Phénix il est, dans ce cas, difficile à comparer aux autres, par suite de sa structure toute différente.

Toutes les batteries n'ont pas eu un travail absolument identique, pendant les décharges à intensité variable; les constructeurs, qui voyaient leur différence de potentiel baisser avant la fin de la décharge, dans des proportions inquiétantes pour l'épreuve éliminatoire du samedi, par suite de la sulfatation qui se produit quand on décharge un accumulateur en-dessous d'une certaine limite, retiraient leur batterie pendant l'accomplissement d'une décharge; c'est ce qui explique la différence qui existe, pour certains, entre le nombre des décharges complètes et partielles; à vrai dire, il n'y a que les numéros 22 (Pope) et 12 (Phénix) qui n'ont eu que peu de décharges incomplètes; quant à la batterie Pescetto, elle a largement usé de l'autorisation,

puisque, sur 141 décharges officielles, elle en a effectué 128, dont 60 incomplètes. Il est vrai que la quantité d'énergie fournie par elle s'en ressent puisque, bien qu'ayant duré jusque vers la fin du concours, elle se trouve avoir donné un nombre de kilowatts-heures, pendant les décharges complètes, à peu près analogue à celui des batteries qui ont lutté franchement et possèdent alors un nombre total de décharges plus petit.

Pour la majorité des éléments, le nombre total de kilowatts-heures fournis pendant les décharges complètes est notablement plus grand que celui relatif aux décharges incomplètes, en particulier pour les n^{os} 12 et 22, ainsi que nous le disons plus haut. Pour les n^{os} 1 (Métaux), 2 (Pollak), 3 (Tudor) et 10 (Blot-Fulmen), le rapport est d'environ 5 à 6, tandis que, pour le n^o 7 (Pescetto), il est de $\frac{75,8}{54,8} = 1,03$, et pour le 11 (Fulmen), il est de $\frac{64,1}{37,8} = 1,69$.

Le fonctionnement de ces deux derniers a donc été assez irrégulier.

Laissons de côté, pour l'instant, les chiffres ayant trait aux nombres de kilowatts-heures absorbés et restitués, dont nous reparlerons plus loin au sujet des rendements, et étudions un peu les données de chaque élément.

Ce qui saute aux yeux d'abord, c'est le faible poids d'électrolyte, comparé au poids total, pour tous les éléments; à part le Phénix, dans lequel l'acide entre pour près du quart du poids total, tous les autres ont un rapport de $1/5$ à $1/6$, et même, dans l'élément Pope, l'acide n'entre que pour le huitième du poids total. Peut-être est-ce un tort. Sans être partisan d'un trop grand écartement des plaques, il est néanmoins nécessaire de posséder une quantité d'acide assez grande pour que, par suite de la quantité de sulfate de plomb formée pendant la décharge, au pôle positif et au pôle négatif, la densité ne soit pas trop diminuée à la fin, ce

qui augmente la résistance intérieure et influe beaucoup, dans les débits élevés, sur la différence de potentiel aux bornes ; on cherche, en général, à remédier à cela par l'élévation du degré de l'électrolyte, qu'on ne craint pas d'amener à 30 ou 32° B. ; ce qui n'est pas un grand inconvénient pour les plaques à grille en est un pour les plaques Planté, et même le devient pour celles-là quand le cadre occupe une partie notable de la plaque ; aussi beaucoup de concurrents ont eu des ennuis et des pannes causés par la sulfatation.

Un autre point à remarquer, c'est la grande différence laissée, dans le montage, entre la hauteur des plaques et celle du bac ; en général, l'écart est de 9 à 10 centimètres ; il est à prévoir qu'une bonne place avait été réservée dans le fond du récipient pour recevoir la matière active, et en haut pour les projections ; il n'y a que les n^{os} 10, 11 et 22, dans lesquels l'écart n'est que de 6 centimètres.

L'épaisseur des positives ne présente rien de particulier pour les plaques Planté, qui ont de 8 à 10 millimètres ; pour les plaques à oxyde on a préféré prendre des cadres minces de 4, 5 et 6 millimètres et en multiplier le nombre ; pourtant Pope a pris 13 millimètres d'épaisseur et a eu ainsi une quantité de matière active à user assez grande ; quant aux négatives, toutes avaient 4 ou 5 millimètres ; il est certain que, pour les éléments dont les positives étaient à formation autogène, la négative à oxyde a été pour beaucoup dans les dernières mises hors circuit ; dans le cas du Blot-Fulmen, cette électrode n'avait pas une capacité et une solidité suffisantes pour la positive.

Examinons maintenant les facteurs spécifiques.

L'élément qui a fourni le plus de kilowatts-heures, le n^o 22 (Pope), a restitué 155,5 kilowatts-heures, sur 220,75 qu'il avait absorbés, soit un chiffre de 1,555 kilowatts-heures par kilogramme de poids total ; ce chiffre est le maximum, et il semblerait actuellement que, au point de vue de la voiture électrique, cette valeur doit être

prise comme terme de la vie d'un accumulateur auquel on n'aura pas fait subir d'autre manipulation d'entretien que de maintenir le degré de l'acide constant. Ce qui porterait à le croire encore, c'est que les accumulateurs Fulmen ont été retirés du circuit après avoir fourni 1,509 kilowatts-heures par kilogramme de poids total, et cela au bout de 98 décharges, chiffre à peu près constant pour la durée d'une batterie de ce type.

Dans la suite des facteurs spécifiques, la batterie Fulmen tient un assez bon rang, sauf pour l'énergie restituée pendant les décharges complètes, ce qui se conçoit, puisque le chiffre de son poids est plus fort que le nombre des décharges entièrement faites; ce résultat est fort peu étonnant, quand on songe que la batterie ne pesait même pas les 2/3 des autres. Pour prendre un exemple montrant que ce nombre est ramené au kilogramme et qu'il ne faudrait pas lui donner une signification autre, supposons une batterie Blot fournissant 1,044 kilowatts-heures avec 40 éléments analogues à ceux du concours; pour produire la même quantité d'énergie avec une batterie Fulmen, celle-ci devra peser :

$$\frac{1044}{1,5} = 696 \text{ kilogrammes,}$$

soit

$$696 - 540 = 156 \text{ kilogrammes}$$

de plus que celle mise au concours; ou, autrement dit, si on prend une batterie Blot-Fulmen et une Fulmen de capacité semblable aux éléments étudiés, il faudra remplacer, dans la dernière, le poids de plaques correspondant aux 156 kilogrammes de poids total; or, comme les deux batteries auraient coûté le même prix tout d'abord, la batterie à oxyde reviendra plus cher et de beaucoup, quand elle aura restitué le même nombre de kilowatts-heures.

Le rapport entre le poids et l'énergie moyenne disponible (c'est-à-dire le nombre de kilowatts-heures restitués,

divisé par le nombre officiel de décharges), montre qu'il est nécessaire, quand on veut produire 1 kilowatt-heure dans des conditions à peu près économiques, de compter sur un poids minimum de 80 kilogrammes, pour dépasser 100 décharges, nombre correspondant à 23,5 kilowatts-heures par élément.

La batterie Fulmen s'est bien approchée des 100 décharges, mais n'a donné que 20,3 kilowatts-heures par élément.

Les rendements moyens, les seuls intéressants au point de vue exploitation, pendant toute la durée d'une batterie, varient assez; la moyenne est de 62,8 0/0 en énergie, avec un maximum de 72,4 0/0, ce qui est normal. Il est à remarquer que les deux batteries ayant fourni le plus grand nombre de kilowatts-heures ont aussi toutes deux les rendements moyens les plus forts : 68 0/0 (Blot) et 70 0/0 (Pope)⁴

Les rendements en énergie ont augmenté pendant les premières décharges et, en particulier, pour les types Planté, dont la période ascendante a duré naturellement assez longtemps.

Pour résumer : les batteries ayant fourni les meilleurs résultats aux différents essais, sont :

Pope, ayant fourni 155,5 kilowatts-heures avec un poids de 100 kilogrammes et un volume de 87^{dm³},5;

Blot-Fulmen, ayant fourni 143,9 kilowatts-heures avec un poids de 98 kilogrammes et un volume de 58^{dm³},7;

Tudor, ayant fourni 135,8 kilowatts-heures avec un poids de 107^{kg},5 et un volume de 63 décimètres cubes.

Fulmen ayant fourni 101,9 kilowatts-heures avec un poids de 67^{kg},5, et un volume de 39 décimètres cubes.

C'est cet accumulateur qui a fourni le plus grand nombre de kilowatts-heures par kilogramme de plaques : 2,2 kilowatts-heures contre 1,97 kilowatts-heures, données par l'accumulateur Pope and Son.

Le nombre de kilowatts-heures restitués par kilogramme de poids total par la batterie Blot était de 1,468; à bien des

points de vue, elle est celle qui a le mieux répondu aux exigences du concours, puisqu'elle est, à peu de choses près aussi solide que la Pope sous un volume et un poids plus faible.

En somme, ce concours a été très utile; il a montré ce que les fabricants d'accumulateurs étaient capables de faire, et a prouvé la supériorité absolue des éléments à positives Planté ou des positives à oxyde très lourdes mais volumineuses.

ACCUMULATEURS FONDÉS SUR UN AUTRE COUPLE QUE LE COUPLE
PLOMB-PLOMB

Accumulateur Commelin et Viau. — Cet accumulateur est fondé sur le couple peroxyde de plomb-cadmium; la force électromotrice de ce couple est plus élevée que celle du couple plomb-plomb; elle est de 2,25 volts, l'élément chargé.

En principe, l'électrode positive est du peroxyde de plomb, l'électrode négative du cadmium et l'électrolyte du sulfate de cadmium; à la charge, l'oxygène se porte sur l'anode et le cadmium de l'électrolyte sur la cathode, qui se dissout à la décharge; une des deux électrodes est donc soluble.

La plaque positive est constituée par un quadrillage en ébonite, contenant la matière active; à ce quadrillage est rivé un cadre en plomb servant de conducteur. La matière active est d'abord formée en négative, puis en positive (*fig. 27*); la positive ainsi obtenue est légère.

La plaque négative est formée par une feuille de celluloïd entourée d'une feuille de plomb de $\frac{25}{100}$ de millimètre, recouvrant ses deux faces; la feuille de celluloïd lui donne de la rigidité; normalement à la surface des feuilles de plomb, on place des ailettes en celluloïd (*fig. 28*) formant bagues et dis-

posées obliquement de façon à constituer des augets écartés de 8 millimètres ayant pour but de maintenir le cadmium qui se dépose à la charge et, en outre, facilitant le dégagement des gaz ; ces augets se trouvent naturellement sur les deux faces.

Afin d'éviter le dépôt arborescent de cadmium sur les arêtes de la négative, les bords de la feuille de plomb sont passés au vernis, moyen efficace pendant un certain temps.

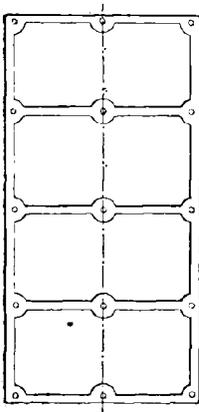


FIG. 27. — Plaque positive Commelin et Viau.

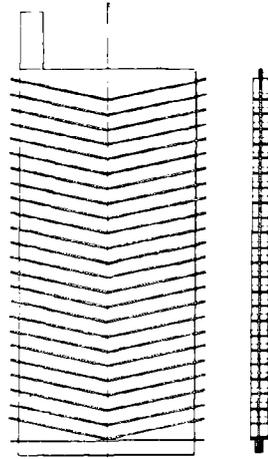
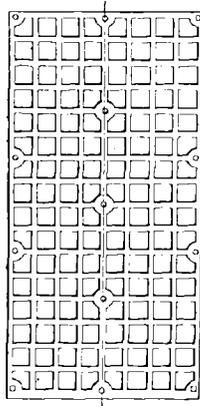


FIG. 28. — Plaque négative Commelin et Viau.

La plaque de celluloid avec la feuille de plomb peut être remplacée par une plaque de charbon, sur laquelle on fait un dépôt de cadmium.

Dans ce genre d'élément, les dangers de sulfatation sont écartés à la décharge; l'acide sulfurique libre étant absorbé par le cadmium, la positive ne sera pas sulfatée; la décharge peut être poussée sans trop de détérioration jusqu'à 1,2 volt; la courbe de variation de la différence de potentiel baisse ici graduellement, contrairement à ce qui se passe pour les éléments plomb-plomb.

Un élément composé de 5 plaques positives et 5 négatives a les constantes suivantes :

Plaques positives	Hauteur.....	210 millimètres
	Largeur.....	103
	Épaisseur.....	5
	Poids du quadrillage d'ébonite..	22 grammes
	Conducteur de plomb.....	100
	Matière active.....	306
		428
Plaques négatives	Hauteur.....	220 millimètres
	Largeur.....	103
	Épaisseur.....	2 ^{mm} ,5
	id. du dépôt.....	1 ^{mm} ,0
	Poids du support.....	185 grammes
	id. du cadmium.....	50
		235

L'élément complet avec une solution à une densité de 1,16 pèse 5^{kg},65.

La capacité qu'on peut retirer de ce type est de 30 ampères heures par kilogramme d'électrodes et peut être poussée à 40 ampères-heures avec des négatives en charbon.

Le reproche qu'on peut faire à l'élément tel qu'il est constitué à présent est le peu de solidité de la positive au point de vue de la traction ; au contraire, le mode de variation de la différence de potentiel le rend très apte à ce genre de service.

Aucun essai réellement pratique n'a été jusqu'ici tenté pour l'application de ce système aux voitures automobiles, aussi ne peut-on se prononcer sur la solidité et l'adhérence qu'aura le dépôt de cadmium soumis aux chocs et aux trépidations. La question semble pourtant assez intéressante pour être étudiée sérieusement.

CHAPITRE VI

CHARGE DES ACCUMULATEURS

La charge des accumulateurs se fait généralement par deux méthodes :

- 1° Sous intensité constante ;
- 2° Sous différence de potentiel constante.

Charge sous intensité constante. — Cette méthode consiste à maintenir le courant à une valeur invariable pendant toute la durée de la charge ; souvent on fait cette charge en deux phases : la première à une certaine intensité indiquée par le constructeur, la seconde à intensité plus faible (la moitié ou le tiers de la première). Il n'y a, en effet, que peu d'inconvénients à charger sous une intensité un peu élevée un accumulateur déchargé et, au contraire, il est important que, vers la fin de la charge, l'intensité soit basse afin d'éviter un trop grand dégagement de gaz.

La force électromotrice croissant pendant la charge, la différence de potentiel fait de même jusqu'à une certaine limite qui est la fin de la charge et qui, pour la majorité des types, est voisine de 2,5 à 2,55 volts au régime de charge moyen.

Quand un accumulateur est chargé, les gaz formés par le courant ne sont plus absorbés et se dégagent, donnant à l'électrolyte un aspect laiteux, sous une certaine intensité de courant.

Charge à potentiel constant. — On maintient aux bornes de la batterie une différence de potentiel constante pendant toute la durée de la charge. Ce procédé s'emploie spécialement pour les charges rapides dans lesquelles on maintient, du commencement à la fin, une différence de potentiel supérieure ou égale à la valeur qu'elle prend en fin de charge sous intensité constante.

Le courant qui passe au début est d'une grande intensité et produit un dégagement de gaz rapide; à la fin, au contraire, l'intensité est très faible; la courbe de variation de I en fonction du temps, dans une charge à U constant, affecte l'allure d'une courbe dont l'équation, trouvée par P. Girault, est assez complexe (1). On arrête la charge quand la courbe devient asymptote avec l'axe du temps ou axe des abscisses.

Rendement. — Ces deux modes de charge influent sur la valeur du rendement. La méthode donnant le meilleur rendement est, sans contredit, la charge à intensité constante; en effet, elle ne donne pas lieu à un continuel dégagement de gaz, qui représente une quantité d'énergie absolument perdue.

Le rendement en quantité se tient, pour les différents types, aux régimes moyens de décharge dans les 90 0/0; en énergie, il varie entre 70 et 75 0/0, pour des charges sous intensité constante.

La capacité spécifique peut se compter soit en ampères-heures par kilogramme d'électrodes, soit en ramenant au kilogramme de poids total d'élément. Dans l'application particulière qui nous occupe, c'est cette dernière qui nous intéresse le plus. Elle varie, pour le régime de décharge en cinq heures, depuis 14 ampères-heures pour les types de traction très légers, jusqu'à 5,5 ampères-heures pour les modèles lourds.

Dynamos à employer pour la charge des accumulateurs. — Nous n'avons étudié jusqu'ici que la trans-

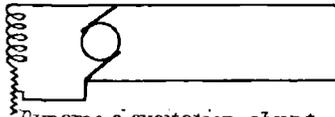
(1) *L'Industrie électrique*, 1899.

formation de l'énergie, prise sous une forme d'un emploi immédiat, en une autre d'une utilisation plus ou moins différée. Dans l'ordre technique, il eût été plus naturel d'étudier la production de l'énergie avant sa transformation; mais il était utile d'indiquer préalablement dans quel genre d'appareils cette énergie serait accumulée.

Bien qu'il n'entre pas dans le cadre de cet ouvrage de



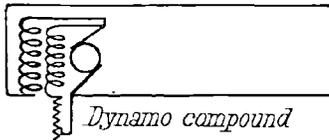
Dynamo à excitation indépendante



Dynamo à excitation shunt



Dynamo à excitation série



Dynamo compound

FIG. 29. — Différents types de dynamos à courant continu.

En général, pour la charge des accumulateurs, on emploie toujours des dynamos à excitation shunt; les dynamos à excitation indépendante, qui sont peu employées, peuvent de même servir; ce choix tient à ce qu'il n'y a pas à craindre pour ces types le renversement des pôles, qui peut se produire dans les autres types si, pour une raison quelconque, le voltage de la dynamo vient à être inférieur à celui de la batterie.

Dans les machines séries ou hypercompoundées, le ren-

décrire la machine dynamo-électrique, il est cependant nécessaire d'indiquer à quels types de machines on peut avoir affaire.

Les dynamos à courant continu sont caractérisées par la nature de leur excitation, qui peut revêtir quatre formes différentes (fig. 29) :

Machines dynamos :

- 1° A excitation indépendante ;
- 2° A excitation shunt ou dérivation ;
- 3° A excitation série ;
- 4° A excitation compound.

versement est à craindre, ce qui les fait rejeter généralement pour la charge des accumulateurs, bien que les circuits soient munis d'appareils protecteurs dits disjoncteurs, qui coupent le circuit lorsque le courant change de sens.

Les dynamos à excitation compound peuvent être néanmoins employées, à condition qu'on supprime l'enroulement série; c'est particulièrement dans le cas de la charge sous potentiel constant qu'une dynamo compound peut avoir son utilité, par suite de la plus grande commodité de son réglage, plus facile qu'avec l'enroulement en dérivation; le moment où le renversement de pôle est le plus à craindre se trouve au commencement de la charge, au début de la mise en service de la dynamo, qui se trouve chargée brusquement; à ce moment on supprime l'enroulement série jusqu'à ce que tout marche normalement, puis on l'introduit ensuite, et la machine, fonctionnant en compound, a son voltage maintenu sensiblement constant.

Si la charge doit être faite sous intensité constante, ce qui est bien meilleur au point de vue du rendement en énergie et de la conservation des électrodes, il ne faut pas, avec une distribution à différence de potentiel constante, mettre la batterie seule en circuit.

En effet, si U est la différence de potentiel de la ligne, u la différence de potentiel normale d'un élément chargé sous le régime indiqué par le constructeur, le nombre n maximum d'éléments qui peut être mis en charge est :

$$n = \frac{U}{u};$$

mais, au commencement de la charge, chaque élément a une différence de potentiel :

$$u' < u;$$

soit, au total :

$$nu' < U;$$

il est donc nécessaire d'absorber la différence :

$$U - nu',$$

et cela se fait à l'aide d'un rhéostat variable et préalablement calculé; soit :

I le courant de charge en ampères ;

$U - nu'$ le nombre de volts à absorber, on a :

$$I = \frac{U - nu'}{R},$$

d'où :

$$R = \frac{U - nu'}{I},$$

qui donne la résistance en ohms à donner au rhéostat.

Soient :

l , la longueur du fil en centimètres ;

S , sa section ;

ρ , sa résistivité en microhms-centimètres ;

on a :

$$R = \frac{\rho l}{S},$$

en se fixant préalablement une densité de courant donnée pour éviter l'échauffement du fil de maillechort de la résistance, 2 ampères par millimètre carré environ, on déduit la section S , et on tire de

$$\begin{aligned} \frac{\rho l}{S} &= \frac{U - nu'}{I} \\ l &= \frac{S(U - nu')}{\rho I} \end{aligned}$$

on prend $\rho = 42$ microhms-centimètres pour le maillechort argentan qui est le meilleur à employer.

Connaissant la longueur de maillechort nécessaire pour absorber le maximum possible, on divise en sections d'une longueur donnée, communiquant chacune avec les plots d'un commutateur pour permettre un réglage facile. La sur-

face de refroidissement doit être proportionnelle au nombre de watts absorbés.

Si on a une seule voiture à charger sur une installation privée, le plus simple est de mettre le tableau de charge annexé au tableau principal; au cas où celui-ci ne protège pas la dynamo par un disjoncteur, il faut en mettre un dans le circuit de la batterie suivant le schéma de la figure 30; si le tableau en comporte déjà un sur le circuit principal, il est inutile d'en mettre un second sur la batterie.

Au cas où la charge doit se faire en empruntant le courant d'un secteur, il est possible d'abord d'obtenir de la compagnie concessionnaire une marche mixte. Pendant certaines heures de la journée, les secteurs n'ont pas utilisation de l'énergie qu'ils produisent et seraient très heureux de l'utiliser; à ce moment, le courant peut donc être donné à un prix bien inférieur à celui des heures de pleine charge. Des installations de ce type fonctionnent déjà, du reste, même pour des branchements de 8 à 10 kilowatts. Dans ce cas, il faut adjoindre au compteur placé par la compagnie un change-tarif automatique permettant, avec un seul compteur, de faire l'application de deux prix différents dans la journée.

Supposons que, pendant les heures de pleine charge, (heures d'éclairage), le courant soit donné à 0 fr. 10 l'hectowatt-heure, tandis que, pendant les heures de repos, il soit fourni à 0 fr. 05 l'hectowatt-heure; le change-tarif, qui est une horloge actionnant un interrupteur, laissera pendant les heures à tarif maximum le compteur tourner à sa vitesse normale; pendant les heures à tarif réduit, au contraire, il introduira dans le circuit de la dérivation du compteur une résistance qui retardera la vitesse de l'induit dans le rapport de $\frac{0,10}{0,05} = 2$. L'induit du compteur tournera deux fois moins vite.

Le chiffre lu au compteur sera toujours multiplié par le prix maximum.

En principe, un tableau de charge de voiture doit se composer des appareils suivants (fig. 30) :

1 coupe-circuit bipolaire ou 2 coupe-circuit unipolaires (marqués CC dans les figures 31 et 32) ;

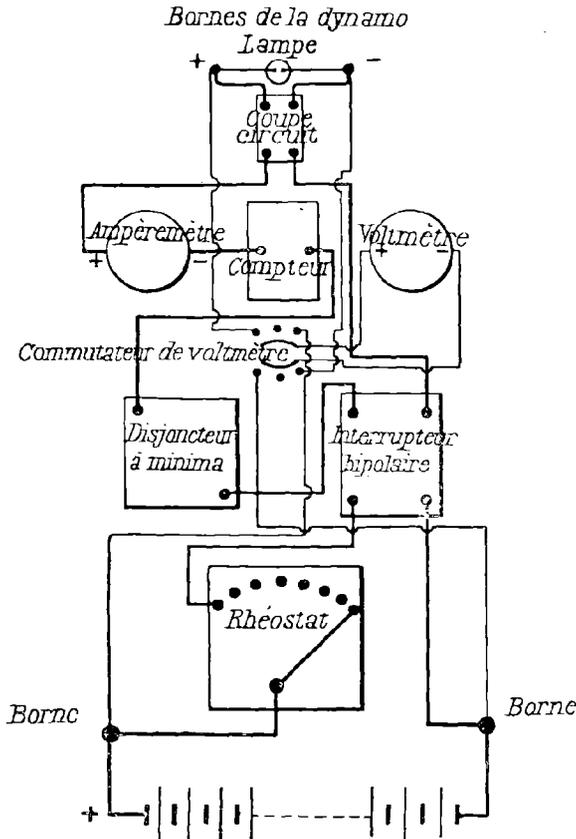


FIG. 30. — Schéma d'un tableau de distribution pour charge d'une batterie d'accumulateurs.

1 interrupteur bipolaire (marqué IB dans les figures 31 et 32) ;

1 disjoncteur à minima (marqué DMI sur les figures 31 et 32) ;

- 1 disjoncteur maxima (marqué DMa sur la figure 31) ;
- 1 résistance réglable (marquée Ra sur la figure 31 et R sur la figure 32) ;
- 1 compteur d'énergie (marqué Co dans la figure 32) ;
- 1 ampèremètre (marqué A dans les figures 31 et 32) ;
- 1 voltmètre (marqué V dans les figures 31 et 32) ;
- 1 lampe témoin ;
- 1 commutateur de voltmètre à deux directions pour lire le voltage de la ligne et celui de la batterie (ce commutateur est marqué C dans les figures 31 et 32).

Installation ordinaire

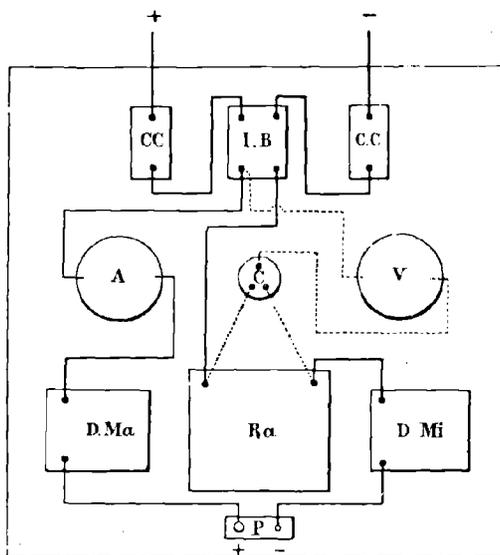


FIG. 31.

1 prise de courant pour relier à la prise de courant que toute voiture doit comporter.

Le disjoncteur à maxima peut être supprimé à la rigueur.

Il est bon de remarquer que, en général, une électromobile est montée de façon que son combinateur permette d'effectuer la charge avec les appareils de contrôle de la voiture.

Quand on s'adresse à un service d'exploitation, la question est tout autre. On la divise en deux parties :

- 1° Charge dans une usine de l'exploitant ;
- 2° Charge sur la voie publique avec prise de courant dans des bornes.

Dans le premier cas, on peut citer comme type l'installation de la Compagnie générale des voitures, que nous

Installation sur un secteur

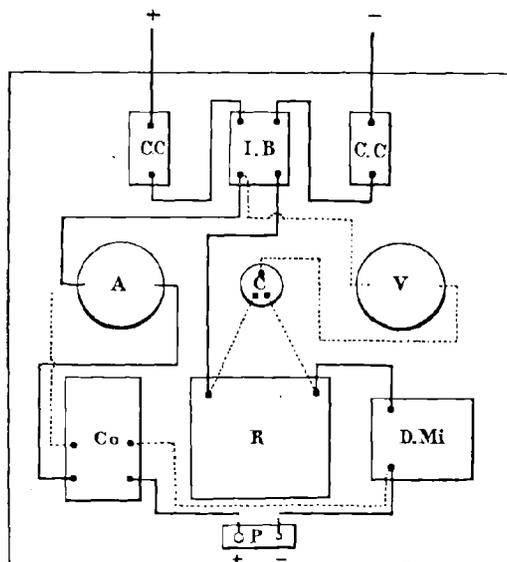


FIG. 32.

décrivons plus loin. Dans le second, on peut avoir à effectuer la charge sous intensité ou sous potentiel constant.

Quel que soit le mode de chargement, il est nécessaire que les bornes de charge comprennent tous les appareils de tableau que nous venons d'indiquer.

Au point de vue des dépenses la charge dans une usine appartenant à l'exploitant paraît être de beaucoup le procédé le plus économique; les batteries ont tout le temps de se recharger. Comme les voitures sont pourvues de batteries de rechange,

on peut charger lentement, avec faible régime en fin de charge, les batteries se conservent mieux et le rendement est bien meilleur ; mais la voiture dépense une partie de son énergie à se rendre en ville et à regagner l'usine de charge, et la dépense de matériel est plus grande.

Usine de charge de la Compagnie générale des voitures (1). — C'est sur ce principe que de Clausonne, ingénieur de la Compagnie générale des voitures, a installé l'usine nécessaire pour la charge des accumulateurs des premiers fiacres électriques qui ont circulé à Paris. Cette installation, malgré l'insuccès de ces fiacres, mérite d'être décrite.

Afin d'avoir le charbon à meilleur marché, elle a été installée en dehors de Paris, à Aubervilliers ; ce qui permet d'obtenir le kilowatt-heure, dans des conditions particulièrement économiques, variant entre 0 fr. 12 et 0 fr. 14. Cet éloignement n'est pas d'ailleurs sans inconvénients, au point de vue de l'exploitation.

L'eau nécessaire aux générateurs provient des couches inférieures du sol ; elle est donnée par un puits artésien de 109 mètres de profondeur, les nappes d'eau supérieures ayant été négligées par suite de leur degré hydrotimétrique trop élevé.

L'usine comprend un bâtiment rectangulaire de 528^m², de surface et de 15 mètres de haut, divisé en deux parties : une pour les générateurs, l'autre pour la salle des machines.

La chambre de chauffe contient trois chaudières Bonnet-Spazin, de chacune 200 mètres carrés de surface de chauffe timbrées à 8^{kg},5 ; elles sont alimentées par une pompe Worthington. Ce type possède un très grand volant de vapeur, et les forts à-coups s'y font assez peu sentir.

La salle des machines (*fig. 33*) comprend deux groupes électrogènes Piguet-Alioth, de 150 kilowatts. Les deux machines

(1) *Génie civil*, 15 avril 1899.

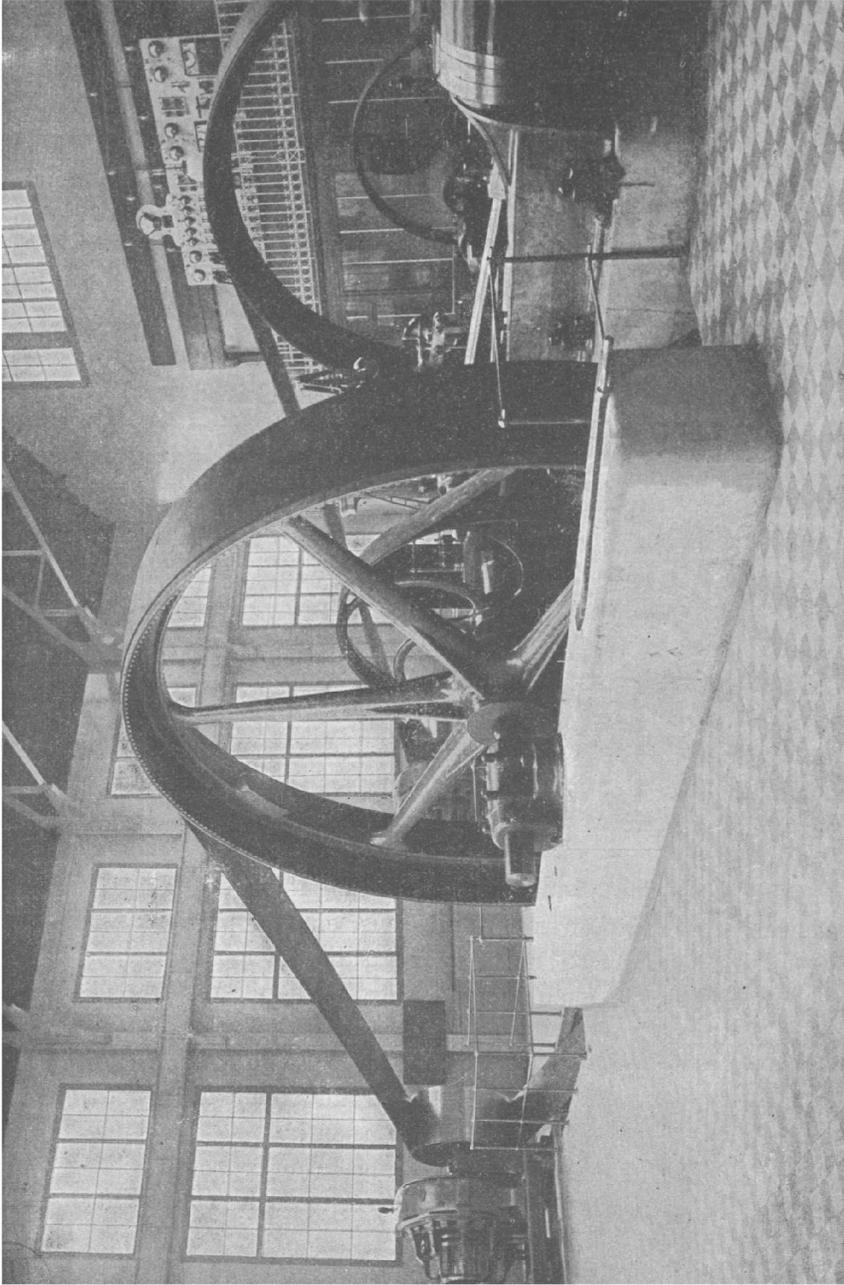


Fig. 33. — Vue de la salle des machines à l'usine de charge de la Compagnie générale des voitures.

à vapeur, type Piguet, ont une puissance utile de 280 chevaux à la vitesse de 100 tours à la minute et à 7^{kg} 5. Elles marchent chacune avec un condenseur à mélange placé dans le sous-sol; l'eau qui s'en échappe est prise par une pompe qui l'envoie dans un réfrigérant à surface.

Ces moteurs sont monocylindriques, avec un alésage de 0^m,50 et 1 mètre de course.

Les dynamos sont commandées par courroies de 0^m,50 de large et peuvent fournir, au maximum, 1.250 ampères sous 120 volts, avec une vitesse de 375 tours à la minute.

Ce sont des dynamos-shunt, à dix pôles; les dix portebalais sont fixés sur deux couronnes; les balais sont en charbon; le collecteur compte 210 lames, l'isolement des tôles feuilletées de l'induit est fait au papier. Le maximum de consommation de l'excitation est de 12,5 ampères à pleine charge.

De chaque dynamo partent quatre câbles de 304 millimètres carrés, soit deux par pôle, qui relient les machines avec un tableau de distribution placé au premier étage de la salle des machines.

Ce tableau est construit par la Société industrielle des téléphones et comporte trois panneaux: un pour chaque machine portant un voltmètre, un ampèremètre, un interrupteur, deux coupe-circuit unipolaires et un rhéostat d'excitation; le troisième panneau porte les appareils de distribution: interrupteurs particuliers et principaux, disjoncteur, voltmètre général des deux machines marchant en parallèle.

Les feeders partant du tableau sont calculés chacun pour 800 ampères, avec une densité de courant de 1,6 ampère par millimètre carré, soit 500 millimètres carrés. Ce sont des câbles à grand isolement, sous plomb et placés en terre.

Manœuvre des batteries. — Le principe admis a été celui des tramways de Saint-Denis-Madeleine. Lorsqu'une voiture rentre au dépôt, elle vient se placer sous un hangar abritant deux plates-formes avec plans inclinés pour les deux

trains, qui servent à élever la voiture (*fig. 34*); entre ces deux plans inclinés glisse un chariot sur rails qui vient se placer sous la batterie et en même temps sur la plate-forme mobile

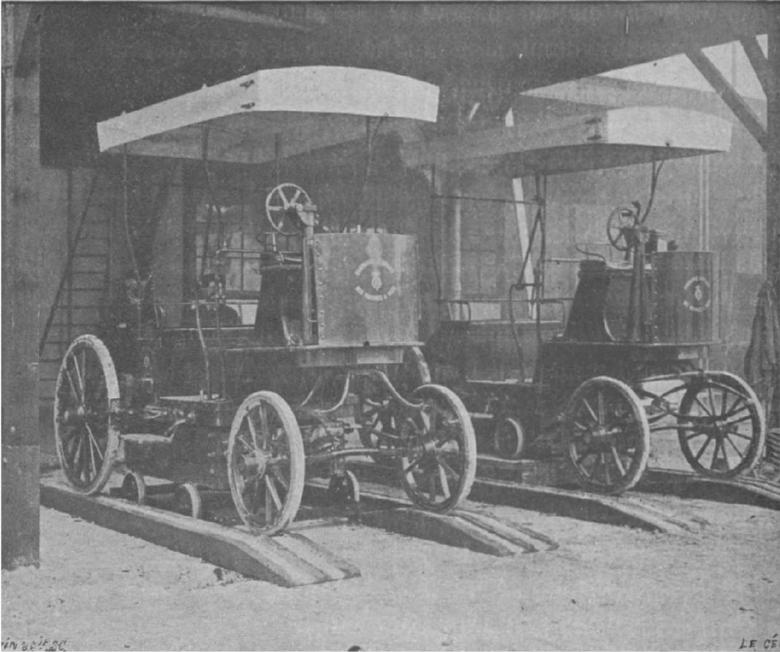


FIG. 34. — Enlèvement des batteries à l'usine de la Compagnie générale des voitures.

d'un monte-charge commandé par un accumulateur d'eau ; ce monte-charge soulève la batterie placée en dessus du chariot en comprimant les ressorts de suspension ; une fois la batterie soulevée, on détache ses chaînes de suspension et, au moyen du levier d'admission d'eau sous pression, on fait redescendre le chariot au niveau du sol, pour l'emmener soit dans une salle de charge située au rez-chaussée, soit au premier étage.

Par une manœuvre inverse, on ramène immédiatement

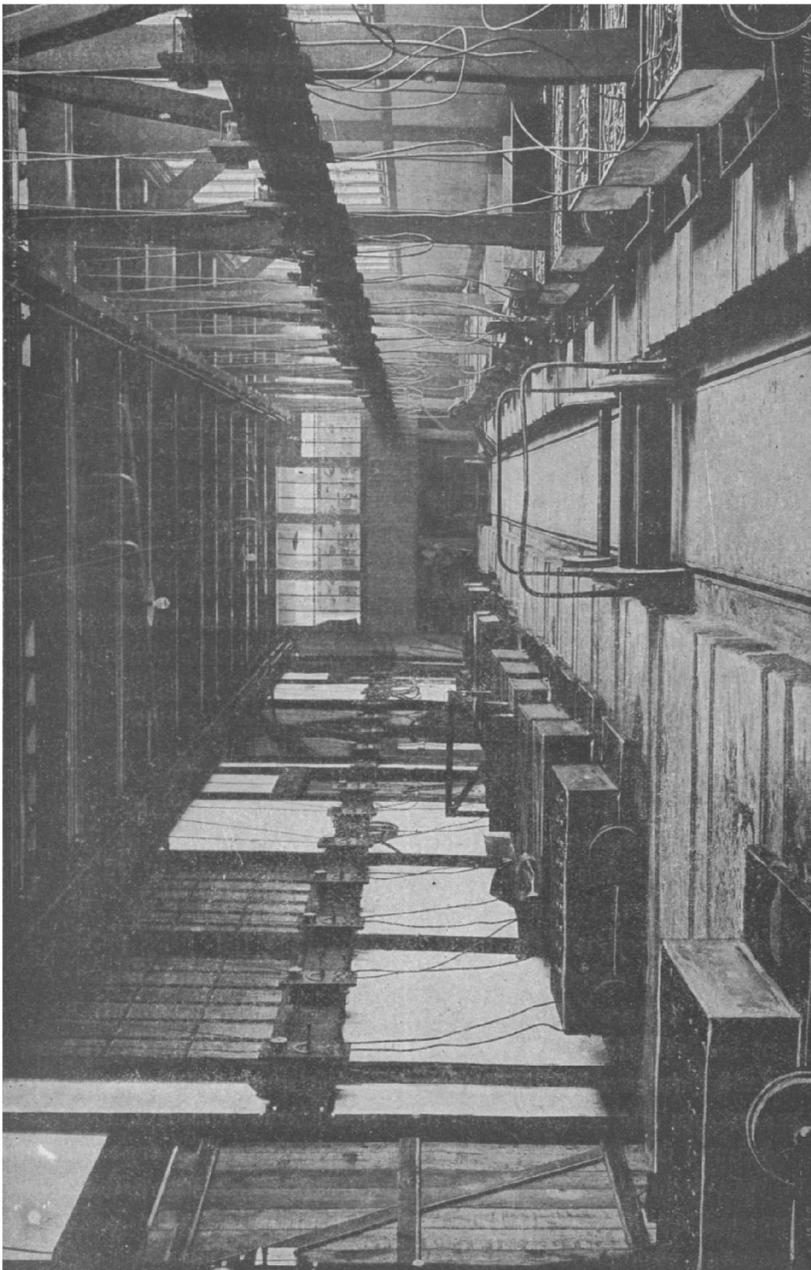


FIG. 35. — Vue d'une salle de charge à l'usine de la Compagnie générale des voitures.

une autre batterie chargée, et la voiture est prête à repartir.

Chaque salle de charge (*fig. 35*) est desservie par cinq tableaux de distribution : un tableau principal d'arrivée, deux tableaux pour commander la droite de la salle, deux autres pour la gauche ; les chariots circulent dans le couloir central de chaque table, ainsi que permet de le voir la figure. Chaque batterie est commandée par un tableau, portant un coupe-circuit bipolaire, interrupteurs, ampèremètre et rhéostat variable pour le réglage du débit. Les disjoncteurs sont placés sur les quatre tableaux de groupe.

L'accès des chariots au premier étage est facilité par des monte-charge de 4^m,58 de course.

La dimension du plateau de ces monte-charge est de 1^m,9 — 1^m,3 ; il peut soulever 1.150 kilogrammes.

Le sol de chaque salle de charge est recouvert d'asphalte, rendu inattaquable à l'acide par adjonction de sulfate de chaux. Les conduites de vidange sont en plomb. La distribution électrique est faite par un circuit conique, afin de faire toutes les économies possibles, et de ne pas mettre de sections exagérées là où le débit est faible ; le diamètre des câbles va donc en décroissant à mesure qu'on s'éloigne du point d'arrivée du courant. Comme on peut le voir par cette courte description, l'installation de la compagnie générale des voitures, qui n'est somme toute qu'un essai, est excessivement bien comprise au point de vue électrique ; rien n'a été omis, même dans les plus petits détails. Il est regrettable qu'il soit, à l'heure actuelle, impossible de donner quelques chiffres sur cette exploitation dont les résultats ont été si malheureux au point de vue financier qu'on a dû l'interrompre, après quelques mois seulement, qu'elle semble définitivement abandonnée.

Aucune installation avec transport de force et charge sur la voie publique n'existant encore pour des voitures, il est impossible de comparer ce mode de procéder avec celui que nous venons de décrire.

Emploi de survolteurs. — Les survolteurs sont des dynamos ordinaires que l'on couple en série avec des dynamos principales pour augmenter la différence de potentiel d'une ligne.

On a vu plus haut que, pour la charge à intensité constante, sur une distribution à potentiel constant, on est obligé de consommer dans une résistance une partie du courant, ce qui est de l'énergie perdue.

Il est préférable de posséder une machine qu'on peut survolter ou sinon de lui adjoindre des survolteurs en nombre suffisant.

Au commencement de la charge, on a besoin d'une différence de potentiel U_1 , puis, par suite de l'augmentation de la force contre-électromotrice de la batterie, l'intensité baisse, puisque :

$$I = \frac{U_1 - E}{r};$$

Il est donc nécessaire d'augmenter la valeur de U ; on ajoute alors un premier survolteur qui donnant u_1 , permet de disposer de

$$U_2 = U_1 + u_1,$$

et ainsi de suite; on ajoute les survolteurs donnant $u_2 > u_1$, $u_3 > u_2$, suivant le schéma ci-dessous.

Ces survolteurs peuvent être actionnés soit par le moteur de la dynamo; soit par un moteur électrique empruntant son courant à la génératrice.

Les batteries sont alors mises en charge sur les deux premières barres; puis, l'intensité baissant, entre le n° 1 et le n° 3, ensuite entre 1 et 4, puis entre 1 et 5. Cette opération se fait facilement, à l'aide d'un commutateur à plusieurs plots, dont la manette communique toujours avec un pôle de la batterie, et les plots avec les barres 2, 3, 4 et 5 (*fig. 36*).

Quand la manette est sur le plot *a*, la batterie est en charge sous U_1 , en *b* sous U_2 , en *c* sous U_3 , en *d* sous U_4 .

Naturellement cette installation un peu complexe ne peut se faire que pour une exploitation qui en vaille les frais. Il

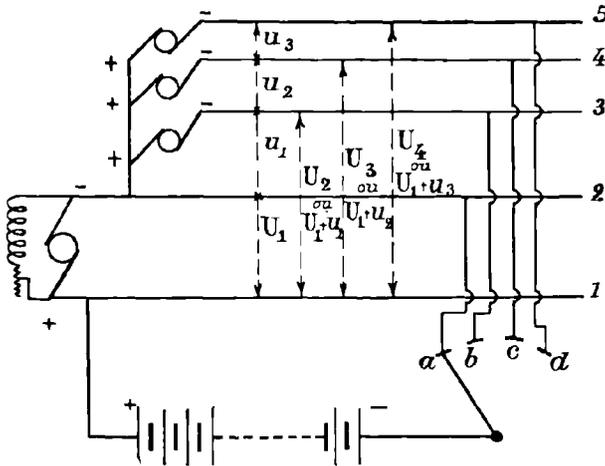


FIG. 36. — Schéma du montage de survoltteurs pour plusieurs batteries.

faut remarquer que plusieurs batteries peuvent être en charge sur ce montage, les unes sous U_1 , les autres sous U_2 , d'autres encore sous U_3 . Il est souvent plus simple de se contenter d'un seul survoltteur.

Mais il est évident que, dans la généralité, pour des installations comportant seulement une voiture, pour l'automobiliste amateur, il n'y a qu'à installer soi-même un petit groupe électrogène, ou à s'adresser au secteur, en évitant d'employer une méthode compliquée et coûteuse comme installation.

Entretien des batteries d'accumulateurs de voitures automobiles. — L'accumulateur est un appareil dont la conduite et l'entretien demandent un soin très grand; pour tirer d'un type d'élément convenablement choisi tous les avantages qu'il est susceptible de présenter, il faut encore apporter à son fonctionnement une grande attention.

D'une façon générale, quelle que soit l'application d'une batterie d'accumulateurs, batterie stationnaire ou de traction, les ennuis qui peuvent arriver proviennent de la façon dont les éléments sont traités.

Au point de vue traction, un fait essentiel à recommander c'est de ne se servir du courant que lorsque cela est nécessaire; évidemment cela est plus facile à faire sur un tramway qui se déplace sur rails, avec un effort de traction à peu près constant pour un même temps, que sur une voiture qui roule parfois sur des terrains très défectueux; il n'en est pas moins vrai que, sur un bon terrain, la voiture peut parfois, une fois lancée, continuer de marcher presque sans courant; on réalise donc là une économie de courant, et on fatigue moins la batterie.

Le conducteur influe beaucoup sur la batterie; il est aussi très mauvais de faire les démarrages d'une façon brutale; on augmente le débit d'une façon inutile, et, ainsi qu'on l'a vu au chapitre II, l'énergie dépensée est d'autant plus grande que le temps est plus court. Les à-coups trop brusques dus aux démarrages produisent une sulfatation très grande et sont préjudiciables aux négatives qui se boursoufflent et s'abîment.

Jamais une batterie ne doit être déchargée au-delà d'une certaine limite indiquée par le constructeur. Les indications du voltmètre sont, pour cela, excellentes; un compteur marchant convenablement peut être aussi très utile. Une voiture électrique demande qu'on n'aille pas avec elle trop à l'aveuglette; si on veut entreprendre un parcours assez long, il faut s'assurer que la capacité de la batterie permet de gagner les sources de charge sans aucune fatigue; une étude sérieuse du profil est donc nécessaire. Quand on a un compteur de quantité et que le rendement de la batterie est connu, on doit avoir soin de ne faire fournir aux accumulateurs qu'un nombre d'ampères-heures un peu inférieur à celui qu'on pourrait en tirer en réalité.

AUTOMOBILES ÉLECTRIQUES.

Si, pour une raison quelconque, une batterie a été déchargée outre mesure, il faut, avant toute autre charge, procéder à une désulfatation complète, en faisant passer un très faible courant (0,5 ampère par décimètre carré pour les plaques à oxydes, 1 ampère pour les plaques Planté au maximum) pendant un temps assez long, et laisser la surcharge se produire pendant une à deux heures.

Les charges rapides sont à proscrire pour les types non robustes, et même pour ceux-ci on ne doit les employer que lorsque les conditions de l'exploitation l'exigent. En dehors du cas de la sulfatation, la surcharge est mauvaise et doit être évitée.

Quand on possède des éléments à type hétérogène, il faut veiller à ce que les chutes de matière active ne viennent pas produire au fond du bac une couche assez épaisse pour établir une communication entre les plaques; le même fait peut se produire par la chute d'une pastille ou par son boursoufflement anormal, ou bien encore par la formation sur les négatives, à la partie inférieure, de certaines efflorescences communément appelées arbres de plomb.

Pour les positives Planté, outre la chute du peroxyde, il faut prévoir le gondolage ou le gauchissement de la plaque, par le fonctionnement.

Il est bon, de temps à autre, de siphonner en entier les batteries, et de procéder à un lavage complet.

Pour reconnaître, pendant la charge, s'il y a entre deux plaques, un court-circuit ou, tout au moins, un pont, le voltmètre doit être employé; si le court-circuit est franc, l'appareil ne marquera rien; s'il y a simplement pont, l'indication sera très en dessous de celle des éléments voisins par suite de la diminution de la résistance intérieure. A la décharge, la différence de potentiel serait aussi inférieure, par suite du débit de l'élément sur lui-même.

Il est utile de faire, au moins une fois par mois, une décharge de la batterie sur une résistance à un régime

indiqué par le constructeur et de se rendre compte des conditions de fonctionnement; c'est par cette méthode qu'on trouvera plus facilement les éléments faibles qui seront déchargés avant les autres et par suite susceptibles de s'inverser.

Sitôt qu'un élément est reconnu mauvais, il faut rechercher quelle est l'électrode défectueuse; bien souvent, en effet, l'insuffisance de capacité ne doit être imputée qu'à un seul pôle. Si l'examen superficiel ne décèle rien, il faut alors recourir au procédé de l'électrode supplémentaire, qui permet de reconnaître si la faute est due à la négative ou à la positive. Il est nécessaire d'être d'abord fixé avec un élément bon.

L'électrode supplémentaire généralement employée est le cadmium, qui est peu attaqué par l'acide. On mesure la différence de potentiel existant entre la positive et l'électrode parasite, et celle existant entre la négative et la même électrode, qui est placée dans l'électrolyte sans toucher aucunement les plaques. On détermine, par ce procédé, la capacité séparée des plaques bonnes des deux polarités, puis on opère de même avec les éléments qu'on croit défectueux, et on détermine quelle est la plaque qui a baissé de capacité au point de causer des ennuis. Le cadmium est négatif, vis-à-vis de la positive et de la négative.

Ce procédé est excessivement pratique, il présente seulement l'inconvénient que le cadmium s'attaque un peu et nécessite l'emploi d'un voltmètre d'au moins 2.000 ohms de résistance.

Si un élément est très déchargé, on s'en apercevra immédiatement à la mise en charge, à ce que son voltage montera très rapidement par suite de l'augmentation de résistance intérieure causée par la couche de sulfate de plomb; celle-ci finissant par disparaître, la différence de potentiel s'abaisse pour remonter ensuite, par suite de l'augmentation de la force électromotrice.

Si la couche de sulfate est tellement adhérente et profonde qu'elle ne veut pas disparaître par le courant, il est nécessaire de brosser les plaques vigoureusement.

Quand une batterie est en bon état, les plaques positives sont brun noirâtre et les négatives très brillantes; leurs pastilles se laissent traverser facilement par une épingle.

Le cas peut se présenter où une batterie restera plusieurs mois sans fonctionner; on peut employer deux procédés pour ne pas la laisser dans l'eau acidulée : soit enlever l'électrolyte et le remplacer par de l'eau distillée, soit décharger la batterie à fond et la laisser à l'air; on en est quitte, à la mise en marche, pour désulfater.

Certains constructeurs d'éléments à oxydes recommandent de décharger la batterie à fond à très faible régime, et de laver ensuite les éléments dans de l'eau renouvelée cinq à six fois, ou dans une eau courante, et enfin de les passer à l'eau distillée très légèrement ammoniacale pour enlever l'excès d'acide; les éléments sont ensuite séchés.

Un autre point sur lequel il est nécessaire d'insister, c'est l'importance qu'il y a à ne jamais laisser les négatives chargées à l'air, surtout celles à oxyde à pastilles un peu grandes; par suite de leur grande porosité, il se produit le même phénomène que dans la mousse de platine, moins intense il est vrai, et les plaques chauffent excessivement, produisant parfois la fusion des pastilles sur les bords ou leur contraction.

On doit donc veiller à ce que le niveau du liquide dans les bacs ne soit jamais inférieur au bord supérieur des plaques, la partie hors du liquide ne travaillant pas.

On voit que les soins à donner sont grands; mais parfois les réparations ne sont élevées que par la négligence de ceux qui conduisent les batteries.

CHAPITRE VII

VOITURES AUTOMOTRICES

Dans les précédents chapitres, nous avons examiné la production et l'accumulation de l'énergie destinée aux voitures automobiles, c'est-à-dire aux véhicules qui emportent avec eux la source d'énergie nécessaire à leur propulsion ; ces types sont absolument autonomes.

Il existe une autre catégorie de voitures, ce sont celles dites automotrices, qui portent avec elles l'organe destiné à leur mouvement, mais sont solidaires d'une source d'énergie éloignée, le courant leur étant amené par des conducteurs aériens ou souterrains, ou des contacts superficiels ; c'est le cas des tramways.

Mais, dans ceux-ci, le courant vient à la voiture par un conducteur et retourne aux génératrices par le rail ; pour les voitures sur routes, cela est impossible, le retour doit se faire par un second conducteur, et le trolley doit être à double roulette.

Ce système de traction est moins répandu actuellement que celui par voitures automobiles ; il n'a guère été employé que pour le remorquage ou le halage des bateaux sur les voies navigables, et ce n'est que depuis quelque temps qu'on a songé à l'utiliser pour des services publics par l'application du système Lombard-Gérin.

La production de l'énergie pour ce mode de traction revient donc exactement à l'installation d'une usine géné-

ratrice sur le modèle des usines de tramways. La tension employée est, en général, de 500 volts, ce qui est une tension moyenne, assez élevée cependant pour permettre des sections faibles pour les conducteurs.

Nous ne nous étendrons pas sur ce sujet, qui ne pourrait qu'être la répétition d'ouvrages sur les tramways, et citerons seulement les installations des voitures Lombard-Gérin, et la dernière application qui vient d'être faite par la Compagnie générale de traction électrique sur voies navigables.

Après les essais des ingénieurs américains, Cafrey et Marson, de l'omnibus Nave et du cheval électrique de Galliot, on avait remarqué quels étaient les inconvénients de ce système. Dans un tramway, le conducteur aérien suit, en général, l'axe du déplacement de la voiture, ou, s'il y a un désaxement, celui-ci est toujours assez faible; dans ce dernier cas, les perches sont faites en conséquence, et la roulette est susceptible de prendre des positions différentes, suivant l'emplacement de la ligne (système Dickinson). Ici la voiture est absolument indépendante des conducteurs; il faut qu'elle puisse se déplacer facilement dans tous les sens sans être gênée; elle est reliée à ses roulettes, par un câble souple; il s'ensuit donc que l'effort qui tend à appliquer le chariot sur les câbles ne s'exerce pas toujours perpendiculairement au fil, et que, par suite, il y a tendance à des déraillements fréquents du chariot, à moins de placer un contrepoids mobile qui rétablit l'équilibre.

Pour les applications de ce système au halage électrique, la vitesse employée n'excédant jamais 3 kilomètres à l'heure, cela a peu d'inconvénients; il n'en serait pas de même pour une traction en ville ou sur routes fréquentées, où les vitesses atteignent 12 à 15 kilomètres à l'heure; c'est dans ce cas que le système Lombard-Gérin prétend trouver son application. Dans certaines petites villes, il peut se faire qu'on recule devant l'établissement coûteux d'une voie de

tramway, et cependant qu'il soit nécessaire d'établir un service de transports publics; dans ce cas, si la ligne aérienne n'est pas proscrite, on pourrait songer à établir une ligne d'omnibus à trolley.

Un autre avantage qu'on peut trouver à une telle application, c'est l'établissement d'un réseau complet de transport d'énergie, applicable en outre à l'éclairage et à toutes les utilisations diverses de l'énergie, dans des conditions particulièrement bonnes, comme rapport.

Quand le réseau à desservir sera d'une grande surface et que, par suite, le transport de la force devra se faire sur une longue distance, il y aura intérêt à employer les courants bi ou triphasés à haute tension, avec des postes de transformation alimentant les moteurs des voitures par des courants de même nature, mais à basse tension, ou encore de les transformer en courant continu par l'emploi de commutatrices.

Traction électrique sur le canal de Bruxelles à Charleroi. — C'est à la première solution que s'est rattachée la Compagnie générale de traction électrique sur voies navigables, pour l'exploitation du halage électrique sur le canal de Bruxelles à Charleroi.

La station centrale a actuellement une puissance de 300 chevaux, répartis en trois groupes électrogènes Bollinck-Brown et Boveri; les moteurs tournent à 80 tours à la minute, et les dynamos à 400 tours à la minute; celles-ci produisent des courants triphasés d'une fréquence de 40 périodes par seconde, avec une tension polygonale de 6.000 volts et un rendement de 92,5 0/0, lorsque le facteur de puissance $\cos \varphi = 0,8$. Les excitatrices sont branchées sur l'arbre même de l'alternateur, qui est à induit fixe et inducteur mobile.

Du tableau de distribution part le circuit primaire alimentant des postes de transformation, d'où partent, d'une

part les circuits d'éclairage, d'autre part les conducteurs destinés à assurer le service de la traction sur le canal.

Les tracteurs comprennent un truck à roues arrière motrices et un bâti supportant le moteur triphasé, le siège du conducteur et les appareils de réglage.

Le courant est amené par un câble souple à trois conducteurs, correspondant chacun à un trolley frottant sur un des trois fils; ces trolleys sont à contrepoids; leur poids total est de 800 grammes chaque.

Trolley automoteur Lombard-Gérin ⁽¹⁾. — Nous avons vu plus haut que, si on veut atteindre une certaine

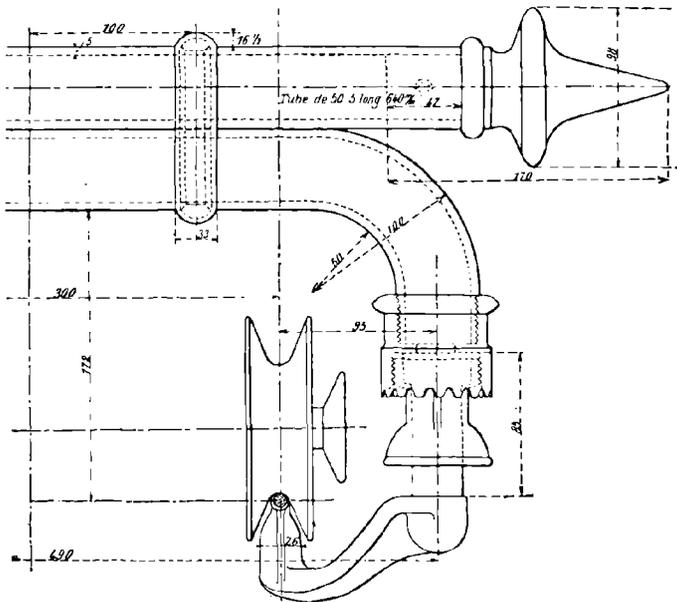


FIG. 37. — Console pour le support des fils
(Trolley automoteur Lombard-Gérin).

vitesse, le trolley à contrepoids remorqué par la voiture, solidaire en quelque sorte du véhicule auquel il transmet

⁽¹⁾ *Génie civil*, 10 février 1900.

le courant, ne peut plus être applicable, puisqu'il supporte tous les à-coups de la voiture.

Lombard-Gérin a imaginé l'emploi d'un trolley automoteur, presque indépendant de la voiture et se déplaçant au gré du conducteur.

Un omnibus de ce type a fonctionné, dans de bonnes conditions, à l'annexe de l'Exposition, à Vincennes.

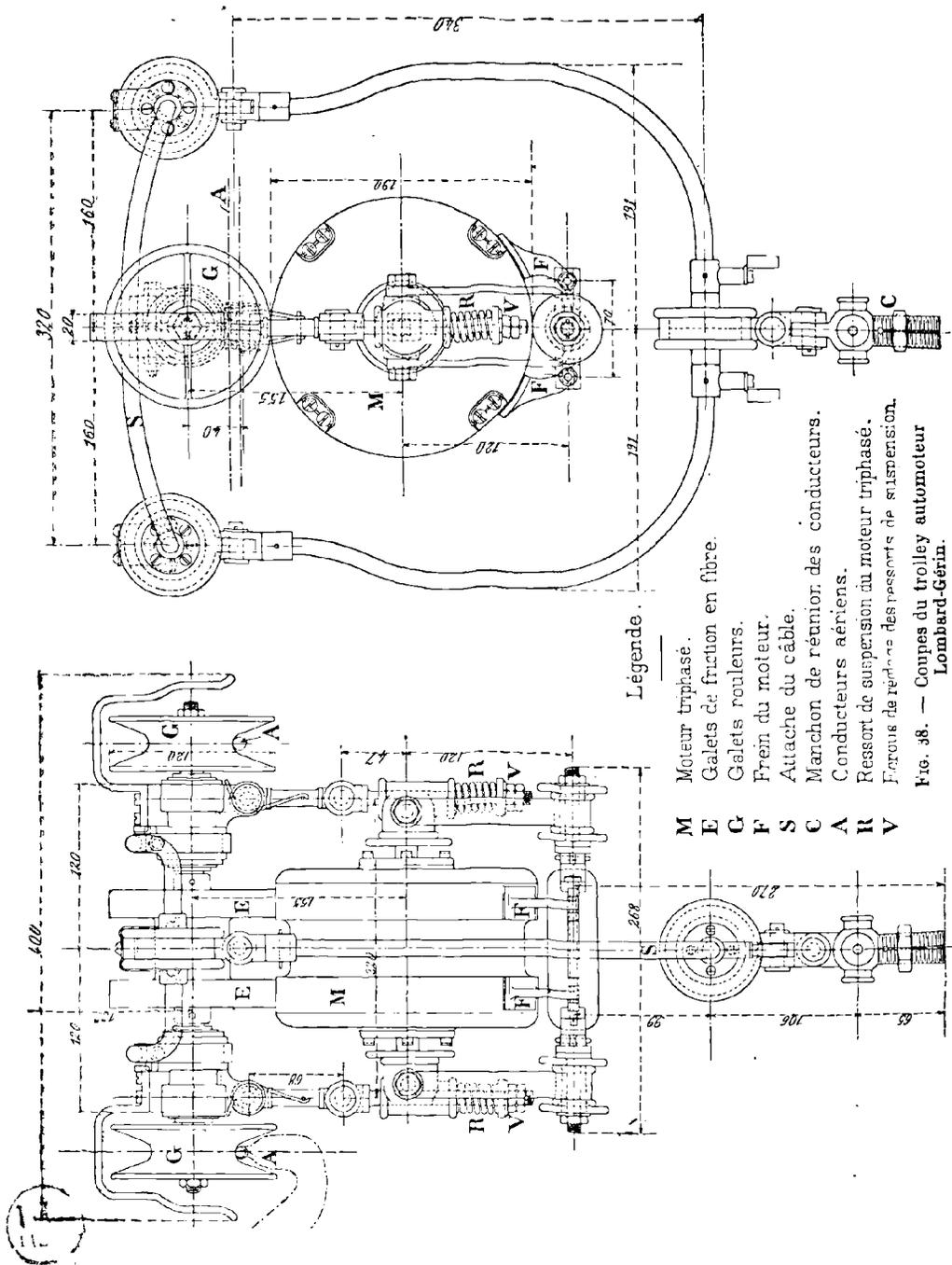
Lors des premiers essais qui ont été faits sur le quai d'Issy-les-Moulineaux, le courant était fourni par l'usine électrique du secteur de la rive gauche, sous la forme de continu à 500 volts. Les fils étaient supportés par des consoles à deux branches recourbées intérieurement, et isolées par des isolateurs en porcelaine (*fig. 37*).

Sur chacun des fils frotte une des roues G d'un chariot, qui, prenant le courant sur les fils, l'envoie au moteur de la voiture par l'intermédiaire du combinateur. Le moteur comporte, sur l'extrémité de l'arbre opposée au collecteur, trois bagues reliées à trois points de l'enroulement, choisis de telle sorte que les courants alternatifs non redressés qui sont connectés soient décalés l'un par rapport à l'autre d'un sixième de période; ce courant triphasé est envoyé au moteur M du chariot par trois conducteurs (*fig. 38*); le moteur M a son inducteur central fixe et son induit mobile et extérieur, qui est muni d'un enroulement en cage d'écureuil; en tournant, cet induit entraîne deux galets en fibre E, qui sont placés entre les arbres des roues G et, tout en les entraînant, les isole. La friction des galets G est réglée par les ressorts R et les écrous V.

Un frein électro-magnétique F, agissant sur la circonférence du moteur par ses sabots, permet d'arrêter le chariot, et de l'empêcher de descendre trop vite dans les pentes.

Ce frein est commandé de la voiture.

Il est à remarquer que le moteur M est forcément en concordance de marche avec celui de la voiture, puisqu'il reçoit son courant par lui.



Légende.

- M Moteur triphasé.
- E Galets de friction en fibre.
- G Galets rouleurs.
- F Frein du moteur.
- S Attache du câble.
- C Manchon de réunion des conducteurs.
- A Conducteurs aériens.
- R Ressort de suspension du moteur triphasé.
- V Ecrous de réglage des ressorts de suspension.

Fig. 38. — Coupes du trolley automoteur Lombard-Gérin.

Le poids total du chariot est de 18 kilogrammes.

Le câble souple contient donc cinq conducteurs : deux pour amener le courant de la ligne au moteur, trois pour le

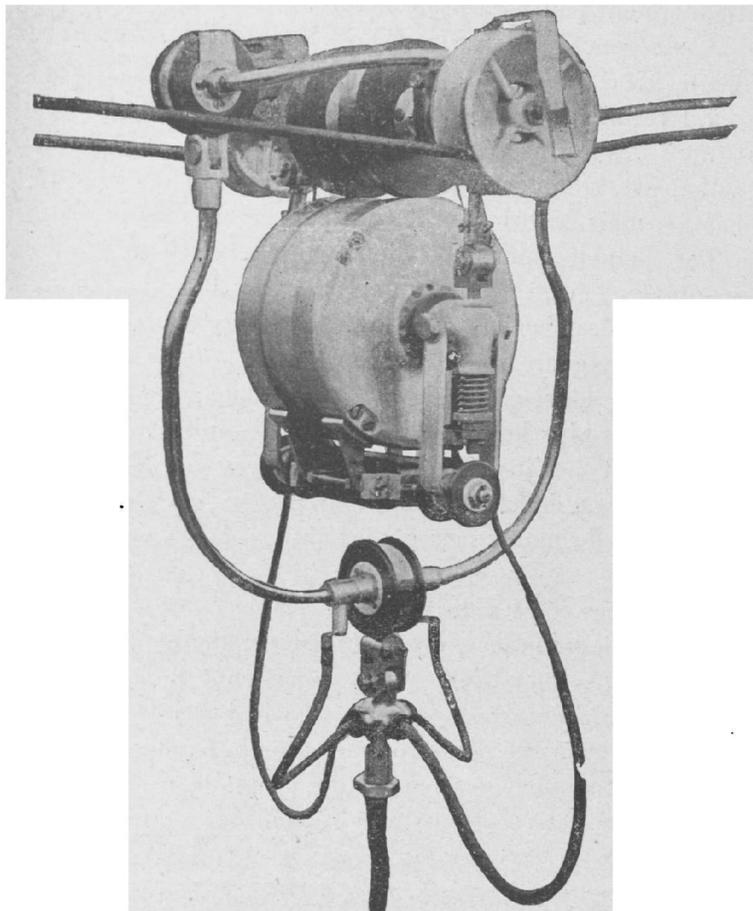


Fig. 39. — Trolley automoteur Lombard-Gérin.

moteur triphasé du chariot. Ce câble vient se fixer par un accouplement au haut d'un mât placé sur la voiture; l'accouplement étant démontable, deux voitures marchant dans le même sens, mais dont l'une veut dépasser l'autre, ou

deux voitures allant en sens inverse sur une voie aérienne unique, peuvent échanger leurs chariots, supprimant, par suite, des aiguillages qui seraient compliqués et ne fonctionneraient peut-être pas toujours.

L'adhérence du chariot est suffisante pour gravir des pentes de 12 0/0.

En résumé, on voit, par le court aperçu de ces applications des voitures automotrices sur routes, que leur utilisation est, somme toute, possible, non seulement pour le halage, mais encore pour le transport de voyageurs.

Par l'établissement de deux lignes aériennes, l'une montante, l'autre descendante, on supprimerait l'ennui de l'échange des chariots. Il est vrai que l'installation de deux lignes de ce genre serait assez onéreuse.

De plus, ainsi que cela a été fait dans l'exemple que nous citons plus haut, il serait facile d'employer une partie du courant à l'installation d'un réseau de distribution d'éclairage ou de force, à bon marché, en particulier dans les régions de montagnes où les chutes d'eau sont faciles à trouver.

Malgré ces côtés séduisants le système Lombard-Gérin ne semble pas, pour le moment du moins, donner lieu à des exploitations industrielles. Des essais sont en ce moment tentés en Allemagne, entre la gare d'Eberswalde et la ville, qui est à une distance assez grande pour l'application de ce système. Espérons que nous connaissons bientôt les résultats de ces essais et qu'ils répondront aux espérances de l'inventeur.

CHAPITRE VIII

MOTEURS ÉLECTRIQUES

De tous les types de moteurs actuels, le moteur électrique est, sans contredit, celui qui répond le mieux aux besoins des voitures automobiles. Il donne d'une façon normale, sous un faible poids, une puissance élevée et est susceptible, en outre, de fournir des coups de collier soutenus, si la source qui l'alimente le lui permet.

L'emploi des dynamos comme moteurs suivit de près leur découverte comme génératrices; le moteur électrique sous sa forme actuelle date de 1871, année où Gramme donna sa machine à l'industrie.

Quand un conducteur est traversé par un courant, il produit autour de lui un champ magnétique dont les lignes de force sont concentriques au centre du conducteur; si ce conducteur est situé dans un champ magnétique uniforme, les deux champs se composeront et donneront naissance à un champ déformé, suivant le sens du champ prédominant; il y aura de ce fait tension sur les lignes de force et par suite le conducteur sera soumis à un certain effort.

Dans une dynamo fonctionnant comme génératrice, l'effort produit tend à s'opposer à la rotation de l'induit, et augmente avec l'intensité du courant circulant dans les fils, par suite demande une plus grande puissance.

Dans un moteur, au contraire, c'est cet effort qui entraîne l'induit et produit le mouvement.

Si on désigne par :

I , l'intensité du courant en ampères

l , la longueur du conducteur en centimètres ;

\mathcal{H} , l'intensité du champ magnétique en gauss ;

On a pour F , effort exercé sur le conducteur exprimé en dynes :

$$F = \frac{\mathcal{H}lI}{10^8}.$$

La puissance mécanique P produite par un moteur, ou absorbée par une dynamo, peut s'exprimer ainsi par :

$$P = W\omega.$$

W représentant le couple mécanique ou torque ;

ω , la vitesse angulaire en tours par seconde.

Or :

$$\omega = 2\pi \frac{n}{t} \text{ radians par seconde } (1)$$

Si n est le nombre de tours en t secondes, on a :

$$P = W2\pi \frac{n}{t} \text{ en kilogrammètres par seconde,}$$

pour transformer en watts :

$$1 \text{ kilogrammètre par seconde} = 9,81 \text{ watts}$$

$$P \text{ en watts} = W2\pi \frac{n}{t} \times 9,81.$$

Or, si E est la différence de potentiel en volts et I , l'intensité du courant absorbé, comme $P = EI$ on a :

$$(1) \quad EI = W2\pi \frac{n}{t} \times 9,81.$$

(1) Le radian est l'angle dont l'arc est égal au rayon.

$$1 \text{ radian} = 57^{\circ} 17' 44''.$$

Si on désigne par :

N , le nombre des fils à la périphérie de l'induit ;

Φ , le flux de force en webers ;

on a pour valeur de la force électromotrice en volts :

$$(2) \quad E = \frac{n}{t} N\Phi \cdot 10^{-8}$$

d'où :

$$P_{\text{watts}} = \frac{n}{t} N\Phi \cdot 10^{-8} I = W \cdot 2\pi \frac{n}{t} \cdot 9,81.$$

$$N\Phi 10^{-8} I = W 2\pi 9,81$$

$$(3) \quad W = \frac{NI\Phi \cdot 10^{-8}}{19,62\pi} \text{ kilogrammètres.}$$

Ceci est la formule générale du couple pour une dynamo.

L'équation (2) peut s'écrire aussi en remplaçant ΦN par la longueur totale du fil et par l'intensité du champ \mathcal{C} :

$$E = \mathcal{C}lv ;$$

La vitesse v des fils à la périphérie d'un induit de rayons r étant $v = \omega r$, la puissance en watts est alors :

$$P = EI = \mathcal{C}lv \cdot I$$

$$\mathcal{C}lvI = W\omega$$

$$\mathcal{C}l\omega rI = W\omega$$

$$W = \mathcal{C}lr$$

Or lr , étant le produit de deux longueurs, peut se remplacer par une surface S ; on a donc pour le couple W :

$$(4) \quad W = \mathcal{C}SI.$$

qui est de la forme de (3), puisque :

$$\Phi = \mathcal{C}S,$$

Force électromotrice et force contre-électromotrice. — Une dynamo fournissant de l'énergie développe une certaine force électromotrice ; le courant produit

par une source quelconque, absorbé dans une dynamo produit, ainsi que nous l'avons vu, l'entraînement de la partie mobile de celle-ci; il naît alors dans la dynamo une force électromotrice qui est de sens contraire au courant et qui reçoit le nom de *force contre-électromotrice*.

Cette force contre-électromotrice se retranche de la différence de potentiel du courant fourni et en désignant par R, la résistance du moteur, l'intensité du courant consommé est :

$$(3) \quad I = \frac{U - E}{R}$$

E étant la force contre-électromotrice. C'est cette valeur de I qui doit être portée dans les équations (3) et (4) pour donner la valeur du torque :

L'équation (3) donne en kilogrammètres :

$$W = \frac{N\Phi}{19,62\pi} 10^{-8} \times \frac{U - E}{R}.$$

Remplaçant E par sa valeur tirée de (2), on a :

$$W = \frac{N\Phi}{19,62\pi} 10^{-8} \times \frac{U - \frac{n}{t} N\Phi 10^{-8}}{R} = \text{JCS.}$$

Au point de vue de la traction, c'est par le couple à fournir qu'il faut caractériser un moteur ; et ce couple ne doit pas être considéré comme appliqué sur l'arbre, mais comme appliqué à la jante ; il faut donc tenir compte du rapport de réduction.

Si f est l'effort à la jante en kilogrammes ;

D, le diamètre des roues motrices en mètres ;

a , le rapport de réduction ;

La valeur du couple mécanique nécessaire sera :

$$W = \frac{D}{2} \frac{f}{a} = \frac{Df}{2a}.$$

Ce couple, ainsi que le montre (3), dépend du nombre d'ampères-tours de l'armature ; il est indépendant de la vitesse, qui n'influe que sur la puissance P.

La formule (Voir p. 127) :

$$P = \mathcal{K} \ell v I$$

montre clairement que la puissance P dépend de l'intensité du champ, de la vitesse et du courant absorbé ; ces trois quantités sont les seules que l'on puisse faire varier ; on a donc intérêt à avoir un champ intense et cela d'autant plus qu'on veut réduire la vitesse, afin de diminuer la valeur du rapport de réduction.

Ainsi se trouve expliquée la grande vitesse dont sont doués la généralité des moteurs électriques ; on ne peut, en effet, diminuer cette vitesse qu'en augmentant le champ et la longueur du fil enroulé ; on arrive, par suite, pour de trop faibles vitesses, à un nombre d'ampères-tours très grand et, par suite, à une dépense de cuivre élevée dans l'armature, à moins qu'on n'augmente le nombre des pôles.

En effet, si dans la valeur (Voir p. 127) :

$$E = \frac{n}{t} N \Phi \cdot 10^{-8},$$

Φ représente le flux sortant d'un des pôles, nous aurons, en désignant par p le nombre des pôles et c le nombre des circuits dérivés à l'intérieur de l'induit

$$(6) \quad E \text{ (volts)} = \frac{n}{t} N \Phi \frac{p}{c} \times 10^{-8},$$

on voit donc que E variera suivant le nombre des pôles et d'une façon inverse avec le nombre de circuits dérivés, c'est-à-dire avec la nature de l'enroulement de l'induit.

L'équation de la puissance devient alors :

$$P = \mathcal{K} \ell v I \cdot \frac{p}{c};$$

on pourra donc diminuer la vitesse en augmentant le nombre des pôles et en diminuant c .

Puissance maximum. Rendement maximum. —

La puissance électrique fournie à un moteur n'est pas utilisée entièrement à produire de la puissance mécanique ; une certaine quantité est consommée dans l'induit sous forme de chaleur ; c'est ce qu'on désigne sous le nom d'effet Joule ; la puissance utilisable P_u est donc égale à la puissance fournie P_f , moins celle p dépensée en échauffement du moteur :

$$P_u = P_f - p.$$

La puissance fournie est :

$$P_f = UI,$$

U étant la différence de potentiel du courant d'alimentation.

La puissance perdue en effet Joule est :

$$p = RI^2,$$

d'où :

$$P_u = UI - RI^2.$$

Cette valeur passera par un maximum pour :

$$\begin{aligned} \frac{dP_u}{dI} &= 0, \\ U - 2RI &= 0, \\ I &= \frac{U}{2R} = \frac{1}{2} \frac{U}{R}. \end{aligned}$$

le maximum serait donc atteint quand le courant serait égal à la moitié de la valeur obtenue si dans :

$$I = \frac{U-E}{R},$$

on fait :

$$E = 0,$$

c'est-à-dire quand le moteur est au repos ; ce point n'est jamais atteint car le moteur serait vite brûlé ; puis à cet instant, étant au repos, son utilité est nulle.

A ce moment, le rendement passerait par une valeur déterminée, qui est donnée ainsi :

$$\begin{aligned} I &= \frac{U}{2R}, \\ \frac{U-E}{R} &= \frac{U}{2R}, \\ U-E &= \frac{U}{2}, \\ E &= \frac{U}{2}, \\ \eta &= \frac{P_u}{P_f} = \frac{1}{2}, \end{aligned}$$

puisque :

$$\eta = \frac{E}{U},$$

étant donné que :

$$\eta = \frac{P_u}{P_f} = \frac{UI - RI^2}{UI} = \frac{\frac{U-E}{R} \left(U - R \frac{U-E}{R} \right)}{\left(\frac{U-E}{R} \right) U} = \frac{E}{U}.$$

Le rendement sera maximum pour :

$$E = U;$$

à ce moment il n'y aurait aucune perte en effet Joule ; on recueillerait une puissance électrique égale à celle fournie ; en pratique, ce point est absolument impossible à obtenir ; on cherche à rendre le terme diminutif aussi petit que possible.

Pour avoir un rendement de 90 0/0, par exemple, il faudra que :

$$E = \frac{9U}{10}.$$

Description générale d'une dynamo. — Tout générateur dynamo-électrique se compose essentiellement de deux parties :

- 1° L'induit ou armature ;
- 2° L'inducteur.

Dans les machines à courant continu, l'une de ces deux parties est animée d'un mouvement de rotation.

INDUIT. — L'induit d'une dynamo est essentiellement composé d'une carcasse autour de laquelle sont enroulées les bobines, destinées à la génération du courant, par suite de la variation du flux de force qu'elles embrassent, variation produite soit par leur déplacement dans le champ magnétique, soit par le déplacement de celui-ci.

Les extrémités des bobines sont reliées à des touches de cuivre isolé, dont l'ensemble forme le collecteur, sur lequel frottent les balais. Ce collecteur a pour but de donner dans la ligne une somme de courants alternatifs redressés, dont l'ensemble forme ce qu'on appelle un courant continu.

La façon dont les bobines sont enroulées autour du noyau caractérise les induits, qui sont de deux catégories :

- 1° Induits en anneau ou Gramme ;
- 2° Induits en tambour ou Siemens.

Il existe une troisième sorte : l'induit-disque, dont nous ne parlons que pour mémoire ; les moteurs dont nous aurons à nous occuper se rattacheront toujours à ces deux types.

Le mode d'enroulement du fil dans chacune des catégories est variable et donne les divisions suivantes :

Induit en anneau. — 1° L'induit se déplace dans un champ magnétique bipolaire :

Induit Gramme, dans lequel le nombre de touches du collecteur est égal au nombre des bobines ;

2° L'induit se déplace dans un champ magnétique multipolaire.

- a) L'enroulement de l'induit est en quantité :
- a) Enroulement Gramme ;

b) Enroulement Mordey ;

β) L'enroulement de l'induit est en tension.

Induit en tambour. — Comme les induits en anneau, peuvent être bipolaires ou multipolaires ; ces derniers peuvent être en tension ou en quantité.

En outre, la façon dont les bobines sont réunies, soit par le diamètre, soit par les cordes, les différencie aussi.

Comparaison de l'induit en anneau et de l'induit en tambour au point de vue de l'enroulement et de la force électromotrice et de l'utilisation du cuivre. — L'induit en anneau est obtenu par l'enroulement du fil autour d'une couronne, comme le représente la figure (fig. 40).

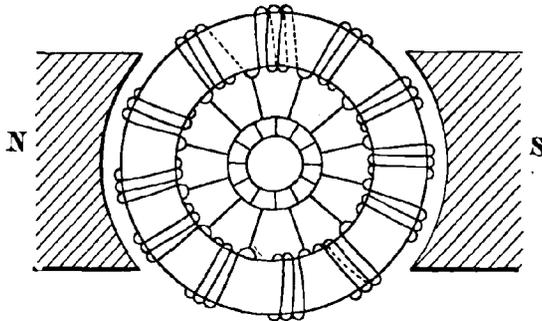


FIG. 40. — Enroulement d'un induit en anneau Gramme.

L'induit en tambour est, au contraire, formé par l'enroulement d'un fil autour d'un cylindre plein.

Quand on compte le nombre des fils à la périphérie d'un anneau Gramme, le nombre des spires est égal au nombre de fils à la périphérie ; il est donc bon d'en tenir compte dans l'application de la formule :

$$E = \frac{n}{t} N\Phi \cdot 10^{-8} \text{ (volts).}$$

pour le nombre de spires.

L'enroulement en anneau Gramme est le plus facile à faire et, par suite, à réparer; la différence de potentiel entre deux spires voisines est faible; la réunion des bobines avec le collecteur est simple. La facilité qu'on a d'enrouler sur l'induit une quantité de spires plus grande permet d'avoir, pour le noyau, une section faible et, par suite, de diminuer l'encombrement des conducteurs; on remarque, en effet, combien les machines Gramme ont leurs inducteurs étroits; seulement, avec ces avantages, plusieurs inconvénients sont inhérents à ce type.

L'examen du schéma d'un induit en anneau montre clairement que les spires ont leur surface externe plus rapprochée de l'origine des lignes de force que la circonférence interne de l'anneau; la partie du fil placée intérieurement est donc le siège d'une force électromotrice très faible, et le fil externe est le seul qui produise vraiment.

La facilité qu'on a d'augmenter le nombre des spires fait s'aggraver un phénomène secondaire que nous verrons plus loin : la réaction d'induit, par suite de la grande quantité d'ampères-tours; ensuite la perméabilité des circuits magnétiques est moins bonne que dans l'induit en tambour.

L'induit en tambour est obtenu, ainsi que nous l'avons dit plus haut, par l'enroulement autour d'un cylindre plein du fil induit, disposé suivant les génératrices du cylindre.

La carcasse pouvant être enfilée directement sur l'arbre, cela permet de diminuer le diamètre de l'induit; alors que, dans l'induit en anneau, on était obligé de réunir l'induit à l'arbre par des croisillons formant la lanterne de l'induit. Il n'est pas possible d'enrouler, à valeur égale, autant de spires que sur un anneau; mais l'utilisation du fil est meilleure; la diminution du diamètre de l'induit entraîne la diminution de la distance entre les pôles, et l'inducteur, tout en étant plus petit, a une meilleure utilisation du champ magnétique qu'il produit.

Par suite de la diminution du nombre de spires, le

nombre d'ampères-tours, étant plus petit, la grandeur de la réaction d'induit est diminuée.

La construction, par contre, n'est pas aussi facile; sur la partie du tambour opposée au collecteur, les fils forment une calotte, puisqu'ils sont forcément entre croisés, et par le fait du croisement de tous les fils l'isolement est moins bon, par suite des différences de potentiel élevées qui peuvent exister entre deux spires voisines; cette différence n'existe pas dans le cas des induits multipolaires en tension, le même inconvénient d'isolement existant pour les induits en anneau.

INDUITS MULTIPOLAIRES. — On a vu, dans la formule (6) (p. 129), l'influence du nombre des pôles dans la valeur de E ; pour une même valeur de Φ , en doublant p , nous avons une vitesse deux fois moindre.

Dans une dynamo, le nombre des balais est, sauf dans certains dispositifs de bobinage que nous décrirons plus loin, égal au nombre des pôles; une machine bipolaire aura donc une paire de balais, une tétrapolaire, deux paires, etc. Cette augmentation du nombre des balais est un ennui, surtout pour les moteurs; cette partie des machines demande un entretien sérieux, un réglage excellent, et on conçoit que plus on multiplie le nombre des frotteurs, plus on augmente l'usure des collecteurs et les ennuis causés par le manque de surveillance.

Induits multipolaires en anneau en quantité. — Dans les induits en anneau Gramme en quantité, l'induit peut être considéré comme formé par deux induits bipolaires couplés en parallèle, les balais étant placés aux extrémités des lignes neutres, placés à 90° dans le cas des machines tétrapolaires (*fig. 41*). Mordey, afin d'éviter l'emploi d'autant de balais que de pôles, a proposé de relier à l'intérieur même de l'induit les lames du collecteur diamétralement opposées à l'aide de connexions en forme de développantes de cercle, (*fig. 42*).

Les deux seuls balais restant, sont, par suite, situés à 90° pour une machine à quatre pôles, et à 60° pour une machine à

six pôles. Ce système donne une légère perte aux balais, due

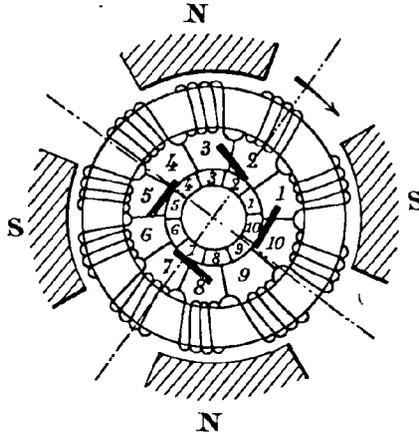


FIG. 41. — Enroulement multipolaire en anneau en quantité.

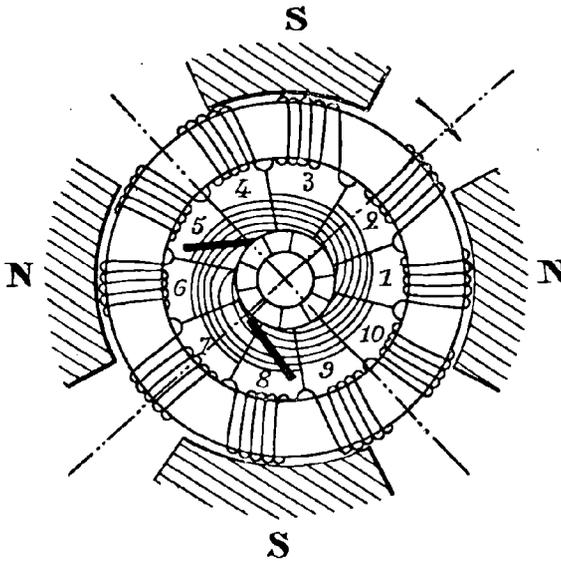


FIG. 42. — Enroulement multipolaire en anneau en quantité (Dispositif Mordey).

à la résistance des fils de couplage, et met en croisement des

points à des potentiels différents ; l'isolement doit donc être très bon.

Induits multipolaires en anneau en série ⁽¹⁾. — Quand l'enroulement de l'anneau est en tension, on réunit entre elles les bobines semblablement placées par rapport à des pôles identiques (*fig. 43*).

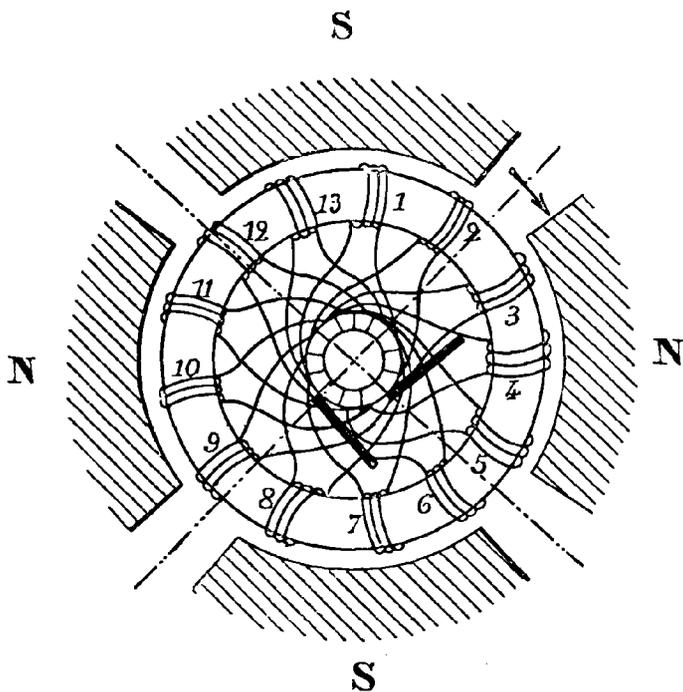


FIG. 43. — Enroulement multipolaire en anneau en série.

Pour la construction, il est nécessaire d'avoir un nombre impair de paires de bobines ; par ce fait, les balais, en passant sur deux lames de collecteur, mettent en court-circuit, deux bobines au lieu d'une.

Si on désigne par N le nombre des bobines comptées sur le tour de l'anneau, on aura pour valeur du pas de l'enroule-

⁽¹⁾ ERIC GÉRARD, *Leçons d'électricité*.

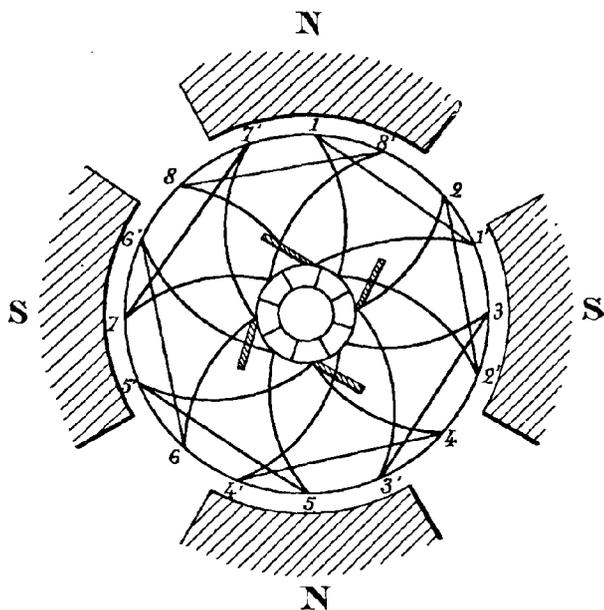


FIG. 44. — Enroulement en tambour en quantité.

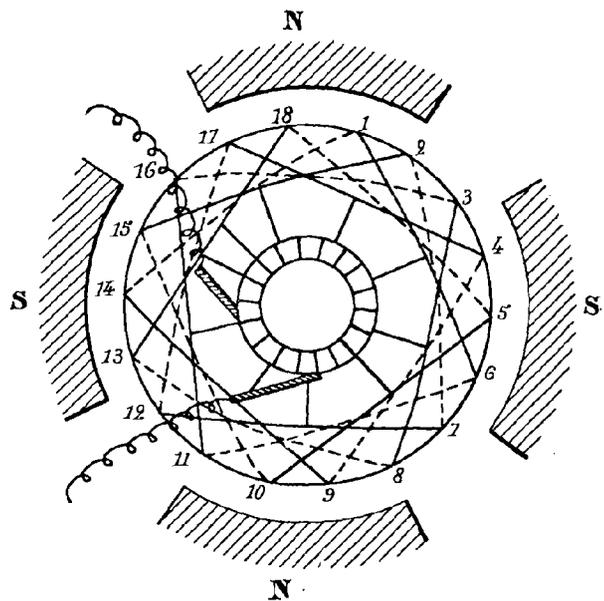


FIG. 45. — Enroulement multipolaire en tambour en tension.

ment :

$$\alpha = \frac{N \pm 1}{2}.$$

Induits multipolaires à tambour en quantité ⁽¹⁾. — Les bobines 1-1', 2-2', sont reliées d'une part aux touches du collecteur, d'autre part à la bobine suivante. Pour n'avoir que deux balais, il faut relier entre elles les lames au même potentiel (*fig. 44*).

Induits multipolaires à tambour en tension ⁽²⁾. — Dans l'enroulement (*fig. 45*), une section 1-6 est reliée en série par 6-11, avec une autre section 11-16, placée dans des champs à peu près semblables, chaque corde embrassant à peu près $\frac{\pi}{4}$; pour une machine à $2p$ pôles, on a pour N :

$$N = 2pz \pm 1.$$

CONSTRUCTION DES INDUITS. — Le noyau d'un induit n'est jamais composé d'un seul et unique bloc, que ce soit un induit en anneau, ou un induit en tambour; si on opérât ainsi, des courants parasites, dits courants de Foucault prendraient naissance; il y aurait une certaine absorption d'énergie et une production de chaleur.

Pour éviter ces courants de Foucault, on forme le noyau des induits, soit : 1° en disques de tôle, 2° en fil de fer, de manière à obtenir une division du noyau qui soit parallèle à la direction des lignes de force, ainsi qu'à celle du mouvement, mais perpendiculaire au sens du courant.

On emploie généralement la division par disques qui sont en outre isolés les uns des autres par du papier ou par un léger enduit de gomme laque. La nature du métal employé a une très grande importance; il est, en effet, utile qu'il présente le moins possible d'hystérésis, qui peut causer aussi une perte d'énergie qui se transforme en chaleur; cette

(1) et (2) ERIC GÉRARD, *Leçons d'électricité*.

perte W , mesurée en ergs, est d'après Steinmetz ⁽¹⁾ par centimètre cube et par cycle magnétique dont nous verrons plus loin (p. 152) la détermination :

$$W = a\mathfrak{B}^{1,6},$$

a est le coefficient d'hystérésis qui, pour certaines qualités de tôle, absolument impropres, atteint 0,004 à 0,005. Ce coefficient augmente avec la température.

\mathfrak{B} représente l'induction magnétique :

$$\mathfrak{B} = \mu\mathfrak{H},$$

μ étant la perméabilité du corps ;

\mathfrak{H} se mesurant en gauss, il en est de même de \mathfrak{B} .

Pour les bonnes qualités, ce coefficient ne doit pas dépasser 0,0020 à 0,0030, et doit avoir un coefficient de température aussi faible que possible.

Les fils de fer sont aujourd'hui presque abandonnés ; la solidité mécanique du noyau est moins bonne, ainsi que la perméabilité magnétique de l'ensemble, par suite des vides nombreux qui augmentent la résistance magnétique du milieu.

BOBINAGE. — Le fil de l'induit peut être bobiné de trois façons différentes :

1° Le fil est enroulé sur un noyau lisse ; dans cette méthode, aujourd'hui abandonnée, les fils sont soumis à tout l'effort de traction occasionné par l'action simultanée du courant et du champ ; l'entrefer, ou distance entre la partie interne des pièces polaires et la partie externe du noyau, se trouve augmenté par l'épaisseur de fil enroulé ;

2° Le fil est logé dans des rainures pratiquées dans le noyau (*fig. 46*) ; ce procédé présente de réels avantages et est, par suite, très employé ; l'effort mécanique ne s'exerce pas sur le fil, mais sur le noyau, l'entrefer peut être réduit à l'extrême

(1) *L'Industrie électrique*, 6 mars 1892.

limite, et par suite la valeur du champ sera moins grande pour une valeur donnée de E ; cette diminution du champ permet de diminuer le nombre d'ampères-tours de l'in-

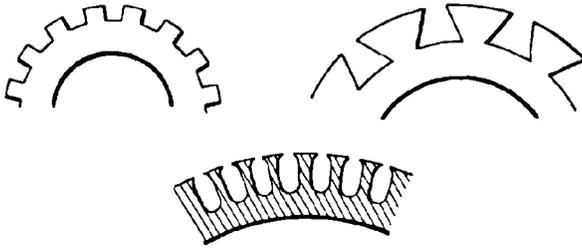


FIG. 46. — Tôles pour induits dentés.

ducteur; les fils sont protégés contre toute détérioration extérieure et même contre le frottement de l'induit sur les pièces polaires, pouvant provenir d'un décentrage de l'arbre ou d'un faux rond de l'armature;



FIG. 47. — Tôles pour induits à trous.

3° Les fils sont passés dans des trous (induits percés) garnis de matière isolante (*fig. 47*); les qualités des induits dentés sont ici amplifiées; mais la construction est moins commode.

En général, les induits dentés sont les plus employés.

Quand le diamètre des fils le permet, on peut en loger deux par couche; le diamètre maximum, dans ce cas, est de 30/10 de millimètre; en général, les fils sont isolés par deux guipages de coton et vernis ensuite à la gomme laque.

Pour le bobinage d'un anneau on bobine séparément

chaque bobine, et on les relie ensuite aux agrafes des touches du collecteur.

Pour le bobinage en tambour, la figure 48 montre facilement la méthode à suivre dans l'enroulement; les bobines doivent être, comme dans l'anneau, réunies les unes aux

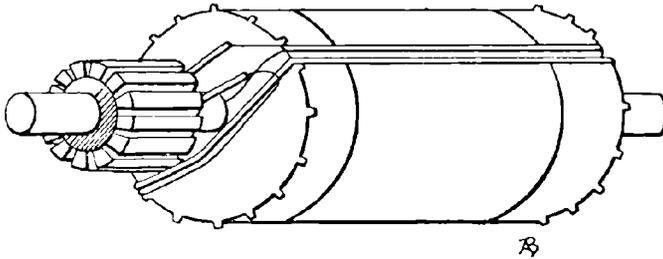


FIG. 48. — Bobinage d'un induit en tambour.

autres par l'intermédiaire du collecteur; la puissance des moteurs d'automobile, ne demandant jamais l'introduction de barres, facilite notre étude à ce sujet.

Un enroulement intéressant, au point de vue de l'entretien, est celui du tambour Eickemeyer. Chacune des sections de l'induit est enroulée sur une forme, suivant la figure 49;

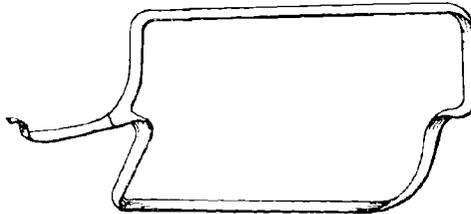


FIG. 49. — Section d'induit en tambour faite sur gabarit (Eickemeyer).

dans celle-ci la partie supérieure sera placée sur l'extérieur du bobinage et la partie inférieure sur l'intérieur. Il suffit d'avoir un jeu de ces sections pour en remplacer rapidement en cas d'avarie. L'inconvénient de leur emploi résulte dans l'encombrement assez grand de l'induit.

FRETTES. — Afin d'éviter que les conducteurs ne se déplacent par l'action de la force centrifuge et de l'effort exercé par le champ, on entoure les induits par des frettes; ces frettes sont, en général, constituées par du fil d'acier ou de laiton étamé, dont le diamètre est, au maximum, de 9 à 10/10 de millimètre; on en fait environ entre dix et vingt tours l'un à côté de l'autre; au commencement et à la fin de l'enroulement, on place en dessous des petites feuilles de laiton dont la longueur excède la largeur de la frette; on rabat ensuite l'excédent de chaque côté, pour emprisonner les fils dans une boucle, que l'on soude ensuite. La distance entre les frettes voisines ne doit pas excéder 4 à 5 centimètres. Les fils d'acier ne sont pas enroulés directement autour des fils de l'induit; certains constructeurs enveloppent la partie à fretter avec une couche de toile isolante et mettent un ruban de mica sous la frette; d'autres ne mettent la toile isolante que sous les frettes. Quel que soit le dispositif adopté, l'épaisseur des frettes doit être aussi faible que possible, afin de ne pas augmenter l'entrefer.

Il faut, une fois le frettage terminé, passer une couche de vernis isolant, la gomme laque de préférence; on peut aussi employer le vernis compound P & B.

SUPPORT DE L'INDUIT SUR L'ARBRE. — VENTILATION. — Dans les moteurs, l'induit est claveté directement sur l'arbre.

Les induits en anneau sont supportés par une lanterne clavetée sur l'arbre; les bras de l'étoile sont ou bien boulonnés à l'intérieur du noyau, ou, ce qui est préférable, sur le bord de celui-ci.

Une conséquence de ce raccordement à l'arbre est que l'échauffement d'un anneau est bien moins grand, toutes choses égales d'ailleurs, que celui d'un tambour, la ventilation étant meilleure dans le premier que dans le second; en effet, dans celui-ci, l'air a peine à circuler, et même il lui est impossible de circuler dans la calotte arrière et dans le

noyau ; à peine peut-il passer, dans certains induits, à l'endroit des connexions avec le collecteur.

Il y a donc lieu, dans les tambours, de surveiller, dans la construction, les trois causes déterminantes de l'échauffement total :

1° L'échauffement dû au passage du courant dans les conducteurs ;

2° L'échauffement dû aux pertes d'énergie par courant de Foucault ;

3° L'échauffement dû aux pertes d'énergie par hystérésis.

COLLECTEUR. — BALAIS ET PORTE-BALAIS. — Le collecteur peut être de trois genres :

1° Le collecteur est placé dans le prolongement de l'induit, calé sur le même arbre ; c'est le cas le plus général ;

2° Le collecteur est formé par l'induit lui-même, dont les fils sont dénudés à la périphérie ; dans ce cas, l'inducteur est intérieur ;

3° Le collecteur est radial, c'est-à-dire placé suivant une des bases du cylindre formé par l'induit. Actuellement il n'existe qu'un seul moteur où ce dispositif soit adopté, c'est le moteur Meynier.

Les collecteurs de la première catégorie sont assez variables comme détails ; en principe, ils se rattachent à un type unique.

Le collecteur est formé par la réunion d'une série de barres de cuivre rouge de haute conductibilité, isolées les unes des autres, et disposées à la périphérie d'un cylindre, dont il y a intérêt à diminuer autant que possible le diamètre, afin d'avoir une faible vitesse circonférencielle.

Les fils des bobines doivent être soudés directement dans une attache faisant partie des barres ; celles-ci sont assemblées en queue d'aronde avec des parties femelles en matière isolante, fibre vulcanisée, par exemple, ou en bronze avec interposition de lames de mica (*fig.* 50).

Les barres de cuivre doivent être isolées les unes des autres

avec des feuilles de fibre ou de mica ; on emploie de préférence cette dernière matière mais il est important que sa dureté ne soit pas supérieure à celle du cuivre ; sans cela le mica s'use moins vite que le cuivre et produit des inégalités qui occasionnent des crachements aux balais.

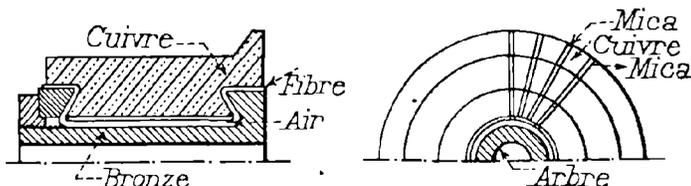


Fig. 30. — Coupe d'un collecteur.

Le nombre des touches est variable ; au maximum on compte 1,5 à 2 volts par touche.

Les seuls balais employés aujourd'hui sont en charbon ; il ne faut pas excéder une vitesse de plus de 15 mètres par seconde pour le collecteur ; même il vaut mieux s'en tenir à 10 mètres, si on le peut ; la densité de courant est de 7 à 10 ampères par centimètre carré de section droite ; la dureté des charbons doit être choisie de façon à ménager l'usure du collecteur, celle des balais et leur échauffement ; il est bon d'employer des balais cuivrés dans la partie qui se trouve emprisonnée dans le porte-balai.

Le serrage des balais doit être fait avec soin, et ne jamais dépasser 75 à 100 grammes par centimètre carré de section droite ⁽¹⁾.

Les porte-balais doivent répondre à différents desiderata ; une fois le serrage réglé, ils doivent le maintenir tel, c'est-à-dire ne changeant pas ni par la marche ni par les trépidations ; le remplacement d'un balai doit être facile et l'ensemble des pièces simple ; le contact entre les balais et les porte-balais doit être très bon, et on doit pouvoir maintenir hors circuit un des balais.

(¹) *Les voitures automobiles*, par MILANDRE et BOUQUET, t. IV.

Nous avons dit que les enroulements des induits multipolaires devaient être tels que le nombre des rangées de balais soit de deux, calés à 90° pour les moteurs à quatre pôles; ceci, afin non seulement de diminuer l'usure, mais aussi de faciliter la vérification.

Les balais sont, dans les moteurs de voiture, au moins au nombre de deux par pôle.

Comme modèle donnant satisfaction, on peut citer le porte-balai mis par la Société Postel-Vinay sur tous ses moteurs.

L'ensemble des porte-balais est monté sur un disque concentrique à l'arbre; la tige sur laquelle sont enfilés les porte-balais est naturellement isolée de ce disque par des rondelles en fibre. Ce disque est susceptible de tourner autour de l'arbre pour permettre de régler l'angle de calage.

INDUCTEURS. — La seconde partie des moteurs est constituée par l'inducteur qui produit le champ magnétique. A l'origine de la machine électrique, le champ était produit par un aimant permanent, d'où le nom de magnéto-électriques donné à ces machines; les champs dont on disposait par ce moyen étant trop faibles, on eut recours aux électro-aimants en les excitant par différents procédés qu'on étudiera plus loin et qui sont les mêmes que ceux employés pour les dynamos génératrices.

L'inducteur d'une machine dynamo-électrique est donc, en principe, composé de deux parties: l'enroulement et la partie métallique qui se subdivise en: 1° la culasse; 2° les jambes; 3° les pièces polaires enveloppant l'induit.

Souvent la culasse ou les jambes sont supprimées, l'enroulement inducteur étant fait autour de la partie conservée; cet enroulement est fait soit directement sur le noyau, soit sur une carcasse à part, laissant un espace vide autour de la partie métallique.

Les formes données aux inducteurs sont très variables; au point de vue de la traction, il est nécessaire que les induc-

teurs forment eux-mêmes la boîte renfermant le moteur; c'est le type cuirassé existant déjà depuis 1891 dans la traction des tramways. (Moteur Water Proof, WP, de la Compagnie Thomson-Houston.)

Les moteurs de voiture n'ont pas jusqu'ici dépassé quatre pôles, même la généralité de ceux employés ont deux pôles; vu l'extrême compacité qu'on leur demande, il n'est pas toujours facile de réduire le nombre des balais, les connexions qu'on établit dans ce cas augmentant la complication de l'enroulement induit.

Le nombre des enroulements inducteurs peut être égal au nombre de pôles des circuits magnétiques; mais néanmoins, afin de diminuer l'encombrement, on peut se contenter de la moitié.

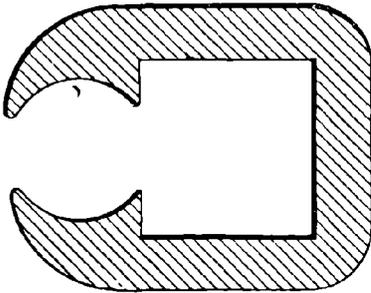


FIG. 51. — Inducteur bipolaire.

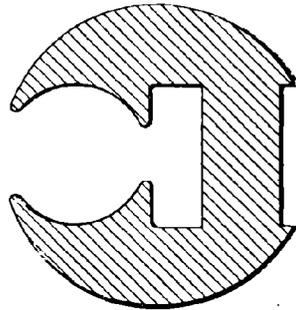


FIG. 52. — Inducteur bipolaire.

Certains constructeurs n'emploient pas le type cuirassé et enveloppent leur moteur dans un carter prenant comme point d'appui la carcasse même des inducteurs; dans ce cas, on emploie des formes se rapprochant de celles des figures 51 et 52. Dans d'autres types on assure la fermeture du moteur simplement par adjonction de plaques boulonnées sur les extrémités; d'autres moteurs enfin, comme les carcasses des moteurs Sperry, Sydney-Brown, Lundell (*fig. 53*), Postel-Vinay sont du type cuirassé.

Il faut toujours, autant que possible, choisir pour la forme

de l'inducteur un modèle enveloppant le plus possible l'induit, afin de permettre plus facilement la fermeture du moteur, au cas où le type cuirassé n'est pas employé.

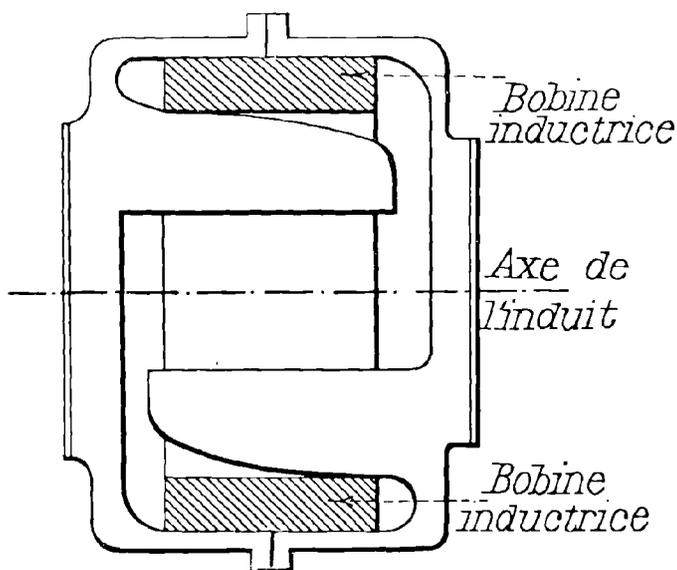


FIG. 53. — Inducteur bipolaire (Lundell).

Bobines inductrices. — On a vu plus haut quel pouvait être le nombre des bobines d'un inducteur. Afin d'avoir un moteur aussi plat que possible, il y a intérêt à ce que ces bobines soit extrêmement peu épaisses; il est même assez bon de faire déborder ces bobines des inducteurs, afin de diminuer les pertes de flux (Eickemeyer). Les bobines excitatrices doivent être placées le plus près possible de l'endroit où la force magnétomotrice (p. 149) est utilisée. Il y aura donc avantage à les placer directement autour des pôles, dans le cas des conducteurs à pôles consécutifs, au lieu de placer une bobine par circuit magnétique.

Ces bobines sont généralement faites sur une forme et isolées, avant de les monter sur les carcasses d'inducteurs.

Ainsi qu'on le verra (p. 151), l'action magnétisante est proportionnelle au nombre de tours de fil enroulé et à l'in-

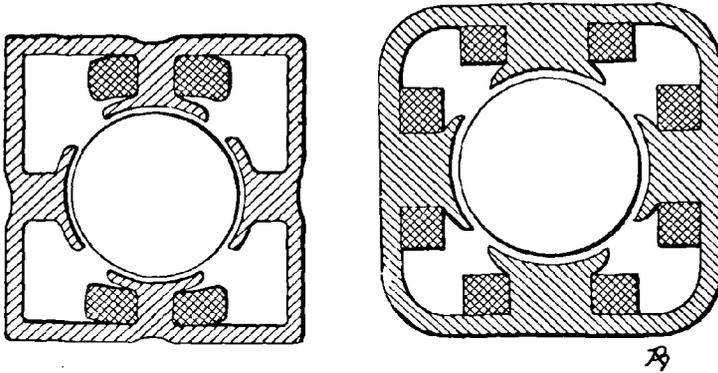


FIG. 54. — Inducteurs tétrapolaires.

tensité du courant qui passe ; cette action magnétisante est

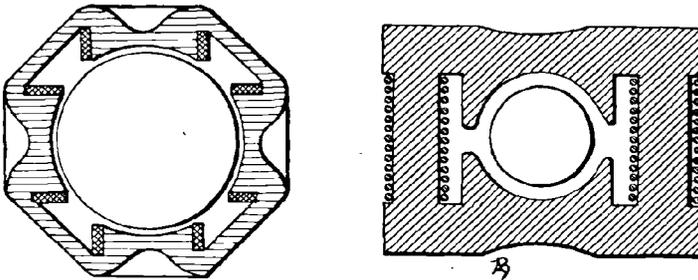


FIG. 55. — Inducteur tétrapolaire. FIG. 56. — Inducteur à pôles consécutifs.

désignée sous le nom de force magnétomotrice et s'exprime par la formule :

$$\mathcal{F} = 4\pi NI$$

N étant le nombre des spires ;

I , l'intensité du courant qui les traverse. La densité du courant maximum ne doit pas dépasser 1,5 ampère par millimètre carré ; la surface de refroidissement peut être

calculée suivant :

$$S = \frac{300 w}{T}$$

w étant le nombre de watts dépensés en effet Joule; et T , l'échauffement en degrés centigrades, normalement égal à 40° , au maximum 70° . Le plus souvent S varie dans les environs de 15 centimètres carrés par watt absorbé.

Circuit magnétique. — Un circuit magnétique, comme un circuit électrique, est caractérisé par l'intensité du champ magnétique, le flux de force, la force magnétomotrice, la réluctance qui dérive de la perméabilité ou de la réluctivité.

Pour comprendre facilement ces différents termes, il nous faut remonter à l'unité de pôle magnétique, qui, en C. G. S., est l'intensité d'un pôle qui repousse un pôle identique placé à 1 centimètre de distance avec une force égale à 1 dyne.

L'intensité H d'un champ magnétique en un point donné est le rapport de la force f exercée par le champ sur un pôle d'intensité m , placé en ce point :

$$H = \frac{f}{m}$$

Plaçons dans le champ une surface élémentaire ds , perpendiculaire à la direction des lignes de force; cette surface embrasse un flux de force élémentaire égal à :

$$d\Phi = \int \mathcal{K} ds$$

pour un champ uniforme, on aurait :

$$\Phi = \mathcal{K} S.$$

Si on considère un pôle m , l'intensité du champ qu'il produit est, à une distance r , proportionnelle à l'intensité du

pôle et inversement proportionnelle au carré de la distance, $\frac{m}{r^2}$; le champ magnétique rayonné par un pôle est à une distance r limitée par la sphère de même rayon, dont la surface est $4\pi r^2$:

$$\Phi = 4\pi r^2 \times \frac{m}{r^2} = 4\pi m.$$

Dans un électro-aimant, le courant qui traverse la bobine excitatrice donne une certaine *force magnétomotrice* \mathcal{F} qui, ainsi que cela a été indiqué (p. 149) est :

$$\mathcal{F} = 4\pi NI.$$

Si nous désignons par l la longueur de la bobine enroulée, nous aurons pour l'intensité du champ \mathcal{H} :

$$\mathcal{H} = \frac{\mathcal{F}}{l} = \frac{4\pi NI}{l}.$$

La force magnétomotrice s'évalue en *gilberts* en C. G. S., et en ampères-tours en unités pratiques.

Les différentes substances ne conduisent pas identiquement les lignes de force magnétique; cela tient à leur *perméabilité magnétique*; l'induction magnétique dans un corps placé dans un champ magnétique est donc proportionnelle à cette perméabilité, et si on représente par :

\mathfrak{B} , l'induction magnétique;

μ , la perméabilité;

On a, si \mathcal{H} est l'intensité du champ :

$$\mathfrak{B} = \mu \mathcal{H}.$$

$\frac{1}{\mu}$ est la *réductivité*.

Si l est la longueur du corps placé dans le champ, la *réductance* \mathfrak{R} , analogue à la résistance, sera :

$$\mathfrak{R} = \frac{l}{\mu S}.$$

Choix des matières premières. — Les inducteurs sont en fonte, en fer, ou en acier.

La fonte présente l'avantage d'être d'un moulage facile et permet d'obtenir des formes très variées.

Quand on étudie une substance au point de vue magnétique, on trace son cycle de magnétisme, en portant en abscisse la force magnétisante \mathcal{H} ; et en ordonnée l'induction magnétique \mathfrak{B} , qui prend naissance par suite de \mathcal{H} . La courbe obtenue est très variable suivant les corps ; pour la fonte, elle varie suivant la teneur en carbone, et plus cette quantité est grande, plus la perméabilité est petite (*fig. 57*).

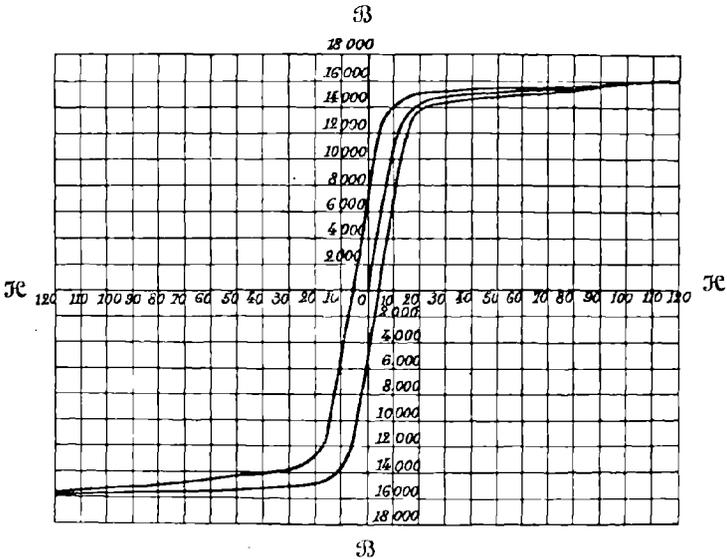


FIG. 57. — Hystérésis.

Le retard à la désaimantation a reçu le nom d'hystérésis ; le travail perdu par ce phénomène particulier a une valeur qui a été indiquée précédemment ; on comprend que plus l'écart entre les deux branches de la courbe est faible, plus le travail consommé est petit. L'étude se fait en plaçant le barreau de métal dans une bobine longue dans laquelle

on fait passer un courant susceptible de varier et de changer de sens.

Pour une même substance, la perméabilité varie suivant la susceptibilité magnétique.

On appelle *intensité d'aimantation d'un barreau magnétique*, le rapport du moment magnétique du barreau à son volume.

Soit :

$$M = ml,$$

M, moment magnétique;

l, la distance des deux pôles;

m, l'intensité des deux pôles qui sont de signe contraire.

L'intensité d'aimantation \mathfrak{A} est :

$$\mathfrak{A} = \frac{M}{V} = \frac{ml}{V}.$$

La susceptibilité magnétique χ est :

$$\chi = \frac{\mathfrak{A}}{\mathfrak{H}};$$

elle varie donc suivant la valeur de la force magnétisante, et on démontre, en partant des valeurs de μ en fonction de \mathfrak{B} et \mathfrak{H} , et de la valeur :

$$\mathfrak{B} = \mathfrak{H} + 4\pi\mathfrak{A}$$

que

$$\mu = 1 + 4\pi\chi;$$

il faut donc, en étudiant le métal, tracer la courbe de variation de la perméabilité en fonction de \mathfrak{B} ou de \mathfrak{H} .

Le fer jouit d'une perméabilité magnétique assez grande; mais ses propriétés varient suivant son état; le laminage, les coups de marteau, l'étirage diminuent la perméabilité; le fer doux recuit est celui qui a la plus grande perméabilité magnétique.

L'acier moulé a une perméabilité magnétique inférieure

à celle du fer pour des valeurs d'induction magnétique

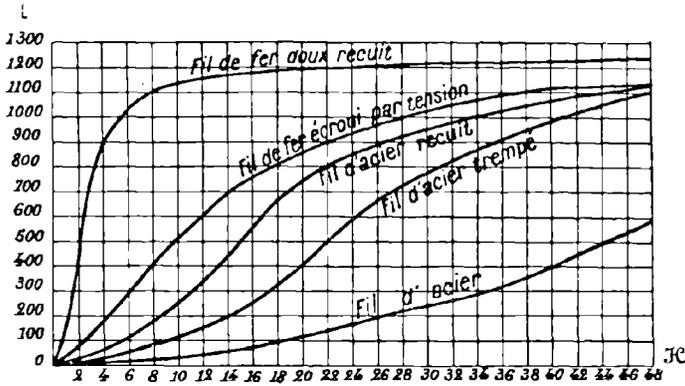


Fig. 58. — Courbes d'Ewing. — Variation de l'intensité d'aimantation en fonction de la force magnétisante, pour divers métaux.

moyennes, et supérieure pour des valeurs de \mathfrak{B} (à partir de $\mathfrak{B} = 15000$).

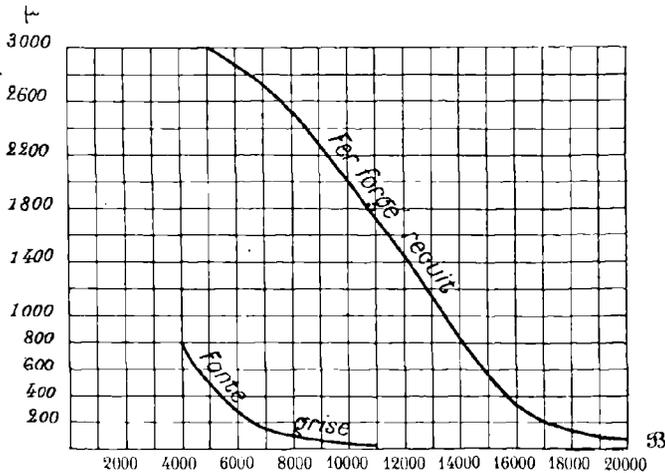


Fig. 59. — Courbes d'Hopkinson. — Variation de la perméabilité magnétique en fonction de l'induction magnétique.

Les courbes ci-dessus, dues à Ewing⁽¹⁾ (fig. 58), donnent

(1) E. HOSPITALIER, *Formulaire de l'électricien*.

une idée de la variation de l'intensité d'aimantation en fonction de la force magnétisante.

D'après Hopkinson (*fig. 59*), pour le fer doux et la fonte, les valeurs de μ et de \mathfrak{B} en fonction de la force magnétisante sont en unités C. G. S. (1).

Fer forgé recuit			Fonte grise		
\mathfrak{H}	\mathfrak{B}	μ	\mathfrak{H}	\mathfrak{B}	μ
1,66	5.000	3.000	5	4.000	800
3,2	6.800	2.500			
4	9.000	2.250	10	5.000	500
5	10.000	2.000	21,5	6.000	279
6,5	11.000	1.692	42	7.000	166
8,5	12.000	1.412	80	8.000	100
12,0	13.009	1.083	127	9.000	71
17	14.000	823	188	10.000	53
28,5	15.000	526	292	11.000	37
52	16.000	308			
105	17.000	161			
200	18.000	90			
350	19.000	54			
666	20.000	30			

Ce qui est intéressant, au point de vue magnétique, c'est de transformer les valeurs ci-dessus de \mathfrak{H} en C. G. S. en ampères-tours par centimètre ; or :

$$\mathfrak{H} = \frac{4\pi NI}{l},$$

il n'y a qu'à diviser ces valeurs de \mathfrak{H} par $4\pi \cdot 10^{-1} = 1,256$.

Le nombre d'ampères-tours par centimètre de longueur nécessaires pour produire une induction magnétique \mathfrak{B} donnée, pour l'air, la fonte et le fer doux (*fig. 60*) est de (2) :

\mathfrak{B} en gauss.	Force magnétomotrice en ampères-tours par centimètre.		
	Air	Fonte	Fer doux
1.000	800	»	»
2.000	1.600	»	»
3.000	2.400	»	»
4.000	3.200	4	»
5.000	4.000	8	1,6

(1) SYLVANUS THOMPSON, *les Machines dynamo-électriques* (trad. Boistel).

(2) E. HOSPITALIER, *Formulaire de l'électricien*.

LES AUTOMOBILES ÉLECTRIQUES

\mathfrak{B} en gauss.	Force magnétomotrice en ampères-tours par centimètre.		
	Air	Fonte	Fer doux
6.000	4.800	17,2	1,95
7.000	5.600	33,6	2,3
8.000	6.400	64,0	2,7
9.000	7.200	101,6	3,2
10.000	8.000	150,4	4
11.000	8.800	233,6	5,2
12.000	9.600	"	6,8
13.000	"	"	9,6
14.000	"	"	13,6
15.000	"	"	22,8
16.000	"	"	41,6
17.000	"	"	84,0
18.000	"	"	160,0
19.000	"	"	280,0

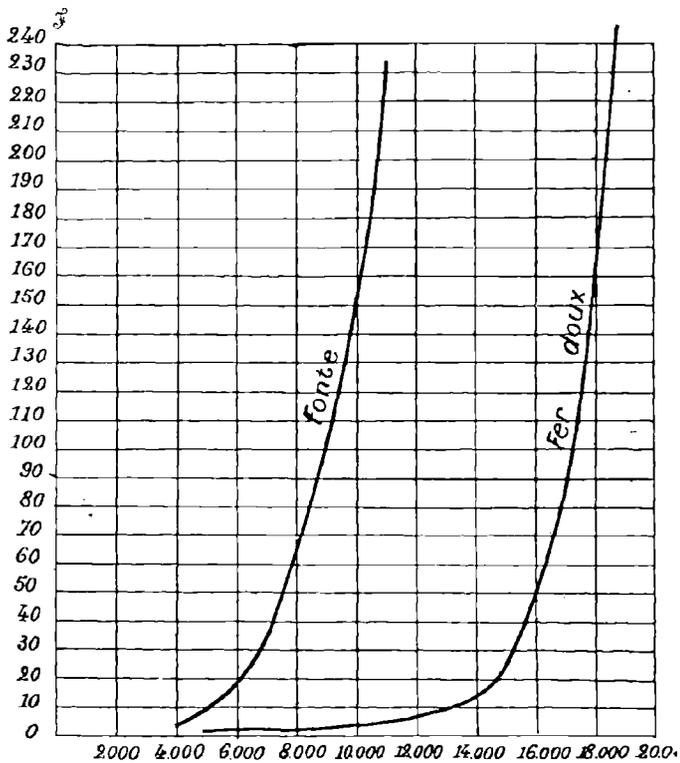


FIG. 60. — Variation de la force magnétomotrice en ampères-tours par centimètre en fonction de l'induction magnétique.

D'après les chiffres qui précèdent, on voit qu'en employant la fonte on est obligé, pour avoir la même conductibilité qu'avec l'acier ou le fer, d'augmenter la section des noyaux, et, par suite, la longueur du fil enroulé.

Le fer forgé est moins facile à employer que l'acier doux coulé, surtout lorsque la forme de l'inducteur est complexe; c'est l'acier doux coulé qui est maintenant employé généralement.

Le fer commence à perdre son aimantation vers 650° C.; elle disparaît complètement entre 750° et 780° C.; l'aimantation augmente dans l'acier jusqu'à 335°; cette aimantation disparaît au rouge.

Excitation des inducteurs. — Caractéristiques mécaniques.

— L'excitation des inducteurs, c'est-à-dire la façon dont le courant est amené aux bornes des inducteurs, peut se diviser en deux catégories :

- 1° Excitation séparée ;
- 2° Auto-excitation, qui se divise en :
 - a) Excitation en série ;
 - b) Excitation en shunt ou dérivation ;
 - c) Excitation compound.

Dans les voitures, le dernier mode n'a pas été encore très employé jusqu'à présent :

1° *Excitation séparée.* — Le courant traversant les bobines inductrices est pris d'une façon indépendante; la source d'énergie est différente. Dans le cas des moteurs de voitures une petite batterie de quatre à cinq éléments sert à produire l'excitation.

En portant en abscisse le couple, en ordonnée la vitesse angulaire, on a comme caractéristique une droite plongeante, montrant que la vitesse angulaire décroît à mesure que le couple augmente (*fig. 61*), mais dans la pratique cette vitesse angulaire est sensiblement constante; la limite pratique étant un peu après le maximum de la courbe de rendement.

Le couple et la vitesse étant donnés par la formule précédemment établie (p. 128) on a d'une façon générale :

$$W = \frac{N\Phi}{2\pi} \times \frac{U - \frac{n}{t} N\Phi}{r},$$

d'où :

$$2\pi r W = N\Phi U - \frac{n}{t} N^2\Phi^2,$$

$$\frac{n}{t} N^2\Phi^2 = N\Phi U - 2\pi r W,$$

$$\omega = \frac{n}{t} = \frac{U}{N\Phi} - \frac{2\pi r W}{N^2\Phi^2}.$$

Si on considère Φ comme constant, la seule quantité influant pour une valeur donnée du couple est r , résistance

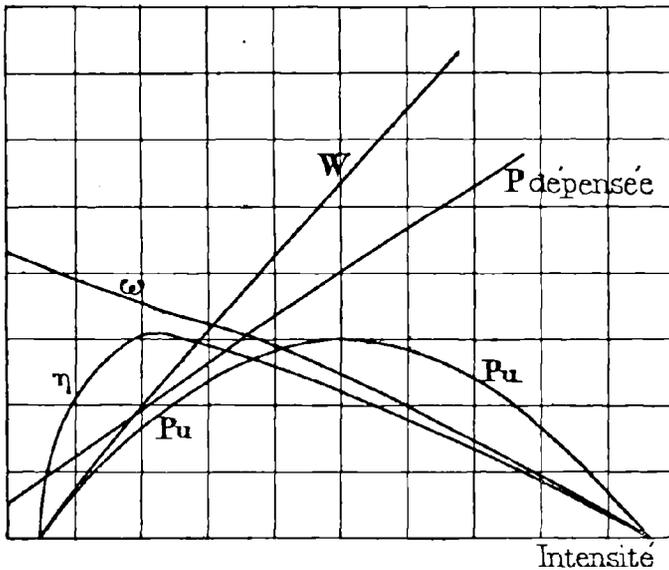


FIG. 61. — Caractéristiques d'un moteur à excitation séparée en fonction de l'intensité.

de l'armature ; par conséquent l'inclinaison de la droite vers l'axe des abscisses dépend de la grandeur de r .

Si on considère les caractéristiques rapportées aux inten-

sités de courant, le couple croissant avec l'intensité, la vitesse angulaire suivra une loi analogue.

La puissance électrique dépensée :

$$P = UI,$$

est une droite; mais il faut y ajouter la puissance dépensée dans l'excitation qui, étant constante, décale légèrement au-dessus de l'origine des ordonnées le point des départs :

$$P_d = UI + C^{10}.$$

La puissance utile :

$$P_u = UI - rI^2,$$

est une courbe du second degré, ayant même origine que le couple.

Quant au rendement :

$$\eta = \frac{P_u}{P_d} = \frac{(U - rI) I}{UI + C^{10}}.$$

Il croît assez rapidement jusqu'à une valeur correspondant au régime normal.

Le désavantage que présente l'excitation séparée est d'obliger à se servir généralement du couplage des batteries pour faire varier la vitesse; par suite du fait qu'une partie des accumulateurs sert à fournir l'excitation, le total de la batterie est inégalement déchargé. Il est, néanmoins, possible d'effectuer des changements de vitesse en couplant les inducteurs ou en ayant un induit à double enroulement.

L'avantage présenté par ce mode est que le champ magnétique étant constant, le moteur fonctionne comme dynamo dès que sa vitesse dépasse une certaine limite; il permet donc facilement le freinage dans les deux sens et la récupération dans les descentes en rechargeant la batterie.

2° *Auto-excitation*. — *Excitation série*. — Le courant passant dans les bobines inductrices est pris aux bornes de la machine en série avec l'induit, suivant le schéma de la figure 62; les bobines inductrices sont donc parcourues par le courant principal et doivent être formées d'un fil de même section que celui amenant le courant d'alimentation.

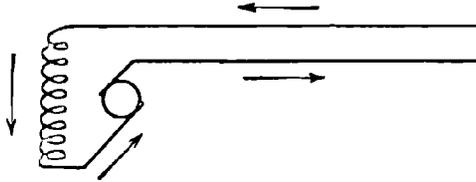


FIG. 62. — Moteur à excitation en série.

Sous une différence de potentiel constante, le fonctionnement du moteur série est le suivant: Si on désigne par r_a la résistance de l'induit, et r_i la résistance de l'inducteur, la résistance totale du moteur est:

$$R = r_a + r_i,$$

on a comme expression de la vitesse angulaire:

$$\omega = \frac{n}{t} = \frac{U}{N\Phi} - \frac{2\pi(r_a + r_i)W}{N^2\Phi^2};$$

mais ici la valeur de Φ n'est pas constante; elle est proportionnelle à la valeur de I , puisque c'est cette intensité qui produit l'intensité du champ, Φ est alors une fonction complexe, dans laquelle intervient la saturation.

Le terme variable étant du second degré, la variation se traduit par une courbe. Le maximum du flux existe avec le maximum du courant, quand on empêche l'induit de tourner.

Le couple moteur est, d'une façon simple,

$$W = \frac{NI\Phi}{2\pi},$$

or :

$$\Phi = f(I) ;$$

donc :

$$W = f(I).$$

Le couple ne dépend donc, pour un moteur donné, que de l'intensité du courant absorbé.

A mesure que l'intensité et le couple augmentent, la vitesse angulaire diminue; la figure 63 donne une idée du fonctionnement.

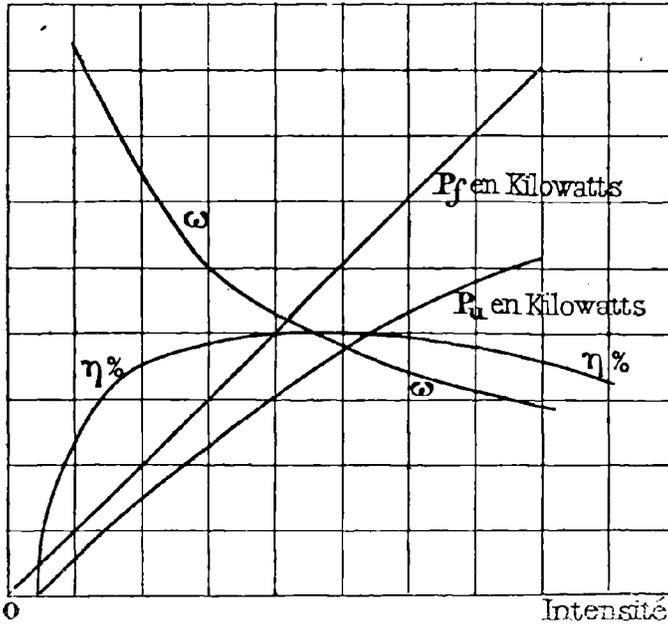


Fig. 63. — Caractéristiques d'un moteur série en fonction de l'intensité.

Dans les moteurs où le rapport entre la puissance utile et celle nécessaire à vaincre les résistances passives est de petite grandeur, la vitesse n'est jamais excessive; mais elle atteint des proportions nuisibles dans le cas contraire.

Le moteur série présente certains avantages et certains inconvénients. Examinons d'abord les premiers.

La construction du moteur série est plus facile, puisqu'on n'a pas à manier de fil fin et que, par suite de la faible différence de potentiel existant entre l'entrée et la sortie, on n'a pas besoin d'un fort isolement; la présence du gros fil augmente la solidité du moteur. Au démarrage, par suite de la grande quantité de courant, il est possible de lui demander un couple très grand, sous la condition qu'on soit en dessous de l'état de saturation des inducteurs; en effet, si les inducteurs sont saturés, l'augmentation du courant n'augmente pas le flux utile. Le moteur série, en outre, règle un peu sa puissance, par suite de la diminution de la vitesse produite par l'augmentation du couple.

Mais cette variation de la vitesse est aussi un inconvénient, puisqu'il est impossible de la maintenir constante; une voiture mue par un moteur série a une allure très variable, suivant les moindres défauts de la route. En outre, avec le moteur série, il est impossible de faire de la récupération, son sens de rotation comme génératrice étant l'inverse de celui qu'il a comme réceptrice.

La saturation des inducteurs influe aussi sur la vitesse en ce sens que, pour les faibles charges, le courant ne pouvant donner un flux suffisant, l'induit a une vitesse beaucoup plus élevée pour donner la même force contre-électromotrice, puisque, lorsqu'on diminue le champ, on augmente la vitesse.

3° *Excitation shunt ou dérivation.* — Le fil enroulé autour

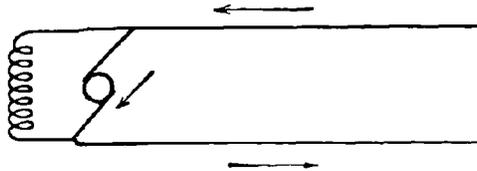


FIG. 64. — Moteur à excitation shunt.

des inducteurs est pris en dérivation aux balais du moteur (fig. 64); il y a donc là une grande différence de potentiel

aux bornes de l'excitation ; le fil de l'enroulement est très fin. Étant alimenté par une différence de potentiel constante le courant d'excitation est le même ; le flux peut donc être considéré aussi comme constant.

La variation de la vitesse en fonction du couple sera de même forme que celle du moteur à excitation séparée, c'est-à-dire une droite dont le coefficient angulaire sera propor-

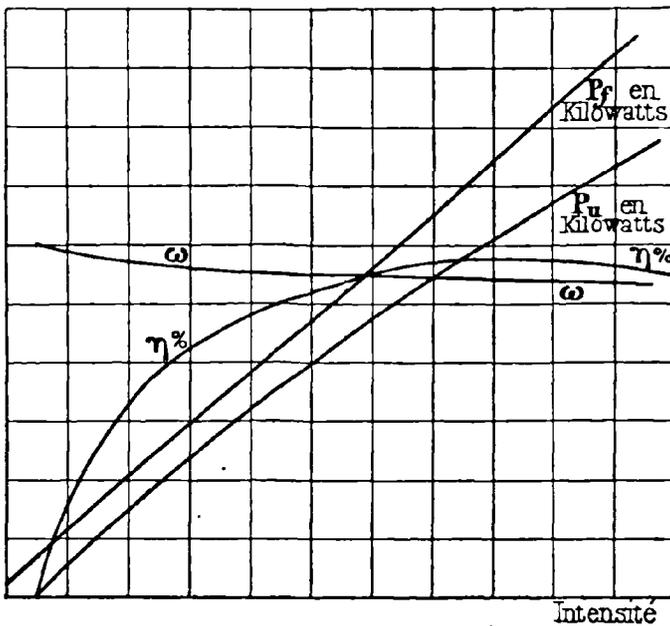


FIG. 65. — Caractéristiques d'un moteur shunt en fonction de l'intensité.

tionnel à la résistance du moteur (*fig. 65*) ; cette variation se fera moins sentir, si le champ est intense.

Si on considère la formule théorique :

$$E = \omega N \Phi,$$

on a :

$$\omega = \frac{E}{N \Phi},$$

Dans une voiture, la différence de potentiel de la batterie baisse petit à petit; cela n'influe pas sur la vitesse puisque, si E diminue, le courant d'excitation diminue proportionnellement, et par suite l'intensité du champ magnétique et le flux; le rapport reste donc sensiblement semblable, à condition qu'on n'ait pas atteint la saturation; en effet à ce moment, jusqu'à une certaine limite, le flux ne diminuant plus produirait, par suite de l'affaiblissement de E , une vitesse angulaire plus faible.

Le moteur shunt présente l'avantage de fonctionner en génératrice dès que sa vitesse atteint la valeur pour laquelle sa force contre-électromotrice devient supérieure à la différence de potentiel du circuit d'alimentation, ceci permet la récupération sur la batterie.

Malgré ses avantages, le moteur shunt présente certains inconvénients : Il ne peut fournir au démarrage un couple aussi grand que le moteur série; ainsi que nous l'avons indiqué, l'isolement de son enroulement est plus difficile à obtenir, et la consommation, même faible, que prend l'excitation, abaisse le rendement du moteur.

L'emploi de l'enroulement shunt est tout indiqué toutes les fois qu'on voudra faire de la récupération sans employer l'excitation séparée, qui présente cependant l'avantage de diminuer beaucoup les frais d'isolement de l'inducteur, le voltage pouvant être très bas.

Excitation compound ou composée. — Ce mode d'excitation, qui a été employé sur les tramways à accumulateurs, ne l'a pas été beaucoup sur les voitures électriques; sur celles-ci on n'a guère utilisé qu'une excitation complexe avec enroulement série et enroulement shunt, ne fonctionnant pas ensemble. L'excitation compound complique l'enroulement; elle a cependant été employée dans les moteurs Jeantaud, Krieger et Greffe (Mildé et C^{ie}), où l'excitation série n'est retirée que pour la récupération.

Par l'enroulement compound, on bénéficie des avantages

des deux enroulements; la vitesse est moins sensible aux variations que dans le moteur série.

Un moteur compound, dans lequel la valeur de l'enroulement série contrebalance les effets du shunt, doit tourner à vitesse constante.

MISE EN MARCHÉ DES MOTEURS. — Si on mettait un moteur en marche en lui envoyant simplement le courant, l'intensité du courant serait telle que l'induit pourrait être détérioré; le moteur, à ce moment précis, ne tournant pas, ne donne naissance à aucune force contre-électromotrice; dans :

$$I = \frac{U - E}{r},$$

on a $E = 0$.

On intercale alors, dans le courant de l'armature, une résistance réglable, calculée pour laisser passer un courant faible dans l'induit; on laisse le moteur prendre sa vitesse, et on diminue le rhéostat petit à petit; ainsi que nous l'avons déjà dit dans le chapitre II, le démarrage doit se faire lentement.

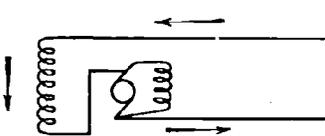


FIG. 66. — Moteur à excitation composée.

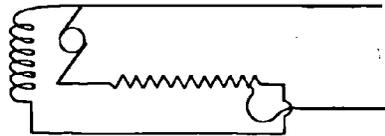


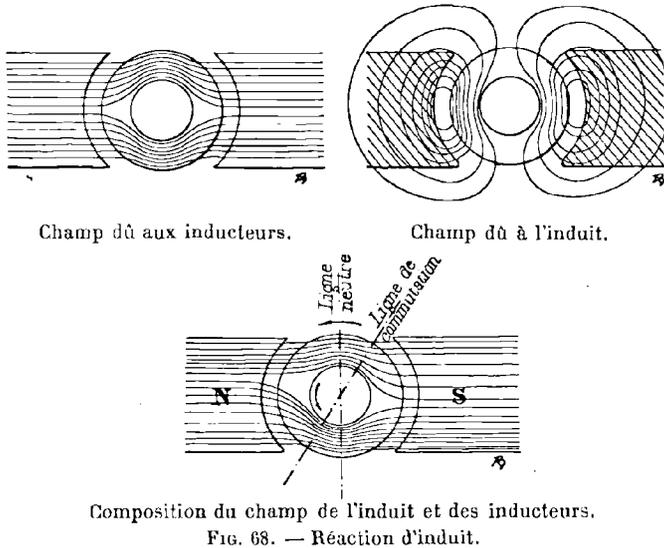
FIG. 67. — Montage d'un rhéostat de démarrage.

Dans un moteur shunt, le montage se fera de la façon suivante (*fig. 67*); il faut avoir soin de prendre l'excitation au commencement de la résistance, comme l'indique la figure afin d'avoir peu de résistance dans le champ au moment du démarrage, et obtenir ainsi le maximum de flux.

Réaction d'induit. — Théoriquement, dans une dynamo la position des balais est aux points neutres, c'est-à-dire à ceux où la force électromotrice est nulle; cette

ligne, neutre en principe, serait dans une machine Gramme sur une perpendiculaire à la direction des lignes de force dues aux inducteurs; en pratique, il n'en est pas ainsi; le calage des balais n'est pas en ce point; il se trouve toujours reporté en avant du sens de rotation, quand la dynamo fonctionne comme génératrice, en arrière quand elle marche comme réceptrice.

Si on considère une dynamo qui ne fournit pas de courant, le champ magnétique a l'aspect représenté par la figure 68; les lignes de force sont symétriques par rapport au diamètre



vertical. Si l'induit, au contraire, fournit du courant, celui-ci, circulant dans les fils de l'armature bobinée sur des disques en fer doux, produira le même résultat que le courant circulant dans les enroulements inducteurs, c'est-à-dire un champ magnétique dont l'action sera perpendiculaire à celle due au champ des inducteurs. L'effet du champ de l'induit sera d'autant plus grand que la perméabilité du milieu sera elle-même plus grande; les deux champs,

ayant des actions perpendiculaires, donnent naissance à une résultante qui, eu égard au nombre d'ampères-tours accumulés sur l'inducteur et l'induit (ceux-ci étant plus faibles que ceux-là), produit une distorsion du champ représentée par la figure 68. Le sens de cette distorsion est, pour une dynamo génératrice, le même que celui du mouvement; le point où le flux est maximum est donc légèrement entraîné, et la ligne de commutation décalée de la ligne neutre.

Dans un moteur, au contraire, le sens de la force électromotrice induite, ou force contre-électromotrice, étant inverse de celui du courant d'alimentation, le champ magnétique produit par l'induit causera un décalage en arrière du sens du mouvement.

Il y a intérêt très grand à ce que cette réaction d'induit soit aussi faible que possible, afin de diminuer la production d'étincelles; dans un moteur de voiture ayant un champ transversal assez grand on aurait continuellement des variations dans la position de la ligne de commutation, par suite des régimes variables dus aux couplages.

Quelques dispositifs ont été déjà appliqués qui permettent de compenser la réaction de l'induit, soit par l'inducteur, soit par l'induit lui-même.

Les moyens permettant de combattre la réaction d'induit par l'inducteur peuvent se diviser ainsi :

1° Augmentation de la résistance du champ magnétique de l'induit, en faisant les pièces polaires en plusieurs morceaux, sectionnés perpendiculairement aux lignes de force de l'induit; cette méthode est difficile en pratique; ou bien par rétrécissement de la réunion des pièces polaires dans les pôles consécutifs;

2° Augmentation de l'entrefer et diminution de l'angle d'embrassement de l'induit par les pièces polaires; cette augmentation de l'entrefer nécessite l'augmentation de la force magnétomotrice;

3° L'action transversale de l'induit peut être combattue par des enroulements supplémentaires faits autour d'encoches ménagées dans les pièces polaires ; ces enroulements sont en série avec le courant principal et tendent à ramener le champ à sa position normale.

Il est bon aussi d'éviter que les pièces polaires soient très éloignées l'une de l'autre, de façon à ramasser le plus possible le champ magnétique ; bien que la nature de celui-ci soit abstraite, on peut dire qu'il est utile de le comprimer pour lui donner un degré de solidité tel qu'il résiste à l'action transversale due à l'induit.

L'état de saturation a aussi son importance : Un métal qui a un point de saturation élevé constituera un inducteur donnant un champ solide quand il sera dans les limites de sa saturation ; si on emploie, comme métal constituant la carcasse de l'induit, le même métal que celui des inducteurs, on contrebalance l'accroissement du champ produit par l'induit et on diminue la réaction d'induit ;

4° Certains constructeurs ajoutent sur l'enroulement induit des spires démagnétisantes ayant pour but de contrarier l'effort transversal. Ces dispositions, qui sont bonnes pour les dynamos ou moteurs de grande puissance, compliquent les enroulements et ne sont pas applicables dans les petits induits.

CHANGEMENT DU SENS DE MARCHÉ D'UN MOTEUR. — Le changement du sens de marche dans un moteur a une importance capitale au point de vue traction, puisqu'on doit prévoir, dans les conditions de fonctionnement de la voiture, la marche en arrière.

Pour faire varier la direction de marche, il n'y a qu'à croiser l'excitation, ou, autrement dit, à renverser le sens du courant dans l'un ou l'autre des deux organes électriques du moteur, mais jamais dans les deux ensemble ; car autrement le moteur tournerait dans le même sens, la réaction du flux sur le courant étant toujours semblable.

Le changement du sens de marche confirme ce que nous disons plus haut au sujet de l'importance de la réaction d'induit. Celle-ci doit être contre balancée ou annulée de telle sorte que les balais puissent être placés exactement dans la ligne neutre, de façon que leur calage soit bon dans les deux sens de marche et que la production d'étincelles soit nulle.

Il est de toute utilité de ne jamais faire de changement de marche sans revenir à un courant nul, et, autant que possible, la rupture doit se faire lentement, afin d'éviter de fatiguer le collecteur.

Calcul d'un moteur électrique (1). — Connaissant bien les différentes parties d'un moteur et leur importance à tous les points de vue, il nous est possible d'aborder maintenant le calcul des conditions dans lesquelles on doit l'établir; nous indiquerons simplement la méthode à suivre pour un moteur de voiture eu égard à son fonctionnement particulier.

Le type de la voiture et de ses différents organes étant établi; la nature de la transmission et le rapport de réduction arrêtés, ainsi que la vitesse maximum qu'on demandera, on déduit par les formules établies précédemment :

La vitesse angulaire maximum du moteur ω_1 , en tours par minute ;

La puissance maximum en watts P;

Puis on examine quelles seront les méthodes employées pour obtenir les variations de vitesse, de façon à connaître quelle sera la nature de l'enroulement induit; en effet, ainsi qu'on le verra dans le chapitre XI, il existe des moteurs à double enroulement, permettant d'obtenir les mêmes résultats de changement de marche qu'avec deux moteurs marchant en tension ou en quantité (marche en série parallèle).

Soit V la vitesse circonférentielle admise, variant dans

(1) ERIC GÉRARD, *Leçons d'électricité*, t. I.

les limites de 15 à 25 mètres par seconde, on a pour valeur du diamètre de l'induit :

$$(1) \quad d = \frac{V \times 60}{\pi \omega}.$$

La vitesse angulaire est, par suite du rapport de réduction, aussi petite que peuvent le permettre les limites du diamètre de l'induit ; on a donc intérêt à pallier les deux valeurs qui sont inverses et ont leur utilité, un grand diamètre d'induit entraînant forcément un encombrement plus grand.

L'importance des inducteurs multipolaires se fait donc déjà sentir au point de vue de la vitesse.

L'enroulement en tambour est celui qui convient le mieux au point de vue de la faible valeur du rapport entre les ampères-tours induits et les ampères-tours inducteurs ; mais il nécessite des sections plus grosses, vu sa mauvaise ventilation.

Le choix de l'enroulement induit étant fait, on déduit de la puissance absorbée :

$$P = UI,$$

$$I = \frac{P}{U}.$$

U étant fixé par la nature de la source d'énergie qui, dans une automobile, est une batterie de quarante-quatre éléments, afin de permettre la recharge sur un secteur à 110 volts.

Connaissant I, en se fixant une densité de courant de 2 à 2,5 ampères par millimètre carré de section, par exemple, on déduit le courant du fil induit.

Si l'induit est en quantité, il passera dans chaque section d'induit, n étant le nombre de pôles, une intensité I_1 :

$$(2) \quad I_1 = \frac{I}{n}.$$

et la section sera :

$$(3) \quad S = \frac{I_1}{2n},$$

d'où on déduit le diamètre du fil, si on adopte 2 ampères par millimètre carré.

Si η est le rendement du moteur, on a pour valeur de la force contre-électromotrice :

$$(4) \quad e = \eta U.$$

Connaissant le diamètre du fil induit, on y ajoute l'épaisseur de l'isolant, puis on se donne le nombre de fils par rainures, et leur disposition, soit en une soit en deux séries verticales, et on laisse le jeu nécessaire pour placer du papier isolant et permettre la dilatation; on a ainsi la largeur des rainure λ et leur profondeur π , d'où on déduira :

d_1 , diamètre de carcasse d'induit utilisable par le flux;

a , nombre de rainures à la périphérie de l'induit, en déduisant la largeur des dents; celles-ci doivent avoir une section verticale en trapèze, la plus petite base vers le centre de l'induit, et leur dimension doit être assez grande pour être solide.

Dans la majorité des cas, pour des induits de 15 à 20 centimètres de diamètre, les dents ont de 3 à 5 millimètres de base.

Connaissant a , et le nombre de fils par rainure, on déduit par leur produit le nombre de fils de l'induit à la périphérie.

Un moteur de voiture devant marcher à des vitesses variables, quel que soit le moyen employé pour faire les changements de vitesse qui doivent être connus avant le calcul du moteur, il faut calculer les éléments électriques pour la vitesse la plus faible; soit ω_2 cette vitesse:

On a pour la force électromotrice E :

$$E = \omega_2 N \Phi_a$$

en C. G. S., la vitesse devant être exprimée en tours par seconde, on a :

$$(5) \quad E \frac{60}{\omega_2} \cdot \Phi_a \cdot N;$$

Φ_a étant le flux dans l'induit;
 N , nombre de fils à la périphérie;
 E étant en volts :

$$(6) \quad \eta U \cdot 10^8 = \frac{60}{\omega_2} \Phi N.$$

$$(7) \quad \Phi_a = \frac{\eta U \cdot 10^8 \times 60}{\omega_2 N} \text{ en C. G. S. ou webers.}$$

Afin d'obtenir la plus grande variation du couple par rapport au courant, on a intérêt à avoir des inducteurs non saturés; on choisira pour valeur de l'induction magnétique dans un induit en tambour au maximum 12.000.

La longueur de la section droite de l'induit utilisable au flux sera tirée de la valeur du flux dans l'armature Φ_a :

$$\Phi_a = \mathfrak{B} l d$$

puisque le flux est proportionnel à l'induction magnétique et à la surface de la section droite de l'induit traversée.

On a :

$$(8) \quad l = \frac{\Phi_a}{\mathfrak{B} \times d_1}$$

Connaissant le diamètre et la longueur du noyau, il est facile de déterminer graphiquement la longueur du fil à bobiner en tenant lieu des calottes postérieures du tambour.

Nous désignerons par L la longueur totale du fil.

Calcul du circuit magnétique. — Nous avons déterminé plus haut la valeur Φ_a du flux nécessaire à l'armature pour produire, à une vitesse angulaire donnée, une certaine force électromotrice; il est certain que, par suite de la dispersion du flux magnétique, il est nécessaire de calculer l'enroulement inducteur, de façon que le flux engendré soit

plus grand que celui nécessaire à l'intérieur de la bobine induite; en général, si Φ_a est le flux de l'armature, on prend pour flux à l'intérieur du noyau de la bobine $1,5 \Phi_a$, et dans les épanouissements polaires $1,2$ à $1,3 \Phi$.

Si on prend pour valeur de l'induction magnétique: dans les noyaux $\mathfrak{B}_n = 15.000$ unités C. G. S., dans les culasses $\mathfrak{B}_c = 14.000$ unités C. G. S., on a comme section droite S_n des noyaux et comme section S_c des culasses:

$$(9) \quad S_n = \frac{1,5\Phi_a}{15.000} \text{ en centimètres carrés}$$

$$(10) \quad S_c = \frac{1,2\Phi_a}{14.000} \text{ en centimètres carrés.}$$

En général, la section S_n est celle d'un cercle, et celle de S_c un rectangle.

On se donne ensuite:

L_i , hauteur de la bobine inductrice, si on n'en met qu'une seule; si on en met autant que de pôles, elles intéressent une certaine fraction de l'induit seulement.

L_c , longueur de chaque culasse et épanouissement polaire;

L_m , longueur du circuit magnétique de l'induit;

ϵ , l'entrefer.

Calcul de l'entrefer. — Connaissant la valeur de l'angle des pièces polaires qui, pour un moteur bipolaire, varie dans les limites de 130° à 140° , on détermine la longueur développée de ces pièces; puis, en les multipliant par la longueur du noyau, on a la section S , qu'on évalue en centimètres carrés.

Connaissant le nombre de dents de l'armature, on déduit le nombre A de dents pris sous les pièces polaires; le flux Φ' par dent sera alors:

$$(11) \quad \Phi' = \frac{\Phi_a}{A}$$

Si S_r est la section de la dent à sa base, en centimètres

carrés, la densité δ du flux est par centimètre carré est :

$$(12) \quad \delta = \frac{\Phi'}{S_r}$$

La somme des sections de dents est :

$$(13) \quad AS_r$$

qui donne la surface de pénétration du flux dans l'induit ; la surface moyenne attribuée à l'entrefer S_e est :

$$(14) \quad S_e = \frac{1}{2} (S + S_r).$$

Dans un moteur de voiture, la valeur de (12) est plus élevée que dans les dynamos ordinaires, dans celles-ci elle ne dépasse guère 12.000 unités C. G. S., d'intensité moyenne de champ magnétique, alors que, dans ceux-là, elle atteint 20.000 et même 27.000 unités C. G. S.

Si on considère que le moteur doit marcher à une vitesse réduite, on conçoit que l'augmentation du nombre des fils amène fatalement une diminution de l'épaisseur des dents ; mais, en outre, celles-ci étant en trapèze ayant la grande base en haut, la véritable section est une moyenne des deux autres.

L'épaisseur ε de l'entrefer est, au minimum, 2 millimètres, au maximum 3 millimètres.

Nous avons vu que, dans les pièces polaires, nous prenions :

$$\begin{aligned} \Phi_c &= 1,2\Phi_a \\ \mathfrak{B}_c &= 14.000, \end{aligned}$$

nous aurons comme section droite, perpendiculaire à la ligne neutre :

$$S_e = \frac{\Phi_c}{\mathfrak{B}_c} = \frac{12\Phi_a}{14.000} \text{ en centimètres carrés,}$$

et l étant la longueur de l'induit tirée de (8), on a, comme

épaisseur,

$$e_c = \frac{S_c}{l}.$$

Le calcul du nombre d'ampères-tours à mettre se résume alors à faire la somme des ampères-tours nécessaires à produire le flux dans le noyau de l'inducteur, les culasses et épanouissements polaires, l'armature et l'entrefer total.

Connaissant la section de l'entrefer S_c par (14), on a pour valeur de l'induction dans l'entrefer :

$$\mathfrak{B}_c = \frac{\Phi_a}{S_c}.$$

Se reportant aux tables donnant les ampères-tours par centimètre de longueur, en fonction de l'induction spécifique par centimètre carré, qu'on trouve dans les formulaires (*Formulaire de l'électricien* de E. Hospitalier), et que nous avons reproduites à la page 155, ou aux courbes d'Ewing (p. 154) on a :

Noyau de l'inducteur de longueur L_i , induction 15.000 unités C. G. S., correspondant à $(ni)_1$ ampères-tours par centimètre pour le métal choisi ;

Culasse et pièces polaires de longueur $2pL_c$, $2p$ étant le nombre de pôles, induction 14.000 unités C. G. S., correspondant à ni_2 ampères-tours par centimètre ;

Noyau de l'induit, dont la longueur du circuit magnétique est L_a de chaque côté de l'arbre ; induction magnétique 12.000, correspondant à ni_3 ampères-tours par centimètre.

Entrefer total, 2ε ; induction magnétique \mathfrak{B}_c , correspondant à ni_4 ampères-tours par centimètre.

Les différentes longueurs étant toutes exprimées en centimètres, on aura :

$$\Sigma ni = (ni)_1 L_i + (ni)_2 2pL_c + (ni)_3 L_a + (ni)_4 2\varepsilon.$$

Connaissant le nombre d'ampères-tours à mettre sur les

noyaux, on tire l'intensité de la nature de l'enroulement; si le moteur est série, le courant total sera celui traversant les inducteurs; on connaîtra donc n .

La densité de courant à choisir doit être telle qu'on ne perde pas plus de 2 à 3 0/0 en énergie.

Pour un enroulement shunt, il est bon de ne pas descendre en-dessous d'un certain diamètre, afin de diminuer les difficultés du bobinage; le diamètre minimum du cuivre est de 1^{mm},5; c'est le chiffre généralement admis.

Les inducteurs étant peu soumis à la ventilation, il est bon d'admettre une faible densité de courant, telle que 1 ampère par millimètre carré.

Si on admet, par exemple, une dépense de 2 ampères dans un enroulement shunt, nous aurons pour une source d'alimentation à 90 volts une résistance

$$R = \frac{90}{2} = 45 \text{ ohms}$$

avec une densité de 1 ampère par mm², on a 2 millimètres carrés de section ou 0^{cm2},02.

De

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

on tire :

$$l = \frac{45 \times 0,02}{\rho},$$

longueur de fil à bobiner en n tours.

Étude du moteur. — La résistance r_a de l'armature est égale à :

$$r_a = \rho \frac{L}{S} = \rho \frac{L}{2S}.$$

L étant la longueur du fil bobiné;

S , sa section.

Afin de tenir compte de l'échauffement, on prend géné-

ralement ρ , égal à 2 microhms-centimètres, soit :

$$\rho = 2 \cdot 10^{-6} \text{ ohms-centimètres.}$$

Connaissant r_a , on détermine la perte en effet Joule dans l'induit ; de même pour l'inducteur série ou shunt. On comprend que cette perte doit être aussi faible que possible, et que la surface de refroidissement doit lui être, autant que possible, proportionnelle. Une bonne limite est de 20 à 25 centimètres carrés de surface par watt dépensé dans l'induit et 10 centimètres carrés dans l'inducteur.

La perte par hystérésis se déterminera pour l'induit et l'inducteur en partant de la formule établie par Steinmetz et que nous avons indiquée précédemment (p. 140). Cette formule donne la puissance en ergs ; il suffit de multiplier par 10^{-7} pour obtenir la puissance perdue en watts ; si V_a est le volume du noyau de l'armature en centimètres cubes ; ω , la vitesse angulaire en tours par minute ;

On aura :

$$\text{Puissance perdue en watts} = \alpha \beta^{4,6} \times 2 \frac{\omega}{60} \times V_a \times 10^{-7}.$$

Les pertes par courants de Foucault dans l'inducteur, dues aux dents de l'armature, doivent être évitées en augmentant un peu l'entrefer, à l'endroit où la variation de flux est plus grande, c'est-à-dire près des becs. Dans l'armature, afin d'avoir des courants secondaires faibles, il faut avoir une induction assez faible.

Nous avons vu plus haut le moyen de calculer l'épaisseur des pièces polaires ; dans les moteurs de voitures automobiles, on aplatit de préférence les épanouissements, de façon à bien envelopper l'induit et à rendre plus facile la fabrication de la cuirasse.

Conditions de fonctionnement d'un moteur d'automobile. — Dans deux articles parus dans *l'Industrie électrique*, le 25 janvier et le 10 octobre 1899, on a établi un

parallèle intéressant entre un moteur américain Eddy et un moteur Postel-Vinay,

Dans cette dernière étude, P. Gasnier ⁽¹⁾ a abordé la question du fonctionnement d'un moteur sous des différences de potentiel variables à ses bornes. Cette étude est particulièrement intéressante, car elle permet facilement de se rendre compte du fonctionnement des moteurs électriques dans ces conditions de marche.

Le moteur absorbait normalement 2.400 watts sous 80 volts, avec une vitesse angulaire de 1.100 tours par minute; il était du type tétrapolaire : deux pôles en série et deux pôles consécutifs. Son poids était de 86 kilogrammes.

Les autres données du moteur étaient les suivantes :

Résistance de chaque bobine inductrice.....	0,03	ohm
— de l'armature.....	0,115	—
— totale { inducteurs en série.....	0,215	—
{ inducteurs en parallèle.....	0,14	—

cette dernière étant donnée par :

$$R_t = 0,115 + \frac{0,03 \times 0,03}{0,03 + 0,03} = 0,14.$$

La valeur des pertes par le frottement des balais, des coussinets et l'hystérésis, a été déterminée expérimentalement de la façon suivante : Le moteur étant muni de deux paires de balais, on lisait l'intensité i_1 , puis on soulevait une paire de balais, à raison de un seul par pôle, et on lisait i_2 et i_3 ; le frottement des balais absorbait :

$$i = (i_1 - i_2) + (i_1 - i_3).$$

On a trouvé pour i :

$$i = 0,93 \text{ ampère.}$$

Pour les pertes dues aux frottements divers (air, cou-

⁽¹⁾ *Industrie électrique*, 10 octobre 1899.

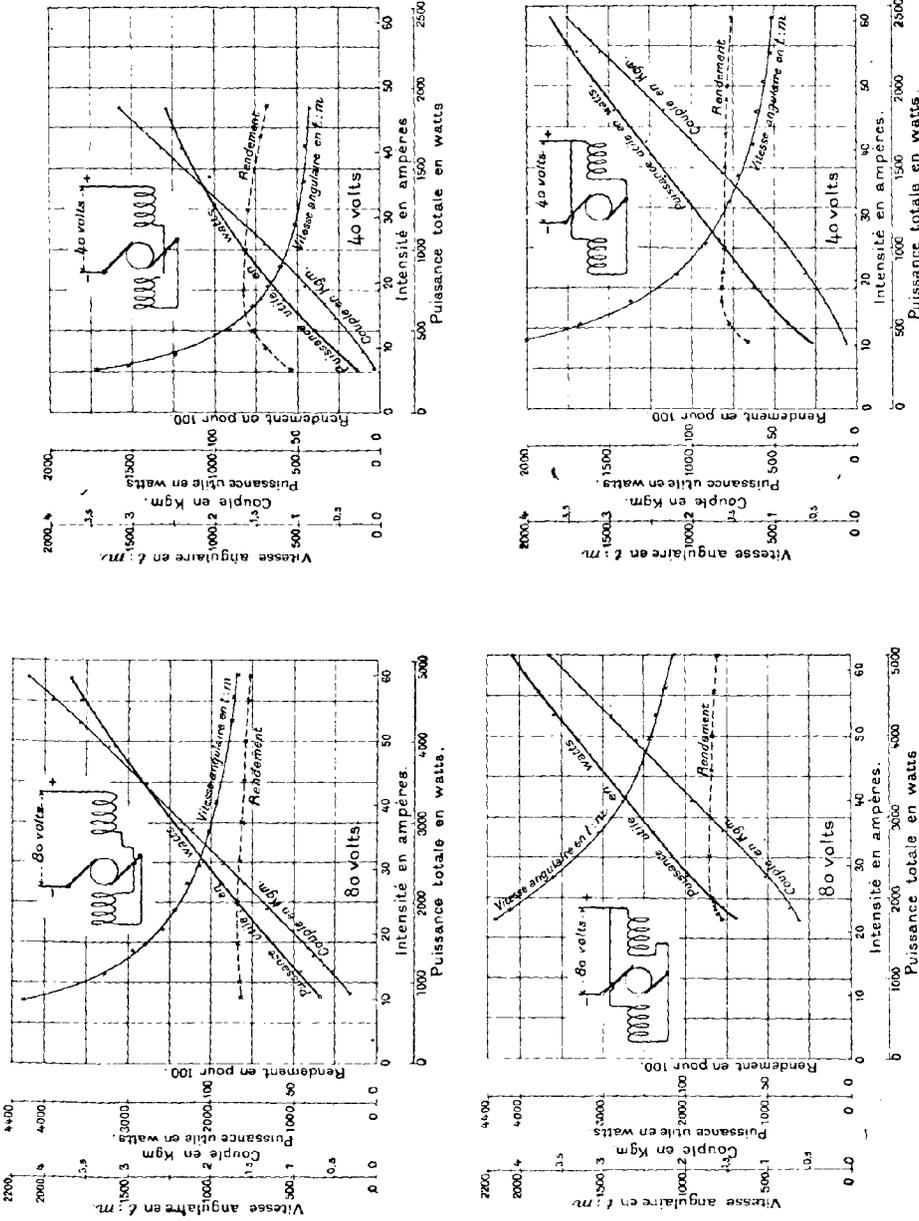


Fig. 69. — Courbes de fonctionnement d'un moteur Postel-Vinay.

sinets), on arrête le moteur en y laissant les balais; il s'arrête au bout d'un temps t ; en les enlevant, le temps au bout duquel se produit l'arrêt prend une valeur $t' > t$; si on admet que le couple est indépendant de la vitesse, on a pour valeur de i' , absorbé dans les frottements :

$$\frac{i + i'}{i'} = \frac{t'}{t}$$

$$i' = \frac{it}{t' - t}$$

Dans les essais on a eu :

$$t = 16,5 \text{ secondes}$$

$$t' = 118,8 \text{ secondes;}$$

$$i' = 0,93 \times \frac{16,5}{118,8 - 16,5} = 0,15 \text{ ampère.}$$

En maintenant l'excitation constante, on a trouvé 1,6 ampère pour les pertes totales; on a alors pour valeur comme pertes :

Frottement des balais.....	74,2 watts
— des coussinets.....	12 —
Hystérésis.....	41,6 —

Le moteur a été essayé au frein sous 40 et 80 volts.

Dans l'automobilisme, les variations de vitesse s'obtiennent en faisant varier la différence de potentiel aux bornes du moteur. Si l'on trace les caractéristiques, comme dans le cas présent, à 40 et à 80 volts, on voit que le rendement subit une plus grande variation à 40 volts qu'à 80; les autres valeurs sont celles de la puissance, du couple et de la vitesse en fonction de I ou de la puissance totale (*fig. 69*).

Le rendement dans la marche avec inducteurs en série a été de 82 0/0 sous 40 volts et 85 0/0 sous 80 volts.

Les courbes, du reste, indiquent suffisamment la marche sous différence de potentiel variable, avec la seule variation du couplage des enroulements inducteurs.

Fonctionnement des moteurs sous une différence de potentiel variable (1). — Le fonctionnement des moteurs sous voltage variable peut se résumer ainsi :

Si le moteur est à excitation indépendante et constante, la formule du couple :

$$W = \frac{NI_a\Phi_a}{2\pi}$$

montre que, Φ_a étant constant, le couple sera proportionnel au courant. La valeur :

$$\omega = \frac{\tau U}{N\Phi_a}$$

indique que la variation de vitesse sera proportionnelle à la différence de potentiel.

Si le moteur est excité en dérivation, la valeur du courant d'excitation suit les mêmes fluctuations que la différence de potentiel ; le flux est donc variable ; les valeurs du couple et de la vitesse angulaire, qui sont proportionnelles à Φ_a changent donc.

Le moteur étant excité en série, le flux est proportionnel au courant I_a ; le couple et la vitesse sont donc proportionnels, comme dans le moteur à excitation séparée, au courant et à la différence de potentiel.

Si on représente par U_1 la différence de potentiel d'alimentation pendant un certain temps, et que l'on fasse fonctionner le moteur sous $\frac{1}{2} U_1$; on aura :

$$U_1 = E_1 + rI$$

Si on compare à intensité égale :

$$\frac{1}{2} U_1 = \frac{1}{2} E_1 + rI.$$

Dans le cas du moteur à excitation séparée, le couple W

(1) BLONDEL et DUBOIS, *Traction électrique sur voies ferrées*, t. II.

étant proportionnel à la force contre-électromotrice E (p. 159), le rapport des vitesses sera :

$$(1) \quad \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{E_1}{\frac{1}{2} E_1} = \frac{U_1 - rI}{\frac{1}{2} U_1 - rI} = \frac{2(U_1 - rI)}{U_1 - 2rI}.$$

Le couple étant proportionnel à I , et cette valeur étant égale dans les deux cas, les rendements sont proportionnels aux différences de potentiel et diminuent à mesure que l'écart entre les valeurs de U augmentent. Dans le cas considéré, où $U_2 = \frac{1}{2} U_1$, on a pour les valeurs du rendement aux deux valeurs considérées :

$$\eta_1 = \frac{E_1}{U_1}, \quad \eta_2 = \frac{E_2}{U_2},$$

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{E_1}{U_1} : \frac{E_2}{U_2} = \frac{E_1 U_2}{U_1 E_2} = \frac{E_1}{E_2} : \frac{U_1}{U_2},$$

Or

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2},$$

Donc :

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} : \frac{U_1}{U_2},$$

en remplaçant U_2 par $\frac{U_1}{2}$ et $\frac{\omega_1}{\omega_2}$ par sa valeur tirée de (1), on a :

$$(2) \quad \frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \times \frac{U_2}{U_1} = \frac{2(U_1 - rI)}{U_1 - 2rI} \times \frac{U_1}{2U_1} = \frac{U_1 - rI}{U_1 - 2rI}$$

dans ce cas particulier on remarque en effet que le rapport des rendements est la moitié de celui des vitesses.

Les mêmes formules s'appliquent au moteur série.

Dans le moteur shunt, on trouvera le rapport des rendements en considérant qu'à courant égal le couple est proportionnel au flux et que la puissance produite suit la

même loi que W_ω :

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{W_1 \omega_1}{W_2 \omega_2} \cdot \frac{U_1}{U_2}.$$

Un moteur shunt qui, à un certain régime, donnerait 80 0/0 de rendement, ne donnera que 75 0/0, par exemple, au même régime sous une différence de potentiel moitié moindre.

Entretien d'un moteur électrique. — Le graissage des paliers doit être très sérieusement entretenu et assuré avec des graisseurs à bagues ; l'huile doit être vidée de temps à autre et les paliers nettoyés pour en éliminer les poussières.

L'induit doit être nettoyé avec un pinceau et un soufflet après chaque sortie.

Le collecteur est, au point de vue de l'entretien, la partie la plus délicate ; les balais du moteur, étant en charbon, doivent être l'objet d'un soin minutieux au point de vue du serrage ; il faut qu'un balai repose sur le collecteur sans y être par trop comprimé, car on risquerait de produire une gorge et de faire rougir les charbons ; mais, s'il n'était pas suffisamment adhérent, il y aurait continuelle production d'étincelles et noircissement du collecteur.

Les balais cuivrés sont très bons au point de vue de l'adhérence avec la pince ; la qualité du charbon doit se choisir moyennement dure.

Quand on change un balai, celui-ci ne repose sur le collecteur que tangentiellement, son extrémité étant plane, il faut l'ajuster. On prend une feuille de papier de verre qu'on passe sous le balai, le côté papier posé sur le collecteur, le verre en dessus frottant sur le balai qui est fortement serré ; on promène le papier sous le balai en se servant du collecteur comme guide, de sorte que le charbon épouse bien la même courbure.

Le collecteur doit être passé au papier de verre (jamais de toile émeri) à chaque sortie ; de cette façon, on évitera

qu'il ne se pique trop et ne s'abîme au point qu'on soit obligé de le retourner.

Il peut se produire parfois que le mica isolant les lames étant plus dur que celles-ci, s'use moins vite et produise des soubresauts aux balais, d'où étincelles très fortes abimant beaucoup le collecteur. Dans ce cas il faut, avec une pointe à tracer, creuser le mica en dessous du cuivre pour former une rainure d'environ 1 millimètre de profondeur, et répéter cette opération chaque fois que l'utilité s'en fera sentir.

Les fils de l'excitation doivent être toujours bien serrés dans leurs bornes de départ, et ce serrage bien vérifié évite des détériorations.

Il est bon de regarder aussi l'état des frettes, afin de s'assurer si elles n'ont pas tendance à lâcher ; aussitôt qu'on s'aperçoit qu'une frette se soulève il faut la remettre en état en refaisant la soudure de l'agrafe à la résine et en passant après une couche de vernis isolant.

De temps à autre on doit s'assurer de l'isolement des différentes parties du moteur, et vérifier si les fils des enroulements ne se dénudent pas. Il faut en outre, dès la rentrée de la voiture, examiner si le moteur ne chauffe pas d'une façon exagérée ; un échauffement trop fort peut provenir, soit d'un court-circuit dans les enroulements, soit aussi de ce que le moteur a été calculé trop juste et ne peut supporter, par suite, des régimes un peu plus forts que ceux pour lesquels il est construit.

En principe dans l'établissement d'un moteur de traction il faut toujours adopter un certain coefficient de sécurité et ne pas craindre de mettre un moteur de 5 chevaux là où le calcul indique qu'il n'en faut que trois.

CHAPITRE IX

RÉCUPÉRATION EN FREINAGE ÉLECTRIQUE

Les voitures électriques présentent l'avantage de permettre la récupération d'une partie de l'énergie dépensée, lorsque, par suite de l'augmentation de vitesse, la force contre-électromotrice du moteur devient supérieure à la différence de potentiel existant entre ses bornes.

Ceci nécessite naturellement l'emploi de moteurs à excitation constante : séparée ou en dérivation.

La dynamo fonctionnant comme réceptrice, la valeur du courant est :

$$I_1 = \frac{U - E}{r} = \frac{U - N\omega_1\Phi}{r}.$$

Quand elle fonctionne comme génératrice, l'intensité I correspondant à la force électromotrice E_2 est :

$$I_2 = \frac{E_2 - U}{r} = \frac{N\omega_2\Phi - U}{r},$$

pour

$$\omega_2 > \omega_1,$$

et supérieur à la valeur de ω , pour laquelle

$$E = U.$$

L'énergie récupérée est, l'excitation étant constante, dépendante de E, c'est-à-dire de la vitesse.

Nous avons vu précédemment que l'effort de traction nécessaire au déplacement d'un véhicule est donné par :

$$F = P (k \pm \text{tang } \alpha),$$

ou, en remplaçant la tangente par l'angle,

$$F = P (k \pm \alpha).$$

P représentant le poids;

k, l'effort de traction par kilogramme en palier;

α , l'inclinaison par mètre.

Dans une pente, on a :

$$F = P (k - \alpha);$$

l'inclinaison pour laquelle la voiture descendra sans aucun courant sera donnée pour :

$$P (k - \alpha) = 0$$

ou pour :

$$\alpha = k.$$

Si l'inclinaison devient supérieure à l'effort de traction, il y aura récupération, c'est-à-dire puissance absorbée. La valeur de cette puissance est :

$$PV (\alpha - k),$$

V étant la vitesse de la voiture.

Si nous désignons par η_1 le rendement de la dynamo comme moteur, η_2 le rendement comme génératrice, on aura pour le rapport de l'énergie récupérée pendant la descente à celle dépensée pendant la montée de la même côte :

$$(1) \quad \frac{PV (\alpha - k) \eta_2}{PV (k + \alpha) \frac{1}{\eta_1}} = \frac{(\alpha - k) \eta_2}{(k + \alpha) \frac{1}{\eta_1}} = \eta_1 \eta_2 \left(\frac{\alpha - k}{k + \alpha} \right).$$

Si le rendement d'une dynamo génératrice est par exemple de 90 0/0, en lui fournissant 10 chevaux-vapeur, elle donnera une puissance électrique correspondant à : $10 \times 0,9 = 9$ chevaux-vapeur.

Si son rendement comme moteur est de 85 0/0, pour obtenir une puissance de 10 chevaux, il faudra lui fournir une puissance correspondant à

$$10 \times \frac{1}{0,85} = 11,76 \text{ chevaux-vapeur ;}$$

ce rapport devra naturellement être multiplié par $\eta_3^{(1)}$, rendement des accumulateurs, au régime de charge et de décharge considéré.

L'avantage de la récupération est de produire, en outre, un freinage automatique de la voiture, puisque la puissance qu'elle produit est absorbée ; la batterie forme le tampon, le frein nécessaire à la régulation.

Si on considère une côte d'une inclinaison donnée, on comprend, par la formule (1), que la valeur de l'énergie récupérée dépend du rendement de la dynamo ; il faut donc calculer cette dynamo avec un rendement suffisant pour pouvoir profiter de la récupération dans de bonnes conditions.

Dans le concours des Poids lourds de 1898, la voiture Krieger, sur une longueur de 1.037 mètres, avec une déclivité de 0^m,051 par mètre, a récupéré 187,5 watts-heures.

La hauteur totale dont elle s'est abaissée est de 52^m,887 avec un poids de 2.050 kilogrammes, représentant :

$$\begin{aligned} 2.050 \times 52,887 &= 108.418 \text{ kilogrammètres par seconde,} \\ 108.418 \times 9,81 &= 1.063.580 \text{ watts par seconde,} \end{aligned}$$

ou 295 watts-heures, en divisant par 3600.

Le rapport est donc :

$$\frac{187,5}{295} = 0,635.$$

⁽¹⁾ *Industrie électrique*, 1895.

Le produit de $\tau_1\tau_2\tau_3$ est donc égal à cette valeur.

Il est difficile, en fait de voitures électriques sur routes, de dire dans quels cas on devra prévoir la récupération ; cela dépend, on l'a vu, du coefficient de traction, lequel varie depuis 0,015 pour le macadam jusqu'à 0,16 sur les routes empierrées (p. 21).

Pour des voitures de poids lourds, comme les omnibus, les voitures de livraison, ou les voitures d'exploitation sur un profil donné, on étudiera le profil et examinera si les déclivités qui s'y rencontrent ont une valeur telle qu'elle soit supérieure au coefficient de traction moyen des voitures sur la route considérée.

On reproche parfois à la récupération de nécessiter l'emploi de moteurs à excitation séparée ou shunt ; il est facile d'y remédier en employant des moteurs à excitation mixte, comme les moteurs Krieger, et en employant l'excitation shunt seule, en cas de récupération ou de freinage.

Freinage électrique. — Outre le freinage produit par la récupération, qui permet de diminuer l'allure pendant la marche, les moteurs électriques permettent de donner aux voitures un moyen de blocage net et énergique pour l'arrêt du véhicule, et même de changer le sens de la marche.

Le freinage par renversement du sens de marche est très brutal ; en outre, la force électromotrice de la dynamo s'ajoutant à la différence de potentiel d'alimentation, le courant exagéré qui prend naissance, nécessite la mise en circuit d'une résistance très forte.

Du reste, ce freinage n'a jamais été employé en automobilisme.

L'emploi du freinage électrique n'est pas le même suivant le mode d'excitation du moteur.

Dans un moteur shunt ou à excitation séparée, le sens de rotation comme moteur étant le même que le sens de rotation comme générateur il n'y a rien à changer (*fig. 70*).

Dans un moteur série, il faut changer le sens des inducteurs vis-à-vis de l'induit, comme pour un changement de marche (*fig. 71*).

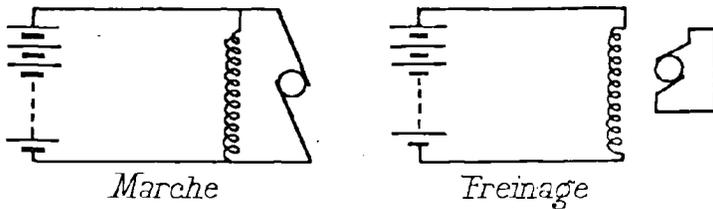


FIG. 70. — Schéma du freinage électrique pour un moteur shunt.

Le principe du freinage électrique consiste à couper le courant d'alimentation ; le moteur, entraîné par la force vive du véhicule, continue à tourner ; on le met alors en débit sur

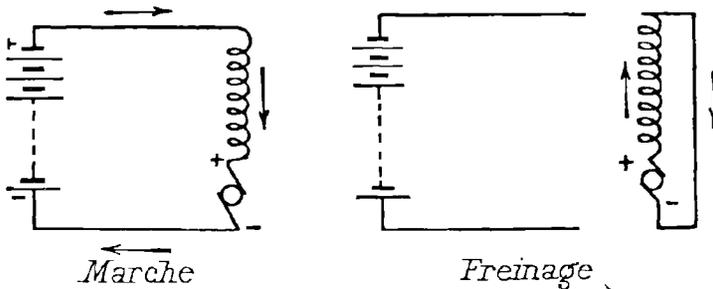


FIG. 71. — Schéma du freinage électrique pour un moteur série.

une résistance, afin de graduer le freinage pour arriver à mettre la résistance en court-circuit ; on peut même, en cas d'accident, mettre directement l'induit en court-circuit ; mais cela produit un arrêt excessivement brusque qui peut faire sauter les dents des pignons et détériorer l'induit.

Quand le moteur est shunt, l'excitation se fait séparément par la batterie pendant le freinage.

Démarrage et accélération. — Nous avons indiqué, dans le chapitre II, que, pendant les démarrages, il fallait

ajouter à la puissance nécessaire à déplacer la voiture :

$$\frac{P}{g} \frac{dV}{dt},$$

le démarrage s'effectuera lentement, et le minimum t de sa durée sera, en désignant l'accélération par :

$$a = \frac{dV}{dt},$$

$$t = \frac{V}{a}.$$

V étant la vitesse qu'il faut atteindre.

Au moment du démarrage, le moteur donne par son lancé un à-coup assez fort ; il est bon de le fixer au châssis par un ressort qui amortit cet à-coup.

Par suite de l'inertie de l'induit du moteur et des roues de la voiture, le poids de celle-ci peut être considéré comme augmenté et, par suite, la consommation au démarrage est plus élevée.

Le conducteur d'une voiture qui démarre brusquement, en passant sur les résistances de démarrage avec trop de rapidité, s'expose à brûler le moteur, les voitures électriques n'ayant pas été, jusqu'ici, munies de disjoncteurs à maxima et n'ayant que des plombs fusibles comme protection.

Certains constructeurs font avec raison agir le moteur sur des ressorts avant qu'il ne commande les roues, de sorte que ses premiers tours sont employés à vaincre les efforts résistants et ensuite à attaquer les roues, sans avoir pris trop de courant (voitures B. G. S.).

CHAPITRE X

TRANSMISSION DU MOUVEMENT

Les moteurs électriques de voitures automobiles ont, en général, des vitesses variant de 1.200 à 1.800 tours par minute pour les faibles puissances ; certains constructeurs ont abaissé cette vitesse à 600 tours par minute. Le but poursuivi est d'obtenir une réduction aussi petite que possible et même de commander directement les roues ; jusqu'ici ce résultat n'a pas encore été atteint.

Nous n'avons pas l'intention de nous étendre ici sur les transmissions, cette question étant traitée en détail dans les ouvrages sur la voiture à pétrole.

Les différents systèmes qui ont été essayés sont :

1° La *transmission par courroies*, aujourd'hui complètement abandonnée à cause de son réglage peu commode et du bris facile des courroies ;

2° La *transmission par chaînes* : celle-ci a ses ardents défenseurs, mais aussi ses ennemis ; le rendement d'une transmission par chaîne à rouleaux est d'environ 85 0/0. Elle présente l'avantage de ne pas transmettre au moteur les trépidations de la roue.

En général, elle est employée comme seconde réduction, la première étant faite par attaque directe de la couronne extérieure du différentiel par le pignon du moteur.

L'emploi d'une chaîne permet en outre de dissimuler le

moteur beaucoup plus facilement que les autres modes de transmissions.

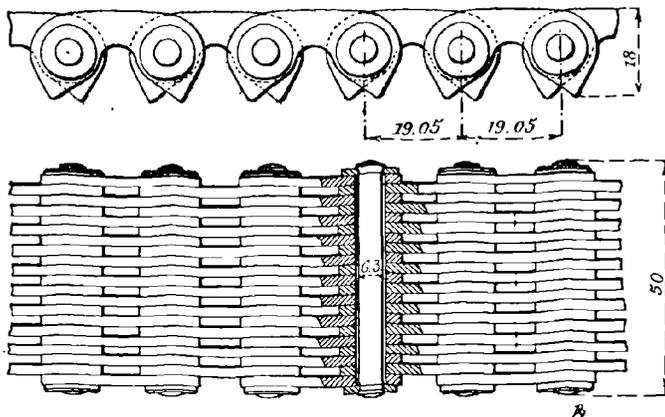
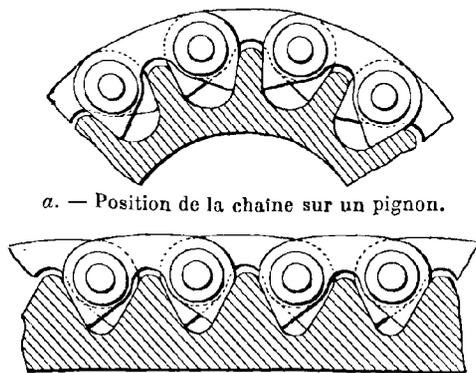


FIG. 72. — Chaîne Varietur.

Le meilleur type de chaîne employé jusqu'ici est la chaîne



a. — Position de la chaîne sur un pignon.

b. — Position de la chaîne sur une roue.

FIG. 73. — Chaîne Varietur.

Varietur, utilisée par la Compagnie générale des Voitures et par divers constructeurs (*fig. 72 et 73*).

Les chaînes présentent l'avantage de faire peu de bruit.

Leur résistance à la traction est de 780 kgs., leur charge de rupture de 3.900 kgs, pour le type usuel.

3° *Transmission par engrenages* : ce mode de transmission est celui qui est le plus généralement adopté dans les voitures électriques; il peut être employé soit en simple soit en double réduction, et est appliqué aux transmissions par essieu tournant, par différentiel ou par attaque directe des roues.

Dans certaines voitures à double réduction, la première réduction de vitesse est faite par un pignon attaquant la couronne extérieure du différentiel, la seconde par chaînes actionnant chacune des roues.

Quand la voiture comporte un seul moteur, la transmission du mouvement par simple réduction nécessite l'emploi d'un différentiel et d'un essieu tournant en deux pièces; par double réduction on peut choisir entre les chaînes et l'arbre intermédiaire à pignons.

Les essieux tournants sont d'une fabrication plus délicate que les autres; ils nécessitent un ajustage sérieux. Quand la ou les réductions sont par engrenages, le moteur nécessite une suspension spéciale, afin d'amortir le plus possible les chocs dus aux cahots de la route; à ce point de vue, la chaîne est meilleure.

Au lieu d'essieux tournants il est préférable, de beaucoup, d'employer deux moteurs actionnant séparément chaque roue motrice et formant différentiel électrique, d'où suppression du différentiel mécanique, ce qui présente l'avantage de moins compliquer le châssis par la présence de cet organe.

Si on considère un essieu ayant une roue à chaque extrémité, on sait que, en lui faisant décrire une rotation autour d'un point, la roue la plus éloignée du centre de rotation parcourt un chemin plus grand que la plus rapprochée; ces deux longueurs inégales étant couvertes dans le même temps, la roue la plus éloignée est animée d'une vitesse plus

grande que l'autre, et la diminution de vitesse de l'une est proportionnelle à l'augmentation de vitesse de l'autre. Si à chaque roue de l'essieu nous adaptons, par engrenages par exemple, un moteur électrique, et que nous faisons déplacer l'ensemble autour du point O comme centre (*fig. 74*), l'effort résistant à la jante de la roue R_1 augmentant, le moteur M_1 tournera moins vite que le moteur M_2 .

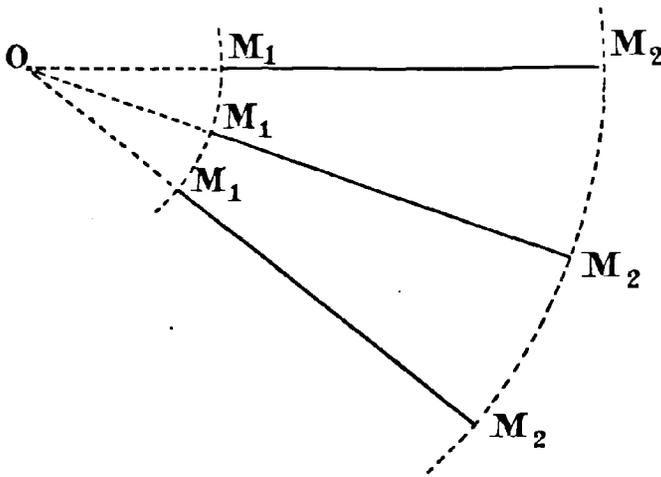


FIG. 74.

Si les deux moteurs sont couplés en tension, on a, pour deux moteurs de constantes semblables, en ligne droite :

$$I = \frac{2U - 2E}{2R},$$

$2U$ étant la différence de potentiel de la ligne ;

E , la force contre-électromotrice de chaque moteur ;

R , la résistance intérieure de chaque moteur.

Pour le moteur M_1 , pendant la rotation autour de O, on a :

$$I_1 = \frac{U_1 - E_1}{R} = \frac{U_1 - N\Phi\omega_1}{R};$$

pour le moteur M_2 , on a :

$$I_2 = \frac{U_2 - E_2}{R} = \frac{U_2 - N\Phi\omega_2}{R},$$

en supposant l'excitation constante, si on a :

$$\omega_2 > \omega_1.$$

Les deux moteurs étant en série, donnent :

$$I_1 = I_2 \quad \text{ou} \quad \frac{U_1 - E_1}{R} = \frac{U_2 - E_2}{R}$$

$$U_2 - N\Phi\omega_2 = U_1 - N\Phi\omega_1$$

en multipliant par R ; d'où :

$$U_2 - U_1 = N\Phi(\omega_2 - \omega_1);$$

or,

$$U_2 + U_1 = 2U;$$

on en tire les valeurs respectives de U_2 et U_1 .

On voit donc que, si les moteurs fonctionnent en série, la force contre-électromotrice diminuant dans le moteur M_1 , la différence de potentiel croît aux bornes de M_2 .

Considérons le cas où les moteurs sont en parallèle; la différence de potentiel aux bornes de chacun d'eux est identique; on a, pendant que l'essieu tourne autour de O :

$$U = E_1 + RI_1 = E_2 + RI_2.$$

$$N\Phi\omega_1 + RI_1 = N\Phi\omega_2 + RI_2.$$

$$N\Phi(\omega_2 - \omega_1) = R(I_1 - I_2).$$

Si I est le courant total :

$$I_2 + I_1 = I$$

$$I_1 - I_2 = \frac{N\Phi(\omega_2 - \omega_1)}{R},$$

étant donné que :

$$\omega_2 > \omega_1,$$

La force contre-électromotrice diminuant dans M_1 , il est naturel que le débit s'élève et que le couple moteur augmente.

Un inconvénient que présente une transmission par engrenages est le bruit que ceux-ci produisent ; leur usure rapide, s'ils sont mal surveillés, peut aussi leur être reprochée ; les pignons en cuir vert ont été heureusement employés au point de vue de la marche silencieuse.

Avec une seule réduction de vitesse, on est obligé de diminuer le nombre de tours de l'armature et, par suite, d'en augmenter le poids, diminuant ainsi son rendement par kilogramme.

Les transmissions par vis sans fin n'ont pas été encore employées sur les voitures électriques.

Nous décrirons, à propos de chaque voiture, dans le chapitre XIV, les différents modes de transmission employés avec leurs variantes.

Direction des voitures. — Ce point si important a été étudié déjà dans différents traités ; nous renvoyons aux remarquables études de Carlo Bourlet, pour cette question.

Nous décrirons seulement deux types de direction qui se rattachent directement à notre sujet :

1° La direction électrique, c'est-à-dire celle qui est obtenue par une manœuvre purement électrique ;

2° La direction différentielle mécanique.

Ces deux catégories se rattachent, du reste, au même principe ; elles ne diffèrent que par les moyens de réalisation.

Nous avons vu précédemment que, lorsqu'une voiture tourne, la roue la plus rapprochée du point servant de pivot à la rotation se meut plus lentement que l'autre roue du même train, puisque celle-ci doit parcourir un chemin plus grand dans un même espace de temps ; cet effet a donc pour cause le changement de direction donné à la voiture ;

or, il nous est facile dans ce cas de renverser le problème.

Considérons une voiture marchant en ligne droite ; si par un dispositif quelconque nous venons à faire tourner une roue de l'avant-train, plus vite que l'autre, il est certain que la voiture décrira un cercle dont le centre sera d'autant plus près de la voiture que la différence entre les vitesses des deux roues directrices, sera plus grande ; nous pourrions même ainsi faire pivoter la voiture sur place, en faisant tourner les deux roues en sens inverse avec des vitesses égales.

Ce système de direction n'a été employé jusqu'ici qu'à titre d'essais et, à notre connaissance, il n'en existe que deux types véritablement caractéristiques, se rattachant l'un et l'autre aux catégories ci-dessus.

Direction électrique Bary et Gasnier (1). — Les voitures construites suivant ce système doivent comprendre un moteur sur chaque roue avec suppression du différentiel mécanique ; l'avant-train de la voiture est simplement porteur et suit le mouvement et l'orientation donnés à la voiture par les moteurs.

Soit en intercalant dans le circuit d'un des moteurs une résistance, soit en faisant varier son excitation en la rendant plus grande, soit en diminuant la valeur de la différence de potentiel d'alimentation, on diminue la vitesse du moteur considéré ; la voiture tourne, par suite, de façon que la roue commandée par le moteur dont on a ralenti la vitesse soit placée à l'intérieur du virage. La caisse de la voiture qui est solidaire de l'arrière-train tourne, et oblige les roues avant à se placer dans le sens où elles offrent le moins de résistance à la marche, à condition évidemment que le maximum d'adhérence soit sur les roues motrices, tout comme dans les bogies de tramway dits à maximum d'adhérence.

(1) *La Locomotion automobile*, 1898.

Une telle direction est très simple ; elle consiste, comme toutes les commandes électriques, en la manœuvre d'un commutateur, ce qui demande un effort dans lequel n'interviennent ni le poids ni les dimensions de la voiture. Elle permet d'effectuer des virages très courts, et même le pivotage sur place d'une manière commode, l'inversion du sens de marche dans un moteur s'obtenant aussi par la manœuvre d'un commutateur inverseur.

La conduite d'une voiture construite sur ce principe est d'une simplicité très grande, les commandes électriques étant de toutes les plus sûres et les plus faciles à exécuter ; il est regrettable que ces essais n'aient point reçu la confirmation de la pratique.

Direction mécanique Vedovelli et Priestley (1). — Nous décrirons, dans le chapitre XIV, les données générales de la voiture exposée en 1899 par Vedovelli et Priestley ; son système de direction a ici sa place toute marquée.

La voiture est mue par deux moteurs actionnant à l'aide de courroies un arbre de commande qui, par un train d'engrenages, fait déplacer les roues.

L'appareil de direction est constitué par un mouvement différentiel que montre la figure 75. Dans un différentiel ordinaire, le mouvement est transmis aux roues par les satellites qui, par suite de leur faculté de se déplacer autour de l'axe de l'essieu, permettent aux roues de prendre des vitesses de grandeurs différentes.

Ici le satellite est fixe et commandé par un volant V. Les pignons commandant chaque roue sont placés à l'extrémité de deux arbres a et a' , situés dans le prolongement l'un de l'autre. Dans la figure, afin de faciliter l'explication, on admet que ce sont les roues elles-mêmes qui sont calées au bout de a ; à l'extrémité libre de chaque arbre, se trouvent des plateaux A dentés intérieurement ; con-

(1) *La Locomotion automobile*, 1899.

centriquement à chaque couronne A est placée une roue dentée 2 qui est réunie à A par un pignon 1. Chacun de ces pignons 1 est monté sur un arbre solidaire isolément des pignons d'angle B, commandés par le satellite C.

Les deux pignons 2 sont réunis entre eux par l'arbre D, et sont ainsi reliés mécaniquement l'un à l'autre.

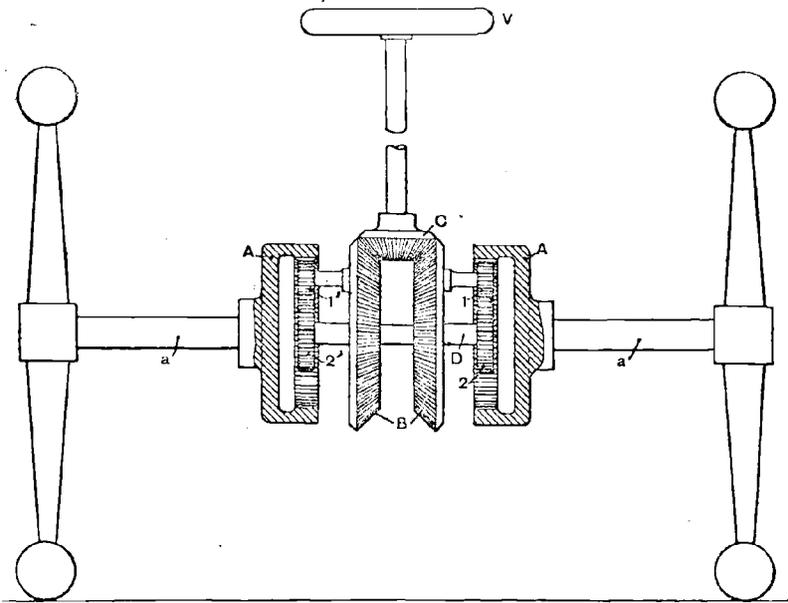


FIG. 75. — Direction Vedovelli et Priestley.

Si le pignon C reste immobile, chaque roue entraîne l'autre et la voiture marche en ligne droite; en effet, supposons que le mouvement soit donné par un seul moteur situé à droite de la figure, la roue correspondante se déplacera et fera tourner le plateau A qui, par l'intermédiaire du pignon 1, mettra en mouvement l'engrenage 2; celui-ci étant solidaire de l'engrenage 2' entraînera, par conséquent, 1' et A', l'autre entrera alors en mouvement et se déplacera dans le même sens; en pratique, ainsi que nous l'avons

dit plus haut, les deux roues sont sollicitées en même temps.

Une fois la voiture en marche si on fait tourner dans un sens quelconque le volant V, le satellite C fera tourner les pignons d'angle B en sens inverse l'un de l'autre et ceux-ci entraîneront les pignons 1 dans des sens opposés ; les plateaux A se déplaçant dans le même sens par suite de la marche des moteurs, et les roues dentées 2 étant solidaires l'une de l'autre, celles-ci serviront de point d'appui aux pignons 1 pour leur permettre d'accélérer la vitesse de la roue allant dans le sens de la rotation d'un pignon B, en retardant celle qui marche en sens inverse de l'autre pignon B.

Il est facile de comprendre que, si les moteurs sont arrêtés et si l'on fait tourner le satellite C, les deux roues tourneront en sens inverse, et la voiture pivotera sur place.

Ce dispositif de direction évite théoriquement au conducteur de tourner le volant V en sens inverse à la fin d'un virage pour ramener le véhicule dans la ligne droite, puisqu'il s'y replace de lui-même, quand le satellite C est immobile. Inutile de dire qu'il serait peut-être dangereux de trop s'y fier, à la sortie d'un virage pris en vitesse.

Ce système de direction est assez original mais il présentait l'inconvénient de se baser sur un mécanisme de pignons et d'engrenages un peu compliqué et pouvait, en se détériorant, donner des ennuis dans une des parties de la voiture qui demandent le plus de sûreté.

CHAPITRE XI

APPAREILS DE COMMANDE ÉLECTRIQUE RÉGLAGE DE LA VITESSE

Le courant fourni par la batterie est envoyé au moteur par l'intermédiaire d'un appareil analogue au contrôleur des tramways, mieux désigné ici par les noms de combinateur ou de coupleur.

Le combinateur est, en général, constitué par un bloc cylindrique en matière isolante portant des touches de cuivre qui, frottant sur des balais reliés aux différents points du circuit : pôles de la batterie, bornes des induits, etc., établissent entre eux les différents couplages ; parfois le coupleur est formé par des parties métalliques séparées par des disques de fibres. Le plus souvent le mouvement du combinateur est une rotation autour de l'axe du cylindre ; certains modèles ont été constitués par une planche portant les barrettes de contact, cette planche se déplaçant entre les balais (combinateur Vedovelli), dans le sens longitudinal.

On doit s'efforcer de réunir sur le combinateur tous les moyens de commande électrique de la voiture jusqu'à la limite bien entendu de la complication admissible.

Les différentes qualités à exiger d'un combinateur sont les mêmes que pour tous les appareils électriques : la solidité, un échauffement aussi restreint que possible, des contacts excellents et une disposition qui permette l'ouver-

ture du circuit sans danger d'amener une fusion quelconque des parties entre lesquelles se fait la rupture. En outre, le combinateur, tout en présentant toutes garanties au point de vue l'isolement doit être aussi petit que possible.

La matière isolante servant de support aux touches est du buis, de la fibre ou de l'ébonite; les touches sont en cuivre jaune ou rouge, les frotteurs sont formés de balais feuilletés ou à lames ou en charbon, ceux-ci présentant l'avantage de ne pas fondre.

Les balais feuilletés présentent parfois l'inconvénient que, par l'usure inégale des feuilletts, de faux contacts s'établissent et produisent un échauffement anormal.

Tous les balais sont montés sur un support isolant et à chacun correspond une borne pour serrer un câble ou une cosse soudée au câble venant du point du circuit à connecter.

On ne saurait trop recommander l'emploi du cuivre rouge; sa conductibilité est beaucoup plus grande que celle du laiton, sa résistivité étant $\rho = 1,8$ microhm-centimètre. Il est d'un travail facile et, pour un même débit, la section à prendre est beaucoup plus petite; on peut, sans crainte, avoir 2 ampères par millimètre carré de section.

Pour étudier un combinateur, une fois les conditions de fonctionnement de la voiture déterminées, on représente sur le développement du cylindre du coupleur les barres de cuivre destinées à former les touches.

Suivant la façon dont est placé le combinateur, il est commandé : soit par un levier ayant son axe de rotation au centre d'un segment denté qui engrène avec une roue située à l'extrémité de l'axe du cylindre, soit par un volant calé sur l'arbre du combinateur.

Toutes les précautions doivent être prises pour éloigner cet appareil des causes de détérioration.

Les arêtes des touches du combinateur, dans le cas où elles sont en relief sur le bloc, doivent être adoucies et en biseau afin de permettre une prise de contact facile (*fig. 76*).

Il est bon de prévoir les combinaisons que permettra le coupleur, et l'ordre dans lequel elles seront placées sur son développement, de telle sorte que toute fausse manœuvre soit évitée ; par exemple, il est de très grande importance qu'après un arrêt et un freinage il soit impossible de passer à la vitesse maximum sans repasser par toutes les positions intermédiaires.

L'ensemble du combinateur doit être enveloppé dans un carter facilement démontable, ou bien placé dans une partie de la voiture où il soit bien abrité, mais néanmoins d'une visite et d'un entretien faciles.

Outre les bornes d'arrivée des différents organes électriques de la voiture, il faut, si cela est possible, y placer les bornes de charge ; celles-ci au lieu d'être de simples bornes à vis, seront avantageusement remplacées par les parties femelles de contacts à fiches, les parties mâles étant situées aux extrémités des câbles souples allant à la dynamo.

En résumé, cet appareil, qui est en quelque sorte le cerveau de l'automobile électrique, devra être entouré de tous les soins possibles de construction. C'est une erreur très grande que de chercher à faire des économies sur tout ce qui est appareillage électrique ; sans faire de l'ajustage, il ne faut pas se borner à faire du simple décolletage.

La commande doit être simple et, autant que possible, se faire à l'aide d'un seul volant ou manette ; on ne saurait trop proscrire l'emploi de commutateurs secondaires qui compliquent la conduite et demandent une attention plus soutenue de la part du conducteur.

Entretien du combinateur. — Comme les balais du moteur, ceux du collecteur, agissant par glissement, doivent

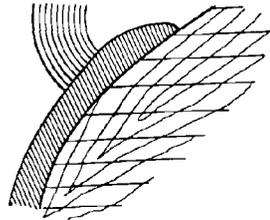


FIG. 76.

être assez serrés pour assurer un bon contact; il peut arriver que, par suite d'arcs produits à la rupture du courant sur une combinaison ou par un démarrage trop brusque, les balais en lames fondent à l'endroit où commence le contact; les globules de métal fondu pouvant entraver le fonctionnement normal de l'appareil, il faut rattraper le tout à la lime et nettoyer les touches.

Autant que possible l'adhérence des frotteurs doit pouvoir être facilement réglable.

A propos de chaque voiture nous verrons en détail les combinateurs présentant des variantes et des particularités intéressantes.

Méthodes employées pour obtenir les changements de vitesse. — La régulation électrique de la vitesse des voitures automobiles peut s'obtenir en s'appuyant sur trois variations différentes :

1° Variation de la différence de potentiel par couplages des batteries ou en intercalant des résistances variables;

2° Variation de l'intensité du champ magnétique et, par suite, du flux de force magnétique;

3° Emploi de deux moteurs ou d'un moteur à double enroulement.

Outre la régulation électrique, il est encore possible d'effectuer la régulation mécanique. Jusqu'ici, sur la majorité des voitures, on n'a employé que la régulation électrique; les changements de vitesse mécaniques y ont été parfois ajoutés, mais il n'y a pas eu à proprement parler de véhicules dont les moteurs marchaient à vitesse constante avec variations seulement dans le couple moteur.

RÉGLAGE DE LA VITESSE PAR VARIATION DE LA DIFFÉRENCE DE POTENTIEL. — I. Le courant fourni aux moteurs des voitures automobiles provenant de batteries d'accumulateurs, on peut faire varier la différence de potentiel aux bornes du moteur en influant sur le couplage des éléments.

Le nombre généralement adopté jusqu'ici, afin de permettre la charge économique sur les secteurs à 110 volts, est de 44 éléments qu'on peut diviser en quatre groupes de onze en tension et réunis suivant les dispositifs ci-dessous :

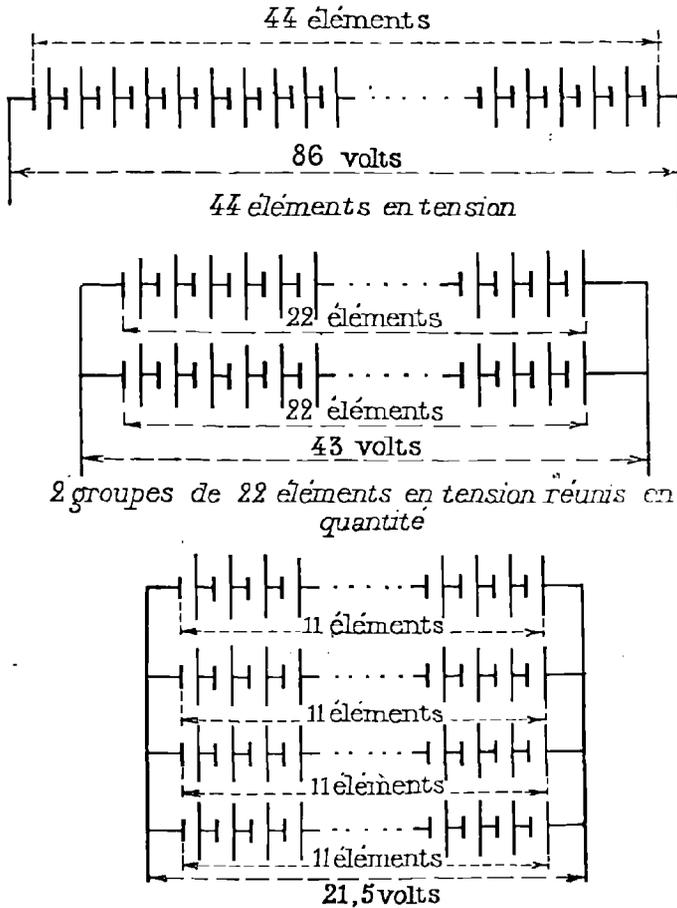


FIG. 77. — Schéma du couplage des accumulateurs pour le réglage de la vitesse par variation de la différence de potentiel.

1° Les quatre groupes en tension (*fig. 77*) ; si E est la force électromotrice d'un élément, C sa capacité, la batterie aura

comme force électromotrice $44 E$ et comme capacité C au régime normal de I ampères ;

2° La batterie formée de deux groupes de 22 éléments en tension, réunis en quantité et donnant :

Force électromotrice de la batterie $22 E$;

Capacité, $2 C$ au régime normal de $2 I$ ampères.

3° Les quatre groupes réunis en quantité :

Force électromotrice, $11 E$;

Capacité, $4 C$ au régime normal de $4 I$ ampères.

Les avantages qu'on trouve à cette méthode résident d'abord en la simplicité de couplage ; puis elle permet, au démarrage, là où on a besoin d'un couple moteur assez grand, de disposer d'un courant intense sans fatiguer la batterie ; nous rappelons en effet que :

$$W = \frac{NI\Phi_a}{2\pi}.$$

Si I_a est le courant nécessaire au démarrage, en se servant du couplage de quatre groupes en quantité, chaque groupe débitera $\frac{I_a}{4}$.

Ces avantages sont, de l'avis de tous les constructeurs d'accumulateurs, très surpassés par les inconvénients inhérents à cette méthode. Quelque soin qu'on apporte à la construction des accumulateurs et à leur entretien, jamais on ne pourra obtenir des éléments rigoureusement semblables ; les ingénieurs qui se sont occupés d'une façon suivie des éléments secondaires savent même que les constantes d'un élément varient facilement d'une décharge à l'autre et que l'accumulateur subit des changements dans sa constitution interne, changements qui dépendent de la manière dont les plaques ont été traitées antérieurement comme régime de charge et de décharge.

La résistance intérieure des éléments varie donc facilement, et cette variation a d'autant plus d'importance que le

débit est plus élevé; on sait que la différence de potentiel aux bornes d'un accumulateur est en décharge :

$$U = E - rI.$$

Cette inégalité de résistance intérieure fait que, étant donnés deux éléments déchargés en parallèle, et débitant au total 20 ampères au lieu de débiter chacun 10 ampères, il n'est pas étonnant que l'un débite 15 ampères, et l'autre 5 ampères.

Les caractéristiques des éléments n'étant pas identiques, il se produit fatalement le même effet qu'entre deux dynamos en parallèle, des débits inégaux et même un renversement d'une batterie dans l'autre.

Il en résulte que, malgré sa simplicité, la méthode à couplages variables doit être rejetée; on ne peut exiger que le conducteur régularise la décharge égale des groupes à l'aide de résistances qui, en outre, dépenseraient inutilement de l'énergie. Tout au plus peut-on accorder l'emploi de cette méthode au moment des démarrages, afin de moins fatiguer les éléments, en utilisant le couplage de deux groupes de 22 éléments en tension réunis en quantité, afin de diviser le défaut pouvant résulter de quelques éléments plus faibles que les autres.

Dans le cas où on emploiera néanmoins cette marche, il sera bon de surveiller attentivement les éléments afin d'éliminer immédiatement ceux qui pourraient introduire une cause perturbatrice dans le bon fonctionnement.

II. Il est encore possible de faire varier la différence de potentiel aux bornes des moteurs en faisant varier la perte en ligne depuis une valeur très faible jusqu'à une valeur maximum qu'on se fixe suivant les caractéristiques du moteur; ce but s'obtient au moyen de résistances variables intercalées dans le circuit de l'induit; cela revient donc à utiliser les résistances de démarrage, mais en les amplifiant

si on ne devait se servir que de ce moyen. Les plus grands inconvénients sont d'abord les conditions économiques mauvaises, étant données les pertes en effet Joule ($P_J = RI^2$) et ensuite l'encombrement gênant des résistances.

Assez employée pour les tramways, cette méthode ne l'a été dans les automobiles que pour la graduation des démarrages et des vitesses purement intermédiaires.

RÉGLAGE DE LA VITESSE PAR VARIATION DANS LE CHAMP MAGNÉTIQUE. — Les changements de vitesse par variation du champ magnétique, peuvent être basés sur l'emploi de plusieurs moyens :

1° Variation de l'intensité du courant d'excitation :

- a) Couplage variable des batteries d'excitation (moteur à excitation séparée);
 - b) Introduction d'un rhéostat variable dans le circuit des inducteurs (moteur à excitation constante);
 - c) Shuntage des inducteurs (moteur série);
 - d) Couplage entre les enroulements;
- 2° Changement de polarité des inducteurs.

1° *Variation de l'intensité du courant d'excitation.* —

Dans l'exposé des principes relatifs aux moteurs, nous avons indiqué que la force électromotrice était donnée par :

$$E = N\omega\Phi.$$

N étant le nombre de spires à la périphérie est un facteur invariable ; la valeur de la vitesse angulaire :

$$\omega = \frac{E}{N\Phi},$$

ne peut donc dépendre que de la valeur du flux de force ; si on considère la puissance :

$$P = N\Phi_a I \omega$$

$$\omega = \frac{P}{N\Phi_a I},$$

donc à puissance constante, en augmentant le flux de force, on diminue la vitesse et *vice versa*.

Nous savons que :

$$\Phi = HS,$$

et

$$H = \frac{4\pi NI}{l};$$

nous ne pouvons donc pratiquement faire varier le flux qu'en agissant sur l'intensité du champ ou force magnétisante, laquelle ne compte comme variable que le nombre d'am-pères-tours, qui est fonction du courant I, N étant fixe.

Ce sont les moyens de faire varier l'intensité que nous allons étudier.

a) *Moteur à excitation séparée*. — Dans un moteur à excitation séparée, deux moyens s'offrent au choix pour faire varier l'intensité d'excitation. On se trouve en présence de la loi d'Ohm, et on peut agir soit sur la différence de potentiel en faisant varier le couplage des éléments d'excitation, soit sur la résistance, en intercalant un rhéostat variable en série avec les inducteurs, soit en opérant sur les deux en même temps. Dans le cas présent, il est préférable d'agir suivant le procédé *d* qui s'applique à tous les genres d'excitation : séparée, shunt et série.

b) *Moteur shunt*. — Dans le moteur shunt, on peut faire varier la vitesse en intercalant dans le circuit des inducteurs un rhéostat réglable, dit *rhéostat de champ*, qui permet de régler l'intensité du courant d'excitation suivant la loi d'Ohm. En diminuant la résistance du circuit, on augmente le champ et on diminue la vitesse ; la vitesse minimum est donnée par la position où la résistance est nulle, le maximum est obtenu quand la résistance est intercalée en entier.

Il est tout à fait important de ne jamais effectuer le démarrage sans avoir ramené la manette du rhéostat à la position de vitesse minimum.

Pour la production d'un même couple moteur

$$W = \frac{N\Phi_a}{2\pi},$$

du moment qu'on diminue le flux en ajoutant une résistance aux inducteurs, l'intensité augmente nécessairement ; cela peut présenter certains inconvénients, au cas où on a un moteur dont la réaction d'induit produit un fort décalage de la ligne neutre ; quand le moteur est près de sa puissance normale, l'accroissement de l'intensité résultant de la diminution du flux augmentant le courant absorbé par le moteur, les étincelles aux balais sont encore plus à craindre, et leur production dépend essentiellement du moteur ; en général, on n'abaisse jamais le champ à plus de la moitié de sa valeur.

Pour agir par ce procédé, il ne faut pas que les inducteurs soient saturés, ce qui rendrait sans effet les variations apportées dans l'intensité du courant d'excitation et ne donnerait aucun changement de vitesse.

Pour l'emploi de ce mode de régulation, il faut chercher, ainsi que nous l'avons vu, à diminuer le plus possible l'effort transversal produit par l'induit sur le champ magnétique, afin d'éliminer les causes d'étincelles qui, pour une bonne marche, nécessiteraient un décalage continu des balais.

c) *Moteur série.* — L'excitation d'un moteur série étant traversée par le courant total, on ne peut songer à intercaler un rhéostat réglable pour faire varier l'intensité qui traverse les bobines magnétisantes ; le seul moyen dont on dispose qui n'influe pas sur la résistance de l'induit, consiste à shunter les inducteurs, c'est-à-dire à introduire entre leurs bornes une résistance divisible en deux ou trois parties, ce qui, sans changer la valeur du courant total, réduit celui de l'inducteur, suivant la loi des circuits dérivés.

Si un courant d'intensité I doit traverser en une partie de son circuit deux résistances R_1 , et R_2 dérivées l'une par rapport à l'autre (*fig. 78*), l'intensité I_1 dans la résistance R_1 sera donnée par :

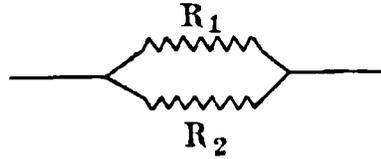


FIG. 78. — Résistances en parallèle.

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I^{(1)}$$

Dans le cas qui nous occupe, si nous désignons par R la résistance de l'enroulement inducteur et par S la résistance du shunt (*fig. 79*), l'intensité I_2 du courant passant dans l'inducteur sera, en désignant par I_1 le courant total :

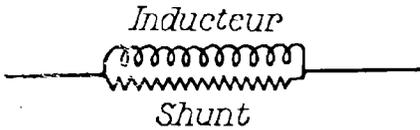


FIG. 79. — Inducteur shunté.

$$I_2 = I_1 \frac{S}{R + S}$$

On doit donc calculer la valeur du shunt afin d'obtenir une intensité I_2 suffisante pour donner le nombre d'am-pères-tours nécessaires à l'obtention de la vitesse voulue.

d) *Couplage entre les enroulements.* — Cette méthode consiste à sectionner les enroulements en deux ou trois parts égales, et à réunir ces sections en série ou en parallèle. Au point de vue automobile on se contente de deux

(1) En effet, si I est le courant total, U la différence de potentiel absorbée par l'ensemble des résistances R_1 et R_2 , on a :

$$\begin{aligned} E &= R_1 I_1 = R_2 I_2 \text{ et } I = \frac{E (R_1 + R_2)}{R_1 R_2} \\ I &= \frac{R_1 I_1 (R_1 + R_2)}{R_1 R_2} = \frac{I_1 R_1^2 + R_1 R_2 I_1}{R_1 R_2} \\ R_1 R_2 I &= R_1^2 I_1 + R_1 R_2 I_1 \\ R_2 I &= R_1 I_1 + R_2 I_1 \\ I_1 &= I \frac{R_2}{R_1 + R_2} \end{aligned}$$

enroulements ; si R est la résistance de chacun, N le nombre de spires, le montage en série nous donne une résistance de $2R$ et un courant I , donnant $2NI$ ampères-tours ; en parallèle on a $\frac{R}{2}$ et une intensité I , donnant avec N spires NI ampères-tours. C'est donc au couplage en parallèle que correspond la plus grande vitesse.

2° *Changement de polarité des inducteurs* (1). — Cette méthode, qui a été indiquée parfois, consiste à constituer le circuit magnétique par deux électro-aimants ; en premier lieu, on fait passer le courant dans les deux inducteurs dans le même sens, en deuxième on renverse le courant par un inverseur, de telle sorte qu'il soit en sens contraire dans un des enroulements par rapport à l'autre.

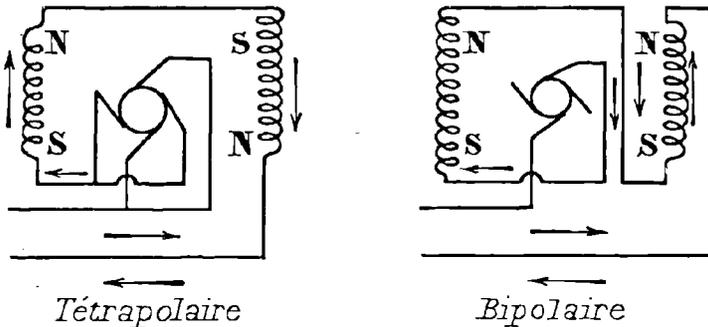


FIG. 80 et 81. — Changement de polarité des inducteurs.

Quand le courant circule en sens contraire dans les enroulements les pôles formés aux extrémités sont de même nom (*fig. 80*), le moteur fonctionne en bipolaire.

Au contraire, dans le cas de la figure 81, le moteur est tétrapolaire, les pôles voisins étant de signe opposé.

Le nombre total d'ampères-tours étant le même, l'intensité du champ est la même dans les deux cas, et le flux de force sortant de chaque pôle est identique.

(1) MILANDRE et BOUQUET, *Voitures automobiles*, t. IV.

Si l'induit est bobiné pour être en quantité, chacun des circuits dérivés ayant dans le fonctionnement en tétrapolaire un nombre de spires moitié moindre que dans celui en bipolaire, la force contre électromotrice qui était :

$$E_2 = N\omega\Phi \text{ (bipolaire),}$$

sera :

$$E_4 = \frac{N}{2} \omega\Phi = \frac{E_2}{2} \text{ (tétrapolaire),}$$

si la vitesse reste constante mais, pour maintenir la puissance constante la vitesse deviendra double afin que la force contre-électromotrice ait la même valeur.

RÉGLAGE DE LA VITESSE PAR L'EMPLOI D'UN INDUIT A DOUBLE ENROULEMENT. — Nous avons étudié ci-dessus les changements de marche par action sur le champ magnétique. Il est aussi possible d'agir sur les armatures; nous ne considérons toujours que l'emploi d'un seul moteur, avec commande de l'arbre moteur par différentiel.

Jusqu'ici cette méthode a été adaptée à différentes voitures, entre autres à celles de la Compagnie générale des voitures (moteur Lundell-Johnson) et aux voitures de la Société des voitures B. G. S.

Dans le premier moteur les deux enroulements induits sont identiques; dans le second, afin d'obtenir un nombre de combinaisons plus grand, les deux bobinages sont inégaux.

Par suite de ce double enroulement, chacune de ces deux catégories de moteurs comporte deux collecteurs placés chacun à une extrémité de l'induit.

Enroulements égaux. — Quand les deux enroulements sont égaux, on ne dispose par l'induit même que de deux moyens de faire varier l'allure :

1° Les deux bobinages en série, chacun d'eux fonctionnant sous la moitié de la différence de potentiel de la batterie; c'est la vitesse minimum ;

2° Les deux bobinages en parallèle, chacun travaillant sous la différence de potentiel totale : vitesse maximum.

Bien entendu, à chacune de ces variations, on peut ajouter des variations par l'excitation.

Afin de moins compliquer le bobinage, on peut faire deux induits clavetés sur le même arbre; la perte de temps au bobinage est contrebalancée par l'encombrement plus grand que cela donne au moteur, et par le prix de revient plus élevé de celui-ci.

Enroulements inégaux. — Jusqu'à présent il n'y a encore eu dans ce genre que le moteur B. G. S., assez intéressant en ses combinaisons.

L'induit qui se déplace dans un champ magnétique unique est composé par deux enroulements inégaux bobinés sur le même noyau et ayant chacun son collecteur particulier.

Le rapport du nombre des spires des deux enroulements est de 5 et 3, ce qui donne comme proportionnalité totale :

$$5 + 3 = 8.$$

A l'aide d'un moteur fait de telle sorte on dispose, sans agir par aucun autre moyen, de quatre vitesses différentes, en faisant fonctionner le moteur :

- 1° Les deux enroulements en série;
- 2° et 3° Chaque enroulement séparément;
- 4° Les deux enroulements en série mais inversés de leur position première.

En résumé, on revient toujours à une marche analogue à celle en série parallèle avec addition de marche par un seul enroulement, la marche la plus lente étant celle en série. Entre les deux marches avec un seul des deux enroulements la plus rapide est naturellement celle qui correspond à la mise en circuit de l'induit proportionnel à 3, comme spires et par suite comme force contre-électromotrice.

Un moteur fondé sur le principe des enroulements iné-

gaux, présente l'avantage de disposer à lui seul d'un nombre suffisant de variations de marche; il est donc inutile avec lui d'employer le couplage des batteries en parallèle. Si l'effet de la réaction d'induit est bien atténué on peut même diminuer beaucoup la production des étincelles, les couplages entre les inducteurs étant inutiles.

EMPLOI DE DEUX MOTEURS OU D'UN MOTEUR A DEUX INDUITS CALÉS SUR DES ARBRES DANS LE PROLONGEMENT L'UN DE L'AUTRE. COUPLAGE EN SÉRIE PARALLÈLE. — La recherche de la simplicité mécanique a amené certains constructeurs à rejeter le différentiel et à le remplacer soit par deux moteurs, soit par un moteur à deux induits indépendants.

Au lieu d'opérer comme dans les tramways, en plaçant un moteur sur chaque train, les deux moteurs sont naturellement sur le même arbre.

Dans le cas de deux moteurs distincts les variations de vitesse se font par la marche série-parallèle; les couplages entre les inducteurs des deux moteurs doivent être autant que possible évités, l'inégalité des enroulements au point de vue de la résistance, dans le couplage en quantité de ces enroulements pendant la marche en parallèle pouvant, ainsi que les différences d'entrefer ou l'inégalité de saturation, amener une inégalité du flux et une inégale répartition de la charge entre les deux moteurs.

Dans les moteurs shunt la marche série-parallèle n'est pas à recommander, pour les mêmes motifs, à moins que l'on ne transforme le moteur en excitation séparée, ce qui évite une annulation de l'excitation d'un des moteurs par suite de l'emballement de l'autre (couplage en série).

Au point de vue des moteurs série il est donc préférable de s'en tenir aux montages de la figure 82; on peut encore coupler les inducteurs en parallèle pendant la marche en série des induits, le courant étant le même dans les deux.

Chacune des armatures peut, en outre, être constituée par

un double enroulement, et les inducteurs peuvent être shuntés.

Une méthode assez employée, par exemple dans les moteurs Mildé-Mondos, Meynier et Legros, Monnard, consiste à cons-

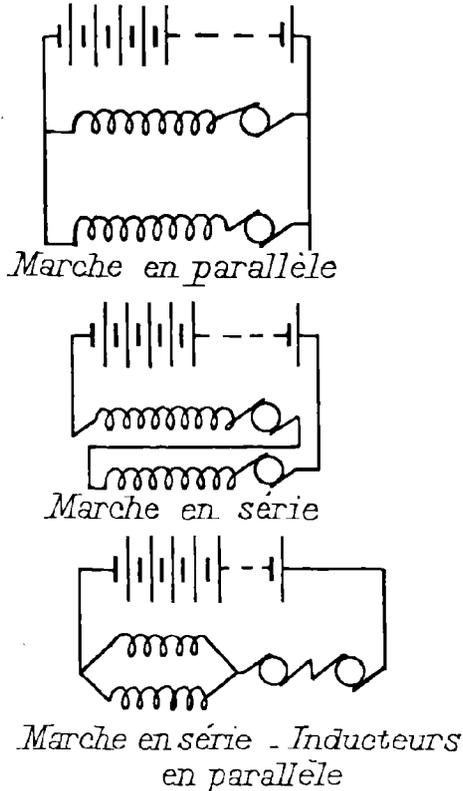


FIG. 82. — Dispositif à employer dans la marche en série parallèle avec des moteurs en série.

truire un moteur à deux induits calés sur des arbres en prolongement l'un de l'autre, mais indépendants; les deux induits se déplaçant dans un champ magnétique unique pour les uns ou dans deux champs magnétiques pour les autres.

La marche est identique à celle par deux moteurs, mais

on s'évite un inducteur et l'appareil moteur, bien que plus compliqué, est mieux ramassé que s'il est placé en deux endroits distincts. Ces moteurs sont dits : différentiels.

Quand le champ magnétique est unique, les inconvénients de couplage en parallèle disparaissent, le champ étant le même pour les deux armatures.

Ici encore toutes les variantes précédentes peuvent intervenir, mais il est important d'éliminer le fonctionnement sous différence de potentiel variable par couplage entre les batteries.

Tout ce qui peut être à la rigueur admis, c'est un couplage en parallèle à la mise en route, pour moins fatiguer la batterie.

Changements de vitesse mécaniques. — Les changements de vitesse mécaniques ne sont pas, jusqu'à présent, employés d'une façon très courante ; quelques constructeurs en ont muni leurs voitures comme accessoires ; l'état actuel de l'automobilisme électrique n'a pas encore permis de juger de leur utilité définitive mais il est déjà acquis que les dispositifs permettant de faire varier le couple moteur ont rendu des services, en particulier pour l'ascension de côtes assez difficiles. Pour les villes ils sont en général superflus.

La voiture anglaise construite en 1894 par Blumfield et Garrard (Voir chap. 1, *Historique*) avait un changement de vitesse mécanique par plateaux, et la voiture de course de Jeantaud, construite en 1895 pour le parcours Paris-Bordeaux, était également munie d'un changement de vitesse à engrenages.

Il n'y a ensuite que les voitures Patin, Jenatzy et Cleveland qui ont essayé ce dispositif. Le dispositif Patin est original et mérite d'être détaillé.

Embrayage Patin⁽¹⁾. — L'arbre moteur de la dynamo, sup-

(1) *La Locomotion automobile*, 1898.

porté par les paliers q des flasques a' , est pourvu, à son extrémité, d'une petite poulie q' calée à demeure, suffisamment large et garnie de deux joues q^2 qui forment une gorge profonde. Dans cette gorge sont disposés à plat plusieurs anneaux de cuir juxtaposés, de diamètres notablement supérieurs à celui de la poulie qui les porte.

De cette manière, quand l'arbre de la dynamo tourne rapidement, ces anneaux de cuir, par l'effet de la force centrifuge, tournent concentriquement à la poulie q' et à une certaine distance de celle-ci. Dans le même plan que la poulie lisse q' et pouvant se déplacer de façon à venir en contact avec elle, sont disposées deux autres poulies lisses

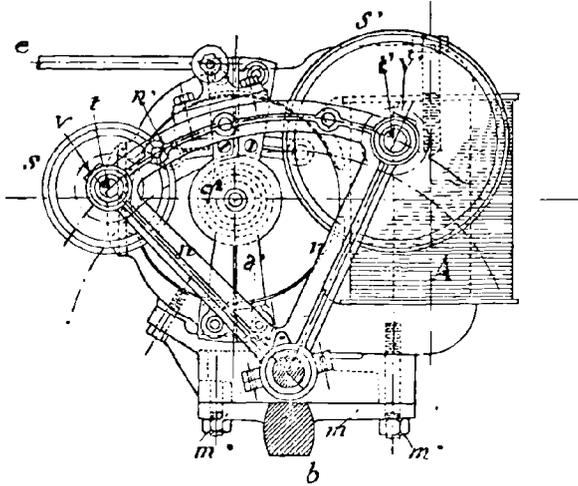


FIG. 83. — Embrayage Patin.

de diamètres inégaux, l'une s de petit diamètre, l'autre s' de grand diamètre, ces deux poulies étant calées sur des arbres intermédiaires t et t' . Ces arbres sont portés par les extrémités des bras nm' du cadre oscillant $nn'n$ formant tête de cheval. Sur chacun des arbres t et t' se trouvent disposés, également calés sur eux, deux pignons dentés, égaux ou

inégaux vv' , lesquels engrènent constamment avec l'engrenage droit du différentiel. Les pignons coniques du différentiel transmettent le mouvement à l'arbre moteur à la façon ordinaire.

Il résulte de ce dispositif que l'arbre de la dynamo tournant, ainsi que la poulie lisse q' , si on agit sur le levier e pour faire osciller la tête de cheval $nn'n$, et si l'on amène en contact la poulie s avec celle q' , les anneaux de cuir interposés provoquent l'entraînement par adhérence de la poulie s , les parties libres des anneaux de cuir venant s'appliquer sur la surface de la poulie s sur une assez grande étendue pour exercer sur elle une friction énergique.

Il s'ensuit que la vitesse de l'arbre moteur de la dynamo, diminuée déjà par suite du rapport des rayons des poulies q' et s , se transmet, avec ralentissement convenable, au différentiel d par l'intermédiaire du pignon denté v . Cette vitesse correspond à la grande vitesse du changement mécanique.

La poulie s' étant de diamètre plus grand, si par le mouvement inverse de la tête de cheval, on amène en contact cette poulie s' et celle q , le mouvement de cette dernière se transmet de l'arbre t au différentiel par l'intermédiaire du pignon v' à une vitesse plus ralentie.

On comprend donc qu'il suffit de faire osciller la tête de cheval pour faire varier instantanément la vitesse, en pleine marche, sans que l'on ait à craindre des chocs et des ruptures de dents d'engrenages, inconvénient de la généralité des changements de vitesse actuels.

De plus, ce dispositif permet d'embrayer sur le moteur lorsque celui-ci, tournant à blanc, a pris toute sa vitesse; il suffit pour cela, de tenir éloignés de la poulie d'entraînement q' , les deux poulies s et s' et de laisser tourner la machine; quand celle-ci a atteint une vitesse suffisante pour être susceptible d'exercer une action efficace, on embraye sur une des poulies de l'entraîneur $nn'n$ et l'on peut obtenir des coups de collier d'une puissance considérable, tels qu'on

n'en peut produire avec les changements de vitesse à engrenages.

Les autres changements de vitesse, tels que celui de la voiture Cleveland et d'une voiture Jenatzy, sont des embrayages analogues au démultiplicateur d'un tour. Inutile d'insister longuement sur ces changements de vitesse mécaniques, qui peuvent être analogues à ceux qui sont couramment employés pour les voitures à pétrole et qui sont décrits d'une façon très détaillée dans les ouvrages traitant de la construction de ces voitures.

Les essais faits jusqu'ici dans cette voie sont extrêmement peu nombreux, ce qui est regrettable ; il eût été intéressant de pouvoir s'étendre largement sur cette question ; l'emploi d'un changement de vitesse, tout en compliquant beaucoup le montage de la voiture, peut être d'une très grande utilité ; il permet d'éliminer dans l'étude du moteur la recherche de la faible vitesse et par suite d'en diminuer le poids, en en rendant la construction moins coûteuse, et en assurant une meilleure utilisation du cuivre de l'enroulement, mais, soit que les constructeurs n'en aient pas vu l'utilité, soit qu'ils aient craint la complication, les exemples cités sont les seuls à signaler ; la présence d'un changement de vitesse mécanique donnant à lui seul toutes les vitesses nécessaires compliquerait le châssis et ferait disparaître ainsi la simplicité qui est une des plus grandes qualités de l'électromobile. On préfère utiliser les précieuses qualités du moteur électrique.

CHAPITRE XII

APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE D'UNE VOITURE ÉCLAIRAGE. — APPAREILS DE MESURE

La voiture électrique, contenant une distribution d'énergie, doit renfermer toutes les garanties et tous les appareils de sûreté.

Tous les circuits doivent être protégés contre les surcharges ou les accidents par les appareils habituels; dans la plupart des voitures actuelles, les appareils sont couverts contre les avaries par des plombs fusibles; avec les modèles actuels, cela n'est pas très bon, rien n'est moins sûr que leur fonctionnement. En outre, ils courent le risque de fondre par le simple desserrage de leurs vis, celui-ci pouvant être amené par les trépidations de la voiture. L'emploi d'un disjoncteur-interrupteur à maxima est très bon; son rôle est de couper automatiquement le courant au cas où il prendrait une valeur trop exagérée pour le moteur et pour la batterie; bien compris comme construction et comme réglage les disjoncteurs fonctionnent généralement bien.

Ainsi que nous l'avons indiqué dans le précédent chapitre, il est absolument nécessaire que le courant soit coupé avant le freinage soit par le combinateur, soit par un interrupteur commandé par la pédale de frein; dans quelques voitures, comme l'autocab Draullette, le freinage,

tout en coupant le courant ramène le combinateur à la position d'arrêt.

Le montage de l'équipement doit être fait très soigneusement avec du câble à bon isolement, surtout à cause des parties métalliques qui pourraient occasionner des dérivations à la masse; une fois les canalisations déterminées on peut rassembler les divers fils dans des gaines isolées et fixer celles-ci sur la voiture par des lames de laiton vissées sur les bois de la caisse.

Les voitures électriques présentent un moyen d'éclairage puissant et pratique; les lampes, au nombre minimum de quatre, peuvent être prises sur la totalité de la batterie afin de la décharger également sur tous les éléments. Ceci dans le cas où il n'y a point de couplage de la batterie, sinon les lampes devront être branchées sur l'une des sections et avoir un voltage approprié.

L'intensité lumineuse sera normale pendant la majeure partie de la décharge; très forte pendant le coup de fouet elle sera plus faible vers la fin de la capacité; la lumière produite suivra forcément toutes les variations de débit et de voltage de la batterie, variations causées par la marche de la voiture.

Les lampes placées dans les lanternes doivent être montées de telle sorte que les fils ne dépassent pas et n'empêchent pas de changer facilement la lanterne; afin de protéger les filaments des lampes, il est bon de les monter sur des supports Edison à ressorts qui atténuent les chocs et les trépidations. On doit suivre dans ce montage les mêmes prescriptions que pour tous les autres, avec cette différence qu'on doit encore davantage surveiller l'isolement, la batterie d'accumulateurs étant cause d'une continuelle perte à la masse; il est même très utile d'isoler les boîtes renfermant les éléments, par rapport au châssis.

La prise de courant pour la charge doit être d'un manie- ment pratique et surtout prévue pour empêcher la charge de

la batterie à l'envers. Généralement les prises de courant sont constituées par une partie femelle fixée à la voiture et une partie mâle fixée à l'extrémité d'un câble souple à deux conducteurs dont l'autre bout est fixé au tableau de distribution, par un dispositif identique ; afin de ne pas commettre d'erreur de pôles, on peut faire les trous de la partie femelle avec des diamètres inégaux et les poinçons de la partie mâle de diamètres correspondants ; ainsi il est impossible de se tromper.

La tension de la batterie n'étant pas considérable, on peut se contenter, comme interrupteurs principaux, de ruptures simples, la rupture brusque étant inutile. Les appareils en cuivre éfilé sont d'un usage commode ; ils présentent à la fois l'avantage du bon marché et de la simplicité ; constitués par un métal de haute conductibilité ils sont, pour un courant maximum donné, moins encombrants que les autres.

La voiture doit être munie d'un interrupteur unipolaire en forme de verrou commandé par une clé, et permettant de couper le courant de la batterie, quand on quitte la voiture, sans crainte qu'on puisse la mettre en route si on est obligé de la laisser seule sur la voie publique ; dans le même ordre d'idées on peut mettre un dispositif de blocage du combinateur à la position d'arrêt.

Appareils de mesure : ampèremètre, voltmètre, compteurs. -- Même dans une marche en exploitation, il est de très grande importance de pouvoir se rendre compte à tout moment de l'état de la batterie ; à part l'intérêt purement technique de pouvoir mesurer les différentes consommations de la voiture aux divers modes de marche, la présence d'un voltmètre et d'un ampèremètre permet à chaque instant de connaître à peu près à quel point de sa décharge se trouve la batterie ; avec un peu d'expérience et d'habitude du type d'accumulateurs qu'on emploie, on se rendra

compte que, à un voltage donné, la batterie est encore dans de bonnes conditions, tandis qu'à un autre elle est près de sa fin de décharge; l'adjonction d'un compteur de quantité à lecture immédiate permet en outre de connaître la quantité d'ampères-heures fournis par la batterie, l'ampèremètre ayant permis de déterminer quel a été le débit moyen de la décharge.

La présence d'appareils de mesure permet ainsi d'arrêter la décharge au moment voulu et de ne pas la pousser à fond, évitant ainsi la trop grande sulfatation des électrodes. On a vu précédemment que la batterie était une cause de mauvais isolement général; il est des limites que ce mauvais isolement ne doit pas atteindre, car à la fin l'influence du défaut d'isolement serait telle que la perte débiterait et pourrait occasionner de gros inconvénients; pour connaître la valeur de la résistance de la perte, il suffit d'un voltmètre dont la résistance est connue; on opère alors de la façon suivante, soit pour mesurer l'isolement de la batterie par rapport à la masse, d'une partie de la batterie par rapport aux pôles généraux, ou des enroulements du moteur par rapport à la masse.

On place le voltmètre en dérivation entre un pôle et une partie métallique du châssis, on a une déviation α ; on répète la même opération entre l'autre pôle et la masse, on a une nouvelle déviation α' ; étant donnée la résistance R du voltmètre exprimée en ohms, la résistance du défaut d'isolement est :

$$\rho = \frac{RU}{\alpha + \alpha'} - R,$$

U étant la différence de potentiel entre les deux pôles. Supposons que la différence de potentiel U soit de 90 volts. et la résistance du voltmètre 15.000 ohms; si, par mesure on a trouvé :

$$\begin{aligned} \alpha &= 70, \\ \alpha' &= 40 \end{aligned}$$

on aura :

$$\rho = \frac{15.000 \times 90}{70 + 10} = 15.000$$

$$\rho = 4.875 \text{ ohms.}$$

Pour mesurer l'isolement du moteur on pourra prendre de préférence une source extérieure à la voiture, si la batterie est déjà elle-même à la masse.

Cette mesure faite de temps à autre permet d'éviter parfois bien des accidents dus au mauvais isolement.

AMPÈREMÈTRES ET VOLTMÈTRES. — Les ampèremètres et voltmètres sont des galvanomètres; ils sont donc fondés sur des principes électromagnétiques. La majorité des appareils actuellement employés sont des applications industrielles du galvanomètre Deprez-d'Arsonval; dans ce galvanomètre un cadre composé d'un nombre de tours de fil n se trouve placé entre les deux branches d'un aimant, un cylindre de fer doux situé à l'intérieur du cadre augmente la perméabilité magnétique du milieu; le cadre se déplace donc dans un entrefer très faible; si e est la force électromotrice appliquée aux bornes du cadre, celui-ci sera traversé par un courant i et, par suite des actions mécaniques éprouvées alors par les fils dans le champ magnétique, il se met à tourner; on place alors sur le pivot de rotation du cadre un ressort dont le couple résistant doit contrebalancer l'action électromagnétique. Si W est le couple de torsion du ressort, la déviation du cadre sera :

$$d = \frac{\Phi ni}{W},$$

Φ étant le flux de force embrassé par le cadre; on voit que la déviation sera d'autant plus grande que le couple de torsion sera plus faible.

Les voltmètres sont toujours placés en dérivation entre les deux points dont on veut mesurer la différence de po-

tentiel; leur résistance est telle que l'intensité du courant qui les traverse soit de l'ordre des milliampères.

Les ampèremètres sont toujours placés en série dans le circuit et leur résistance est beaucoup plus faible; industriellement on les emploie comme voltmètres en leur faisant mesurer la différence de potentiel qui existe entre les deux bornes d'un shunt de résistance R ; on sait que que cette différence de potentiel, qui est égale à RI , variera selon les variations de I , le cadre mobile de l'ampèremètre sera donc traversé par un courant i , égal à $\frac{RI}{r}$, r étant la résistance du cadre; la résistance du shunt est, en général, de l'ordre des microhms, la différence de potentiel est donc très faible, ce qui explique la faible résistance du cadre.

Les qualités à exiger de ces appareils industriels sont : 1° une exactitude très grande avec une tolérance de 1,1/2 0/0 au maximum; 2° une très grande apériodicité; il est en effet utile que l'aiguille aille directement à son point maximum de déviation sans osciller continuellement autour; l'amortissement de ces oscillations a aussi dans le

cas de l'automobilisme une très grande importance, vu les trépidations; 3° le voltmètre doit pouvoir rester continuellement en circuit.

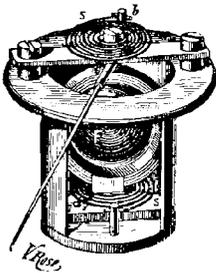


FIG. 84. — Equipage mobile et amortisseur des appareils Chauvin et Arnoux.

Ampèremètres et voltmètres Chauvin et Arnoux. — Les appareils Chauvin et Arnoux sont constitués par un aimant de forme circulaire dont les pôles sont évidés de façon à bien embrasser une petite sphère d'acier; dans l'entrefer ainsi constitué peut se déplacer un cadre mobile enfermé

entre deux bagues concentriques en cuivre pur; autour de ce cadre se trouve placé un amortisseur électro-magnétique qui, par suite de l'intensité très grande du champ, amortit

rapidement les oscillations. Le courant arrive et sort du cadre par les ressorts placés en dessus et en dessous ; ces ressorts sont antimagnétiques.

La résistance du voltmètre est de 20.000 ohms environ pour la sensibilité de 150 volts. Les ampèremètres fonctionnent sous une différence de potentiel maximum entre les deux bornes du shunt de 0,04 volt, la résistance du shunt étant donnée, pour un courant de 150 ampères par :

$$R = \frac{0,04}{150} = 0,00026 \text{ ohm,}$$

ou 26 microhms.

Pour les voitures automobiles, Chauvin et Arnoux construisent des appareils jumelés ainsi constitués : une boîte en noyer de $265 \times 145 \times 67$ millimètres, entièrement étanche, renferme deux appareils (voltmètre et ampèremètre) dont le cadran est de 100 millimètres.

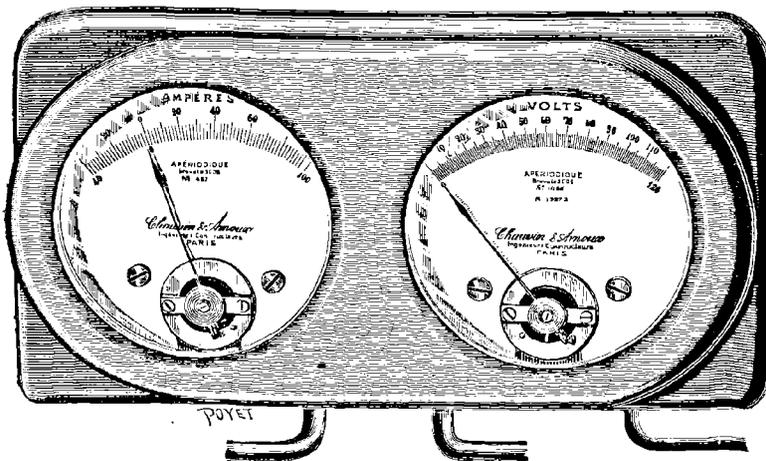


FIG. 85. — Ampèremètre et voltmètre Chauvin et Arnoux.

De cette boîte émergent trois câbles : deux pour l'ampèremètre, un pour le voltmètre; le shunt du premier peut

être placé en dehors de la boîte, mais la longueur des cordons doit alors être exactement déterminée, afin que l'éta-lonnage soit fait définitivement.

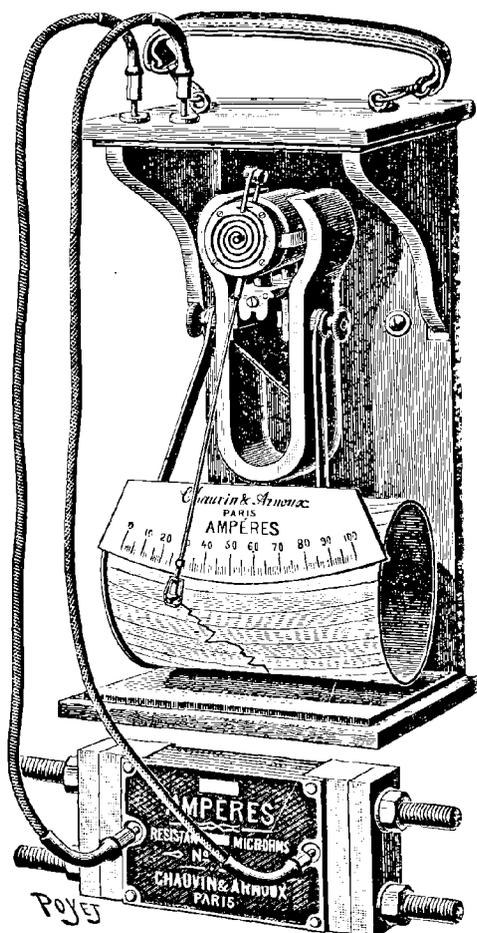


FIG. 86. — Ampèremètre enregistreur Chauvin et Arnoux.

L'ampèremètre a le zéro au milieu, afin qu'on puisse s'en servir à la charge et à la décharge sans faire de montage spécial, en faisant passer le courant toujours dans le même

sens; ce dispositif permet en outre de bien se rendre compte si on fait de la récupération.

Il peut être utile, dans le cas d'une étude de diagramme à faire sur une voiture, afin par exemple d'étudier un parcours quelconque, d'utiliser des appareils enregistreurs qu'on suspend d'une façon élastique dans la voiture et dont la sensibilité et l'amortissement doivent être très grands.

Les enregistreurs Chauvin et Arnoux, fondés sur le même principe que les précédents ont leur cylindre placé horizontalement, ce qui est utile dans ce genre de mesures à cause des secousses. La plume ordinaire est remplacée par une plume molette offrant moins de résistance au frottement sur le papier que les plumes ordinaires, car au lieu de frotter elle roule sur le cylindre. Un diagramme une fois relevé il suffit de faire la surface de la courbe, par le planimètre, la méthode de l'ordonnée moyenne, ou la méthode par pesée, pour connaître la quantité d'ampères-heures débités. La sensibilité de l'appareil doit être assez grande pour accuser même les démarrages qui se traduisent par de simples élongations de l'aiguille.

Appareils de la Weston Electrical Company. — La majorité des voitures américaines sont munies d'appareils Wes-

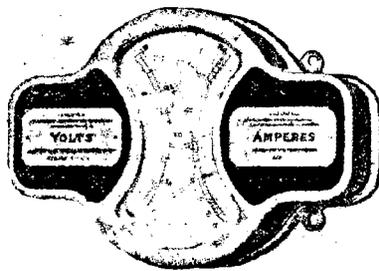


FIG. 87. — Voltmètre et ampèremètre Weston.

ton; dans ceux-ci l'équipage mobile est enroulé sur un cadre en aluminium qui le rend apériodique; comme pré-

cédemment l'entrée et la sortie du courant se font par des ressorts en bronze phosphoreux.

Les appareils pour automobiles sont renfermés dans la même boîte et les échelles sont placées symétriquement par rapport à l'axe de la boîte, les aiguilles se déplaçant dans un sens vertical.

Les appareils Weston sont d'un prix très élevé, mais leur exactitude est rigoureuse et, après de longues mises en circuit, ils reviennent absolument au zéro.

La résistance d'un Weston de 150 volts est de 15.000 ohms.

Le zéro de la graduation de l'ampèremètre est placé au milieu de l'échelle.

Comme appareils toujours fondés sur le principe du galvanomètre Deprez-d'Arsonval nous citerons encore les ampèremètres et voltmètres du laboratoire Volta, système Meylan; ces appareils répondent parfaitement aux besoins de l'automobilisme électrique par leur apériodicité très grande et leur sensibilité remarquable; les appareils enregistreurs de ce type sont munis de ressorts dont le couple de torsion très grand donne de bonnes lectures, l'amortissement étant assuré par un aimant puissant, ils sont tout à fait applicables aux mesures sur les voitures.

Certains constructeurs emploient les appareils sans aimants du type Desruelles, dont l'amortissement est produit par la résistance de l'air, et le déplacement de l'aiguille par répulsion exercée par une lame fixe sur une palette mobile qui porte l'aiguille; les pôles sont donnés par une bobine fixe.

Appareils Jules Richard. — Les ampèremètres et voltmètres Richard sont de deux types: les uns sans aimants permanents avec amortisseur à air, le couple résistant étant produit par un ressort ou un contrepoids.

Les voltmètres de 3 et 5 volts, assez utiles pour prendre la différence de potentiel des éléments séparés, sont à aimant armé afin de diminuer le pourcentage de l'erreur provenant

de la désaimantation, l'aimant employé étant très puissant.

Outre ces appareils de mesures électriques, la maison J. Richard construit des enregistreurs totalisateurs de marche, ainsi que des enregistreurs de vitesse.

L'*enregistreur totalisateur de marche* enregistre le diagramme de route; il se compose d'une came en limaçon, tournant autour de son axe en fonction du nombre de tours de la voiture; cette came conduit une plume se déplaçant verticalement de bas en haut et dont l'ascension est proportionnelle au chemin parcouru.

La came E reçoit son mouvement de rotation par une roue dentée D, qui est mue par une vis sans fin c, servant d'arbre à une roue dentée B, commandée par une vis sans

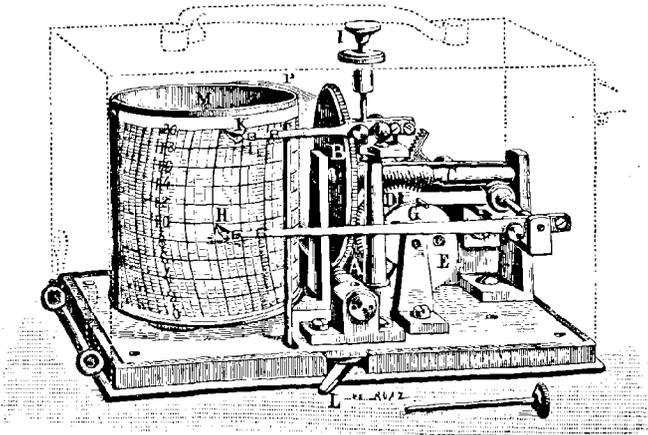


FIG. 88. — Enregistreur totalisateur de marche Richard.

fin A, actionnée par la poulie P; c'est la came E qui fait déplacer la plume traçant le diagramme sur le cylindre qui fait son tour en six heures et demie, treize heures ou vingt-six heures. Le diamètre de la poulie P et de celle qu'on monte sur l'arbre moteur de la voiture sont dans un rapport tel qu'un tour de la came corresponde à 20 kilomètres.

L'enregistreur de vitesse, fondé sur le même principe, que le cinémomètre du même constructeur, donne à chaque instant la vitesse et, en outre, par planimétrage, le chemin parcouru à l'aide d'une seconde plume enregistreuse.

Dynamomètre de traction. — Cet appareil permet de

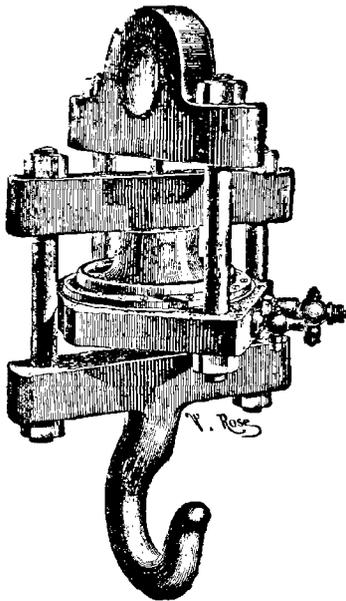


FIG. 89. — Dynamomètre de traction
J. Richard.

mesurer l'effort de traction en kilogrammes; il consiste en un étrier portant une cuvette fermée par une membrane en caoutchouc et remplie d'eau; sur cette membrane s'applique un piston fixé sur un second étrier et guidé par une couronne. La traction ayant pour effet de comprimer le liquide, la pression en kilogrammes par centimètre carré résultant de cette compression est par conséquent égale à l'effort total supporté, divisé par le nombre de centimètres carrés représentant la surface du piston.

La cuvette est en relation, au moyen d'un tube souple avec

un manomètre à cadran ou enregistreur, qu'on choisit ici très sensible.

Voltmètre-ampèremètre combinés Ullmann. — Ainsi que le montre la figure, l'ampèremètre et le voltmètre sont réunis dans la même boîte circulaire. L'instrument comprend deux galvanomètres genre Weston avec cadres mobiles dans l'entrefer de puissants aimants en fer à cheval.

L'ampèremètre comporte deux graduations distinctes de part et d'autre du zéro; celle de gauche relative à la charge, celle de droite à la décharge; le shunt de l'ampèremètre est,

au dehors de la boîte, en un point quelconque de la voiture.

Les ressorts en bronze d'aluminium sont au nombre de deux par cadre mobile ; ils agissent en sens inverse sur un

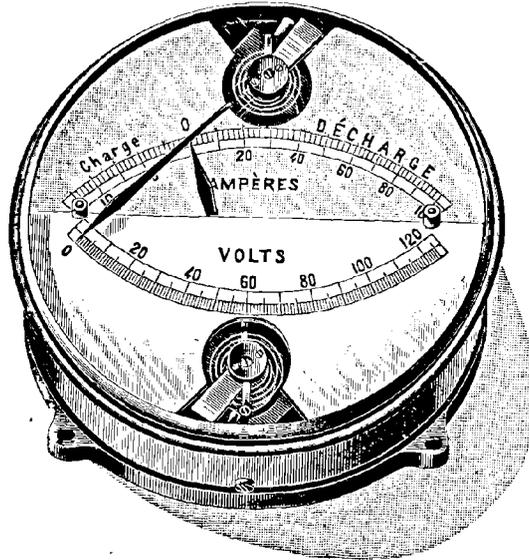


FIG. 90. — Voltmètre et ampèremètre Ullmann.

même cadre ; les aiguilles sont équilibrées et se meuvent dans deux plans parallèles assez écartés l'un de l'autre pour qu'elles ne puissent se rencontrer.

Compteurs. — Les appareils examinés jusqu'ici ne donnent que des indications momentanées, mais ne permettent pas de connaître la quantité d'ampères-heures qu'on retirés de la batterie ; les compteurs de quantité sont tout indiqués pour donner ce renseignement. Malheureusement les compteurs existant actuellement ne donnent pas des résultats excellents. En outre ils ne peuvent être vraiment utiles que si on connaît bien la capacité de la batterie aux différents régimes. La nature des compteurs actuels est aussi un

inconvenient, les vibrations leur étant très préjudiciables.

Quand on voudra seulement se rendre compte de la quantité d'électricité employée pour un parcours, le moyen le plus simple et le plus exact sera l'emploi d'un enregistreur, ou d'un voltamètre à sulfate de cuivre, en se basant sur ce que 1 coulomb dépose $0^{\text{m}0000327}$ de cuivre, soit $1^{\text{sr}},17$

par ampère-heure. Le seul modèle de compteur qui ait été employé d'une façon un peu suivie est le compteur O'Keenan, connu sous le nom de compteur O'K, construit par la Compagnie pour la fabrication des compteurs.

L'appareil se compose d'une résistance en maillechort destinée à créer une différence de potentiel de 0,25 volt, qui sert à alimenter l'induit d'un moteur magnéto-électrique, lequel en tournant enregistre, par le mouvement d'horlogerie habituel, le nombre d'ampères-heures, nombre qui est proportionnel au nombre de tours fait par l'induit, multiplié par la constante du compteur qui varie entre 0,005 et 0,006 ampères par tour.

Ce compteur est construit sur le principe suivant : enregistrer le nombre d'ampères-heures fourni à la batterie pendant la charge puis, connaissant le rendement de la batterie, on connaît la quantité qu'on pourra en retirer. Or ce résultat ne peut être obtenu pratiquement que si la batterie est toujours dans les mêmes conditions de charge et de décharge, le rendement des accumulateurs étant loin d'être une valeur constante.

En se reportant à la figure, on voit que le courant de charge va dans le sens CKB, le point K étant déterminé

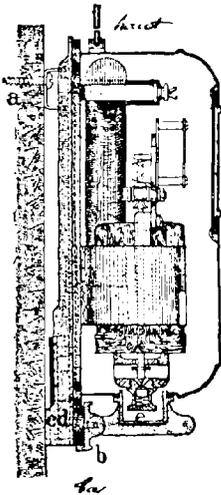


FIG. 91. — Coupe du compteur O'K.

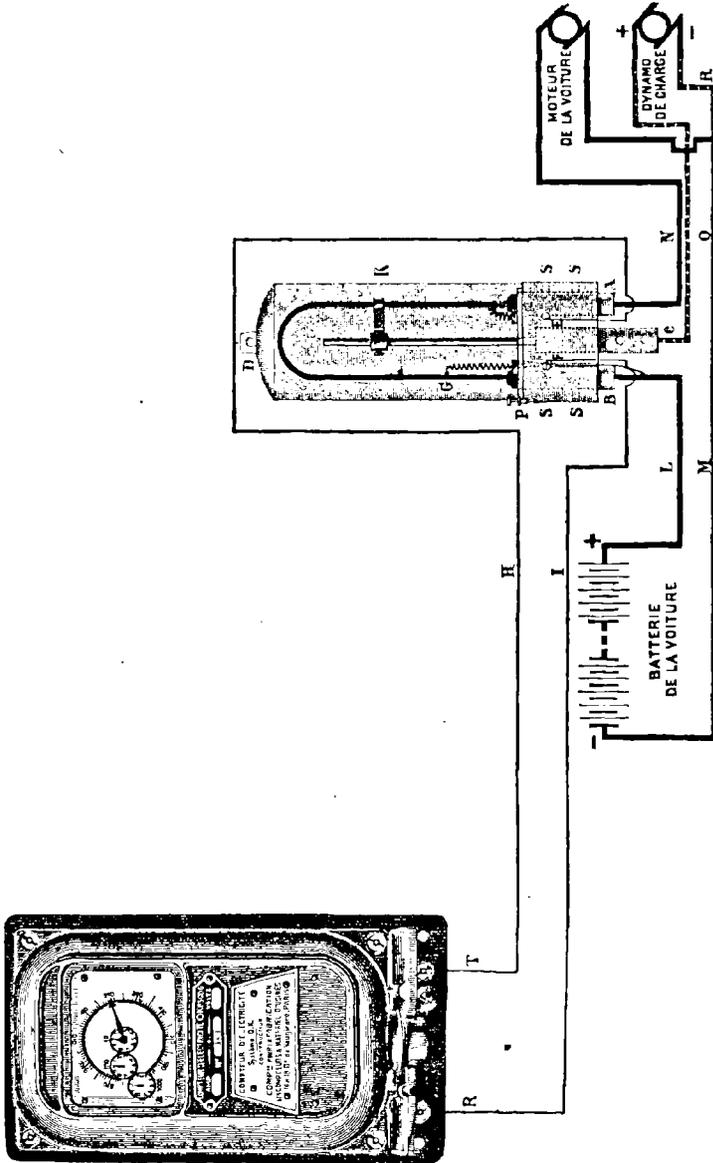


FIG. 92. — Montage du compteur O'Keenan.

par le rapport :

$$\frac{\text{résistance K à B}}{\text{résistance A à B}} = \eta \text{ de la batterie,}$$

ce qui n'est juste que pour une valeur.

Le courant à la décharge passe en sens inverse de B à A faisant tourner l'induit du compteur en sens contraire. Si on est parti du zéro à la charge, l'aiguille s'est déplacée dans le sens inverse des aiguilles d'une montre; à la décharge elle revient en arrière et indique toujours combien il reste d'ampères-heures à retirer de la batterie, mais, nous le répétons, ce chiffre n'est qu'approximatif.

En outre, ces compteurs étant étalonnés pour un courant donné, ils subissent une certaine erreur de retard pour les courants inférieurs, et d'avance pour les courants supérieurs à cette valeur.

Il est à remarquer que les modèles actuels d'ampèremètres présentent l'inconvénient de ne pas posséder une échelle assez étendue du côté de la charge, et de ne permettre ainsi qu'un régime de charge lente à intensité constante; dans le cas où la batterie devrait être chargée à différence de potentiel constante, il faut que la graduation soit au moins portée à 300 ampères, si l'on veut se rendre compte de la quantité d'ampères-heures fournis à la batterie; ceci présente évidemment l'inconvénient, en donnant une échelle très longue, d'augmenter l'encombrement de l'appareil, si on tient à avoir une graduation aussi lisible.

CHAPITRE XIII

CARROSSERIE. — CHASSIS. — ROUES ET BANDAGES. — INFLUENCE DE LA NATURE DU BANDAGE SUR L'EFFORT DE TRACTION. — SUSPENSION DU MOTEUR.

La carrosserie des automobiles a été, depuis leur origine, l'objet de longues discussions. Les uns voulaient garder les formes anciennes, les autres trouver des formes nouvelles qui ne fissent pas penser au cheval absent.

Dès le début de l'automobilisme des rêveurs s'étaient imaginé que les formes des voitures allaient totalement changer et, dans un concours organisé par le *Figaro*, on avait présenté les formes les plus extraordinaires, les styles les plus étranges qu'on puisse rêver. On voyait des imitations de traîneau, des proues, des rostres, des chimères, des sirènes, des cygnes, etc.

Toutes ces formes étaient absolument ridicules ; dans les voitures automobiles, comme dans les voitures attelées, il faut toujours s'asseoir ; il ne peut donc pas exister une grande différence dans les formes.

Quant à l'absence du cheval qui, dans les premières voitures automobiles, choquait les yeux, il fallait attendre du temps seul le moyen d'accoutumer l'œil à voir une voiture progresser d'elle-même.

Pour les voitures de tramways, l'éducation de l'œil est déjà faite ; ce sont celles qui sont traînées par des chevaux qui paraissent ridicules.

Il en sera de même pour les automobiles. Le style carrosserie-voiture est un style à part, très étudié, dont les formes suivent de très près les lignes théoriques; c'est le seul qui convienne aussi bien aux voitures attelées qu'aux voitures automobiles, avec les dispositions spéciales nécessitées par ces deux genres.

Au point de vue automobile électrique la place des accumulateurs a longtemps préoccupé les constructeurs. On veut absolument les dissimuler, certains étant encore choqués par la vue de la caisse d'accumulateurs en-dessous de celle de la voiture; ce motif a fait choisir pendant longtemps la forme phaéton, qui permet de mettre la batterie dans le caisson d'arrière; à l'exposition des Tuileries en 1898, on pouvait voir une voiture, construite par Doré, dans laquelle les accumulateurs et le moteur étaient absolument invisibles; les premiers étaient placés partout, sous le siège du conducteur, dans l'épaisseur des parois de la caisse qui était double, etc.....; outre que ce moyen paraît un peu fantaisiste, il est certain qu'au point de vue du montage la complication est très grande et que l'entretien est alors grevé de frais très grands de main-d'œuvre.

La position du moteur sur le siège, commandant l'avant-train par cheville ouvrière, le dissimulait aussi et cet avant-train a été conservé par la Compagnie française des voitures électromobiles, pour ses voitures de luxe.

La place de la batterie doit être telle que la visite et l'enlèvement soit simples et rapides; la place sous la caisse est celle qui nous paraît la plus pratique, comme dans les tramways du reste; l'isolement est plus facile à obtenir et l'écoulement de l'acide, projeté par les cahots en dehors des bacs, se fait sans produire de dégâts à la caisse et au châssis; les trains sont bien équilibrés. Pour les voitures d'exploitation, fiacres ou omnibus, cela ne peut souffrir aucun inconvénient, et permet de faire servir les caissons déjà existants dans les compagnies de voitures

actuelles ; cela a, en outre, une réelle importance si on veut faire la charge en dehors des voitures, celles-ci recevant une batterie chargée en échange d'une déchargée, système d'exploitation adopté à la Compagnie générale des voitures et auquel l'autre mode de marche semble de beaucoup préférable.

Pour les voitures de luxe, où le service n'est pas semblable, où les frais de main-d'œuvre n'entrent pas en ligne de compte, on peut placer la batterie, dans le cas des victorias et coupés, dans une boîte placée derrière la voiture au-dessus de l'arrière-train et ayant comme extrémité antérieure le bord du siège intérieur de la caisse de la voiture.

En France, certains constructeurs ont jugé qu'afin de bien répartir les charges il était préférable de diviser la batterie en deux groupes : 22 éléments à l'avant, 22 éléments à l'arrière, et de dégager complètement la caisse de la voiture au milieu. D'autres ont placé la batterie tout entière à l'avant, cette disposition ayant pour principaux avantages de réduire à la plus grande simplicité l'appareillage électrique, et surtout de rendre la voiture beaucoup plus stable en évitant les dérapages par le plus grand poids placé sur l'avant-train en avant de la voiture.

Les Américains, au contraire, ont placé la batterie tout entière à l'arrière. Cette disposition, qui permet de donner à l'avant de la voiture une grande légèreté, a l'inconvénient de charger outre mesure les roues motrices à l'arrière et de provoquer ainsi des dérapages.

Le prix élevé des voitures automobiles ne permet pas la prompte vulgarisation de ce nouveau mode de locomotion. Aussi les constructeurs se sont ingénies à réunir, dans un même véhicule, des dispositions permettant d'avoir une voiture à deux et à quatre ou six places, de la fermer pour l'hiver et de la découvrir pour l'été.

Ces différents systèmes ont été réalisés plus ou moins heureusement ; mais ils sont compliqués et se détraquent

facilement. Il est une autre solution bien plus élégante : c'est le châssis pouvant recevoir plusieurs caisses de formes différentes.

Dans le chapitre suivant nous aurons l'occasion d'étudier quelques types de voitures dont la forme très originale a eu pour but de sacrifier au désir de faire du nouveau.

Afin de diminuer beaucoup le poids de la voiture l'ensemble de la carrosserie doit être aussi léger que possible, tout en présentant de grandes garanties de solidité, aussi fait-on les caisses de voitures automobiles électriques avec des tôles d'acier assemblées soit sur des montants en bois, soit sur des cornières en acier. Les caisses ainsi construites arrivent à des légèretés idéales.

Pendant quelques années on a essayé de substituer l'aluminium à l'acier, espérant arriver ainsi à diminuer le poids des caisses ; mais on a été obligé d'y renoncer, à cause de la fragilité de l'aluminium qui, s'il n'est pas pur, s'attaque avec une facilité déplorable, à ce point que les voitures menées au bord de la mer sont perdues en une saison.

Châssis, roues et bandages. — Le châssis de la voiture électrique est beaucoup moins compliqué que celui des autres automobiles ; les organes qu'il supporte sont très simplifiés ; mais il doit être fait avec de bons matériaux, eu égard au poids des accumulateurs.

Les voitures américaines ont des châssis très complexes, avec articulations et rotules, afin de permettre le facile déplacement de la voiture dans le but de maintenir la caisse autant que possible bien horizontale ; en Europe, où les routes sont en général assez bonnes, il est inutile de compliquer ainsi les châssis.

Les châssis des voitures françaises sont généralement faits en acier profilé, permettant de donner toutes les formes et les inflexions qu'exigent certains genres de caisses ; ils se font en acier à \square travaillant sur champ.

Le moteur est, en général, fixé à l'essieu moteur; mais, afin d'éviter les à-coups trop brusques au démarrage, un ressort le rattache au châssis; c'est sur ce ressort que se produit toute la secousse du lancé, qui se trouve ainsi amortie; quand la transmission se produit par engrenages, la dynamo doit être suspendue le mieux possible, afin d'éviter les secousses trop brusques transmises à l'induit.

Les roues à rayons d'acier ne paraissent pas être le type voulu pour les accumobiles, voitures de luxe toujours à part. Les roues à rayons en bois sont les seules pratiques comme solidité, elles se défendent contre les chocs latéraux, tandis qu'au moindre choc la roue à rayons métalliques se voile.

Les voitures électriques plus que les autres, à cause des accumulateurs auxquels les trépidations sont très nuisibles, doivent être munies de bandages.

Les pneumatiques présentent l'inconvénient très grand de coûter excessivement cher; les voitures électriques pesant rarement moins d'une tonne, il faut employer des pneumatiques de grand diamètre.

La formule de Coriolis, donnant la résistance opposée par le sol au déplacement d'une roue munie d'un bandage de largeur l , est :

$$R = \frac{3}{8} \sqrt[3]{\frac{3}{kl} \times \frac{P^4}{r^2}},$$

P étant le poids exercé sur chaque roue; r , le rayon de la roue.

Cette formule montre que la résistance au roulement est proportionnelle à P , et inversement proportionnelle au rayon de la roue, à la largeur du bandage et à un certain coefficient qui dépend de la nature de celui-ci. On a donc intérêt à avoir un bandage assez large pour avoir une faible pression par centimètre carré; mais la largeur en sera limitée par l'usure due au glissement du bandage sur la chaussée, surtout si le bandage n'est pas souple.

Le bandage souple, au contraire, se moule sur les petites difformités du sol, et les pneumatiques, qui remplissent cette condition, ont permis de diminuer de 20 à 30 0/0 l'effort de traction, en même temps que les secousses transmises aux organes moteurs sont moins grandes (G. Forestier).

Mais, pour les raisons d'économie et d'entretien, qui ont une grande importance, on préfère souvent se contenter de roues caoutchoutées moins coûteuses et donnant, pour un service de ville, des résultats assez satisfaisants.

Il convient d'obtenir la plus grande douceur dans la suspension des voitures automobiles; il faut admettre, comme un principe absolu, que la caisse et le moteur doivent être complètement suspendus. Autrefois, avant les roues avec bandages en caoutchouc, on pouvait également admettre que les essieux ne pouvaient supporter aucune pièce sans qu'elle ne fût suspendue.

Actuellement, avec les pneumatiques, ces principes ont perdu un peu de leur rigueur; certains constructeurs, les Américains notamment, pour supprimer la chaîne dans les voitures électriques, placent le moteur et ses engrenages directement sur l'essieu. D'autres constructeurs suspendent seulement la caisse et placent le moteur sur des longerons reliant les deux essieux. Pour certaines voitures enfin, la caisse et le moteur ne sont pas suspendus.

Toutes ces dispositions sont également mauvaises et peuvent, malgré l'atténuation des chocs grâce aux pneumatiques, amener la rupture des essieux.

En dehors de la question sécurité, qui prime tout, il est une autre considération très importante, qui impose une suspension très élastique de toute la voiture, c'est la diminution des frais de traction.

Cette considération a amené les constructeurs anglais à suspendre doublement les batteries, à l'aide du dispositif suivant : la caisse est suspendue à la façon ordinaire et les accumulateurs sont enfermés dans une boîte qui est elle-

même suspendue par des chaînes, comme une civière, à la caisse.

Cette double suspension peut avoir un effet utile sur les éléments, mais elle complique et alourdit la voiture, et les chocs résultant du balancement du coffre qui contient les batteries contrarient les effets de la suspension de la voiture.

Ressorts⁽¹⁾. — On a essayé maintes fois les ressorts à boudin pour la suspension des voitures en les faisant travailler soit à l'extension, soit à la compression; mais les ressorts à lames seuls peuvent assurer une suspension d'une grande douceur.

Dès le début de l'automobilisme on a appliqué à la suspension à l'avant les ressorts-pincettes; mais on a abandonné cette forme de ressort. En effet, la pincette est un ressort elliptique qui est réuni dans sa partie supérieure à la caisse et relié en bas à l'essieu. Quand on fait un effort sur la direction, le ressort cède, l'essieu recule et la direction n'est plus sûre.

La plupart des constructeurs appliquent maintenant à l'avant le ressort droit à rouleau réuni par une main à l'extrémité d'avant de la caisse; l'autre extrémité en arrière est également réunie à la caisse par une main, mais avec interposition d'une jumelle permettant au ressort de s'allonger librement.

Pour les roues motrices à l'arrière, la pincette a également des inconvénients. Si la traction se fait par chaînes, l'essieu se trouve sollicité en avant ou rejeté en arrière par les chocs que subissent les roues. On est obligé d'avoir recours à des bielles de tension qui relient directement l'essieu à l'arbre moteur. Avec la disposition à pincette, on établit sa jonction avec la caisse par une traverse à coulisse, qui relie la partie supérieure des deux ressorts.

(1) CH. JEANTAUD, *Rapport au Congrès de l'Automobile* (1900).

Avec le ressort droit la disposition change. Il faut le relier à la caisse à l'aide de mains et de jumelles ; mais, pour faire promener ce ressort suivant l'allongement ou le raccourcissement de la chaîne, il faut donner aux jumelles une certaine longueur et une certaine inclinaison.

Féraud, un ingénieur des chemins de fer de l'Ouest, a inventé la suspension à menottes en dedans. Cet ingénieur, dans une note présentée à la Société des ingénieurs civils et à l'aide d'un appareil d'expérience, a démontré que, par la simple inversion du sens de l'inclinaison des menottes (toutes les autres conditions restant les mêmes), la flexibilité utilisée d'un même ressort était considérablement augmentée, doublée même, dans certains cas.

Ainsi, avec le ressort droit à menottes en dedans, suffisamment longues pour que leur inclinaison permette de racheter l'usure de la chaîne, l'élasticité du ressort reste complète, la douceur de suspension est augmentée et, par suite, la traction diminuée.

Il existe un autre genre de ressort peu usité : c'est le ressort en spirale, composé d'une lame d'acier enroulée en spirale. Ces ressorts conviennent aux véhicules de grand poids.

En résumé, le ressort à lames est seul recommandable ; il doit être long, composé de larges lames d'épaisseurs décroissantes, de façon à conserver à chacune des feuilles, qui sont de longueurs différentes, la même élasticité.

Il n'existe pas de formule simple permettant de calculer d'une façon certaine le ressort à lames (Jeantaud), mais les constructeurs spécialistes, lorsqu'on leur indique la longueur que doivent avoir les ressorts d'une voiture, leur flexion limite et la charge qu'ils doivent supporter, livrent sans peine des ressorts remplissant les conditions requises.

CHAPITRE XIV

MONOGRAPHIE DES VOITURES ÉLECTRIQUES

Nous voulons, dans ce chapitre, décrire non seulement les voitures qui ont été l'objet d'une fabrication suivie et donné quelques résultats, mais aussi la majorité de celles qui ont été essayées.

Voitures Jeantaud. — Ainsi que nous l'avons déjà indiqué dans le chapitre 1^{er}, c'est à Jeantaud que sont dus les premiers essais suivis d'automobilisme électrique.

La première voiture Jeantaud comportait un moteur Fives-Lille de 3 chevaux tournant à 1.300 tours par minute, avec un rendement de 70 0/0, alimenté par une batterie Fulmen, de 21 éléments ayant une capacité de 200 ampères-heures au régime de trois heures, avec un poids de 420 kilogrammes. La voiture complète avec deux personnes pesait 1.170 kilogrammes.

Dans la course Paris-Bordeaux de 1895, première manifestation sérieuse de l'accumobile, la voiture Jeantaud (Voir p. 7), était du genre phaéton à quatre places ; les accumulateurs étaient logés sous le siège arrière. Les éléments de la voi-

ture étaient les suivants :

Diamètre des roues avant.....	1 mètre
Diamètre des roues arrière.....	1 ^m ,4
Charge sur l'avant-train.....	900 kilogrammes
— l'arrière-train	1.300 kilogrammes
Diamètre des fusées des essieux avant....	45 millimètres
Diamètre des fusées des essieux arrière...	55 millimètres.

Le moteur du type Rechniewski avait donné les résultats suivants :

Puissance	Rendement
2,4 chevaux	0,68
4,6	0,89
6,5	0,925
8	0,915
6,3	0,90
10,4	0,89

Son poids était de 225 kilogrammes.

La batterie d'accumulateurs était composée de 38 éléments Fulmen de 210 ampères-heures en trois heures. Les changements de vitesse étaient faits par des couplages entre les batteries ; le fonctionnement normal du moteur était sous 70 volts.

Au concours de fiacres de 1898, Jeantaud, sous les n^{os} 21, 22, 23, 24, 25 et 26, avait engagé six voitures de types différents, munies d'un système de suspension nouveau ⁽¹⁾ qui se compose (*fig. 93*) de deux ressorts 1, 1 disposés parallèlement à l'essieu d'avant 2, de part et d'autre de cet essieu et à une distance suffisante l'un de l'autre pour former un parallélogramme d'appui, dont les grands côtés ne se déforment pas.

La caisse 3 du véhicule repose sur le milieu de ces ressorts 1, 1 par l'intermédiaire de deux supports 4, 4 autour des axes desquels elle peut osciller.

Les ressorts 1, 1 sont reliés de chaque côté à l'essieu 2

⁽¹⁾ *La Locomotion automobile, 1898.*

par une ferrure spéciale 5, 5 placée tout près du point d'appui de l'essieu 2 sur la roue 6, de façon à réduire le porte-à-faux.

Les jumelles 7, qui relient les ressorts 1 aux goujons 8 de ces ferrures 5, sont disposées de façon à laisser aux ressorts 1 toute leur élasticité, mais sans permettre les déplacements latéraux, malgré l'absence de guidages.

Ce système de suspension permet de braquer les roues à 90° et assure la translation des roues avant sans glissières, ni coulisses, ni guidages. Il diminue considérablement le porte-à-faux de la charge au point d'appui. Il admet les oscillations de la charge, ce qui permet aux roues de franchir les obstacles sans avoir à soulever cette charge. Enfin, par la disposition des jumelles, il laisse aux ressorts tout leur jeu sans permettre les déplacements latéraux qui gênent la direction.

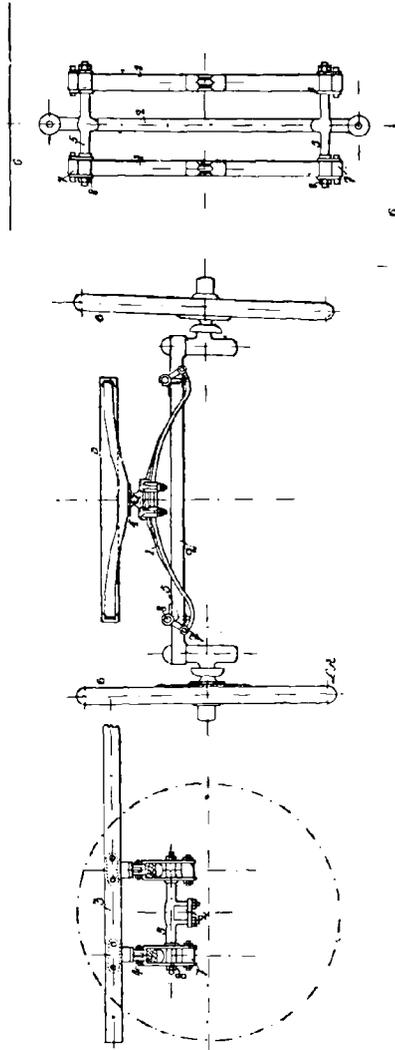


Fig. 93. — Suspension Jeantaud.

Coupé trois quarts (1). — Roues à rayons tangents, et avant-train moteur et directeur.

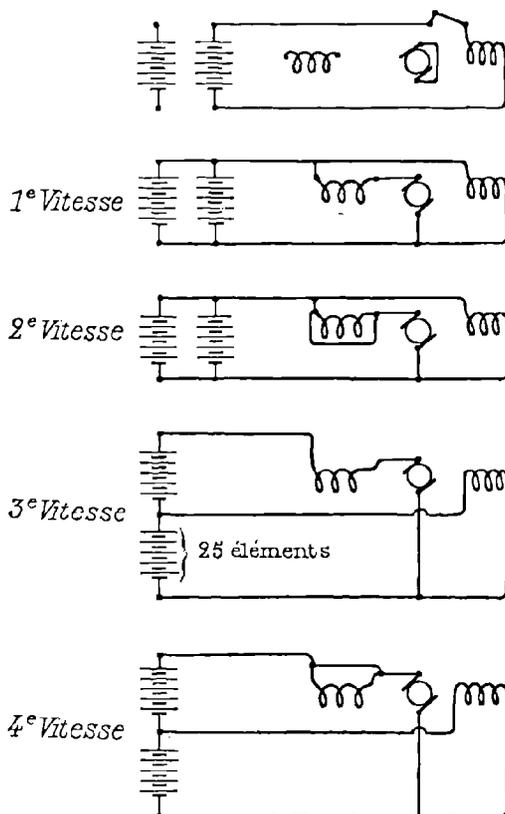


FIG. 94. — Schéma des couplages du combinateur Jeantaud.

Le moteur placé sous le siège avait une transmission compliquée, par attaque de la couronne d'un différentiel dont l'arbre moteur était muni d'un pignon d'angle qui attaquait le pignon placé sur l'arbre des roues par un troisième pignon d'angle qui était placé à l'extrémité du pivot de la roue.

(1) *Industrie électrique*, 10 juillet 1898.

Le moteur était du type bipolaire à excitation composée; les changements de vitesse étaient obtenus par les couplages suivants (*fig. 94*) :

Première vitesse : les accumulateurs divisés en deux groupes de 25 éléments en quantité; l'excitation shunt et série en circuit;

Deuxième vitesse : les accumulateurs comme à la première vitesse. L'excitation shunt seule en circuit;

Troisième vitesse : les accumulateurs en série; les deux excitations en circuit;

Quatrième vitesse : les accumulateurs en série; l'excitation shunt seule en circuit;

Freinage : le moteur est mis en court-circuit sur des résistances avec l'excitation shunt;

Marche arrière : obtenue à l'aide d'un inverseur.

Cab Jeantaud. — La batterie est placée à l'avant-train et peut se retirer par le devant de la voiture donnant une répartition de 645 kilogrammes sur l'avant-train et de 765 kilogrammes sur l'arrière-train. La manœuvre du changement de batterie est facile à exécuter.

L'avant-train est directeur, l'arrière est moteur. Le moteur, du type Postel-Vinay, pèse 150 kilogrammes; comme le précédent, il est du type bipolaire à excitation composée et à enroulement tambour.

La transmission se fait par un arbre intermédiaire portant le différentiel, dont la couronne extérieure engrène avec le pignon du moteur, et qui actionne les roues motrices par chaîne.

La batterie Fulmen pèse 400 kilogrammes.

Le combinateur permet quatre vitesses franches, avec des vitesses intermédiaires obtenues par un rhéostat manœuvré par une pédale, et il est impossible de passer d'une vitesse à l'autre sans introduire progressivement la résistance.

Le tableau ci-dessous résume les différentes vitesses.

POSITIONS du combinateur	ROLES	ACCUMULA- TEURS	EXCITATION série	EXCITATION shunt	INDUIT	RHÉOSTAT
0	Arrêt-freinage	En tension ouverts	en circuit sur induit	hors circuit	en circuit et inversé	en circuit pour freinage
1	Petite vitesse	en quantité	en circuit	en circuit	en circuit	en circuit
2	Vitesse moyenne	en tension	—	—	—	hors circuit
3	Vitesse accélérée	—	en circuit, shunté sur deux résistances	—	—	—
4	Grande vitesse	—	en circuit shunté, sur une résistance	—	—	—
- 1	Marche arrière	en quantité	en circuit	—	—	—

Outre le freinage électrique, le conducteur disposait d'un frein système Jeantaud s'enroulant sur des couronnes fixées aux roues arrière et d'un frein à sabots.

Au dernier concours de fiacres, organisé pendant l'Exposition universelle, à l'annexe de Vincennes, Jeantaud avait engagé une voiture à caisses interchangeable, dont le châssis, en fer à \square , pouvait recevoir les sept caisses différentes suivantes :

1. Cab à deux places, siège à l'avant ;
2. Mylord à deux places ;
3. Coupé à deux places ;
4. Coupé trois quarts à quatre places ;
5. Landulet à deux places ;
6. Landulet à quatre places ;
7. Vis-à-vis à quatre places ;

Le siège de conduite est fixé au châssis d'une façon permanente ; il est placé au-dessus de la batterie d'accumulateurs, par dessus l'avant-train.

Tous les organes de direction, de freinage et de changement de marche et de vitesse sont adaptés à ce siège, en sorte que le changement de caisse peut être fait instantanément sans avoir à faire aucune connexion ni aucune attache de frein.

Le poids d'un coupé à caisse interchangeable est de

1.250 kilogrammes, dont 700 sur les roues avant et 550 sur les roues arrière.

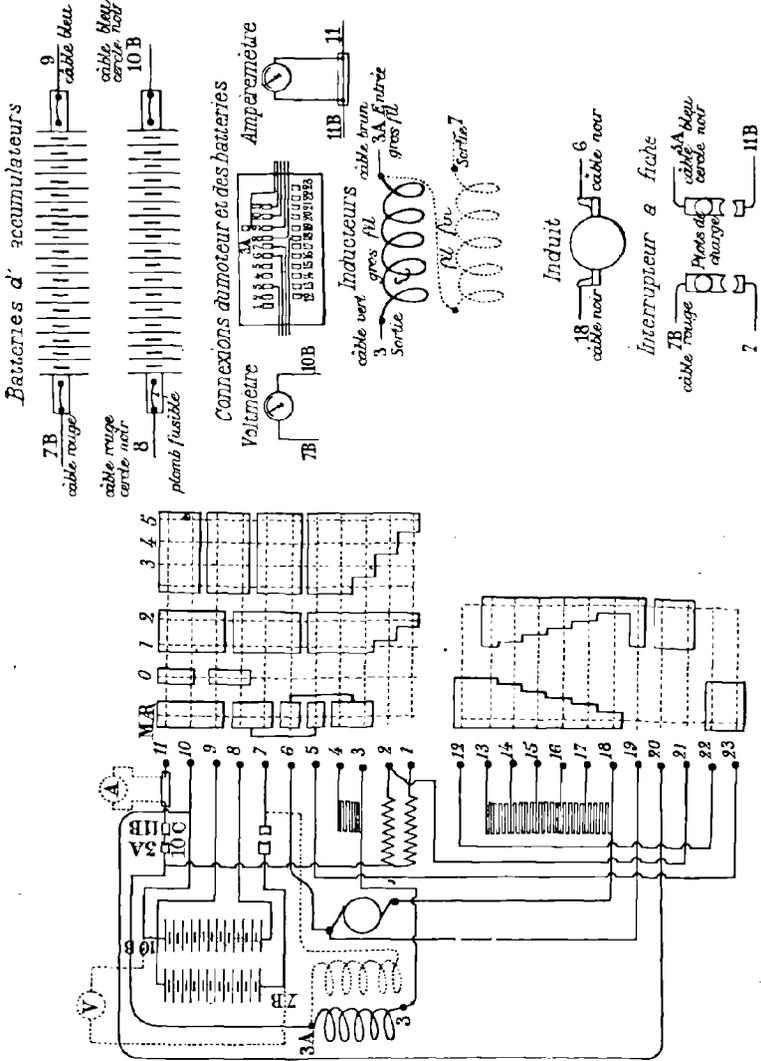


FIG. 95. — Développement détaillé du montage du combinateur Jeantaud.

Le combinateur, dont nous donnons un schéma complet de montage (fig. 95), est placé dans le coffre du siège

d'avant; il est composé de deux cylindres en bois ou fibre; l'un, celui des changements de vitesse, est manœuvré à l'aide d'un levier placé à la droite du conducteur; l'autre est un réducteur-freineur; il est actionné par une pédale.

Le premier cylindre réalise les marches suivantes :

Position 0, *arrêt*, le courant est coupé, sauf l'excitation shunt ;

- 1, *marche à petite vitesse*, la batterie est divisée en deux parties groupées en quantité ;
- 2, batteries en quantité, shuntage de l'inducteur ;
- 3, *marche normale*, tous les éléments de la batterie en tension ;
- 4, batterie en tension, shuntage des inducteurs ;
- 5, batterie en tension, double shuntage des inducteurs ;

La marche arrière est obtenue comme dans la position 1, mais avec courant inversé dans l'induit. Cette marche ne peut être obtenue qu'après que le levier a été ramené à la position 0 et qu'on a enlevé un cliquet de retenue.

Pour le cylindre réducteur-freineur, dans la première partie de la course de la pédale qui l'actionne, la vitesse du moteur est réduite par l'introduction de résistances graduelles dans le circuit; en continuant l'abaissement de la pédale, au milieu de sa course, le courant est coupé.

Dans la seconde partie de la course, on freine électriquement en mettant l'induit du moteur en circuit sur une résistance diminuant graduellement jusqu'à obtenir le court circuit; l'excitation de l'inducteur étant maintenue par l'enroulement shunt.

Afin de ne pas fatiguer le collecteur par des mises en court-circuit, un frein mécanique, serrant avant et arrière, est placé sur un tambour claveté sur l'arbre de l'induit même. Son action s'ajoute à celle du freinage électrique; il est actionné par la même pédale.

Voitures Kriéger. — La première voiture construite par Kriéger fut une transformation en voiture électrique d'un fiacre de la Compagnie l'Abeille.

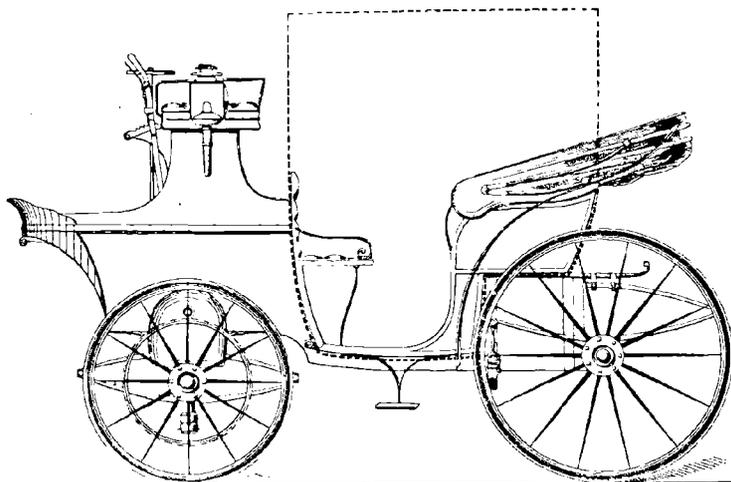


FIG. 96. — Coupé à caisse interchangeable Kriéger (1896).

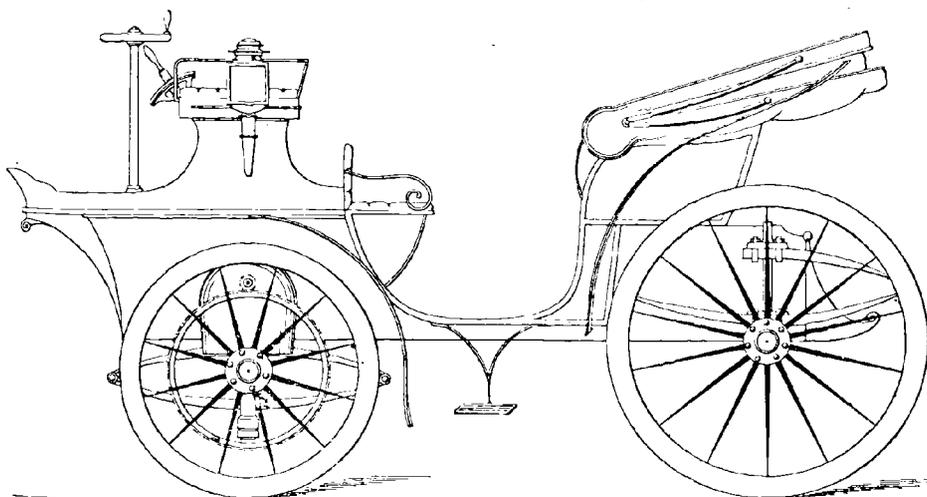


FIG. 97. — Victoria Kriéger.

La voiture se composait d'un avant-train moteur à che-

ville ouvrière, avec un moteur par roue, les accumulateurs se trouvant de part et d'autre de l'essieu avant, suspendus à celui-ci entre les deux moteurs ; cette voiture fonctionna de novembre 1894 au milieu de l'année 1895 ; elle contenait 300 kilogrammes d'accumulateurs Fulmen lui permettant d'effectuer 30 kilomètres à la vitesse de 15 kilomètres à l'heure ; les bacs d'accumulateurs étaient en celluloïd ; les roues de la voiture munies de bandages en fer.

Une autre voiture fut construite en 1895, avec le même type d'avant-train, portant 700 kilogrammes d'accumulateurs pour un trajet d'environ 50 kilomètres.

Ces deux voitures étaient munies d'une direction électrique qui, n'ayant pas donné de résultats satisfaisants, fut remplacée, en 1896, par une direction à pivots et à engrenages démultipliés dans le rapport de 1 à 4.

La voiture de 1896 était à caisse interchangeable (*fig.* 96, 97, 98 et 99).

Les voitures Krieger actuelles, construites par la Compagnie parisienne des Voitures électriques, toujours basées sur le même principe, sont à avant-train moteur et directeur, comportant deux moteurs supprimant ainsi le différentiel. Le poids sur l'essieu avant est 1 fois et demie plus grande que sur l'essieu arrière. Chaque moteur entraîne la roue motrice correspondante à l'aide d'un pignon attaquant par une denture hélicoïdale une roue dentée calée sur le moyeu ; chaque moteur peut osciller par un support spécial autour d'un prolongement de la fusée de la roue ; il y est suspendu par un ressort très souple, ce qui permet d'avoir des démarrages très doux, des freinages électriques moins brusques et en outre une moins grande usure des engrenages ; cette modification a été introduite en 1899, et la première voiture de ce type à moteur horizontal a figuré à l'Exposition des Tuileries (*fig.* 100).

Les moteurs Krieger, construits par la Société des Établissements Postel-Vinay, sont à enroulement tam-

bour en série et à excitation composée : 2 pôles en série, 2 pôles en shunt; ils ont chacun une puissance absorbée de

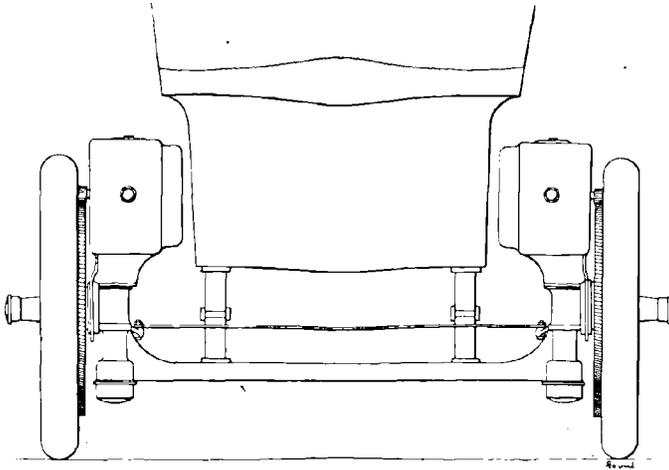


FIG. 98. — Avant-train Kriéger (Élévation).

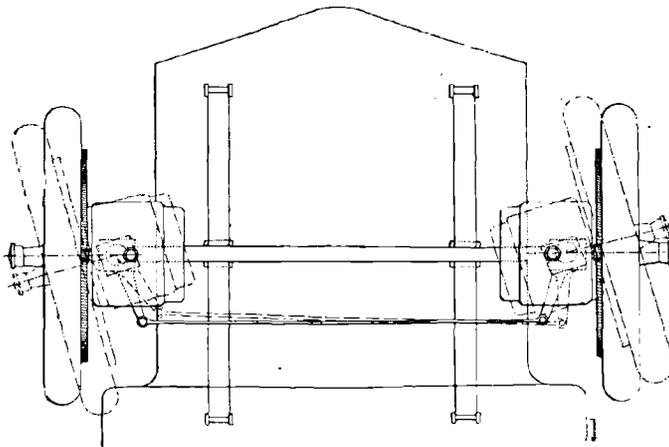


FIG. 99. — Avant-train Kriéger (Plan). Braquage des roues.

3.150 watts, avec un rendement de 85 0/0; leur vitesse est de 2.000 à 2.300 tours à la minute; le rapport des engre-

nages varie de 1 à 10 jusqu'à 1 à 17, suivant le type de voiture.

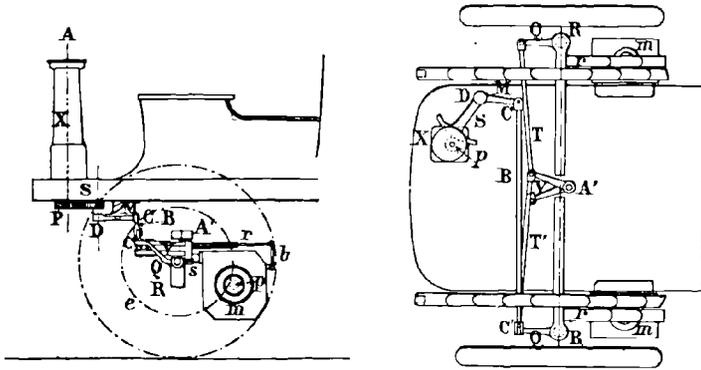


FIG. 100. — Voiture Kriéger.
Schéma de la direction et de la disposition des moteurs (1890).

Vue de profil.

- X, Combinateur.
- A, Axe de l'arbre de la direction.
- P, Pignon de la direction.
- S, Secteur denté de la direction.
- D, Axe du secteur et de la manivelle de direction.
- M, Manivelle de la direction.
- C, Double chape de bielle de direction.
- B, Bielle de direction.
- C', Chape à boulon de bielle de direction.
- Q, Queues de fusées de la direction.

Vue en plan.

- T, Tige de couplage des queues de fusées.
- V, V de couplage de la direction.
- A', Axe du V de la direction.
- R, Pivots de fusées de la direction.
- m, Moteur.
- r, Ressort de suspension du moteur.
- b, Bielle de suspension du moteur.
- s, Palier support du moteur.
- p, Pignon du moteur.
- e, Engrenage calé sur la roue.

Les accumulateurs sont répartis maintenant sous le siège du conducteur et sous le siège des voyageurs ; ils sont ainsi dissimulés le plus possible (*fig. 101 et 102*) et la voiture est, par suite, assez agréable d'aspect ; cela a l'inconvénient de nécessiter seulement un montage plus long et une manœuvre moins rapide.

Le combinateur, qui se trouve en dessous du guidon de direction, est peu encombrant et d'une visite facile. Les combinaisons qu'il permet d'effectuer sont les suivantes :

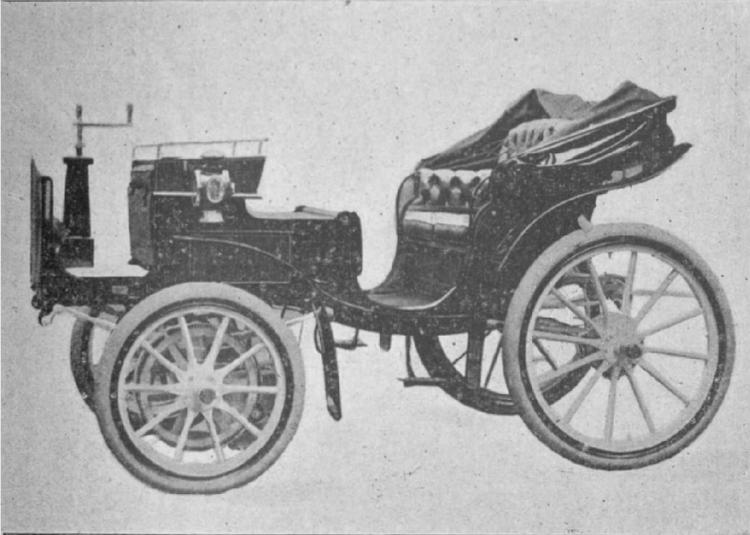


FIG. 101. — Mylord Kriéger.

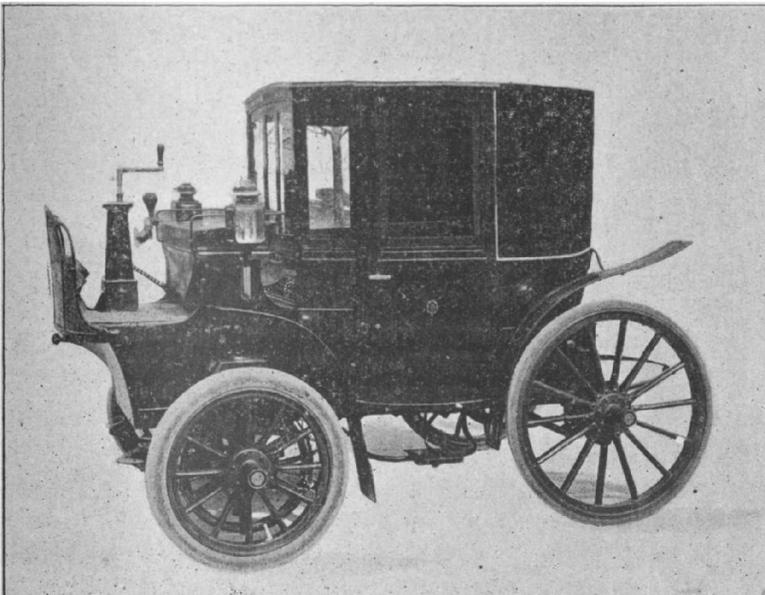


FIG. 102. — Coupé Kriéger.

AUTOMOBILES ÉLECTRIQUES.

POSITIONS du combina- teur	ROLE	DEUX BATTERIES	EXCITATIONS	DEUX INDUITS
0	Arrêt	Tension	Ouvertes	Ouverts
1	Démarrage 5 à 7 km : h.	Dérivation	Shunt et série	Tension
2	2 ^e vitesse 7 à 11 km : h.	—	Série	—
3	3 ^e — 11 à 12 km : h.	Tension	Shunt et série	—
4	4 ^e — 16 à 18 km : h.	—	Série	—
5	5 ^e — 18 à 22 km : h.	—	Shunt et série	Quantité
6	6 ^e — 22 à 30 km : h.	—	Série	—
00	Freinage sans récupération	Quantité	Shunt	Court-circuit
- 1	Marche arrière	—	Shunt et série	en tension et inversés

En plus du combinateur une pédale permet de mettre l'enroulement série en court-circuit et, si la voiture tend à s'emballer sur une descente, on effectue un freinage par récupération.

La figure 103 donne, du reste, le schéma des couplages.

Lors du récent critérium des voitures électriques ⁽¹⁾ — dans un essai qu'il serait sans doute difficile de recommencer plusieurs fois avec la même batterie sans réparations coûteuses — la voiture Kriéger, dont nous donnons le dessin (*fig. 104*), pesait, avec ses deux voyageurs, 2.140 kilogrammes. Le poids des accumulateurs était de 1.057 kilogrammes, soit 49 0/0 du poids total en charge et 55 0/0 du poids de la voiture sans voyageurs, qui est de 1.920 kilogrammes.

Les batteries se composaient de :

21 éléments B 27 Fulmen placés en avant ;

21 éléments B 27 Fulmen dans le coffre arrière, ayant une capacité de 220 ampères-heures en cinq heures, et 36 éléments B 13, d'une capacité de 102 ampères-heures, destinés à servir de batterie supplémentaire, et placés dans une caisse suspendue sous la voiture.

Les moteurs, du type ordinaire Kriéger, avaient une puissance de 4.000 watts à une vitesse de 2.600 tours par minute.

Après le 152^e kilomètre, la voiture a pu revenir jusqu'à

(¹) *La Locomotion automobile*, 1900.

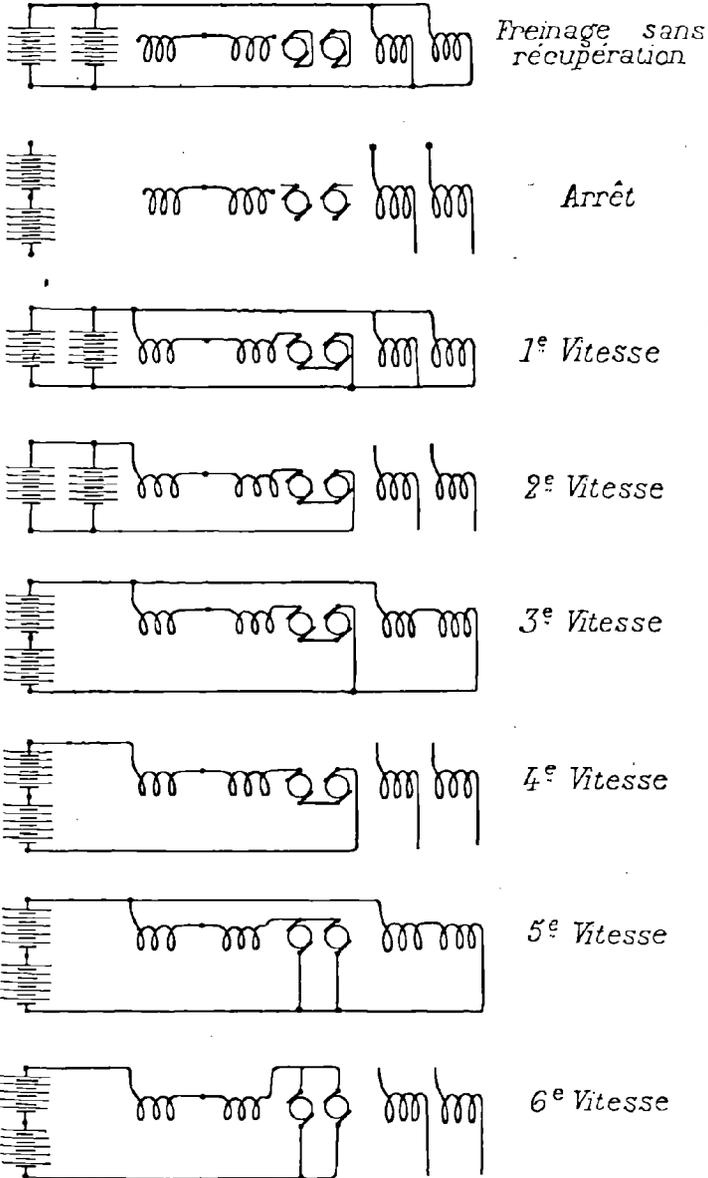


FIG. 103. — Schéma des couplages du combinateur Krieger.

la gare de La Roche sans recharger, soit 3 kilomètres, et faire le chemin de la gare de Lyon à Courbevoie, soit 15 kilomètres, après le repos du voyage en chemin de fer.

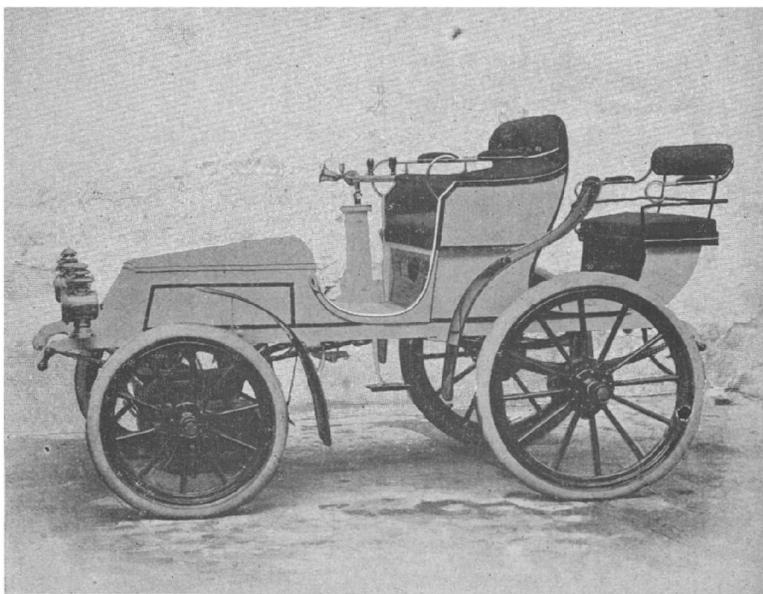


FIG. 104. — Electrolette Krieger (Critérium de 1900).

La voiture a donc effectué un parcours total de 170 kilomètres.

La consommation moyenne pendant ce voyage aurait été de 81 watts-heures par tonne-kilomètre de poids total.

Le dernier modèle de la Compagnie parisienne des voitures électriques système Krieger est une électrolette dont voici les principales caractéristiques ⁽¹⁾ :

Les moteurs (*fig. 105*) sont placés horizontalement en avant du train, et leur axe est parallèle à celui de l'essieu. Les roulements des moteurs et des moyeux sont à billes, ce

⁽¹⁾ *La Locomotion automobile*, mars 1901.

qui assure à la voiture une résistance à la traction assez

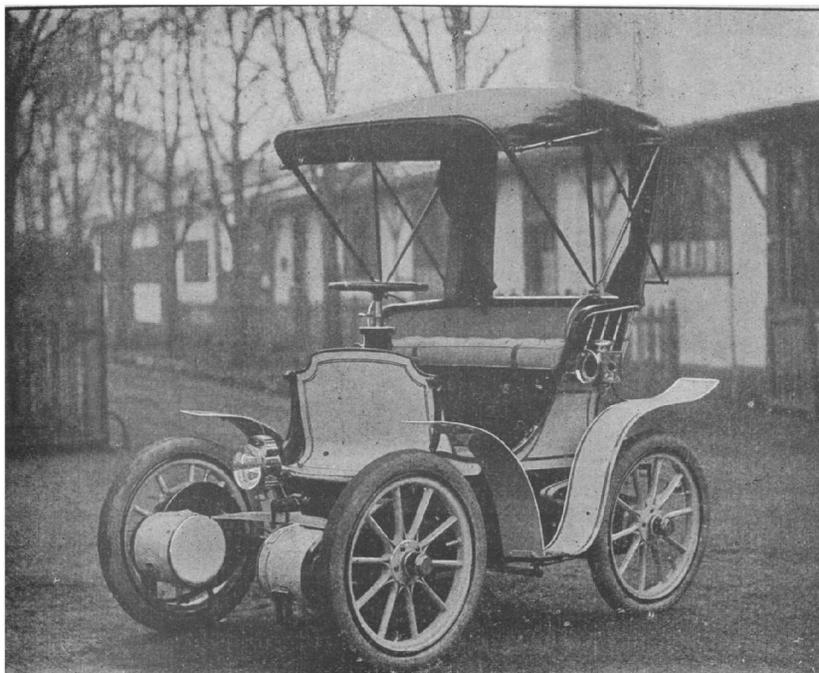


FIG. 103. — Electrolette Krieger (1901).

faible. Le combinateur permet dix combinaisons, résumées dans le tableau ci-dessous :

POSITION du COMBINA TEUR	ROLE	DEUX BATTERIES	EXCITATIONS	DEUX INDUITS
0	Arrêt; charge de la batterie	Série	Ouvertes	Ouverts
1	Démarrage	Quantité	Shunt et série	Série
2	Petite vitesse	»	Série	»
3	Récupération	»	Shunt	»
4	2 ^e vitesse	Tension	Shunt et série	»
5	3 ^e —	»	Série	»
6	Récupération en grande vitesse	»	Shunt	Parallèle
7	4 ^e vitesse	»	Shunt et série	»
8	5 ^e —	»	Série	»
9	Freinage électrique	Quantité	Shunt	En court-circuit
10	Marche arrière	»	Shunt et série	En série et inversés

La seule différence à remarquer avec le précédent est que la récupération se commande par le combinateur et non plus par une pédale séparée. La direction est à cheville ouvrière; elle est très maniable et se fait avec une réduction de 1 à 4.

Outre le freinage électrique, qui agit sur l'avant-train, la voiture est munie d'un frein à bande sur l'arrière-train agissant dans les deux sens de marche.

Les différentes constantes de l'électrolette Krieger sont :

Poids total avec les accumulateurs.....	760 kgs
Poids des accumulateurs.....	360 kgs
Poids de la voiture.....	400 kgs
Puissance de chaque moteur.....	3 chx
Poids de chaque moteur.....	50 kgs
Vitesse maxima à l'heure en palier.....	35 km
Vitesse moyenne.....	20 à 25 km

La batterie d'accumulateurs, du type Fulmen, comprend 44 éléments B 13, d'une capacité de 104 ampères-heures, au régime de 5 heures; elle est contenue dans le corps même du châssis et s'extrait, par simple glissement, par une porte située à l'arrière de la voiture.

Voitures de la Compagnie française des voitures électromobiles. — Ces voitures sont du type employé à la Compagnie générale des voitures, à arrière-train moteur et avant-train directeur.

Le truck est en acier et porte tous les appareils de commande de vitesse, de direction, ainsi que le moteur; la caisse d'accumulateurs est suspendue en-dessous du châssis entre les deux trains. Au point de vue carrosserie, on a adopté le principe de l'interchangeabilité des caisses. La batterie d'accumulateurs est suspendue par quatre chaînes rattachées au truck par l'intermédiaire de ressorts. L'enlèvement des batteries à l'aide d'un monte-charge hydraulique est ainsi très simplifié.

Les principaux éléments du truck sont :

Diamètre des roues avant.....	0 ^m ,84
— — arrière.....	1 ^m ,1
Distance d'axe en axe des deux trains.....	2 ^m ,25
Diamètre des fusées des roues avant.....	0 ^m ,045
— — arrière.....	0 ^m ,050

Le coupé ordinaire pèse, avec 750 kilogrammes d'accumulateurs, 2.300 kilogrammes en charge.

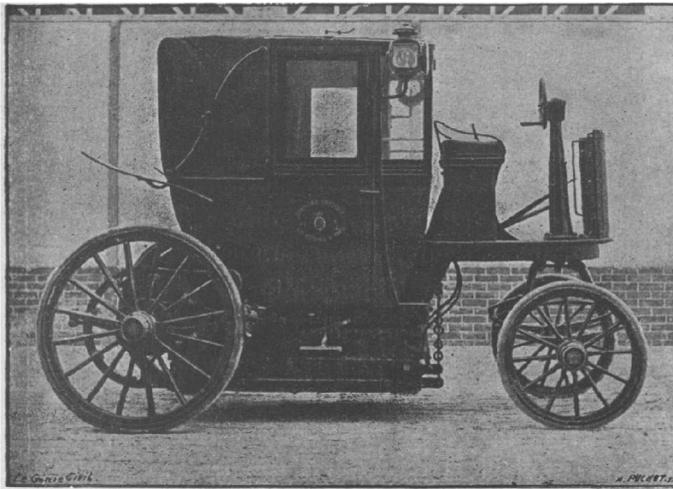


FIG. 106. — Fiacre de la Compagnie des voitures électromobiles.

Le moteur du type Lundell-Johnson, à double enroulement induit, fonctionne en série parallèle ; son excitation est en série en deux parties. Le poids du moteur est de 100 kilogrammes et donne une puissance de 4 chevaux avec une vitesse angulaire de 1.500 tours par minute.

La transmission du mouvement aux roues se fait par chaînes Varietur actionnées par un arbre moteur portant un différentiel dont la couronne extérieure est attaquée par le pignon du moteur.

Le rapport des dents est de 22 à 81 pour le moteur et l'arbre intermédiaire et de 19 à 104 pour la réduction finale. Le

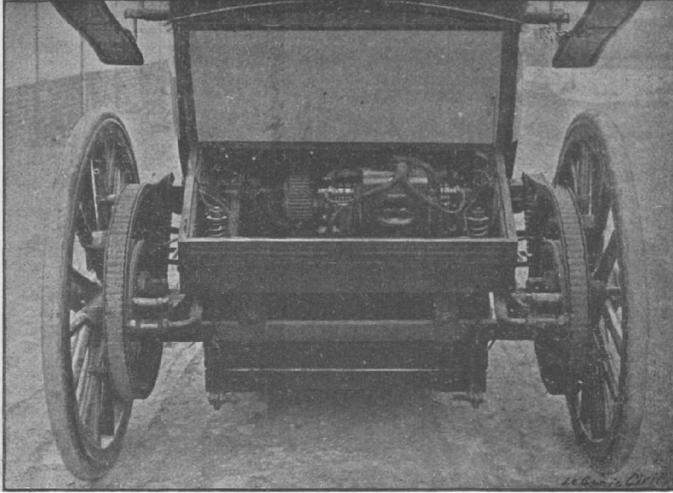


FIG. 107. — Vue de l'arrière-train des voitures de la Compagnie française des voitures électromobiles.

moteur tournant à 1.500 tours par minute, le nombre de tours de la roue motrice sera :

$$1.500 \times \frac{22}{81} \times \frac{19}{104} = 73,98 \text{ tours par minute.}$$

Le combinateur, dont nous donnons le développement (fig. 108), permet les vitesses suivantes, sans aucun couplage d'accumulateurs :

	INDUCTEURS	INDUITS	ACCUMULATEURS	RÉSISTANCES
Marche arrière	En série	Inversé	En tension	En circuit
2 ^e frein	—	En court-circuit sur l'inducteur	Hors circuit	Hors circuit
1 ^{er} frein	—	—	—	En circuit
Arrêt	Circuit ouvert	Circuit ouvert	Circuit ouvert	Circuit ouvert
1 ^{re} vitesse	En série	En série	En série	En circuit
2 ^e —	—	—	—	Hors circuit
3 ^e —	—	En parallèle	—	—
4 ^e —	En parallèle	—	—	—

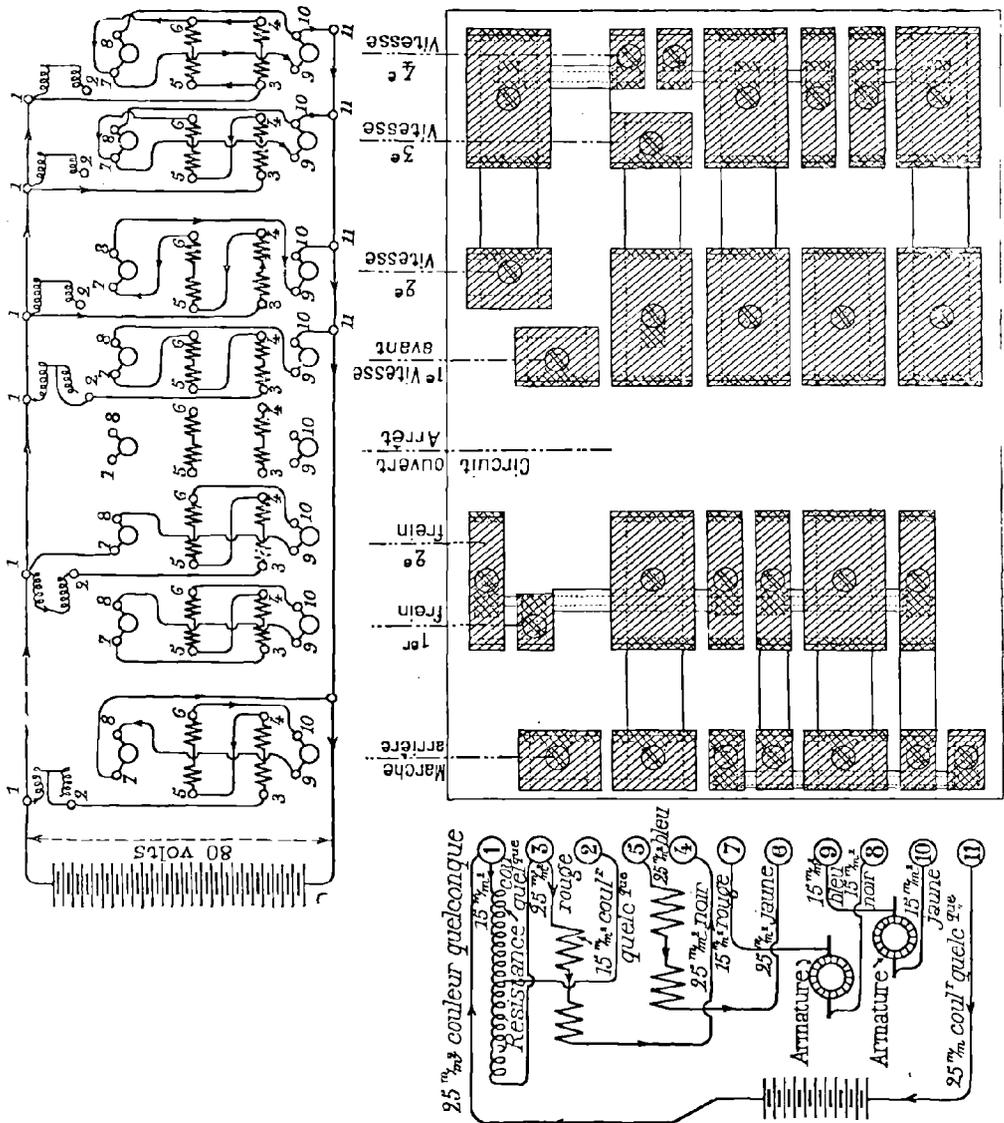


Fig. 108. — Développement du combinateur de la Compagnie française des voitures électromobiles.

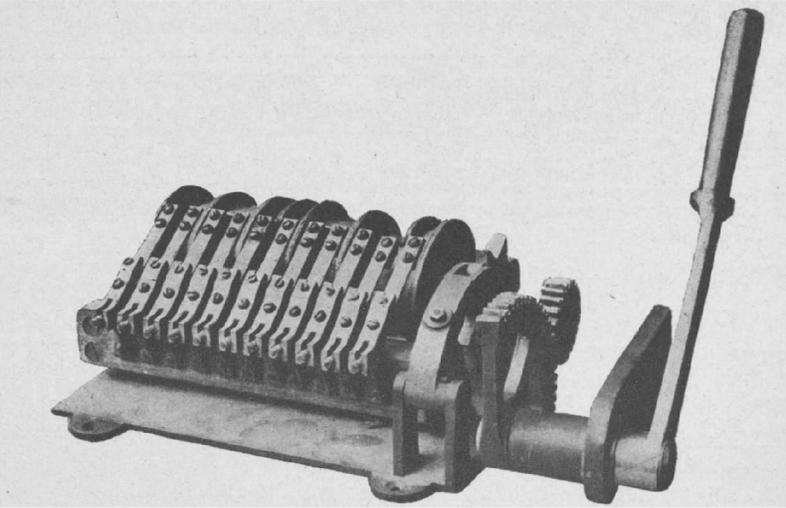


FIG. 109. — Combinateur de la Compagnie française des voitures électromobiles

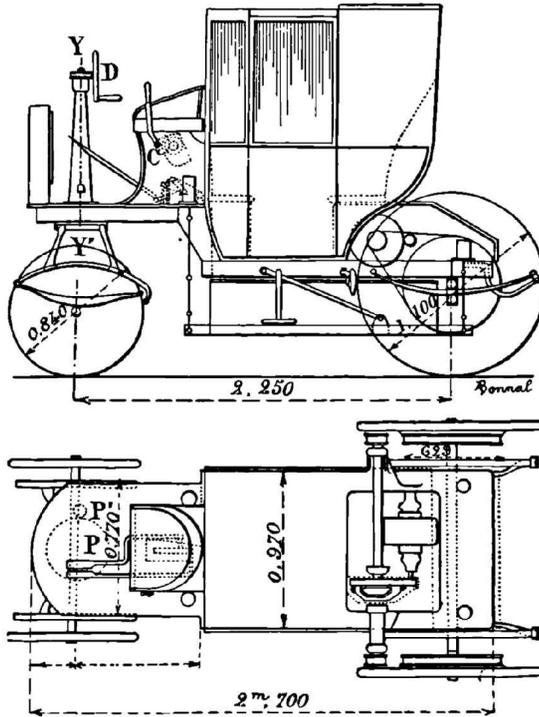


FIG. 110. — Élévation et plan du châssis des voitures de la Compagnie française des voitures électromobiles.

Le combinateur est commandé par un levier placé sur le côté du siège du conducteur (*fig. 109*).

La direction est à cheville ouvrière, ce qui permet de braquer les roues dans un angle très court; la manette de direction D (*fig. 110*) est fixée sur une vis sans fin qui, par une grande démultiplication, attaque une roue placée à la partie supérieure de l'axe YY', portant inférieurement le pignon P', qui entraîne l'engrenage P produisant la direction de la voiture.

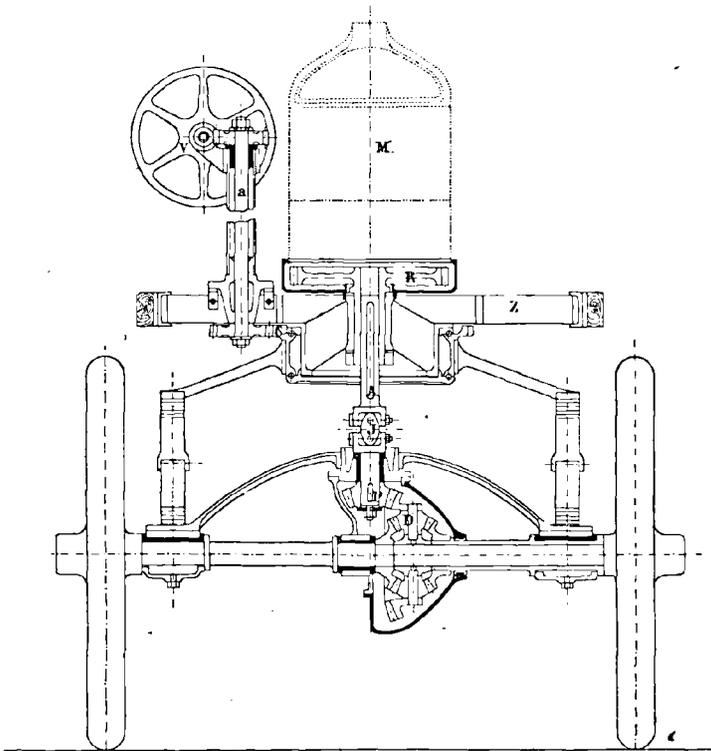


FIG. 111. — Coupe de l'avant-train moteur de la Compagnie française des voitures électromobiles, par un plan passant par l'axe du moteur et parallèle à l'essieu.

Outre les freins électriques, le conducteur dispose d'un frein

à sabotagissant sur les roues et d'un frein à ruban sur l'essieu arrière.

Pour les voitures de luxe, la Compagnie française des voitures électromobiles a adopté le système Doré avec commande de l'avant-train par cheville ouvrière.

Dans ces voitures, le moteur électrique M (*fig. 111*), placé à l'avant, actionne, par le moyen d'un pignon calé sur son arbre, une roue d'engrenage R, à axe vertical, munie d'une longue douille, dans l'intérieur de laquelle peut coulisser un arbre A, portant une clavette permettant son entraînement par la douille de l'engrenage. Cet arbre est articulé par un double joint cardan J, et porte à son extrémité inférieure un pignon d'angle p , qui actionne un différentiel D monté sur l'essieu avant.

La direction est obtenue au moyen d'un volant à manivelle V, à axe horizontal, commandant par une vis sans fin une roue hélicoïdale, clavetée sur l'extrémité supérieure d'un arbre vertical a , à l'autre extrémité duquel se trouve un pignon engrenant avec une couronne dentée c , solidaire de la partie mobile de l'avant-train. Cette couronne est montée sur des roulements à billes en dessus et en dessous, qui rendent la direction très douce.

Tout l'ensemble du mécanisme est monté sur un châssis en acier forgé, d'une grande rigidité, qu'il suffit de fixer à la voiture par six boulons.

Le moteur électrique est à quatre pôles, du type Lundell, à deux enroulements sur les inducteurs et sur l'induit; l'excitation est faite en série; il donne des démarrages excellents et permet de ne pas faire de couplages de batterie; son rendement, à la deuxième comme à la quatrième vitesse, dépasse 80 0/0.

Le contrôleur, manœuvré par un levier placé à la gauche du conducteur, permet d'établir les couplages indiqués au schéma précédent (*fig. 108*) de manière à obtenir quatre vitesses avant, deux freinages électriques et une marche arrière.

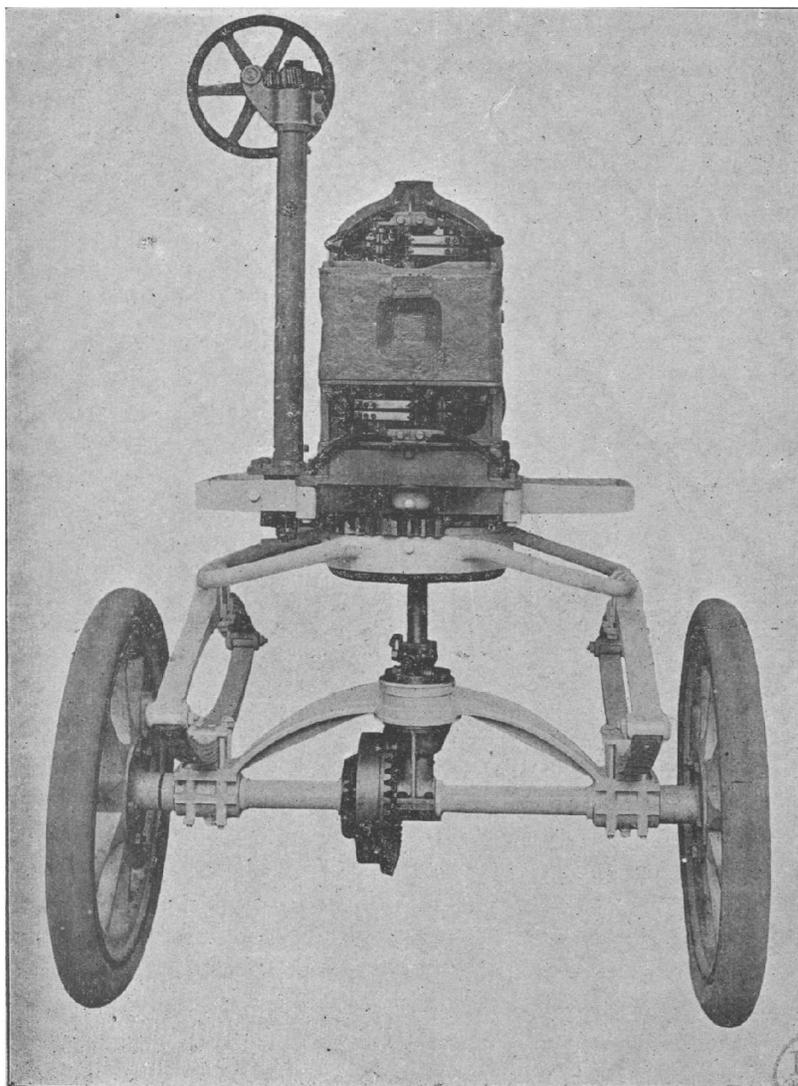


FIG. 112. — Avant-train moteur de la Compagnie française des voitures électromobiles.

L'ensemble du mécanisme a un excellent rendement; la Compagnie des voitures électromobiles prétend arriver à la consommation très réduite de 62 watts-heures par tonne-kilomètre; il est très simple, d'une visite et d'un entretien faciles et peu coûteux, tout le mécanisme étant placé dans des carters et parfaitement graissé. Il fonctionne sans bruit et permet de construire des voitures très élégantes.

Enfin le moteur est complètement suspendu; il est d'un accès commode et se trouve entièrement à l'abri de l'eau et de la boue.

Voiture Mildé. — Les caractéristiques essentielles des voitures Mildé consistent :

1° Dans l'emploi d'un moteur différentiel à deux induits indépendants articulés autour de l'essieu moteur et actionnant les roues motrices par une transmission directe avec un rendement global de 75 à 80 0/0 ;

2° Dans l'emploi d'un châssis métallique, armé par des tirants et des sous-tendeurs, servant de support à la caisse d'accumulateurs, qui est amovible, au moyen d'un double treuil fixé au châssis de façon que la manœuvre pour la visite des éléments puisse se faire par une seule personne ;

3° Dans l'emploi d'un avant-train moteur-directeur à cheville ouvrière (système Greffe), qui porte tout le mécanisme et peut s'adapter sous l'avant de n'importe quelle caisse de carrosserie à chevaux pour la transformer en automobile électrique.

On a constitué ainsi trois types de voitures.

TYPE 1. — *Voitures de livraison.* — Ces voitures sont caractérisées par un châssis rectiligne armé, avec moteur différentiel de 2.600 à 3.800 watts suivant le poids, articulé à l'arrière; la caisse d'accumulateurs est placée entre les deux essieux. On peut mettre sur ce châssis soit une caisse de livraison, soit une caisse d'omnibus ou une plate-forme de camion.

TYPE 2. — *Voitures à usage de fiacre* à avant-train moteur-directeur à cheville ouvrière (système Grefle). Le châssis d'avant-train se rattache à la flèche coudée ou droite fixée solidement sous le fond et terminée par un œil articulé dans lequel s'engage une cheville ouvrière, démontable de telle façon, que l'arrière peut se désarticuler par rapport à l'avant et suivre sans secousses les accidents de terrain. La caisse d'accumulateurs est amarrée au châssis d'avant-train et amovible au moyen du treuil. Le moteur attaque directement les deux roues d'avant et oscille autour de l'essieu, et l'avant-train tourne tout entier autour de la cheville ouvrière. La puissance du moteur est de 2.600 watts.

TYPE 3. — *Voitures de luxe*. — Châssis métallique cintré le moteur, différentiel d'une puissance de 2.400 watts, est articulé autour de l'essieu d'arrière. La batterie d'accumulateurs est répartie en deux caisses dissimulées dans les coffres d'avant et d'arrière, et amovibles chacune au moyen d'un treuil.

Ce châssis peut recevoir à volonté une caisse de landaulet, de victoria ou de coupé $3/4$ interchangeables.

Moteur. — Le moteur est du type différentiel à deux induits indépendants, placés bout à bout dans le même champ magnétique. L'excitation est compound, série et shunt pour permettre toutes les combinaisons de couplage d'induits et d'inducteurs, la récupération et le freinage électrique. Ce dispositif des induits indépendants supprime le différentiel, la répartition du couple moteur entre les deux essieux se faisant automatiquement.

La puissance des deux types de moteurs est de 38.00 et de 2.400 watts et leur vitesse angulaire est de 1.100 tours, ce qui permet, avec des rapports de transmission de $1/2$ et $1/4$, d'actionner des roues motrices de 1 mètre et $1^m,15$ de diamètre, avec des vitesses de 15 kilomètres à l'heure pour les voitures de livraison, et de 20 kilomètres à l'heure pour les voitures à voyageurs.

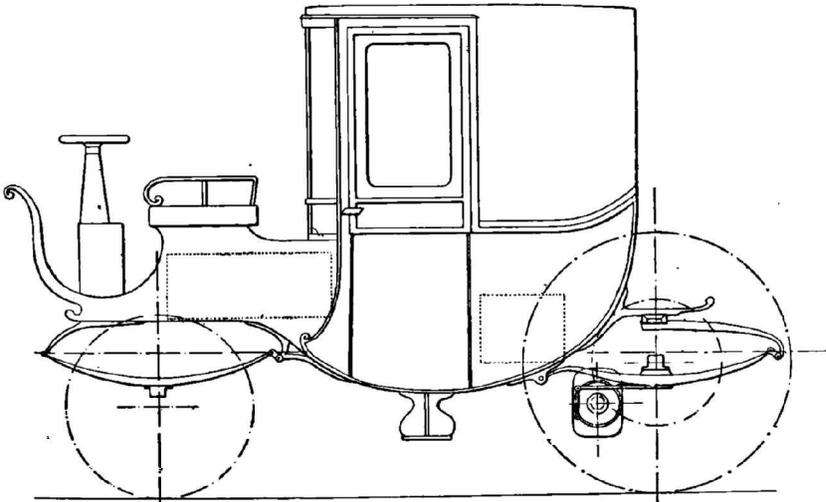
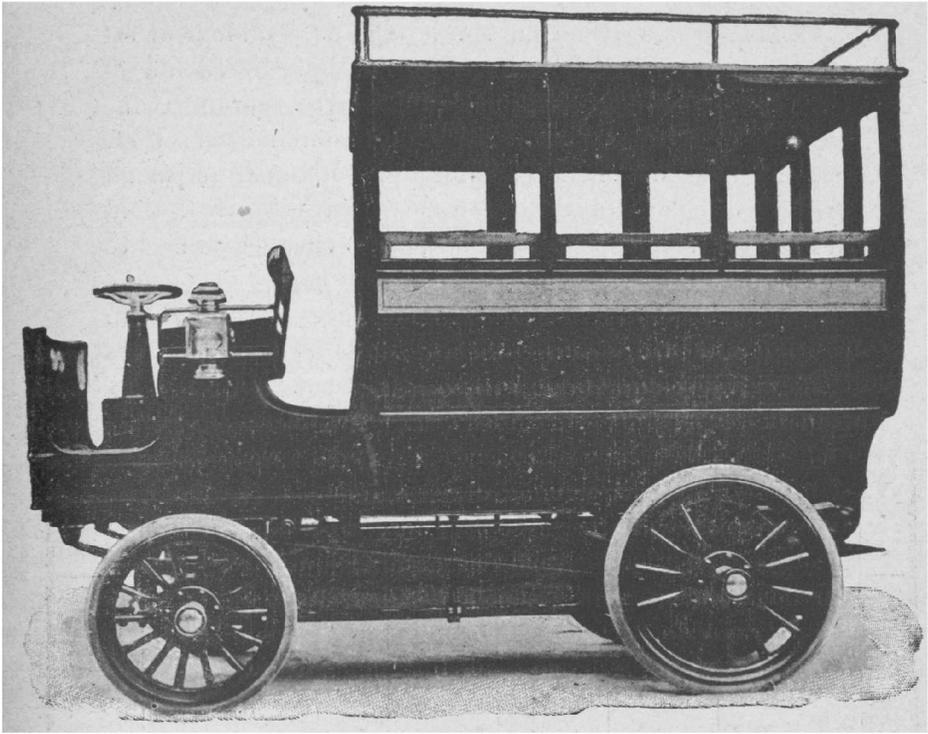


FIG. 114 et 115. — Omnibus Mildé, type 1, et coupé Mildé, type 3.
AUTOMOBILES ÉLECTRIQUES.

Combinateur. — Quel que soit le type, le combinateur est unique; son axe est concentrique à celui de la tige de direction; il se manœuvre par une manette avec cadran gradué en crans correspondants aux différentes combinaisons. Il est enfermé dans une boîte en aluminium et constitué par un cylindre isolé avec des plots en cuivre sur lesquels frottent des balais avec dispositif spécial pour éviter les étincelles de rupture.

Les combinaisons réalisées sont indiquées dans le tableau ci-dessous, qui donne 11 combinaisons et une série des vitesses avant de 5 à 30 kilomètres à l'heure.

POSITION du coupleur	ROLE	BATTERIE	DEUX INDUITS	EXCITATION shunt	EXCITATION RÉRIE	RHÉOSTAT	SHUNT de l'excitation série
— 2	1 ^o Vitesse arrière	En tension	En tension inversés	En dérivation aux bornes de la batterie	En circuit	En court-circuit	Hors circuit
— 1	Démarrage arrière	—	—	—	—	En circuit	—
0	Arrêt	Circuit ouvert	Circuit ouvert	—	Circuit ouvert	Circuit ouvert	—
000	2 ^o Frein	—	En tension	—	En circuit fermé sur les deux induits et inversé par rapport à leur sens de marche avant	En court-circuit	—
00	1 ^o Frein	—	—	—	Circuit ouvert	En circuit	—
0	Arrêt	—	Circuit ouvert	—	Circuit ouvert	Circuit ouvert	—
1	Démarrage avant	En tension	En tension	—	En circuit	En circuit	—
2	Petite vitesse	—	—	—	—	En court-circuit	—
3	Vitesse moyenne	—	—	—	—	—	En circuit
4	—	—	En parallèle	—	—	En circuit	Hors circuit
5	Vitesse normale	—	—	—	—	En court-circuit	—
6	Grande vitesse	—	—	—	—	—	En circuit
7	Récupération	—	En tension	—	En court-circuit	—	Hors circuit

Freins. — Outre le frein électrique et la récupération, un double frein mécanique à lame extensible agit sur la circonférence intérieure de la couronne d'engrenages. Il opère le freinage progressivement et énergiquement, grâce à son grand diamètre; il est muni d'un encliquetage pour maintenir la voiture bloquée et est dissimulé et protégé par le carter

des engrenages. Son action peut se produire dans les deux sens de marche.

Accumulateurs. — Les accumulateurs sont disposés, suivant les cas, dans une ou deux caisses manœuvrées par le cliquet du treuil pour la montée et la descente. Ce dispositif permet une visite facile et fréquente des éléments et supprime la manœuvre pénible et dangereuse qui consiste à descendre les caisses à bras d'hommes ; le résultat se traduit par une grande économie d'entretien et de personnel.

Direction. — Pour les voitures à traction par l'arrière, la direction est obtenue par une tige verticale, munie de deux pignons actionnant un secteur denté avec genouillère, bielle de liaison et tige d'articulation agissant sur les deux manivelles de l'essieu brisé à pivot.

Pour les voitures à avant-train moteur-directeur, elle est obtenue par une tige verticale avec roue dentée qui, par une chaîne et un double pignon, disposés en dessus et en dessous de la flèche, actionne une crémaillère entraînant tout l'avant-train dans sa rotation autour de la cheville ouvrière.

Le moteur différentiel aide au mouvement de rotation, diminue les chances de dérapage ; l'adhérence du train-moteur étant très grande, le patinage est supprimé.

Poids. — Les voitures de livraison pèsent, à vide, 1.700 kilogrammes pour les poids légers et 2.200 kilogrammes pour les poids lourds et peuvent transporter une charge utile de 300 à 800 kilogrammes. Les voitures à voyageurs pèsent 1.400 à 1.500 kilogrammes à vide et peuvent transporter quatre voyageurs.

Consommation. — La voiture de livraison du système Mildé-Mondos, engagée, sous le n° 8, au Concours des fiacres de 1899, a accusé, d'après le chiffre officiel, une consommation spécifique de 79 watts-heures par tonne-kilomètre sur les parcours variés du Concours.

D'après de nombreux essais faits depuis cette époque et

avec l'emploi du moteur différentiel à transmission directe, la consommation spécifique a été trouvée de 60 watts-heures par tonne kilométrique en palier, ce qui, avec le coefficient de 1,2 généralement admis, donne une consommation de 72 watts-heures par tonne-kilomètre en terrain varié.

Les nouvelles voitures du type 1 actuellement en service accomplissent des parcours journaliers de 60 à 70 kilomètres sans recharge.

Voitures de la Compagnie générale des transports automobiles, système Jenatzy. — Les voitures système Jenatzy sont à avant-train directeur et à arrière-train moteur.

Le moteur, excité en série, actionne un arbre intermédiaire par l'entremise du différentiel; cet arbre entraîne par une chaîne les roues motrices.

Les changements de vitesse s'obtiennent par le couplage des accumulateurs, les deux groupes en quantité ou les deux en tension et par intercalation de résistances.

Toutes ces manœuvres sont faites, non par un combinateur, mais par différents interrupteurs; cela complique beaucoup la conduite sans aucun avantage et sans bonne utilisation des propriétés du moteur électrique.

Une voiture de course du système Jenatzy, construite en vue d'établir le record du kilomètre, a eu son heure de célébrité à cause de sa forme tout à fait spéciale et de la vitesse qu'elle a pu réaliser au moment de sa tentative de record. Elle s'appelait la *Jamais-Contente*.

Voitures de la Société des accumulateurs et voitures électriques B. G. S. (Brevets Bouquet, Garcin et Schivre). — Cette société a eu surtout pour but la construction de voitures de luxe plutôt que d'exploitation; construisant elle-même ses accumulateurs, qui

ont été décrits dans le chapitre v (p. 61) et qui sont du type léger, elle a cherché particulièrement à couvrir de longues distances; dans le critérium des électriques, après des tentatives infructueuses, la voiture B. G. S. est arrivée à couvrir un parcours sans recharge inconnu jus' alors.

Le moteur est excessivement bien compris et permet, par sa constitution même, de faire toutes les variations de vitesse sans aucun couplage de batterie, ni aucune variation dans le champ magnétique.

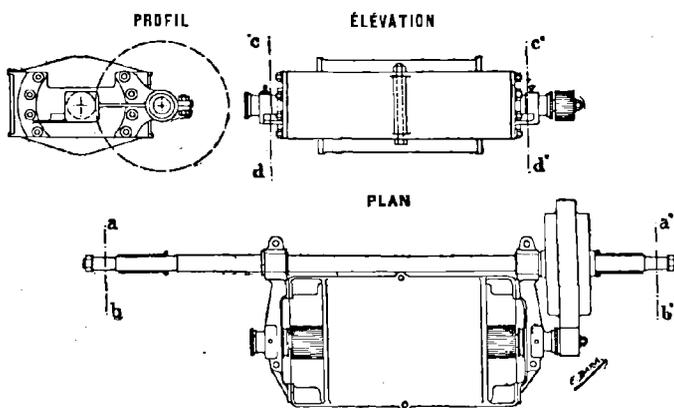


FIG. 116. — Moteur B. G. S. avec le différentiel.

Nous avons indiqué, dans le chapitre XII, le fonctionnement de ce moteur pour le réglage par enroulements inégaux.

L'enroulement inducteur est effectué en série.

Les moteurs B. G. S. sont de quatre types différents, variant d'une puissance de 900 watts à 4.500 watts.

Les différentes constantes sont :

N° du moteur	Puissance	Poids	Nombre de tours par minute
T0.....	900 watts	35 kilogrammes	1.200
T1.....	2.250 —	90 —	800
T2.....	3.450 —	130 —	650
T3.....	4.500 —	180 —	550

Le moteur attaque la couronne extérieure du différentiel dont l'arbre moteur porte à chaque extrémité des pignons transmettant le mouvement aux roues motrices par l'intermédiaire d'une chaîne.

Le moteur est, grâce à ce moyen, complètement caché sous la caisse de la voiture.

Par suite de sa construction la réaction d'induit est très faible et, quels que soient les couplages, le diamètre de commutation est sensiblement invariable.

Le combinateur, commandé par un volant, permet d'effectuer six vitesses avant, trois vitesses arrière et deux positions de freinage électrique.

	INDUIT V	INDUIT III	PREMIÈRE RÉSISTANCE	DEUXIÈME RÉSISTANCE	ACCU- MULATEURS
1 ^{re} vitesse	En série		En circuit	En circuit	En série et en circuit
2 ^e —	—		En série avec les inducts	En circuit	—
3 ^e —	—		Hors circuit	Hors circuit	—
4 ^e —	En circuit	Hors circuit	—	—	—
5 ^e —	Hors circuit	En circuit	—	—	—
6 ^e —	En série mais inversés		—	—	—
Freinage	En série		En circuit	En circuit	Hors circuit
—	—		Hors circuit	—	—
—	en court-circuit		—	Hors circuit	—
1 ^{re} marche arrière	En série		En circuit	En circuit	En circuit
2 ^e —	—		Hors circuit	—	—
3 ^e —	—		—	Hors circuit	—

On se rappelle que le nombre des spires des deux enroulements de l'induit est proportionnel à 5 et à 3; les forces électromotrices développées sont donc dans le même rapport.

Le schéma de la figure 117 donne, du reste, l'ensemble des combinaisons effectuées par le coupleur.

Les voitures B. G. S. sont munies de fiches de prise de courant d'une forme spéciale, dont la coupe est celle d'un trapèze rectangle qui, à la grande base, porte deux lames latérales en communication par un câble souple avec les pôles du circuit de charge; cette fiche est enfoncée dans une boîte de distribution, présentant une ouverture de même

section, dans laquelle elle entre à frottement lisse, et qui

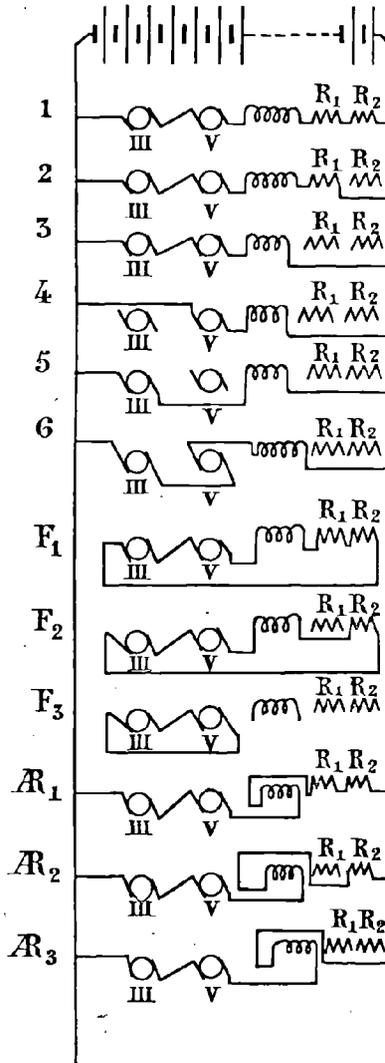


FIG. 117. — Schéma des couplages effectués par le combinateur B. G. S.

porte deux lames correspondant aux pôles de la batterie.

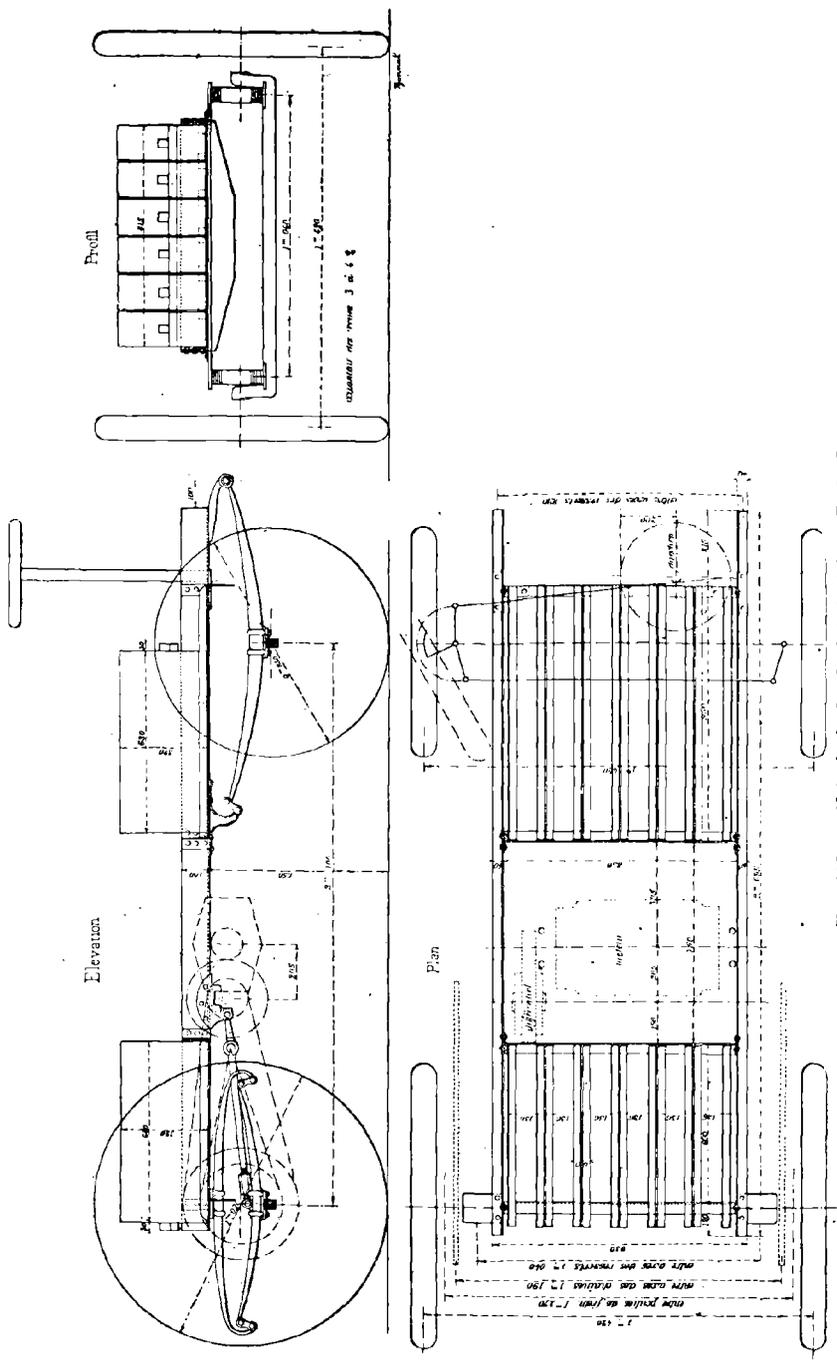


FIG. 418. — Châssis du landaulet électrique B. G. S.

Toutes les voitures construites par cette Société et vendues par la Maison Parisienne ne diffèrent entre elles que par la forme de la caisse, le poids de la batterie et la puissance du moteur. La figure 118 donne une vue complète du châssis d'un landaulet électrique.

Nous donnerons ici la description d'un duc à deux places, construit pour la Société des automobiles Créanche, du fourgon électrique et de la pompe des sapeurs-pompiers de Paris et celle de la voiture du critérium de 1900.

DUK A DEUX PLACES. — Le châssis, dont la figure 119 est une vue en plan, est constitué partie en acier, partie

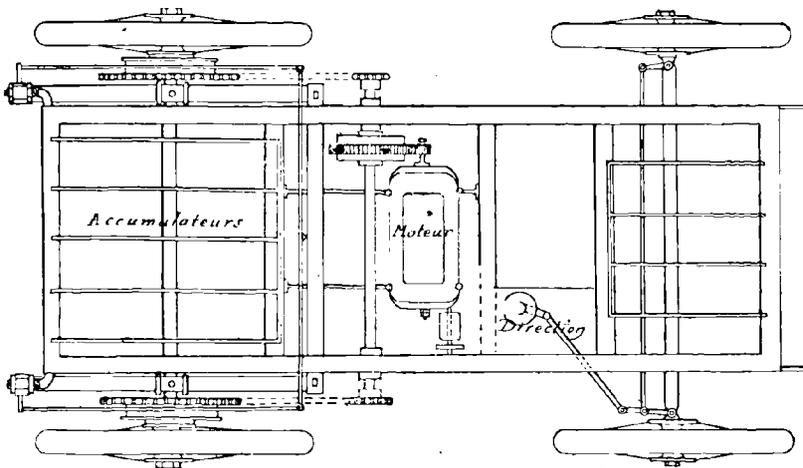


FIG. 119. — Châssis du duc à deux places B. G. S.

en bois; il est suspendu sur les essieux par quatre ressorts. Les dimensions d'encombrement sont les suivantes ⁽¹⁾:

Longueur totale.....	1 ^m ,98
Distance entre les extrémités des fusées.....	1 ^m ,30
Largeur de la voie.....	1 ^m ,12
Distance d'axe en axe des roues.....	1 ^m ,33

⁽¹⁾ *La Locomotion automobile*, 1900.

Le moteur B. G. S., type TO pèse 35 kilogs; la puissance normale absorbée, est de 900 watts, soit de 90 volts et 10 ampères, avec une vitesse de 1.200 tours.

En dehors du frein électrique, la voiture est munie d'un premier frein agissant sur le différentiel et d'un second à enroulement qui freine sur les roues arrière.

Direction. — La direction à essieu brisé est commandée par un volant placé à la partie supérieure d'une tige inclinée vers le siège; elle est à rotules et à roulement à billes.

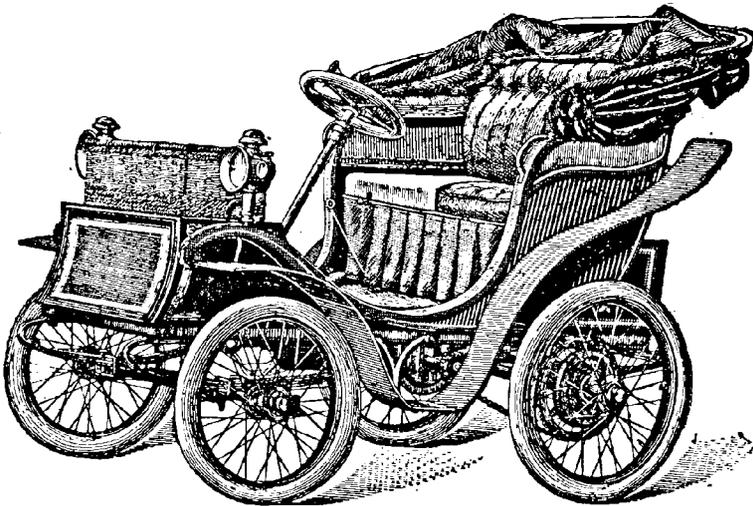


FIG. 120. — Duc à deux places B. G. S.

La voiture (*fig.* 120) est munie d'un voltmètre et d'un ampèremètre Desruelles, placés à l'avant.

Son poids, sans la capote, est de 675 kilogs; par suite de la simplicité de sa construction mécanique, elle est facile à conduire et à soigner et peut faire une bonne voiturette de tourisme.

Les accumulateurs sont du type V 11; ils sont au nombre de 44 éléments, pesant 260 kilogs, soit 5^{kg},9 par accu-

mulateur; la capacité est de 80 ampères-heures, au régime de cinq heures, représentant 13,56 ampères-heures par kilogramme de poids total.

La batterie est renfermée en sept boîtes, dont trois sont à l'avant de la voiture et quatre à l'arrière.

FOURGON ÉLECTRIQUE DU RÉGIMENT DES SAPEURS-POMPIERS A PARIS (1). — *Caisse*. — La caisse du fourgon peut contenir six personnes, deux sur le siège placés à l'avant, et deux sur chacun des deux sièges, placés dos à dos à l'arrière de la voiture. C'est sous cette dernière partie de la caisse que se trouve placé le dévidoir porté sur deux roues spéciales avec rayons en acier.

Chaque extrémité de l'essieu du dévidoir porte un tourillon qui vient reposer dans un anneau supporté par deux chaînes, dont l'une est reliée au châssis et l'autre à un

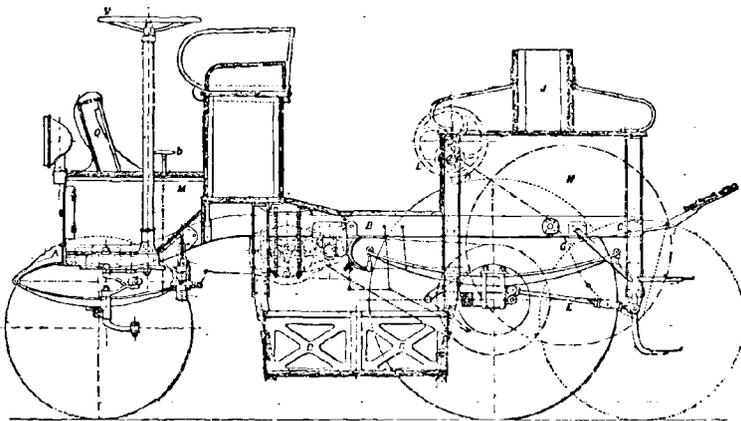


FIG. 121. — Fourgon électrique des sapeurs-pompiers de Paris (Élévation).

treuil placé sous le siège arrière, et manœuvré par un volant que l'on voit sur la figure, sur le côté de la banquette (*fig.* 121).

(1) *La Locomotion automobile*, 1899.

Ce dévidoir est muni d'une flèche de traction; arrivé sur le lieu d'un incendie, il suffit de manœuvrer le treuil pour faire abaisser les roues jusqu'à terre; on détache ensuite l'essieu des anneaux qui le maintiennent, et l'on peut, par la flèche, le traîner jusqu'à la prise d'eau. Sur le tambour du dévidoir, il y a 160 mètres de tuyau de 70 millimètres; en plus de celui-ci, la caisse formant dossier aux deux sièges de l'arrière contient 80 mètres de tuyau de 40 millimètres, et trois lances.

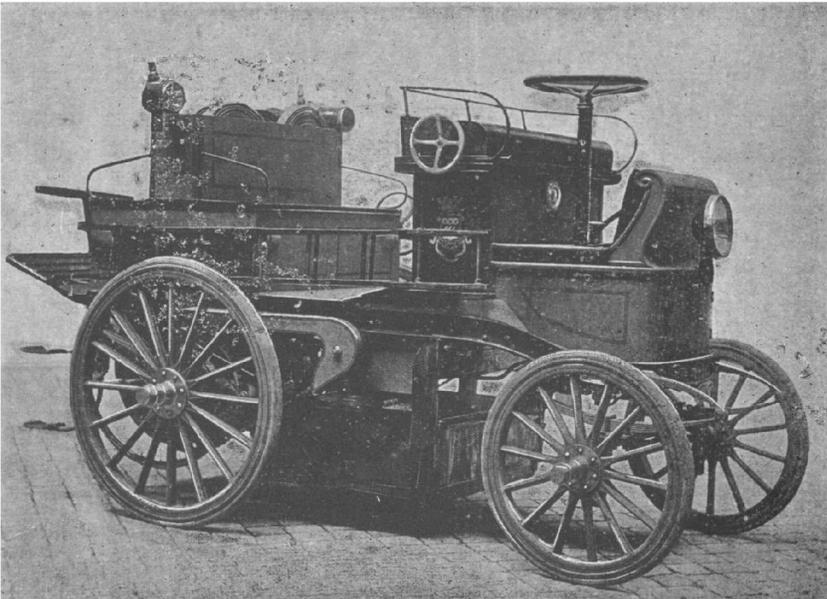


FIG. 122. — Fourgon électrique des sapeurs-pompiers de Paris.

Châssis. — La caisse du fourgon est supportée par un châssis cintré en acier en \square ; il repose sur les essieux par des ressorts triples à l'avant, et simples à l'arrière; l'essieu de l'avant-train est un essieu brisé.

La puissance normale du moteur est de 4.500 watts, avec

une vitesse de 550 tours; son poids est de 180 kilogrammes.

La batterie d'accumulateurs est du type V 19.

La capacité d'un élément V 19 est de 150 ampères-heures, au débit de 35 ampères; le poids total de la batterie, de 44 éléments, est de 520 kilogs; pour la facilité de la charge et de l'exploitation les accumulateurs sont renfermés dans la caisse placée sous la voiture; cette caisse est suspendue au châssis par des ressorts.

Poids. — Le poids brut du fourgon est de 1.740 kilogrammes; il s'élève à 2.400 kilogs lorsqu'il porte tout le matériel et le personnel à transporter.

Appareillage. — La voiture est munie d'un voltmètre apériodique Desruelles, de 120 volts, et d'un ampèremètre apériodique de 100 ampères de la même marque. En plus des appareils d'éclairage ordinaire de la voiture, il y a une prise de courant pour deux lampes à arc de 10 ampères, afin d'éclairer au besoin le lieu du sinistre.

POMPE ÉLECTRIQUE DES SAPEURS-POMPIERS (*fig.* 122 et 123). — Elle est constituée en principe par une voiture à traction électrique portant une pompe, une bêche, un dévidoir et une échelle. Le moteur est du type T3.

La batterie est composée de 44 éléments B. G. S. type V25, pesant chacun 14,6 kgs et ayant une capacité de 197 ampères-heures au régime de 40 ampères.

La transmission et le réglage sont les mêmes que dans les autres voitures; les vitesses varient de 8 à 25 km. à l'heure. Le poids total du véhicule est de 3.000 kilogs.

Afin de pouvoir alimenter d'eau instantanément la lance d'incendie, la pompe, qui est actionnée à l'arrêt par le moteur de traction au moyen d'un débrayage sur les roues et d'un embrayage sur elle, puise dans la bêche de la voiture, dont la contenance est d'environ 400 litres, pendant qu'on raccorde à la canalisation de la ville.

VOITURE DU CRITÉRIUM DE 1900. — Cette voiture est parvenue en mai 1900 à couvrir 262 kilomètres. Le trajet choisi

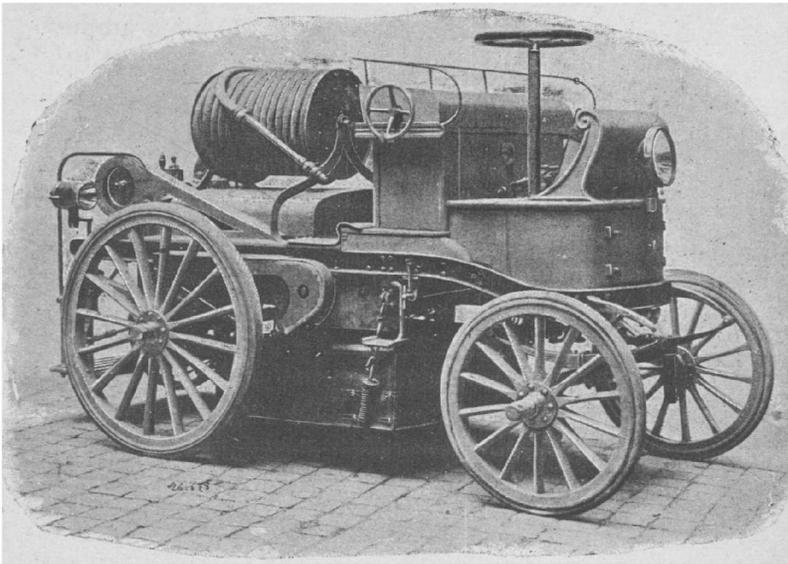


FIG. 123. — Pompe électrique des sapeurs-pompiers de Paris (Vue d'avant).

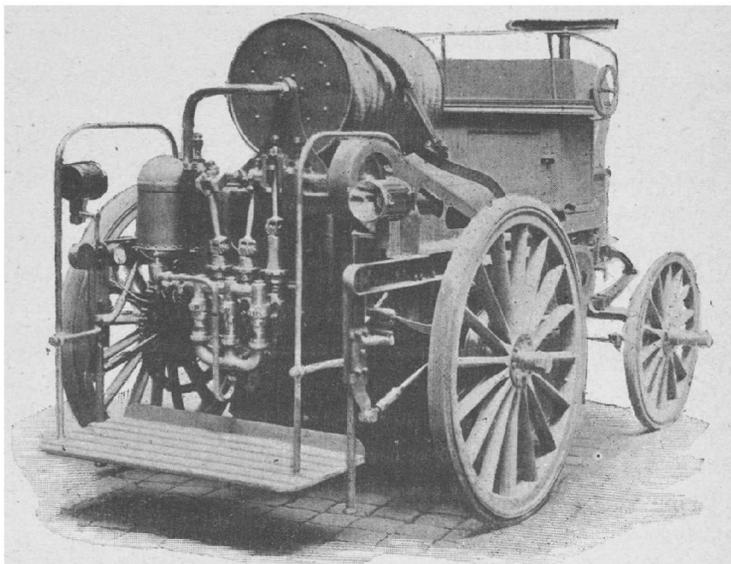


FIG. 124. — Pompe électrique des sapeurs-pompiers de Paris (Vue d'arrière).

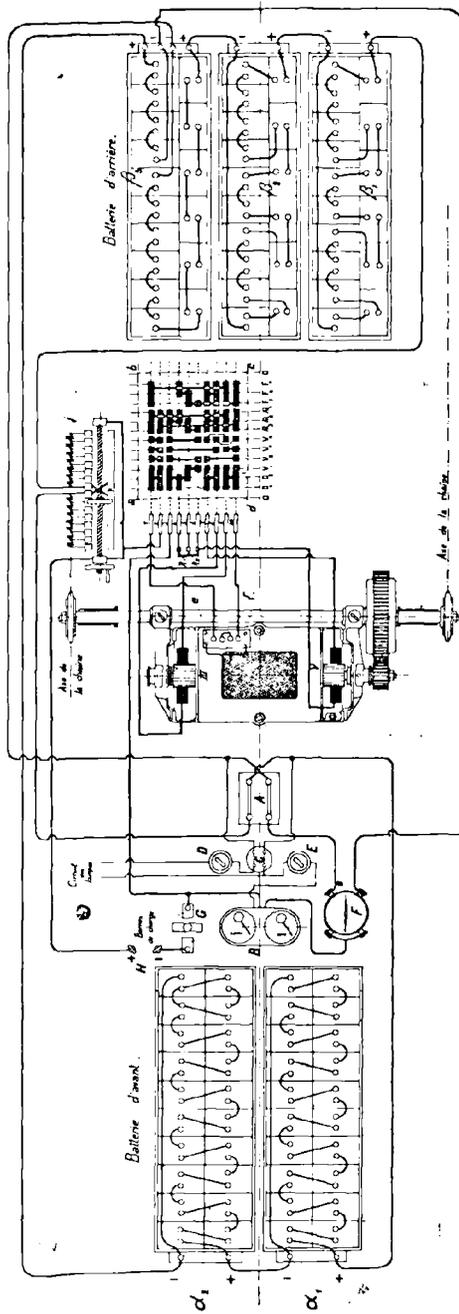


FIG. 125. — Équipement électrique de la voiture B. G. S. du Critérium de 1900.

était celui de Paris à Dijon, très accidenté vers Tonnerre ; la voiture pesait 2.300 kilogs dont 1.260 kilogs d'accumulateurs, répartis en deux batteries de 44 éléments accouplés en quantité ; chaque élément pesait 14 kilogs, avec une capacité de 325 ampères-heures au régime de 16 heures ; ce régime était exigé par la longueur du parcours que l'on se proposait de couvrir.

En marche normale à l'allure de 20 kilomètres à l'heure en palier sur bonne route, la consommation était de 40 ampères sous 90 volts.

La figure 125 donne la vue de l'appareillage de cette voiture avec un développement du combinateur, une des batteries est répartie dans les boîtes α_1 , α_2 et β_3 et l'autre dans les boîtes β_1 , β_2 , β_3 .

Une résistance I (*fig.* 125) permettait de répartir également la charge de la voiture sur les deux groupes. En outre, il était possible de récupérer pendant les descentes une assez grande quantité d'énergie, en même temps qu'on produisait ainsi le freinage :

Voiture II. Monnard⁽¹⁾. — La voiture Monnard est constituée par un phaéton à cinq places à arrière-train moteur avec possibilité d'avoir indifféremment le train moteur à l'avant ou à l'arrière.

Le châssis est en tubes, et se trouve suspendu au-dessus des ressorts, doubles à l'avant et simples à l'arrière, ceux-ci étant réunis par un ressort transversal (*fig.* 126) ; ce châssis est construit de telle sorte qu'il permet de mettre à volonté un phaéton, une wagonnette ou un dog-car.

Roulements. — Afin de diminuer l'effort de traction, Monnard a adopté des roulements à rouleaux, rejetant ceux à billes pour la raison suivante :

Dans les roulements à billes, celles-ci, tournant en sens

⁽¹⁾ *La Locomotion automobile*, 1899

inverse les unes des autres et ne se rencontrant que sur

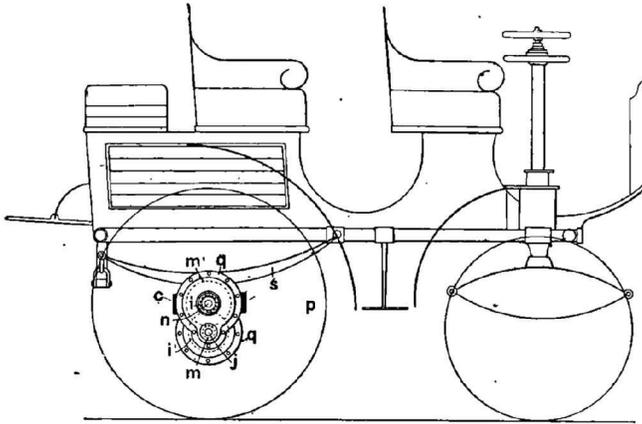


FIG. 125. — Voiture Monnard.

un seul point, produisent nécessairement un coincement qui

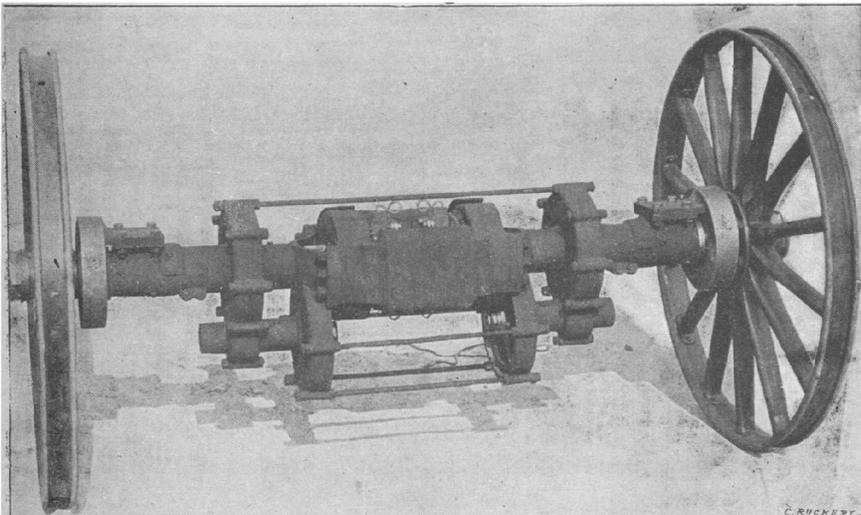


FIG. 127. — Arrière-train moteur Monnard.

est d'autant plus grand que la voiture est plus lourde, ce

poids tendant à écarter les billes qui se trouvent à la partie inférieure.

Le système de roulement adopté dans le cas présent comporte des rouleaux en acier trempé de 140 millimètres de long sur 8 millimètres de diamètre; entre ces rouleaux se trouvent placés, en dessus, des petits rouleaux intermédiaires en acier dur de 3^{mm},5 de diamètre, sur la même longueur que les gros rouleaux; seulement, à chaque extrémité, en plus des 140 millimètres, ils se terminent par une partie plus large, d'un diamètre de 5^{mm},99, se déplaçant dans un anneau dont la circonférence donne juste le développement des extrémités des petits rouleaux pendant la marche; avec un pareil modèle, la charge est très bien répartie; il n'y a aucun coincement, les rouleaux se touchant par une ligne droite de 140 millimètres de long, ni aucun glissement.

Le diamètre de l'axe des roulements des induits est de 25 millimètres; les gros rouleaux qui se déplacent dessus tournent donc avec une vitesse $\frac{25}{8} = 3,12$ fois plus grande, et les petits rouleaux avec une vitesse égale à 2,29 fois celle des gros ou 7,14 fois plus grande que celle de l'axe. Pour un tour de celui-ci, nous aurons 7,14 tours des petits rouleaux, ce qui, à 5^{mm},99 de diamètre donne :

$$\pi \times 5,99 \times 7,14 = 134^{\text{mm}},4 \text{ de course,}$$

valeur correspondant à la circonférence de la bague qui a 42^{mm},79 de diamètre.

D'après les résultats obtenus par le constructeur de ces roulements, le coefficient K serait égal à 0,0093, au lieu de 0,02. Les chemises en acier qui contiennent ces roulements sont remplies d'huile et rendues étanches par des cuirs gras.

Malgré tout, il est peu probable que ces rouleaux aient pu donner la consommation spécifique très faible qu'annonçait Monnard.

Moteur. — Le moteur est du type différentiel à deux induits en anneau se déplaçant dans un champ magnétique unique.

La figure 128 représente la coupe, vue suivant le plus grand axe, de la moitié du moteur et la coupe suivant XX'. Les deux induits sont placés sur le même arbre, mais sont fous sur cet arbre et se déplacent sur des roulements à rouleaux; les collecteurs V et V' étant placés intérieurement,

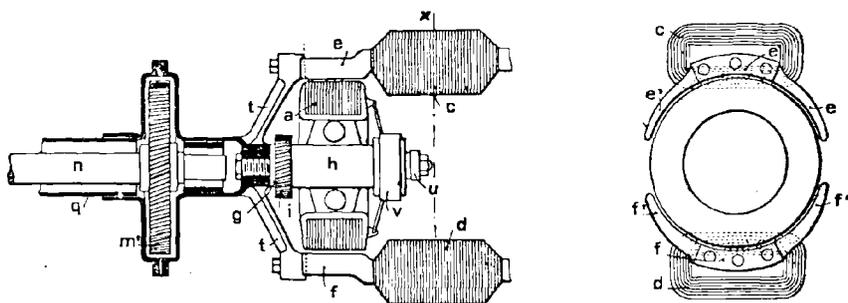


FIG. 128. — Moteur de la voiture H. Monnard (Coupe).

les balais en charbon sont placés verticalement dans une gaine et sont appuyés sur le collecteur par des ressorts, r , r' , r'' , r''' (fig. 129), qui pénètrent dans une encoche faite à la partie supérieure du charbon.

Chaque induit actionne la roue correspondante par l'intermédiaire d'un pignon I, qui attaque une roue dentée commandant l'essieu par un train d'engrenage m . Ce dispositif a été nécessité parce qu'on a tenu à avoir l'axe du moteur situé dans l'axe de l'essieu, ce qui permet à celui-ci de supporter seul le moteur, qui pèse 55 kilogrammes; il est entouré, ainsi que le reste du train, d'un carter en partinium, carter qui est d'une résistance mécanique assez grande pour résister à la flexion.

L'inducteur ne comporte pas de culasse, les enroulements c et d (fig. 128) étant faits autour des pièces polaires e et f ; par suite de ce dispositif, le circuit magnétique est fermé

simultanément par les deux induits, qui sont traversés par

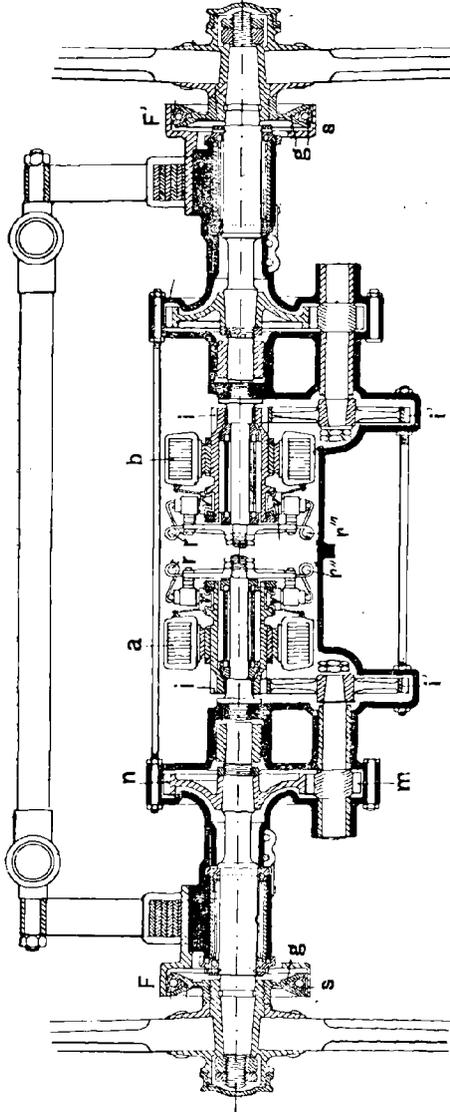


FIG. 129. — Arrière-train moteur Monnard, détails de la transmission, des roulements et des freins.

le même flux. Le moteur tourne avec une vitesse de 600 tours par minute.

Ce système à circuit magnétique fermé par les deux induits en même temps permet d'avoir des anneaux d'un faible diamètre, car on peut assimiler ce moteur à un autre de même puissance mais à induit d'un diamètre double, ce qui, pour une même force contre-électromotrice produite,

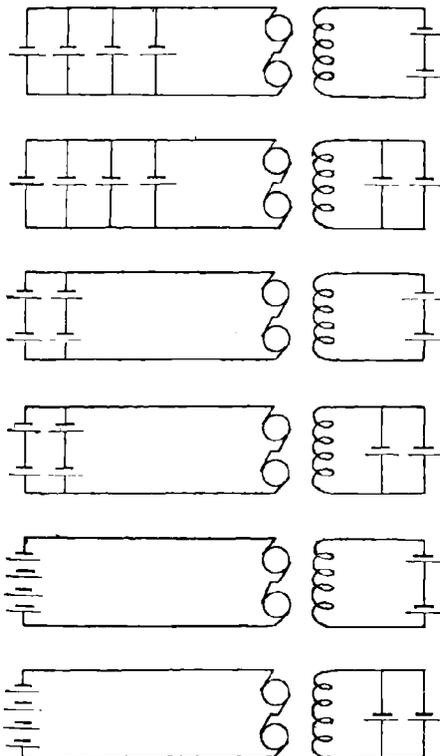


FIG. 130. — Schéma du montage de la voiture Monnard.

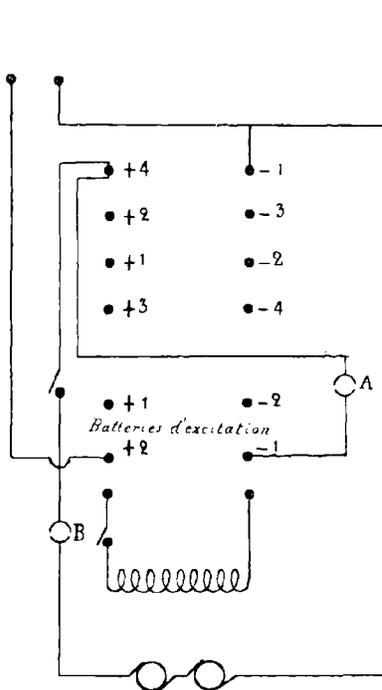


FIG. 131. — Schéma des couplages du combinateur Monnard

donnerait une vitesse circonférentielle deux fois plus grande ; les deux induits étant toujours montés en tension on a, dans les mêmes conditions, deux fois moins de fils qu'avec un montage en parallèle, ce qui réduit l'entrefer de moitié et diminue, par suite, la résistance du moteur entre les balais.

L'excitation est séparée, permettant ainsi la récupération.

Combinateur. — Le combinateur est composé d'un cylindre en bois de gaïac, sur lequel sont fixées des lames de cuivre

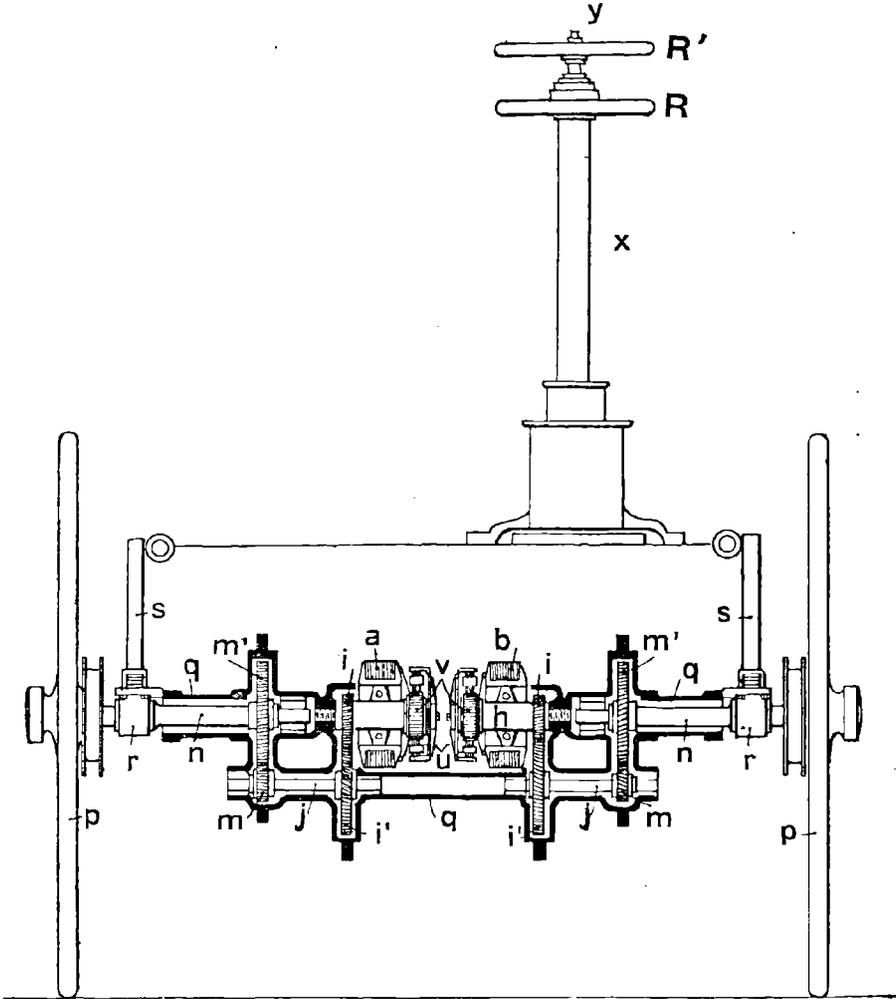


FIG. 132. — Coupe de la voiture Monnard.

servant à effectuer les différents couplages entre les batteries; le montage est fait suivant le schéma de la figure 131.

Le courant se ferme en A, pour la charge, à l'aide d'une fiche, et en B, pour la décharge, à l'aide de la même fiche que l'on retire de A. On peut obtenir par ce combinateur 6 vitesses en avant et autant en arrière; la figure 130 indique les différentes combinaisons obtenues pour les vitesses en avant; les vitesses en arrière sont dues aux mêmes couplages, mais le courant est en sens inverse dans les moteurs.

Le combinateur est commandé par un volant R (*fig.* 132); des crans sont taillés dans ce volant et, se déplaçant devant un index, indiquent les différentes positions pour les changements de vitesse.

Au-dessus de ce volant R est un volant de direction R' qui actionne un axe Y concentrique à l'axe X du combinateur; à l'extrémité inférieure de Y se trouvent placés, l'un au-dessus de l'autre, deux pignons de 15 millimètres de hauteur, qui attaquent un secteur denté de 30 millimètres de haut, donnant la direction à l'avant-train.

Chacun des pignons est mobile séparément autour de y , ce qui permet, en cas d'usure, de les décaler dans un plan horizontal l'un par rapport à l'autre, afin que le secteur soit toujours bien attaqué sans aucun jeu, de façon à éviter les embardées. Comme on le voit, les appareils de conduite de la voiture sont réunis en un seul endroit sous la main du conducteur.

Freins. — La voiture dispose de trois systèmes de freinage : 1° un frein mécanique ordinaire; 2° un frein à sabots d'un type particulier; 3° un frein électrique.

Le frein à sabots est concentrique aux moyeux et se voit en F et F' (*fig.* 129); il se compose d'une série de petits sabots s en gaïac enfilés sur un câblin en fil d'acier, et séparés les uns des autres par des tubes en cuivre, de longueur sensiblement égale à celle d'un sabot; les deux sabots extrêmes sont réunis par un ressort bandé en acier; à la partie supérieure du carter contenant ce frein se trouve un petit levier relié à une pédale placée à côté du combinateur;

par l'action du ressort, lorsque le levier est relevé, les sabots ne frottent pas ; mais sitôt que l'on appuie sur la pédale, le levier s'abaisse et applique le premier sabot sur la gorge *g* fixé sur le moyeu, les autres sabots sont entraînés à la suite et produisent le freinage ; en continuant d'enfoncer la pédale, on coupe le courant des accumulateurs.

Le freinage électrique s'obtient par la mise en court-circuit de l'induit ; on peut l'obtenir soit brusquement, si l'on marche à la vitesse maximum, soit en passant par les vitesses à 40 et à 20 volts, ce qui donne encore récupération sur la batterie. En pratique on manœuvre d'abord le frein à sabots, on coupe le courant, et on opère le freinage électrique ; l'arrêt est ainsi immédiat.

Roues. — Les roues de la voiture sont garnies de pneumatiques ; les boîtes à rouleaux se trouvent dans les moyeux pour l'avant-train et en *r* (*fig. 132*) pour l'arrière-train.

La voiture pesait, avec 5 personnes, 4.100 kilogrammes.

Voiture du capitaine Draullette, dite autocab⁽¹⁾. —

La caisse, qui présente des dispositions tout à fait nouvelles, est à la fois originale et pratique ; sa forme est celle du cab, avec siège du conducteur à l'arrière. L'entrée des voyageurs est à l'avant, entre les deux roues directrices, et contribue à donner à la voiture un profil nouveau, qui fait que l'œil n'y cherche pas le cheval absent. Le siège intérieur présente une forme semi-circulaire qui permet à quatre personnes de se tenir assises sans éprouver la moindre gêne.

Les deux roues directrices sont à l'avant et ont un diamètre de 0^m,75. Les deux roues motrices sont à l'arrière et ont un diamètre de 1^m,30. Grâce à une suspension bien comprise les roues ont pu être munies de bandages en caoutchouc plein qui, en coûtant moins cher que les pneus et

(¹) *La Locomotion automobile*, 1899.

en demandant beaucoup moins d'entretien, présentent l'avantage d'offrir plus de durée.

Le châssis, destiné à relier les deux essieux et à assurer la rigidité de l'ensemble de la voiture, est constitué par un cadre en fer à \square garni de bois intérieurement, ce qui permet d'arriver sous un faible poids à une très grande solidité. Porté à l'avant sur des ressorts, il repose à l'arrière directement sur l'essieu, où il contribue à supporter le mécanisme.



FIG. 133. — Autocab Draullette.

Le moteur est en série à deux pôles ; il comporte deux enroulements induits et deux enroulements inducteurs susceptibles d'être couplés de façons variées. Les deux enroulements induits sont égaux et correspondent chacun à un collecteur. Par suite de ce dispositif les différentes vitesses sont obtenues par les seuls couplages des quatre enroulements. Les accumulateurs, par suite, restent tou-

jours groupés dans les meilleures conditions de marche, c'est-à-dire en tension.

Le moteur, articulé autour de l'arbre de commande, est soutenu à l'arrière par un ressort sur lequel il repose par l'intermédiaire d'un rouleau ; il peut, de la sorte, se mouvoir sans cesser d'engrener dans de bonnes conditions.

Un petit pignon de cuir, claveté sur l'arbre des induits, engrène avec la couronne du différentiel ; de là le mouvement est communiqué aux roues par l'intermédiaire de l'arbre de commande et de 2 pignons attaquant directement deux grandes couronnes à denture intérieure qui se trouvent boulonnées sur les rais.

Le rapport total de réduction est de 26. L'entretien du mécanisme est très facile, tous les organes en étant accessibles.

Le combinateur, placé sur le devant du siège, est d'une simplicité remarquable : il se compose essentiellement d'un cylindre de buis, sur lequel sont encastrées des plaques de cuivre, d'un disque avec un galet indicateur de position et d'un volant de manœuvre. Il se meut autour d'un tube fixe en acier, à l'intérieur duquel se déplace la tige de la direction.

Les différents couplages produisent quatre vitesses pour la marche avant, une pour la marche arrière et assurent un freinage électrique puissant en quatre phases de valeur progressive. La disposition de l'ensemble est telle que l'on est obligé de passer par l'arrêt, puis par le freinage, pour effectuer la marche arrière.

Les différentes vitesses avant sont obtenues de la façon suivante :

Première vitesse : les quatre enroulements en tension plus un rhéostat de démarrage en circuit ;

Deuxième vitesse : la même chose, mais pas de rhéostat ;

Troisième vitesse : les deux induits en tension, les deux inducteurs en quantité ;

Quatrième vitesse : tous les enroulements en quantité.

Marche arrière : le dispositif est le même que pour la première vitesse avant ; mais le courant passe en sens inverse dans les enroulements induits.

Freinage électrique. — Le freinage électrique se fait ici sans récupération et ne s'effectue qu'après l'interruption préalable du courant.

Il comporte quatre phases :

Première phase : Un inducteur est supprimé, les deux enroulements induits travaillent sur la résistance et sur le second inducteur ;

Deuxième phase : Les deux inducteurs sont en tension ; ils augmentent ainsi la résistance du circuit sur lequel travaillent, comme précédemment, les deux induits ;

Troisième phase : Un induit est en court-circuit sur un inducteur, l'autre sur l'autre inducteur et la résistance.

Quatrième phase : Les deux induits sont en court-circuit séparément sur les inducteurs.

Le freinage électrique n'est jamais, en principe, employé seul pour obtenir l'arrêt de la voiture ; lorsqu'on agit au moyen de la pédale sur les freins à enroulement des roues arrière, on intéresse en même temps et automatiquement le freinage électrique. De plus, la combinaison est telle que le freinage électrique devient d'autant plus énergique que l'on appuie plus fortement sur la pédale et, par conséquent, que l'on serre davantage le frein mécanique. On ne saurait trop insister sur l'efficacité pratique d'un tel dispositif. Si l'un des freins n'agit pas, par suite d'une circonstance quelconque, l'autre suffit pour arrêter. On obtient toujours un freinage progressif et sans inconvénient pour le bon fonctionnement des organes, l'arrêt se produisant à la fois sur le moteur et sur les roues.

De plus, on supprime l'interrupteur ordinairement employé pour couper le courant. En effet, lorsqu'on agit sur la pédale, on fait automatiquement revenir le combinateur au

zéro, puis au freinage, et on coupe, par conséquent, le courant.

Ce dispositif a encore l'avantage d'éviter certaines fausses manœuvres, telles que celles qui se produisent lorsque, étant à la grande vitesse, on a arrêté une voiture avec le frein mécanique coupe-circuit; dans ce cas, en effet, si le conducteur oublie son combinateur à la position de grande vitesse et qu'il laisse relever la pédale de frein, il se produit un démarrage foudroyant de la voiture qui peut être la cause d'un accident et qui, en tous cas, est fort préjudiciable au moteur et aux accumulateurs.

La combinaison entre le frein mécanique et le combinateur est telle que, en manœuvrant le volant du combinateur à la main, on peut faire agir le frein électrique sans serrer le frein mécanique. Ce dispositif est utilisé avec beaucoup d'avantage dans les descentes et, grâce aux diverses valeurs progressives du frein électrique, on peut laisser rouler la voiture à l'allure convenable, qui se maintient automatiquement à la valeur fixée, sans qu'il soit aucunement besoin d'employer le frein mécanique dans les descentes.

La direction est obtenue par un guidon qui actionne une tige passant par l'axe du combinateur; cette tige porte à la partie inférieure une roue dentée qui, par l'intermédiaire d'une chaîne, fait tourner une seconde roue dentée située sur l'avant-train; le rapport entre ces deux pignons est de 2,75 à 1.

Grâce à la disposition de l'attaque des roues directrices, la voiture peut, avec un empattement de 1^m,80, tourner dans un rayon de moins de 2^m,50.

La batterie, par sa position dans la voiture, présente l'avantage d'être dissimulée. Elle est, en effet, logée sous la banquette, moitié à droite, moitié à gauche; tous les éléments reposent sur le plancher de la caisse; ils sont, par conséquent, des micux suspendus, ce qui contribue à

assurer leur conservation et à diminuer les frais d'entretien.

La voiture en charge avec voyageurs pèse 1.200 kilogrammes, sur lesquels on peut compter, pour quatre voyageurs et un conducteur, un poids utile d'environ 350 kilogrammes.

Voiture Vedovelli et Priestley ⁽¹⁾. — Cette voiture, dont nous avons exposé le principe de direction dans le cha-

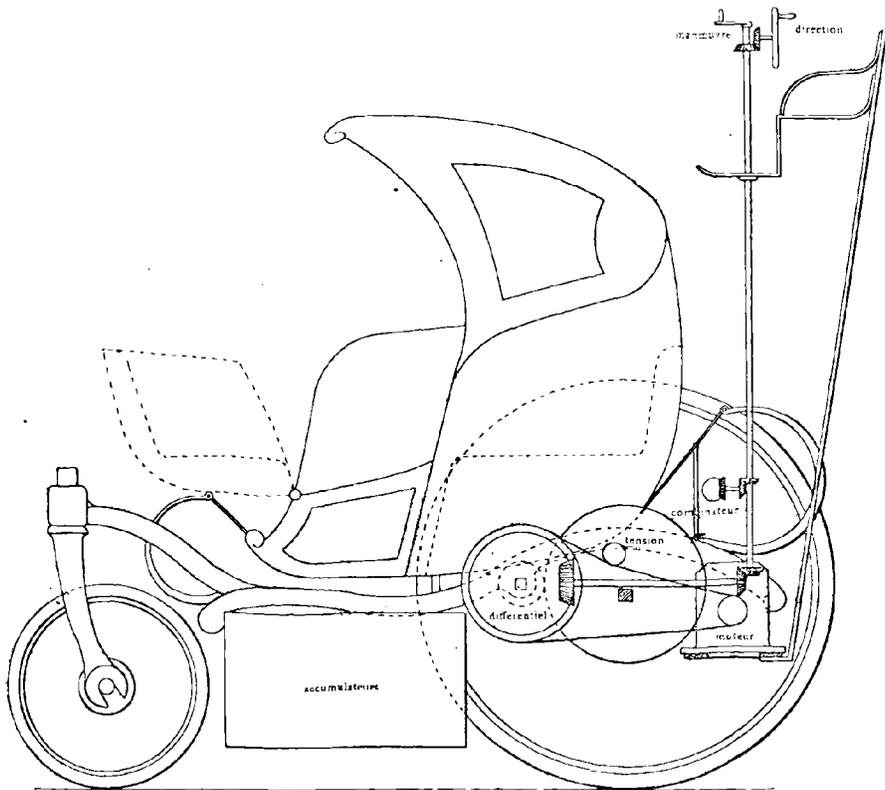


FIG. 134. — Voiture Vedovelli et Priestley (Élévation).

pitre x, avait été faite, lors de l'Exposition des Tuileries en 1899, surtout en vue d'appliquer ce système; elle fut,

⁽¹⁾ *La Locomotion automobile*, 1899.

comme beaucoup d'autres, la seule qui ait été jamais construite. Sa forme était celle d'un cab pouvant, à volonté, devenir un vis-à-vis à quatre places.

Outre le système particulier de direction, la voiture Vedovelli présente encore une autre particularité : elle est à trois roues. Jusque là cette forme avait été négligée, parce qu'une roue directrice unique n'a pas une adhérence suffisante pour diriger ; de plus, la voiture est plus prompte à verser, si le

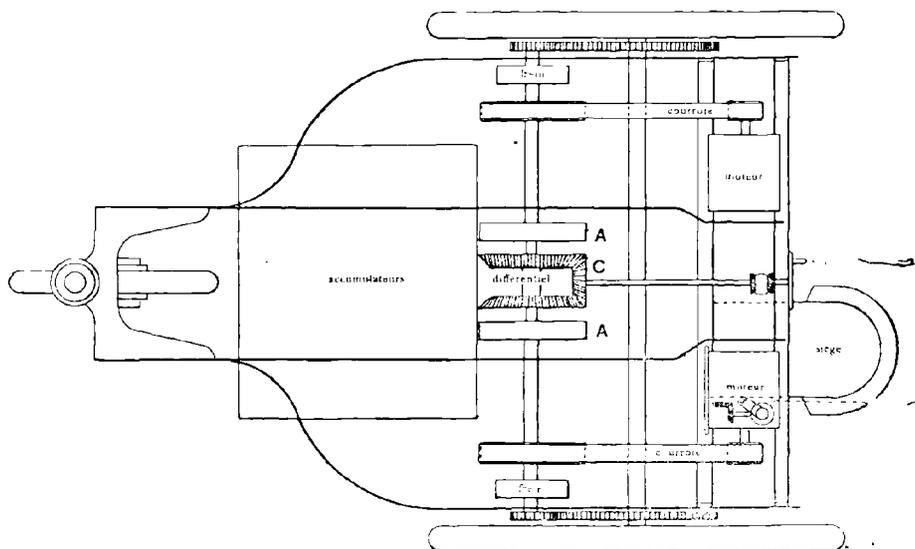


FIG. 135. — Voiture Vedovelli et Priestley (Plan).

centre de gravité n'est pas très bien établi ; mais comme, dans ce cas, la direction se fait par le train moteur, et que, par la répartition des organes, le centre de gravité se trouve en dessous de l'essieu et en avant, les constructeurs ont mis leur voiture sur un châssis porté par trois roues : deux de grande dimension à l'arrière et une petite à l'avant, prise dans une chape folle, comme les roues des tricycles-chariots.

Combinateur. — Le combinateur (*fig. 136*) diffère de ceux

habituellement rencontrés sur les autres voitures; au lieu d'être un cylindre en matière isolante, avec des touches, se déplaçant entre des contacts, c'est un plateau P sur lequel frottent, en dessus et en dessous, des balais en charbon *b* et *b'* et qui, par des touches convenablement disposées, établit les connexions voulues entre les balais, en se déplaçant horizontalement; il est commandé par un guidon placé sur le siège, du côté opposé au volant de direction et à la même hauteur.

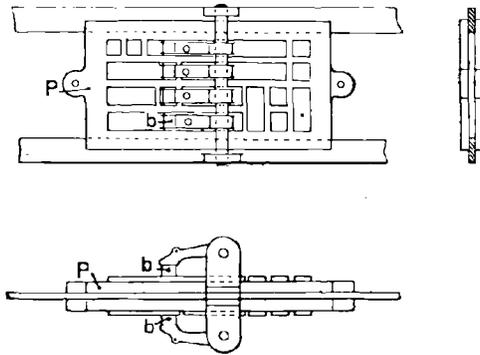


FIG. 136. — Combinateur Vedovelli et Priestley.

Les différentes vitesses sont obtenues en couplant les moteurs en série ou en parallèle et en intercalant des résistances variables.

Accumulateurs. — Les accumulateurs Blot-Fulmen sont placés dans une caisse au milieu et en dessous du châssis.

Prévoyant le cas où l'on veut faire une excursion assez longue, Vedovelli et Priestley ont ajouté une petite usine de charge portable, qui se place à l'arrière de la voiture.

Cet accessoire pèse 140 kilogrammes; il est constitué par un moteur de Dion de 1 ch. $\frac{3}{4}$, commandant directement une dynamo shunt pouvant fournir une puissance de 1.400 watts (soit 110 volts \times 11 ampères).

Le moteur à pétrole fonctionnant toujours pour produire une puissance constante, la carburation est réglée une fois pour toutes; le courant produit par la dynamo est employé à charger les accumulateurs pendant la marche, et réglé par le combinateur; un disjoncteur coupe le courant au cas où, pour une raison quelconque, la différence de potentiel aux bornes de la dynamo deviendrait inférieure à celle de la batterie, afin d'éviter que les accumulateurs ne se déchargent dans la génératrice. Le moteur à pétrole marchant toujours à sa puissance maximum, c'est-à-dire dans les meilleures conditions, il n'y a que fort peu d'odeur en arrière de la voiture.

Tout ce groupe électrogène est enfermé dans une caisse en tôle portant une ouverture en dessus du cylindre du moteur et une autre un peu plus loin; dans cette dernière tourne un ventilateur mû par le moteur et qui, par aspiration, force l'air à circuler autour des ailettes et à les refroidir.

Freins. — Les freins, placés sur l'arbre de commande des roues, sont mis en action par le volant du combinateur, de telle sorte que les moteurs sont retirés du circuit avant le freinage. Il est, par suite, impossible de démarrer en grande vitesse; de plus, un frein au pied coupe le courant, qui ne peut être refermé que si le combinateur est remis à l'arrêt; il en est de même pour la marche en arrière.

Voiture Meynier et Legros ⁽¹⁾. — Cette voiture est surtout remarquable par son moteur et son combinateur.

Le moteur est du type différentiel à deux induits indépendants se déplaçant dans un champ magnétique unique; chaque induit est constitué par un anneau de grand diamètre, supporté par un croisillon en forme d'étoile.

Le collecteur (*fig. 137*) est constitué par une série de touches disposées en forme de disque formant une des bases de chaque anneau. Les balais qui frottent sur ce collecteur ne sont

(1) *La Locomotion automobile*, 1900.

pas décalables (*fig. 138*). La forme des induits leur donne une surface de refroidissement assez grande et une vitesse périphérique énorme, bien que la vitesse angulaire soit faible. Par

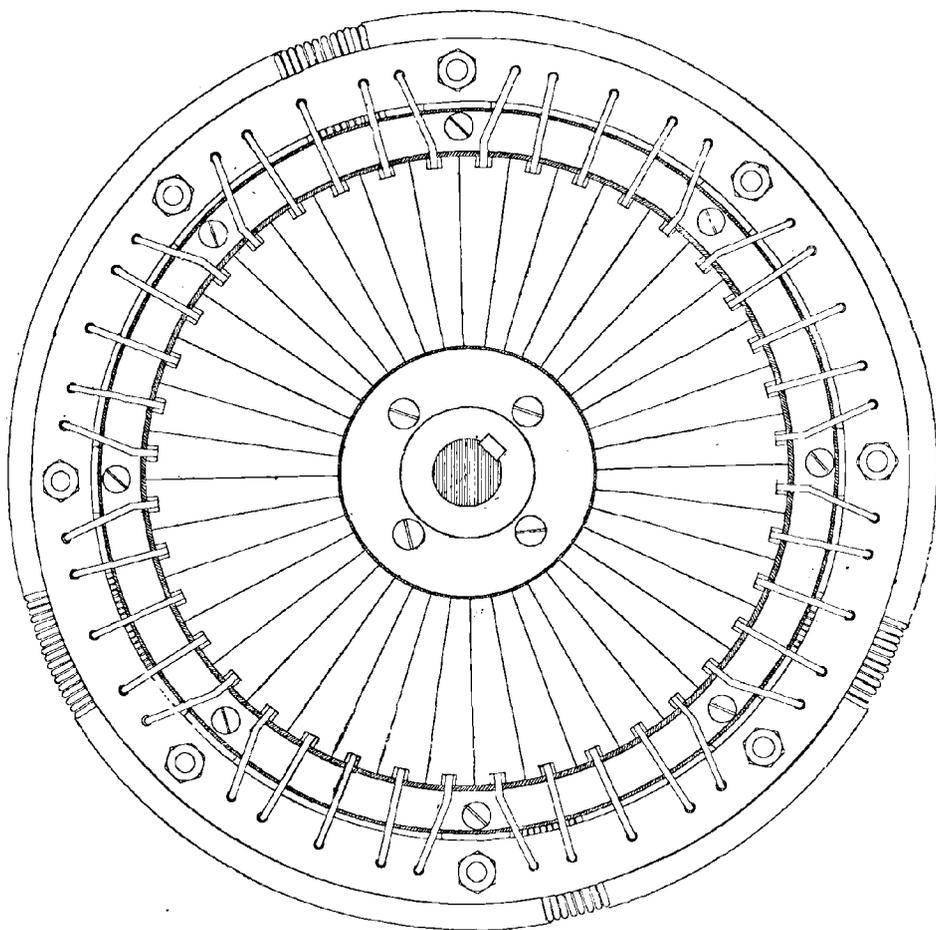


FIG. 137. — Moteur Meynier et Legros (Vue du collecteur).

suite du grand nombre de mètres à la seconde parcourus par un point placé à la périphérie de l'induit, les frottements sont particulièrement soignés; mais cette augmentation

donne une bonne ventilation qui permet d'atteindre de forts régimes sans un échauffement par trop considérable.

La faible vitesse angulaire permet de n'attaquer les roues qu'avec une seule réduction.

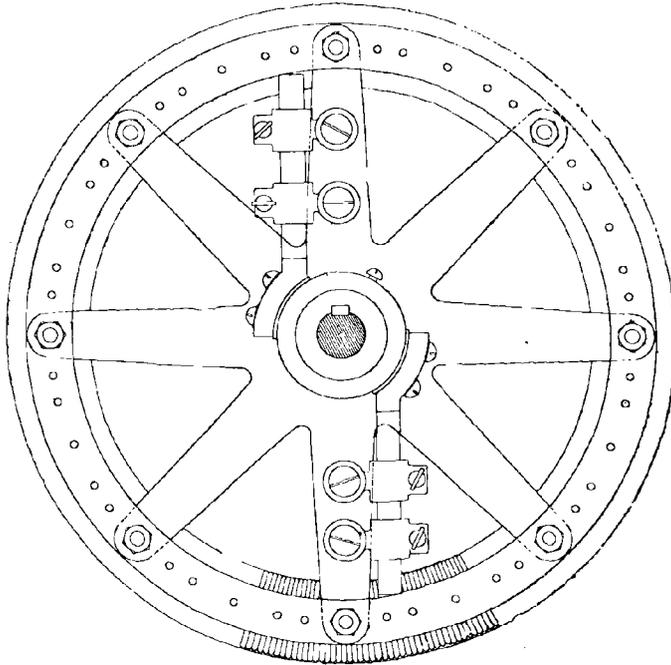


FIG. 138. — Moteur Meynier et Legros (Vue de l'anneau et de son support).

L'inducteur, intérieur à l'induit, (*fig. 139*) est du type bipolaire et excité en série. L'entrefer, vu l'absence de frettes à la partie interne de l'induit, est extrêmement faible. Les pièces polaires, qui sont d'une forme très simple, sont obtenues de forge et permettent l'emploi de fer de grande perméabilité magnétique, ce qui éloigne beaucoup l'état de saturation des inducteurs, qui n'est même pas atteint pour le régime maximum ; or c'est ce qu'on doit toujours chercher afin d'obtenir une grande variation du couple par rapport au courant.

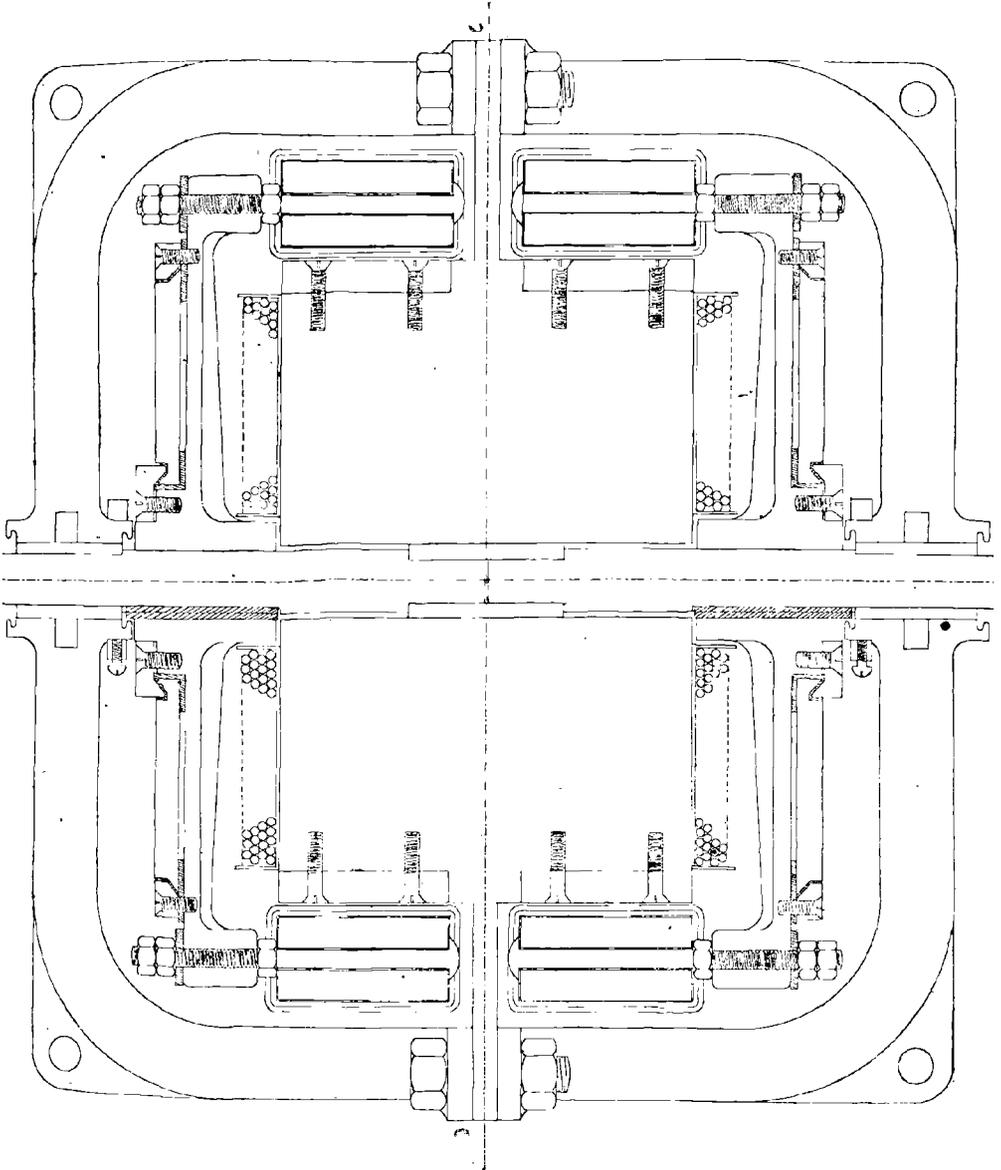


FIG. 139. — Coupe du moteur Meynier et Legros.

Par suite du champ intense obtenu, la vitesse angulaire est très faible. Le métal constituant l'inducteur étant le même que celui de la carcasse de l'induit, l'accroissement du champ magnétique produit par l'induit est contrebalancé. La réaction d'induit est donc très faible, ce qui évite le crachement des balais, qui ne peut être atteint que si les inducteurs étaient saturés, et encore ce point de saturation est-il atteint en même temps par l'induit.

Le poids du moteur, carter compris, est de 102 kilogrammes.

La consommation de la voiture en palier, à 24 kilomètres à l'heure, est de 2.600 watts environ sous 90 volts; à ce régime la surface de refroidissement est de 25 centimètres carrés par watt dépensé en effet Joule (RI^2) dans le fil induit, sa résistance étant de 0,03 ohm, et 7 centimètres carrés par watt dépensé dans le fil inducteur, dont la résistance est de 0,11 ohm.

Voici quelques chiffres qui peuvent donner une idée des caractéristiques du moteur :

Différence de potentiel	Rendement
93 volts	80 0/0
90 —	76 0/0

Le moteur serait capable de résister à un régime de 8.000 watts pendant un certain temps sans crainte de détériorations.

Tout l'ensemble du moteur est renfermé dans un carter en aluminium; les trois paliers des deux arbres induits, placés dans le prolongement l'un de l'autre, sont soutenus, l'un par l'inducteur, l'autre par deux ponts en aluminium, boulonnés entre eux avec les prolongements de l'inducteur. Ces ponts en aluminium sont munis à leurs extrémités de douilles s'enfilant, d'une part, sur l'essieu arrière, d'autre part sur un tube d'acier suspendu par un ressort à une traverse du truck.

Combinateur. — Cet appareil diffère essentiellement de ceux décrits jusqu'à présent; ceux-ci sont, en général, constitués par un cylindre en matière isolante portant des touches de cuivre sur lesquelles des balais de laiton ou de feuilles de cuivre frottent et établissent les contacts en se déplaçant concentriquement avec les touches. On a vu que l'inconvénient qui peut se produire dans ce cas est que, sous l'influence d'une rupture lente, avec une intensité de courant grande, l'énergie dépensée dans l'extra-courant, qui est proportionnelle au carré de l'intensité multiplié par le coefficient de self-induction du circuit ($W = 1/2 LI^2$), peut produire une légère fusion du métal, ce qui, par la suite, s'oppose au mouvement de rotation.

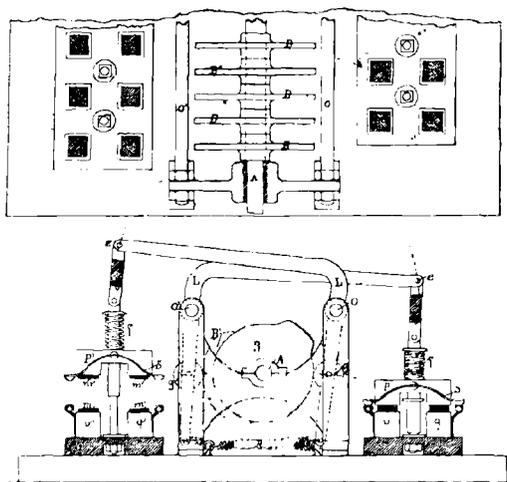


FIG. 140. — Combinateur Meynier et Legros.

Meynier et Legros font alors effectuer le mouvement dans un plan perpendiculaire au plan de contact.

L'appareil est constitué par un arbre A (*fig. 140*) portant un certain nombre de cames B, qui peuvent appuyer, soit à gauche, soit à droite, sur des galets mobiles *g*, fixés à des leviers L.

et L' ; ceux-ci sont poussés vers la came par des ressorts R , et portent à leur extrémité, au moyen d'une biellette isolée, des plots P en bronze portant des balais m , m' et coulissant sur un guide pour venir appuyer sur d'autres touches montées sur des socles isolants v et g . Ces pièces sont, en outre, munies de pare-étincelles fixés au bout du ressort s . C'est entre les galets a et b que se produisent la fermeture et la rupture du circuit, ce qui protège les balais m .

Ce combinateur, bien que plus compliqué que les autres, ne donne, paraît-il, aucun ennui d'entretien.

Le mouvement des cames est commandé par une transmission appropriée.

Les combinaisons qu'on peut effectuer sont assez nombreuses pour tous les besoins; ce sont les suivantes :

Position 0 : arrêt : toutes les connexions sont ouvertes, sauf sur le circuit des lampes ;

Position 1 : première vitesse : 2 batteries de 22 éléments en quantité, les deux induits en tension avec l'inducteur; c'est seulement pour cette vitesse que Meynier se sert du couplage défectueux des batteries en quantité; l'inconvénient est ici un peu atténué, cette vitesse étant peu couramment employée ;

Position 2 : deuxième vitesse : les accumulateurs en tension, induits en tension avec l'inducteur ;

Position 3 : troisième vitesse : accumulateurs en tension, induits en quantité en tension avec l'inducteur ;

Position 4 : quatrième vitesse : comme la troisième, moins l'inducteur shunté.

1° Petit freinage (à droite du zéro) : deux éléments en circuit avec l'inducteur, les deux induits en quantité sur deux résistances en tension ;

2° Moyen freinage : Comme 1°, les deux induits en tension ;

3° Grand freinage : comme 2°, les deux résistances en quantité.

Le dispositif de freinage permet cette opération dans les deux sens de marche.

La marche arrière s'obtient par un commutateur placé en dehors du combinateur et qui renverse le sens du courant dans l'inducteur par rapport aux induits. Afin de ne pas avoir des variations brusques, des résistances sont intercalées entre chaque vitesse, et on peut même les laisser en service pour avoir des vitesses intermédiaires.

La voiture est, en outre, munie de freins à enroulement d'une grande puissance. Ils agissent aussi bien en arrière qu'en avant. En agissant, ils coupent le courant et ne permettent de le rétablir que graduellement.

Voiture de la Compagnie des automobiles Hurtu ⁽¹⁾. — La voiture construite par la Compagnie des automobiles et cycles Hurtu, d'après les brevets A. de Marchena et Gigot, est à avant-train moteur et directeur et présente, par ses grandes lignes, l'aspect d'une voiture Kriéger; mais elle en diffère complètement, quant au détail (*fig. 141*).

Châssis. — C'est un châssis à flèche, disposé comme celui des huit ressorts ordinaires; les deux trains avant et arrière sont réunis entre eux par une flèche cintrée avec une articulation en genouillère; cette disposition permet aux deux essieux de se déplacer l'un par rapport à l'autre dans deux plans verticaux, et ainsi facilite considérablement le passage d'une roue sur un caillou ou une déféctuosité quelconque de la route, en laissant la caisse de la voiture toujours dans un même plan horizontal.

Le siège du conducteur est fixé sur les ressorts de l'avant-train, mais la caisse même de la voiture est interchangeable d'une façon assez rapide.

Les constructeurs n'ont pas, dans ce véhicule, recherché

⁽¹⁾ *La Locomotion automobile*, 1899.

la légèreté ; les pièces du châssis sont plus fortes que celles employées généralement pour les voitures de même poids, surtout celles constituant l'avant-train ; mais il faut considérer que c'est sur celui-ci que se trouve la batterie d'accumulateurs qui entre pour 32 0/0 dans le poids total.

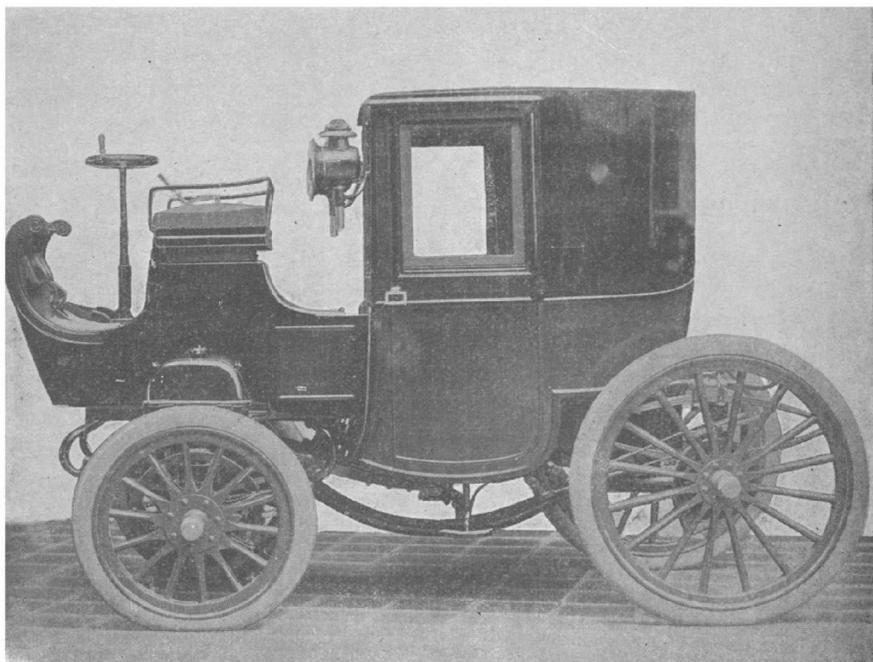


FIG. 141. — Voiture Hurlu (A. de Marchena et Gigot).

Les roulements des moyeux sont à billes, ainsi du reste que tous ceux de la voiture, et assurent, avec la disposition du châssis à flèche, une résistance au roulement assez faible. Les roues sont garnies de pneumatiques.

Avant-train moteur. — C'est dans le dispositif de transmission de mouvement que se trouve appliqué le brevet de Marchena et Gigot. L'avant-train comporte deux moteurs placés chacun auprès de la roue correspondante ;

ces moteurs sont des dynamos à quatre pôles, à enroulement série, construits par la maison Postel-Vinay. Leur vitesse est de 1.250 tours par minute avec un rendement de 85 0/0.

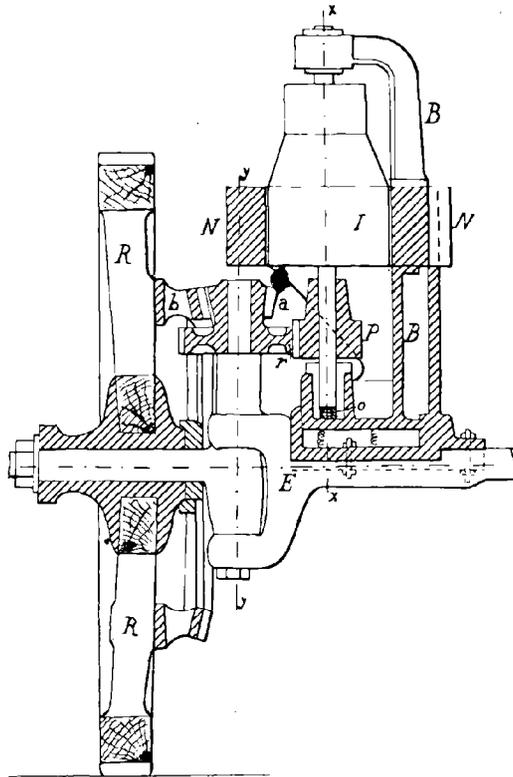


FIG. 142. — Commande des roues de la voiture Hurtu (A. de Marchena et Gigot).

Par suite du dispositif employé, les roues sont susceptibles de prendre un mouvement planétaire autour de l'axe vertical du moteur; l'induit en tambour est placé verticalement; cette modification a pour but d'éviter que les chocs de la voiture produisent la flexion de l'arbre. La figure 142 indique comment la force motrice est transmise

aux roues; l'essieu est du type ordinaire à deux pivots verticaux. Le bâti B du moteur repose directement sur l'essieu et porte l'inducteur N; l'induit I tourne autour de l'axe vertical xx , et, par l'intermédiaire du pignon p , entraîne le pignon r ; ce dernier porte, calé sur son arbre, un autre pignon a qui est conique et donne le mouvement à la roue R en agissant sur la couronne dentée b .

L'ensemble des deux pignons r et a tourne fou autour d'un arbre solidaire de l'essieu et par lequel passe l'axe vertical, yy , autour duquel la roue peut prendre un mouvement planétaire en s'appuyant sur le pignon A.

Afin que le moteur subisse moins les cahots, un ressort O est placé dans la crapaudine; on peut même, au cas où les roues ne seraient pas garnies de pneumatiques, mettre des ressorts entre le bâtis du moteur et l'essieu, comme le représente, d'ailleurs, la figure. Le déplacement d'un ressort sous l'arbre du moteur est facilitée par la longueur des dents du pignon p .

C'est cette disposition qui a été adoptée par la Compagnie des cycles et automobiles Hurtu, pour la voiture exposée aux Tuileries en 1899.

Le brevet en indique deux autres; dans une première (*fig. 143*), le pignon f , claveté sur l'axe du moteur, est conique et engrène sur une roue g qui fait corps avec un pignon i ; ce dernier ensemble tourne fou autour de la fusée C. Le pignon i entraîne, à son tour, deux satellites k placés symétriquement par rapport à l'axe horizontal de la fusée, et qui s'appuient sur une roue l solidaire de la pièce CC^1C^2 ; les satellites, en tournant, entraînent leurs axes $m m$, et, par suite, la roue R. Ce dispositif, qui paraît moins bon que le premier au point de vue du rendement mécanique, est aussi plus compliqué et, par suite, plus délicat.

Un autre dispositif indiqué par A. de Marchena et Gigot consiste à faire coïncider l'axe du mouvement planétaire de la roue avec l'axe vertical du moteur (*fig. 144*); dans ce

dernier cas on peut même supprimer l'ensemble des pignons r et a , et faire attaquer la roue b par le pignon p .

Quel que soit le dispositif adopté, le principe demeure le même; et les moteurs restent fixes quand on braque les roues.

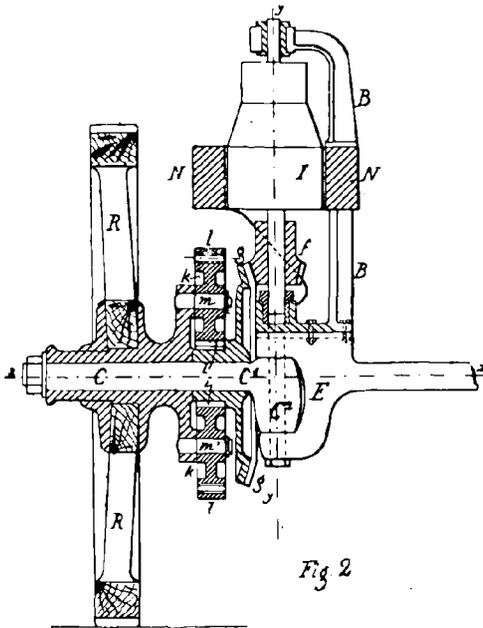


FIG. 143.

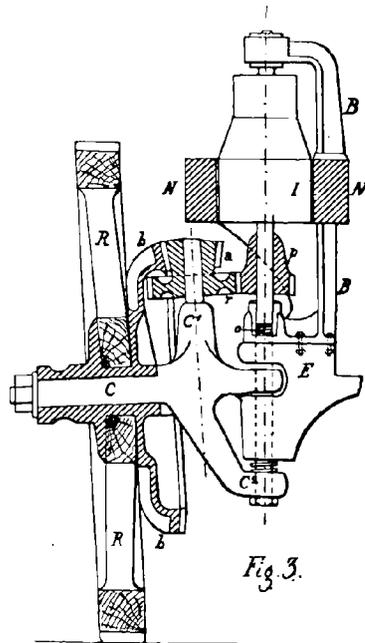


FIG. 144.

La position verticale de l'induit permet au conducteur de surveiller et de nettoyer facilement les collecteurs, les balais et les porte-balais qui sont placés à la partie supérieure du carter renfermant chaque moteur.

Combinateur. — Le réglage de la vitesse s'obtient par un combinateur placé sous le siège et commandé par un levier se déplaçant entre deux secteurs avec cran d'arrêt; ce levier est situé au milieu de la banquette du conducteur.

Le combinateur permet d'avoir quatre vitesses en avant,

une vitesse en arrière et un freinage électrique en trois phases, sans récupération. La figure 145 indique, du reste,

de quelle façon sont obtenus les différents réglages. La batterie fonctionnant toujours montée en tension, sauf pour la première vitesse en avant et pour la marche en arrière, toutes les autres variations sont obtenues par des couplages entre les moteurs.

Première vitesse : la batterie d'accumulateurs est divisée en deux groupes montés en quantité ; les deux induits sont en série ainsi que les inducteurs.

Deuxième vitesse : même couplage pour les moteurs qu'à la première vitesse, mais tous les accumulateurs en série ;

Troisième vitesse : les deux induits en série et les inducteurs en parallèle ;

Quatrième vitesse : les induits et les inducteurs en parallèle ;

Marche en arrière : mêmes dispositions que pour la première vitesse en avant ; mais le sens du courant est inversé dans les moteurs.

Freinage électrique. — Quand on arrête la voiture et qu'on opère le freinage électrique, cette

opération s'effectue en trois phases, sur une résistance fixe, les induits étant inversés, par rapport aux inducteurs, de la position qu'ils occupaient pour la marche en avant.

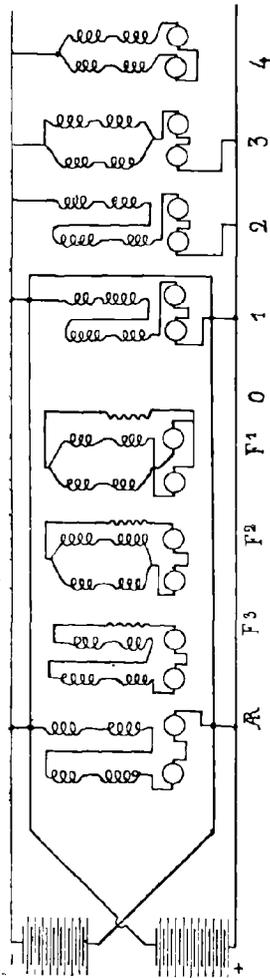


FIG. 145. — Schéma des couplages effectués par le combinateur de la voiture Hurlu.

Voici quelles sont les phases de ce freinage :

1° Les deux induits et les deux inducteurs en parallèle et travaillant l'un sur l'autre ;

2° Les deux induits en série, les deux inducteurs en parallèle ;

3° Les deux induits et les inducteurs en série.

La marche arrière ne peut être obtenue qu'après le freinage, et il est nécessaire de repasser par la position d'arrêt pour obtenir le démarrage de la voiture.

Direction. — La direction, du type à essieu brisé, est commandée par un volant ; l'emploi des deux moteurs supprime naturellement tout différentiel.

Freins mécaniques. — La voiture possède, en outre du frein électrique, deux freins commandés par une pédale et placés sur l'essieu arrière, près des roues ; ce sont des freins à ruban, agissant l'un à l'intérieur de la couronne, l'autre à l'extérieur ; celui-ci n'ayant d'effet que pour la marche en avant, l'autre pouvant fonctionner quel que soit le sens du déplacement du véhicule.

Dépense de la voiture. — D'après les chiffres relevés par A. de Marchena et Gigot, la voiture a consommé 30 ampères sous 80 volts, à la vitesse de 20 kilomètres à l'heure.

Le poids total étant de 1.600 kilogrammes, cette voiture a donc une consommation de 75 watts par tonne et par kilomètre de poids total pour cette vitesse.

Voitures Patin⁽¹⁾. — La première voiture de O. Patin était particulièrement caractérisée par son changement de vitesse mécanique et par son arrière train-moteur (*fig. 146*). Celui-ci est au fond un peu compliqué et doit être d'un prix assez élevé.

L'essieu est composé de deux pièces, l'une courbe B, et fixée aux ressorts, l'autre mobile constituant l'arbre moteur

(1) *La Locomotion automobile*, 1898.

C; l'essieu B est ouvert en ovale afin de placer en ce point

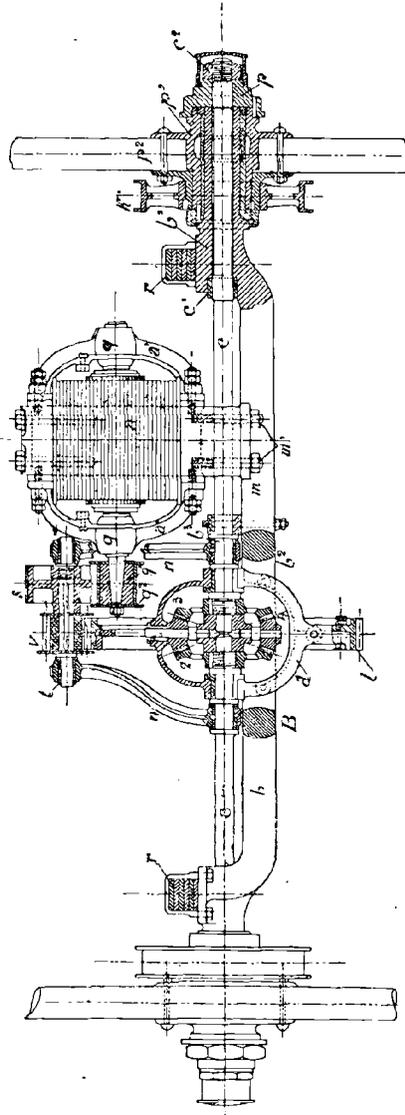


FIG. 148. — Élévation et coupe du train-moteur Patin.

le moteur et le différentiel qui transmet à l'arbre moteur le

mouvement qu'il reçoit du moteur; l'arbre C tourne dans

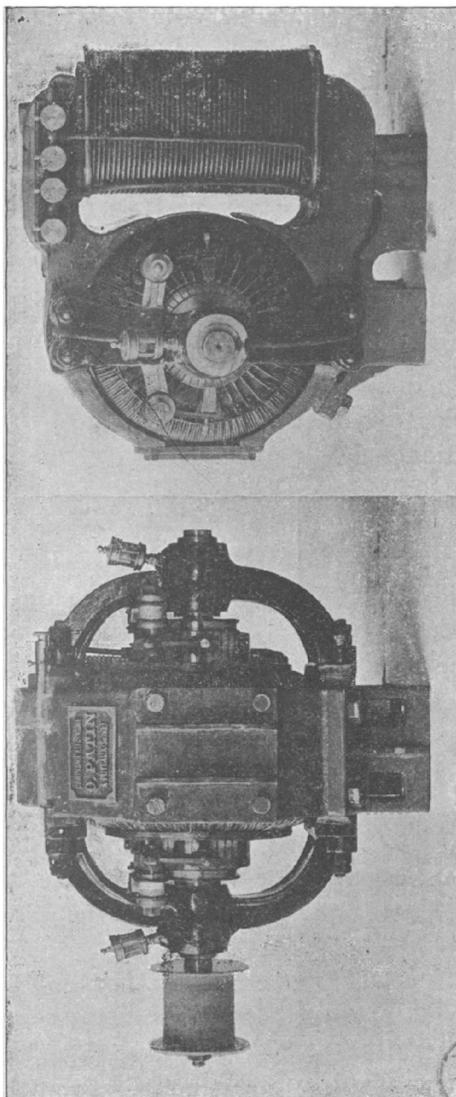


Fig. 447. — Moteur Patin.

les extrémités de B par l'intermédiaire de coussinets en bronze.

Le moteur est du type série-parallèle à deux collecteurs (*fig.* 147), il est excité en série; les différentes vitesses sont obtenues par le couplage des accumulateurs et des deux enroulements induits.

Voiturette électrique Patin et Requillard (1). —

La caisse peut contenir deux personnes; elle est supportée par un châssis en tubes reposant sur trois roues, dont une à l'avant, à la fois motrice et directrice.

La figure 148 montre, du reste, l'ensemble de la voiturette. A l'avant, le cadre se relève pour venir se terminer à la partie supérieure du carter entourant les organes de commande et le moteur, lequel, supporté par une fourche spéciale, est placé en dessus de la roue avant.

Afin de diminuer le nombre des éléments le moteur fonctionne sous 48 volts; c'est une dynamo à quatre pôles et à deux enroulements induits, bobinés autour d'une carcasse unique et correspondant chacun à un collecteur particulier; son poids est de 45 kilogrammes. A chaque extrémité de l'arbre de l'induit se trouve calé un pignon qui attaque un engrenage non semblable, comme diamètre, à celui avec lequel engrène l'autre pignon; on obtient donc ainsi sur chaque arbre de commande des vitesses différentes; le rapport des engrenages est tel que l'on obtient une vitesse de 10 kilomètres à l'heure avec l'un et de 20 kilomètres avec l'autre.

Le mouvement est transmis à la roue motrice par l'intermédiaire de courroies qui entraînent des poulies clavetées sur son axe et de chaque côté de la roue.

Deux galets tendeurs, commandés de l'intérieur de la voiture par le levier placé à l'avant de la figure, près du moteur, permettent de faire entraîner le véhicule par l'arbre de commande voulu, en faisant adhérer la courroie correspondante.

(1) *La Locomotion automobile*, 1899.

Les autres changements de vitesse sont obtenus par les

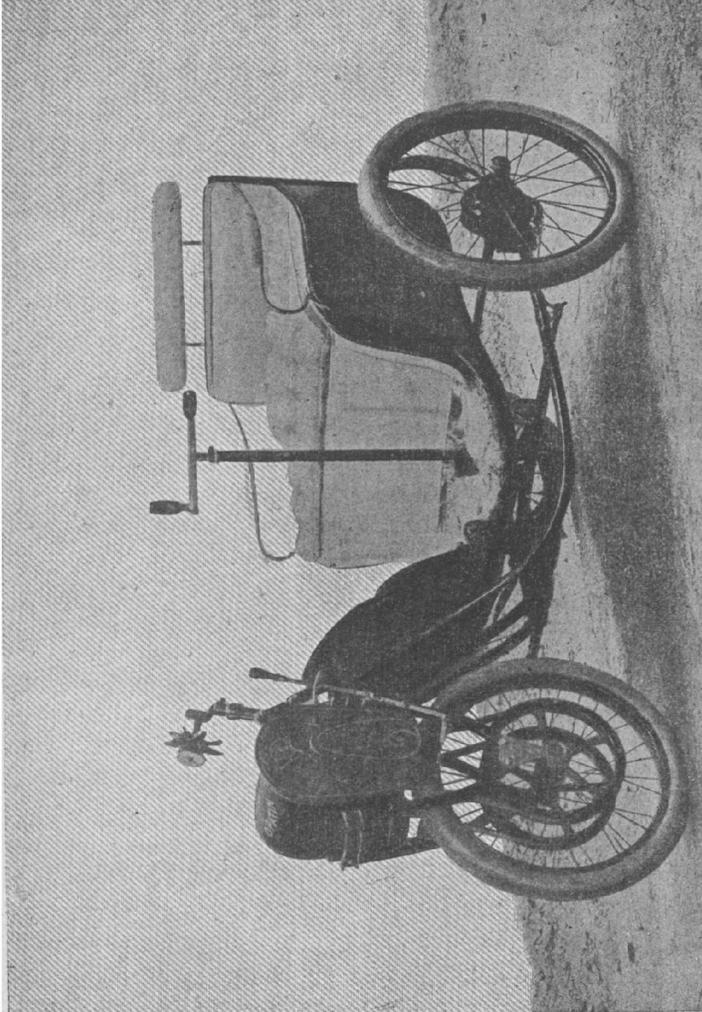


FIG. 148. — Voiturette Patin et Requillard.

couplages suivants entre les enroulements, les accumulateurs restant toujours en série :

AUTOMOBILES ÉLECTRIQUES

21

Première vitesse : les deux enroulements induits et les inducteurs en série ;

Deuxième vitesse : les deux induits en série, les inducteurs en parallèle ;

Troisième vitesse : les deux induits et les inducteurs en parallèle.

En route normale, on marche avec la grande vitesse mécanique ; la petite étant utilisée pour les démarrages et les côtes, afin d'éviter les débits trop grands pour la batterie.

Le dispositif d'embrayage permet, en détendant les courroies, de pouvoir faire démarrer le moteur à vide.

Le combinateur permettant d'effectuer les couplages est placé sous la voiture et est commandé par une manette située sous le guidon de la direction ; une chaîne transmet cette direction à la fourche soutenant le moteur et venant reposer de chaque côté du moyeu de la roue avant ; cette fourche pivote dans un tube semblable à celui des bicyclettes.

Les accumulateurs sont placés dans la caisse sous le siège.

Les freins agissent sur les moyeux des roues arrière ; ils sont commandés au pied, et leur action est précédée par la rupture du courant,

Le parcours annoncé que peut fournir cette voiturette est de 45 à 50 kilomètres avec une charge de la batterie.

Avant-train moteur électrique Amiot et Peneau (1). — Amiot et Peneau ont construit en 1899, pour la traction d'une nouvelle balayeuse-arroseuse de la ville de Paris, un avant-train moteur qui se compose d'une plateforme horizontale fixée par des étriers aux deux brancards de l'ancienne balayeuse, dont le mécanisme subsiste comme par le passé. Sous la couronne supérieure de cette plate-forme

(1) *La Locomotion automobile*, 1899.

existe une couronne inférieure mobile installée sur un châssis monté sur roues par l'intermédiaire de ressorts.

- La direction est obtenue par la rotation de la couronne qui supporte tout l'avant-train. Une chaîne assure ce mouvement ; elle est manœuvrée par le volant de direction du conducteur.

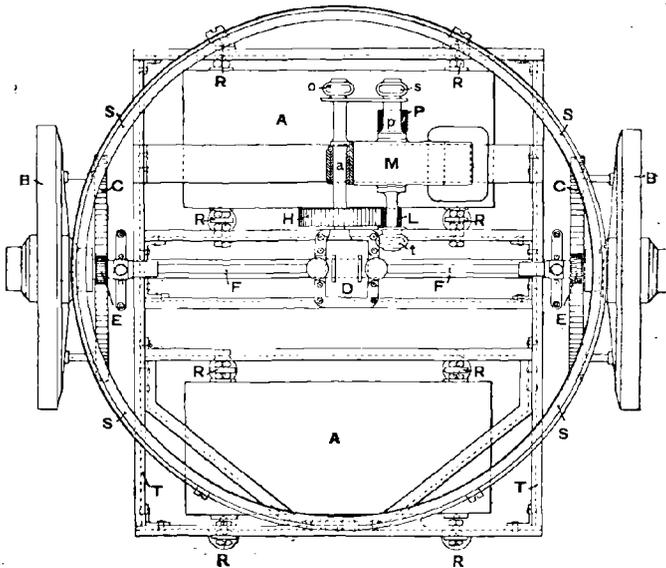


FIG. 149. — Plan de l'avant-train moteur de la balayeuse Amiot et Peneau.

Le moteur M (*fig. 149*) est un moteur Patin dont le mouvement, démultiplié, est transmis à la boîte D contenant le différentiel. Les deux arbres F portent des pignons qui actionnent les deux couronnes dentées C solidairement des roues de l'avant-train.

En A est figurée la caisse d'accumulateurs, soutenue par quatre vigoureux ressorts à boudin R.

Le conducteur a à sa disposition, à gauche du siège, la commande du combinateur.

Sous le réservoir d'eau est placé une pompe, mue électriquement, qui pulvérise l'eau en avant du balai.

Cette arroseuse-balayeuse a satisfait pleinement à tous les

essais qu'on lui a imposés. Le sol est humecté suffisamment avec une dépense d'eau infime en comparaison de celle que nécessite l'arrosage à la lance. Le balayage se fait beau-

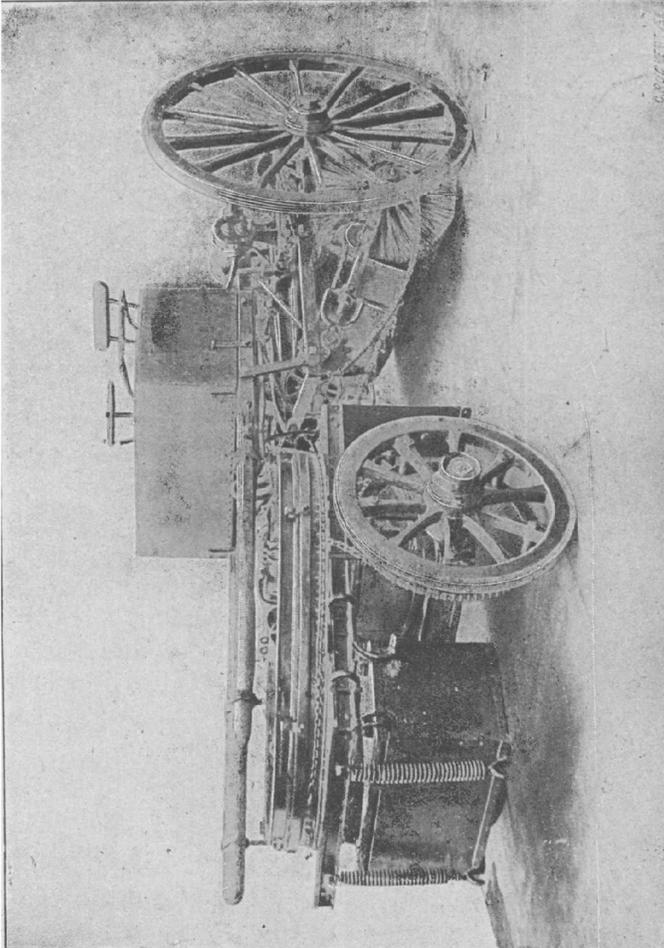


Fig. 150. — Balayeuse Amiot et Peneau.

coup plus vite et avec un personnel bien moindre. L'entretien des batteries est minime, parce que ces véhicules marchent très lentement, ce qui donne peu de cahots, et à

une vitesse très régulière, ce qui permet de demander aux batteries un débit bien constant, conditions toutes différentes de celles de la traction électrique ordinaire. De plus, le même avant-train peut s'adapter aux tonneaux d'arrosage.

Camion de la raffinerie Say. — Le camion de la raffinerie Say (*fig. 151*) a pris part au dernier concours de poids lourds, qui a eu lieu à l'Exposition de Vincennes, au mois d'octobre 1900.

Ce camion est destiné à faire le transport de sacs de sucre de la gare du Nord à la raffinerie Say, distante de 6 kilomètres de cette gare.

La charge utile transportée est de 10 tonnes, pour un poids total du véhicule de 22 tonnes. L'utilisation est de 45 0/0 environ, chiffre bien supérieur à celui qu'on obtient en général dans les voitures électriques.

La batterie est composée de 84 éléments Phénix, dont le poids total est, avec les boîtes, de 2.500 kilogrammes.

La capacité est de 358 ampères-heures au régime de 70 ampères.

La direction, du type ordinaire par avant-train à pivots, est facilitée par un servo-moteur électrique d'une puissance de 3 chevaux.

Le camion est actionné par deux moteurs de 10 chevaux chacun, construits par la Société Postel-Vinay, qui attaquent chacun l'une des roues d'arrière au moyen d'une double réduction par engrenages.

Le train-moteur est suspendu au châssis par un double ressort; les deux roues sont indépendantes et actionnées chacune par un moteur, afin de supprimer le différentiel mécanique. La puissance normale peut être poussée à 30 chevaux pendant quelques instants.

Le poids de chaque moteur est de 450 kilogrammes; ils fonctionnent normalement sous une différence de potentiel de 160 volts.

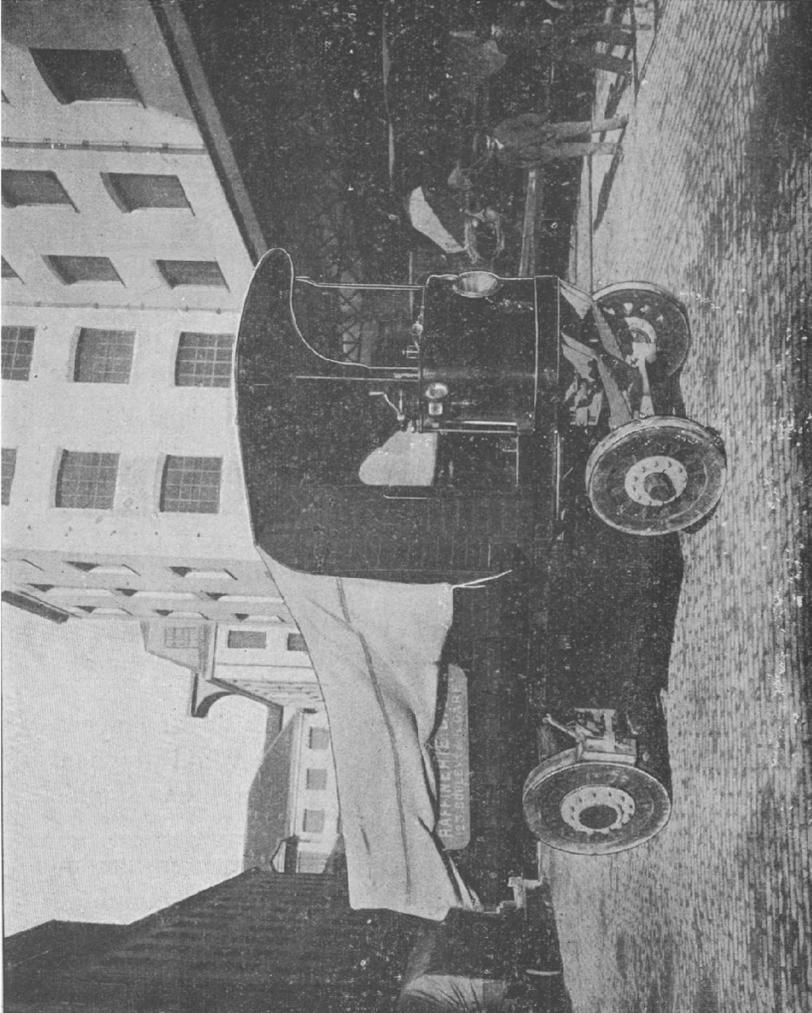


Fig. 151. — Camion électrique de la raffinerie Say.

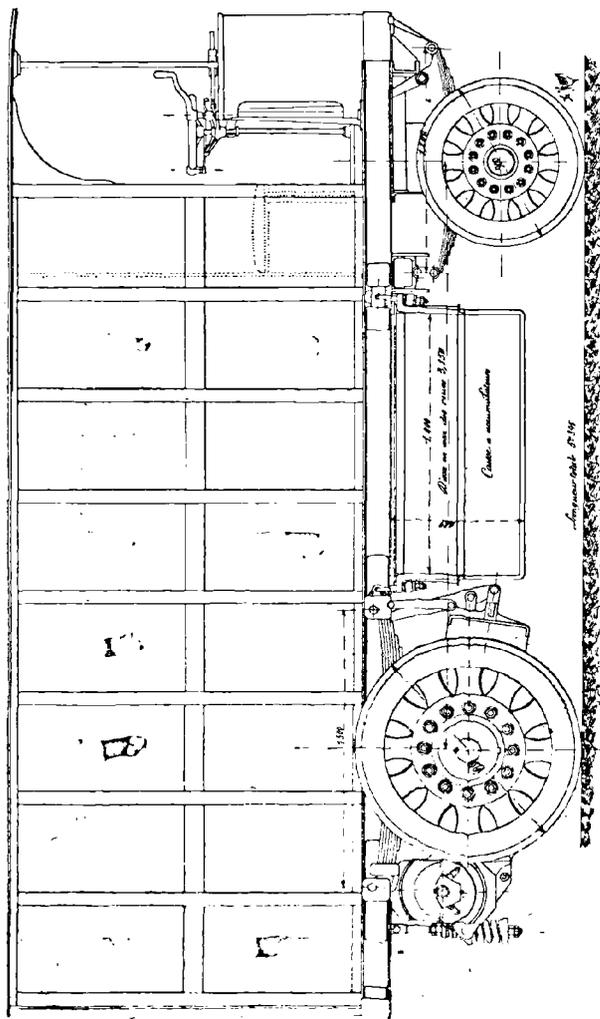


FIG. 152. — Camion électrique de la raffinerie Say, élévation.

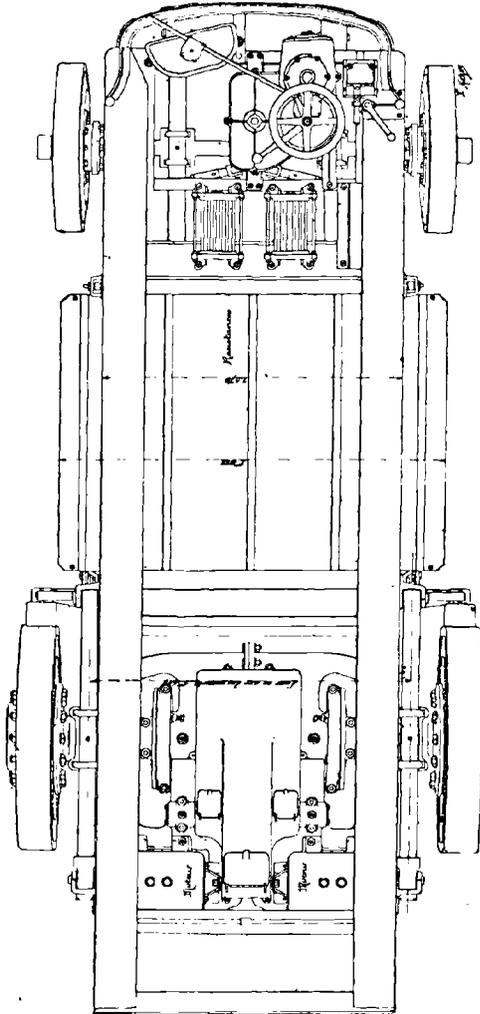


Fig. 193. — Camion électrique de la raffinerie Say, plan du châssis.

Les dimensions du camion sont ⁽¹⁾ :

Hauteur totale	3 ^m ,25
Voie aux roues d'arrière	2 ,15
Voie aux roues d'avant	1 ,88
Longueur totale	5 ,40
Distance d'axe en axe des essieux	3 ,10
Diamètre des roues d'avant	0 ,90
Diamètre des roues d'arrière	1 ,20

Les accumulateurs sont contenus dans une boîte fixée au châssis entre les deux trains (*fig. 152*) ; la caisse est retenue par des crochets.

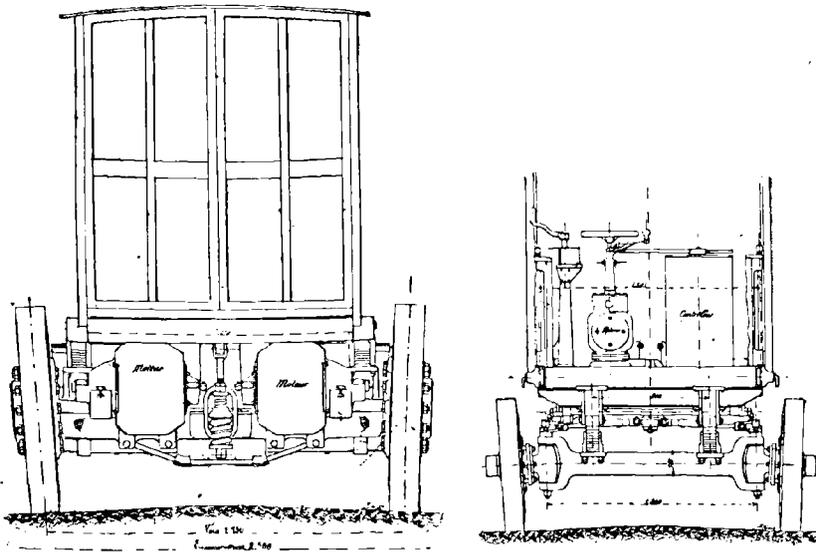


FIG 154 et 155. — Camion électrique de la raffinerie Say, élévation de l'arrière et de l'avant.

Les dimensions de la caisse sont :

Hauteur	0 ^m ,65
Longueur	1 ,40
Largeur	2 ,00

⁽¹⁾ *L'Électricien*, 1901.

L'essieu moteur est protégé contre les trépidations par un double ressort (*fig. 152*) ; le ressort inférieur peut résister à 4.000 kilogrammes, tandis que le supérieur est calculé pour 1.000 kilogrammes, le train repose sur le premier, qui reçoit

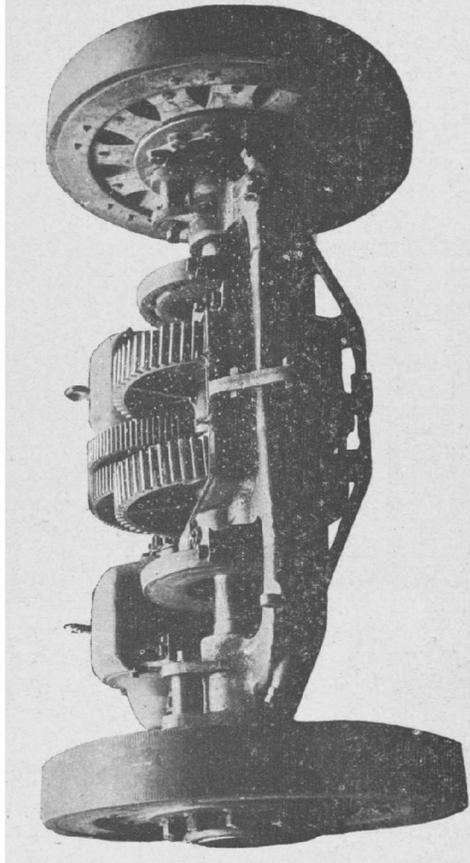


FIG. 156. — Camion électrique de la raffinerie Say, le train moteur, vu de l'avant.

les chocs causés par les trépidations, et le second amortit les oscillations causées par les variations de tension du premier.

Le combinateur, analogue à celui des tramways, permet de faire le réglage en série-parallèle avec introduction de résis-

tances pour graduer les variations de vitesse. L'allure normale est de 8 kilomètres à l'heure; le nombre de tours

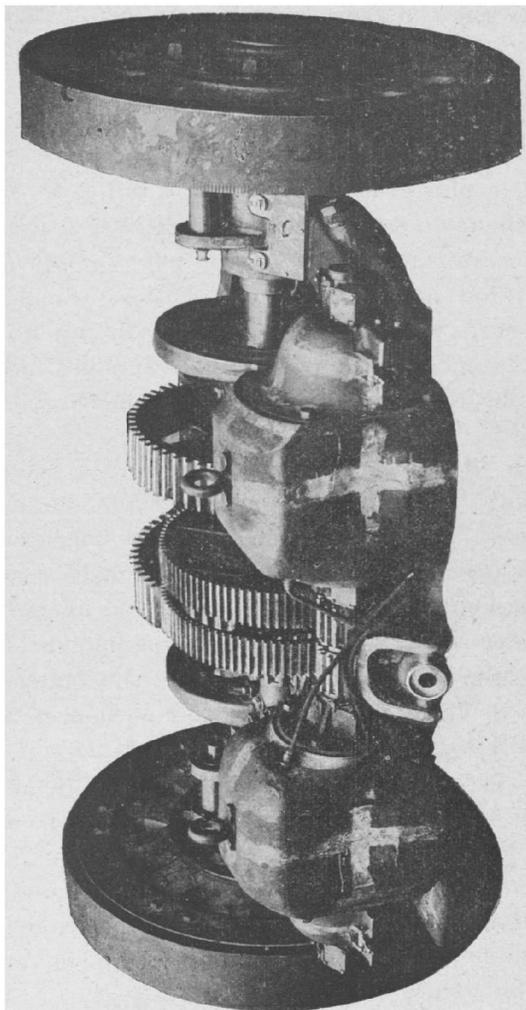


FIG. 157. — Camion électrique de la raffinerie Say, le train moteur, vu de l'arrière.

des moteurs est alors de 800 par minute; la consommation en palier est de 70 ampères, lorsque la voiture porte sa charge utile.

Les démarrages en palier atteignent 100 ampères.

Le camion est muni : 1° d'un frein à sabot agissant sur le bandage des roues motrices avec une pression de 2.000 kilogrammes ; 2° d'un frein magnétique agissant sur l'arrière-train ; 3° d'un freinage électrique commandé par le combinateur.

Cet essai de gros camionnage à l'aide d'automobiles électriques fait le plus grand honneur à la raffinerie Say et à Roux, ingénieur du service technique de cette usine.

Nous ne croyons pas toutefois que, pour un service dans les villes, il soit bien pratique d'avoir des véhicules aussi lourds, il serait préférable, à notre avis, de fractionner la charge de façon à ne pas avoir de véhicules dépassant 5 tonnes et de les faire fonctionner à marche lente.

Voitures Morris et P. Salom (1). — Morris et Salom furent les premiers, en Amérique, à s'occuper sérieusement d'automobiles électriques. C'est en 1894 qu'ils construisirent leur premier électrobat (c'est ainsi qu'ils dénomment leur voiture), équipé avec un moteur de la General electric C° ; la puissance de ce moteur était de 2.000 watts, son poids, 140 kilogrammes. La batterie avait une capacité de 100 ampères-heures en cinq heures, avec un poids de 750 kilogrammes pour 60 éléments.

C'est leur électrobat n° 2 qui prit part à la course du *Times Herald*, dont nous avons parlé dans notre historique. Comme dans le n° 1, les roulements étaient à billes ; mais ici les roues avec rais en bois, sont garnies de pneumatiques, et les moteurs, au nombre de deux, sont du type Lundell. Les changements de vitesse sont obtenus par couplage entre les moteurs et les batteries.

En 1897, The electric carriage and wagon C°, fondée par Morris et Salom, mettait en circulation, à New-York, des

(1) E. HOSPITALIER, *Conférence à la Société internationale des électriciens.*

cabs ou hansoms électriques et, en 1899, cette société devint la New-York electric vehicle and transportation C^o, au capital nominal de 125 millions de francs; son but est d'entreprendre la construction et l'exploitation avec un grand nombre de voitures (1).

Les principales dimensions de ces hansoms sont :

Diamètre des grandes roues.....	1 ^m ,08
— petites roues.....	0 ^m ,80

Le poids total est de 1.130 kilogrammes, dont 400 kilogrammes d'accumulateurs de l'E. P. S. (Electrical power storage C^o) d'une capacité de 70 ampères-heures, alimentant deux moteurs Lundell d'une puissance de 1.100 watts chacun et d'un poids de 78,5 kgs.

Les roues sont métalliques et à rayons tangents et les roulements à billes.

Les moteurs sont suspendus à l'essieu par le nez et d'autre part, par une biellette qui est fixée à un ressort attaché au châssis. Le pignon a 10 dents, la grande roue 82 dents.

Tricycle électrique de la Barrow vehicle Company (2). — Le châssis est formé par un long tube couronné qui se redresse à l'avant en une fourche refermée dans laquelle la roue avant passe sans être gênée pour son mouvement de direction; à l'arrière, le châssis repose sur l'essieu, qui est simplement porteur (*fig. 158*).

Le moteur, du type Riker, est placé d'un côté de la roue d'avant, assez bas; le pignon, calé à l'extrémité de son arbre, attaque une roue dentée placée à l'intérieur de la roue motrice; cette roue dentée a 66 centimètres de diamètre, et le diamètre du pignon est d'environ 63 millimètres.

L'empattement général du tricycle est de 1^m,30. Le dia-

(1) *L'Éclairage électrique*, 1900.

(2) *La Locomotion automobile*, 1898.

mètre de la roue avant est de 0^m,90; celui des roues arrière est de 0^m,71.

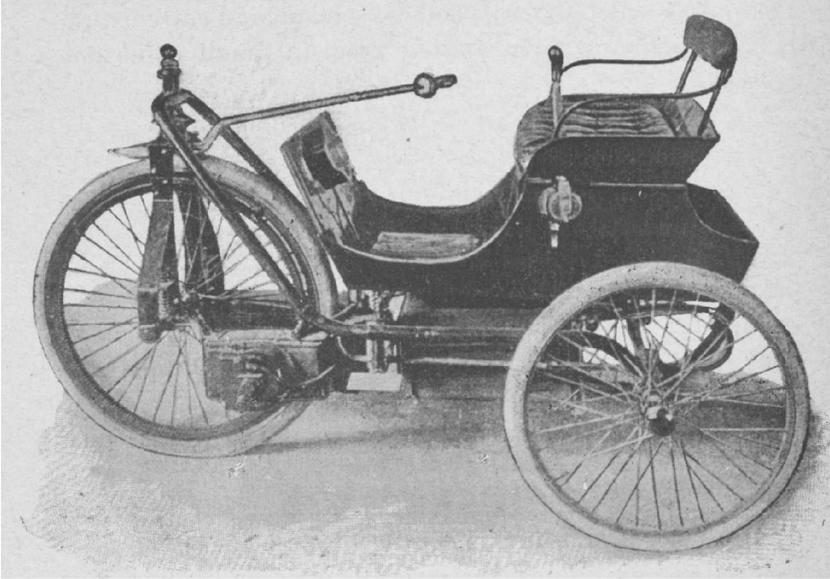


FIG. 158. — Tricycle de la Barrow vehicle company.

La batterie se compose de 24 éléments de 7^{kg},5; ils sont placés symétriquement au moteur, par rapport à la grande roue; le moteur pesant 50 kilogrammes, l'ensemble est, sous ce rapport, mal équilibré.

Voitures électriques Riker. — La première voiture Riker fut construite, en 1896, par la Riker Motor Co; cette voiture était un dog-car, dont le truck à châssis en tubes d'acier était muni de roulements à billes et de roues à rayons tangents.

C'est en 1897 que les voitures Riker ont fait leur apparition en France; la première qui roula fut un phaéton à deux places, qui vint tout monté d'Amérique. Après avoir été en possession de la Société « l'Automobile », les voitures

Riker ont été exploitées par la Société française des véhicules électriques.

Châssis. — Le châssis (*fig. 159*), en tube d'acier, n'est pas suspendu sur les deux trains; c'est la caisse qui, elle, est séparée du châssis par l'intermédiaire de ressorts. Ce châssis, qui ne peut subir aucune déformation dans le sens horizontal, peut cependant se déformer dans un plan vertical, un des

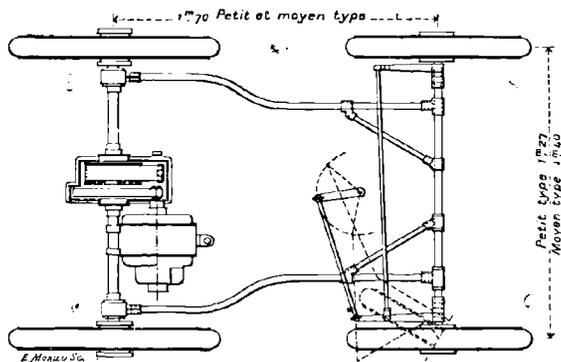


FIG. 159. — Plan des châssis Riker.

grands côtés du châssis étant articulé autour de l'essieu avant, et les deux grands côtés étant réunis à l'essieu arrière par une articulation à rotules. La souplesse très grande qui en résulte a pour but d'amortir les chocs provenant des inégalités du terrain.

L'essieu avant est directeur; l'essieu arrière est moteur; quand la voiture ne comporte qu'un seul moteur, l'essieu arrière n'est pas rompu au milieu par le différentiel, celui-ci étant placé dans le moyeu d'une des roues qui, par suite, est folle (*fig. 160*).

Le moteur (*fig. 161*) est suspendu au tube carter enveloppant l'essieu arrière, qui porte une couronne dentée engrenant avec le pignon en cuir vert du moteur.

Celui-ci est soit bipolaire, soit multipolaire.

L'induit est en tambour, avec bobines faites sur gabarit;

l'excitation est en série; le rendement du moteur est de 85 0/0.

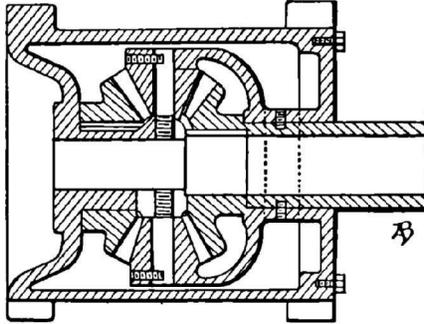


FIG. 160. — Coupe du moyeu arrière contenant le différentiel.

Deux types sont actuellement employés :

1° Moteur de 1,5 kilowatt ; poids, 60 kilogrammes ; sous 80 volts avec 20 ampères, la vitesse est de 1.000 tours à la minute.

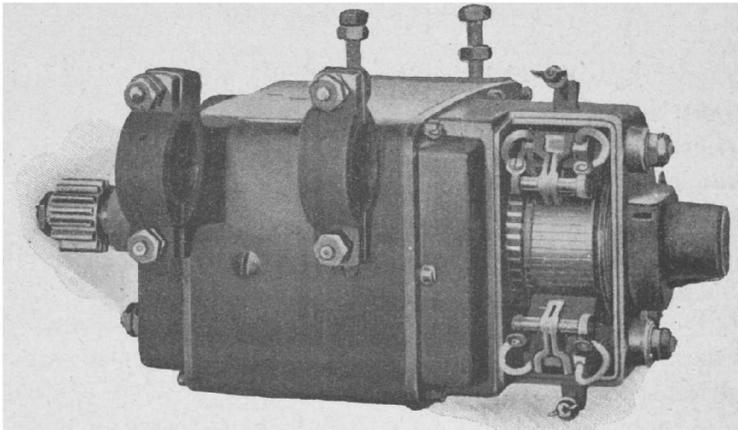


FIG. 161. — Moteur Riker.

2° Moteur de 2 kilowatts, poids : 80 kilogrammes ; sous 80 volts et 25 ampères, vitesse de 1.000 tours par minute.

Combinateur. — Le combinateur (*fig. 162*) est composé par des touches en cuivre, disposées horizontalement et séparées par des disques en fibre, le tout formant un ensemble cylindrique dont les parties métalliques viennent frotter sur des balais reliés aux pôles des batteries et aux moteurs.

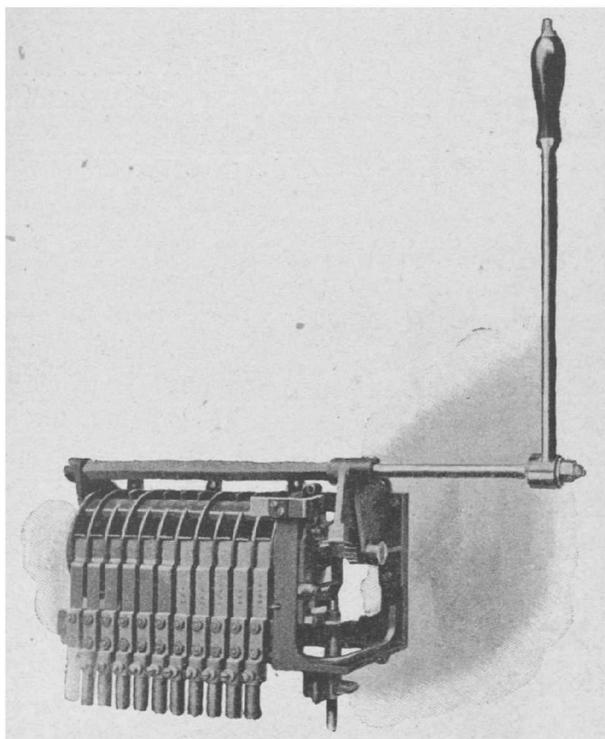


FIG. 162. — Combinateur Riker.

Le levier de mise en marche porte, à sa partie supérieure, un système de déclenchement actionné par un ressort et qui a pour but d'empêcher de passer sans le vouloir de la vitesse en avant à la vitesse en arrière, en manœuvrant pour diminuer la vitesse.

Les couplages qu'il permet de réaliser sont les suivants :

1° La batterie de 44 éléments est divisée en quatre groupes de 11, groupés en quantité ;

2° Deux groupes de 11 en tension, réunis en quantité avec les deux autres en tension ;

3° La batterie en tension ;

4° Les inducteurs mis en parallèle ;

Il permet, en outre, deux vitesses arrière correspondant aux deux premières vitesses avant.

Le courant est coupé automatiquement quand on actionne le frein mécanique ; à ce moment, un courant est envoyé dans un solénoïde (*fig. 163*)⁽¹⁾ qui, sou-

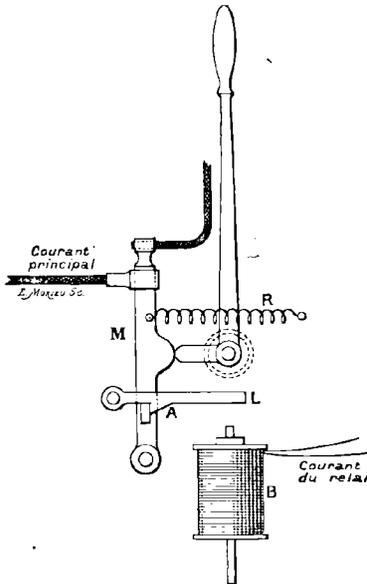


FIG. 163.

levant un noyau de fer doux vient le faire buter contre le butoir qui maintient l'interrupteur principal fermé ; celui-ci,

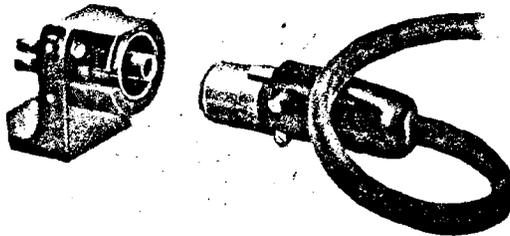


FIG. 164. — Prise de courant des voitures Riker.

étant sollicité par un ressort, s'ouvre et coupe le courant.

⁽¹⁾ *Industrie électrique*, 10 juillet 1899.

La commande de la direction se fait à l'aide d'un guidon, qui, par une manette, agit sur une tringle donnant le braquage nécessaire.

Voiture Cleveland (1). — La voiture électrique Cleveland est un phaéton dont la carrosserie est identique à celle de toutes les voitures d'origine américaine, restriction faite pour le caisson de l'arrière, qui est beaucoup moins long qu'à l'ordinaire, et pour les roues qui sont à rayons en bois au lieu d'être en acier.

Le cadre du châssis est constitué par des tubes en acier. Comme dans toutes les voitures étrangères destinées à aller sur des routes assez mauvaises, il est articulé de façon à permettre une déformation dans un sens vertical, tout en restant fixe dans le sens horizontal. La caisse de la voiture est supportée sur le châssis : à l'arrière, par deux ressorts appuyés sur les essieux à l'aide de coussinets avec billes ; à l'avant, par un ressort transversal.

Le moteur, du type Sperry, est bipolaire et à enroulement série, et donne une puissance de 2 chevaux avec une vitesse de 1.800 tours par minute. L'essieu arrière le maintient par des attaches placées de part et d'autre du différentiel ; d'autre part, il est suspendu au châssis par un ressort.

L'arbre de l'induit est muni d'un pignon qui attaque un engrenage à deux réductions, dont la première est variable et analogue au démultiplicateur de vitesse d'un tour ; ce dispositif permet de pouvoir attaquer l'engrenage commandant les roues par des pignons de différents diamètres et d'avoir, par conséquent, les vitesses que l'on désire obtenir ; on fait ainsi varier le couple moteur.

Une particularité très intéressante de cette voiture, c'est son système de conduite qui se retrouve, du reste, sur un certain nombre de voitures américaines et qui, s'il pré-

(1) *La Locomotion automobile*, 1930.

sente les avantages d'une simplicité apparente, a cependant l'inconvénient de nuire un peu à la sécurité de direction de la voiture. En général, le conducteur a au moins un appareil de direction et un autre commandant le combinateur. Ici, on produit ces deux mouvements par un seul levier actionné par une poignée et placé sur le devant de la voiture. Quand on déplace ce levier dans un plan horizontal, on dirige le véhicule, et en le levant ou l'abaissant on obtient des changements de vitesse; la direction est donnée à l'essieu avant par des tiges articulées.

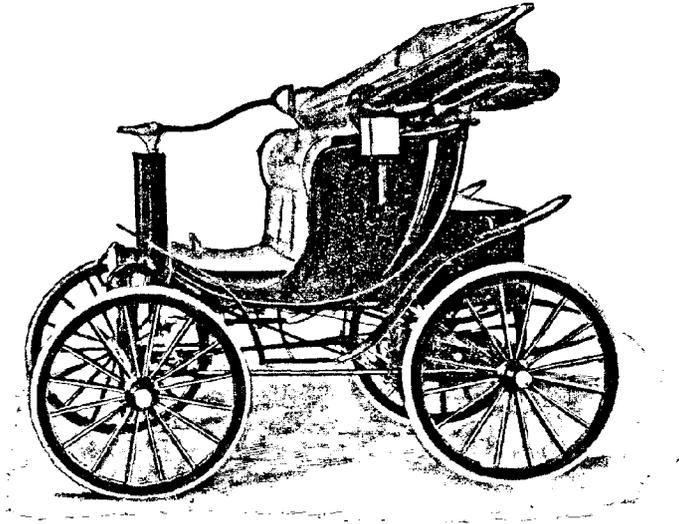


FIG. 165. — Voiture Cleveland.

Ainsi que le montre la figure 165, l'extrémité supérieure de la tige de direction porte une sorte de chapeau pouvant se déplacer verticalement autour d'un axe fixé presque à l'extrémité; les différents mouvements donnés à cette partie se transmettent au combinateur placé sous le plancher de la voiture; ce combinateur est constitué par un segment de

cylindre sur les deux parties courbes duquel sont fixées trois rangées de touches où viennent frotter les balais et qui se meut verticalement sous un angle maximum assez restreint, correspondant au plus grand déplacement vertical du levier de commande. Le nombre des variations de vitesse que l'on peut obtenir est de six; dont trois par le combinateur et trois par shuntage des inducteurs. Ce shuntage est commandé par une petite aiguille placée sur le garde-crotte et se déplaçant sur un cadran portant des chiffres indicateurs des vitesses obtenues.

En résumé, on a :

Première vitesse : la batterie de 40 éléments est divisée en quatre boîtes de 10, montées en quantité ;

Deuxième vitesse : les quatre boîtes sont divisées en deux groupes montés en tension et réunis en quantité ;

Troisième vitesse : les quatre groupes montés en tension ;

Quatrième, cinquième et sixième vitesse : shuntage des inducteurs.

Ces différents couplages sont les mêmes pour la marche avant ainsi que pour la marche arrière; c'est par un inverseur de courant commandé par une clé placée sur le levier qu'on obtient l'une des deux marches.

Lorsque le levier est levé au plus haut point de sa course verticale, on produit un freinage électrique précédé par l'interruption du courant, c'est en abaissant le levier que se font les couplages donnant les variations de vitesse; la troisième vitesse étant obtenue au point le plus bas.

En outre du frein électrique, la voiture est munie :

1° D'un frein à ruban commandé par le combinateur en même temps que le frein électrique ;

2° D'un frein à sabot agissant sur les roues arrière; ce frein est mis en action par une pédale et coupe le courant quand il est complètement serré.

La voiture pèse 900 kilogrammes, les accumulateurs entrant dans ce poids pour 40 0/0. A la vitesse de 13 kilo-

mètres à l'heure la dépense est de 14 ampères sous 80 volts, soit 77 watts par tonne et par kilomètre de poids total, personnes comprises.

Voitures Columbia. — Ces voitures, construites en France par la Société « l'Électromotion » sont, comme les deux précédentes, constituées par un châssis en tubes d'acier articulés. Dans ces voitures, le châssis repose par deux points sur l'essieu arrière et par un seul sur l'essieu avant.

Tous ces châssis sont, en somme, très complexes et augmentent considérablement le prix des voitures, qui ne peuvent être que des véhicules de grand luxe.

Le moteur est tétrapolaire, à excitation série; sa puissance normale est de 1.500 watts à 1.000 tours par minute. Il attaque la couronne extérieure du différentiel, par l'intermédiaire d'un train d'engrenages.

Le combinateur ne donne que trois vitesses, obtenues par le couplage des batteries; il n'y a ni freinage, ni marche arrière, celle-ci n'étant obtenue que par une pédale actionnant un inverseur qui renverse le courant dans l'induit.

Ce combinateur ne comporte même pas de remise au zéro, ce qui fait qu'après un freinage brusque on est exposé à repartir à la troisième vitesse.

Dans les voitures à deux moteurs, sans différentiel, on augmente les changements de vitesse en faisant varier le champ magnétique.

Les voitures Columbia sont munies d'un frein qui agit sur une couronne en bronze fixée au tube supérieur du châssis et entourant la couronne du différentiel, par l'intermédiaire d'une bande d'acier fendue et d'une poulie qui se place dans la couronne de bronze, entre la bande d'acier et l'enveloppe du différentiel.

Voitures Heinrich Scheele ⁽¹⁾. — Heinrich Scheele,

⁽¹⁾ *La Locomotion automobile*, 1899.

carrossier à Cologne, est un des premiers constructeurs allemands qui, aient entrepris la construction des voitures électriques.

Sa première voiture, construite en 1899, fut un mylord.

La partie motrice de la voiture se compose de deux moteurs série tournant avec une vitesse de 1.200 tours par mi-

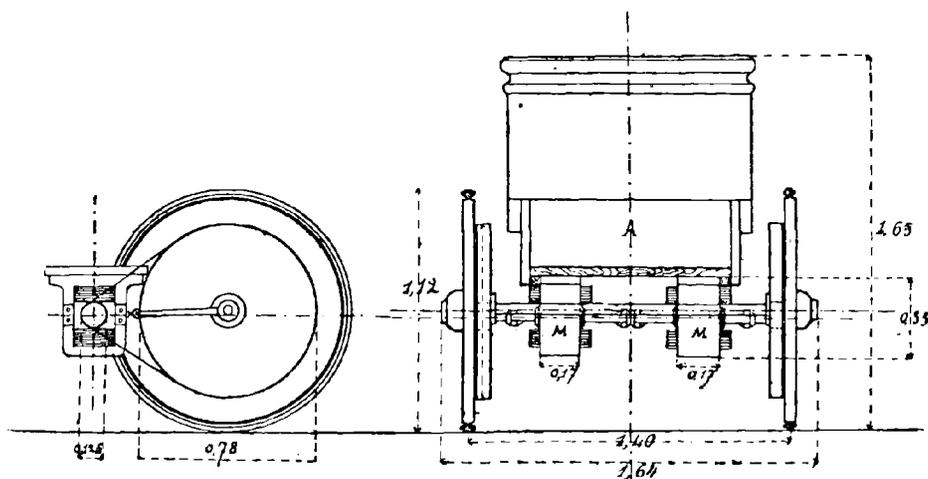


FIG. 166. — Voiture Scheele (1899).

nute. Ainsi que le montre la coupe (*fig. 166*), les moteurs sont fixés après la caisse qui est fort bien suspendue; la transmission du mouvement de chaque moteur à la roue arrière correspondante se fait par une chaîne; mais cette chaîne n'entraîne pas une roue dentée; elle agit par glissement sur une roue à gorge, qui est dans le rapport de 6,2 à 1 avec la poulie du moteur; ce système empêche tout bruit pendant la marche.

Le poids de la voiture était de 1.600 kilogrammes en ordre de marche sans les voyageurs, et de 1.810 kilogrammes compris ceux-ci, si l'on admet comme poids moyen 70 kilogrammes par personne.

La direction est obtenue par les roues avant, à l'aide

d'une roue dentée actionnée par une chaîne, qui est commandée par un pignon.

Le combinateur, fourni par la maison E.-H. Geist, ainsi que les moteurs, permet de disposer de trois vitesses en avant et d'autant en arrière. Les batteries restent toujours couplées en tension, et l'on obtient la mise en marche et les changements de vitesse en mettant les moteurs en parallèle ou en tension et en intercalant dans le circuit des résistances variables.

Les freins sont au nombre de deux : 1° Un frein à ruban agissant sur l'essieu arrière, commandé par une pédale ; 2° un frein mécanique ordinaire agissant sur les roues arrière, qui sont, ainsi que les roues avant, garnies de bandages en caoutchouc plein.

Scheele, voulant étudier différents systèmes de transmission et de marche, a construit deux autres voitures, sur des données différentes.

Dog-car. — Le dog-car est mû par un seul moteur, entraînant l'essieu arrière par l'attaque d'une roue dentée et d'un pignon ; naturellement un seul moteur nécessite l'emploi d'un différentiel ; mais celui-ci sert en même temps de frein à ruban, une bande d'acier étant enroulée autour de sa partie extérieure.

Le poids total de la voiture est de 1.200 kilogrammes.

Voiture de livraison (fig. 167). — La batterie d'accumulateurs et le genre de transmission sont identiques à ceux de la première voiture ; mais la partie motrice est constituée par un seul moteur d'une puissance mécanique de 6 chevaux, auquel est adjoint un différentiel.

Les roues sont simplement garnies de bandages en fer. La batterie, composée de 44 éléments, est placée en-dessous de la caisse à laquelle elle est suspendue par un double ressort. Les changements de vitesse sont produits comme dans le dog-car, le moteur marchant sous 22, 44 ou 88 volts pour les différentes allures en avant et en arrière,



FIG. 167. — Voiture de livraison Scheele.

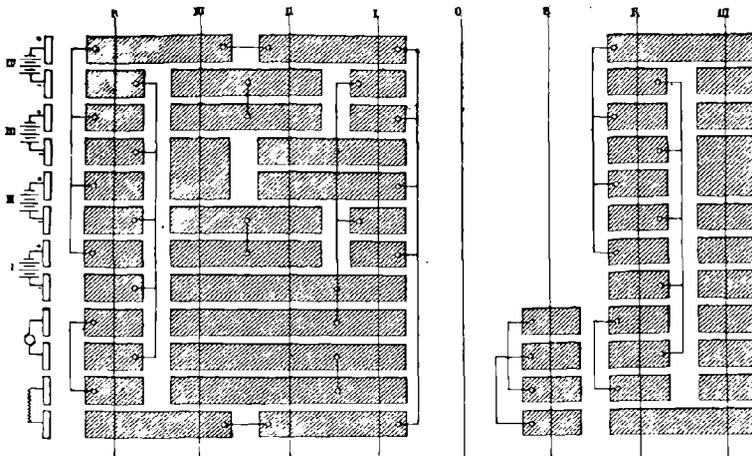


FIG. 168. — Développement du combinateur Scheele pour la marche avec un seul moteur.

ainsi que le montre le développement du combinateur

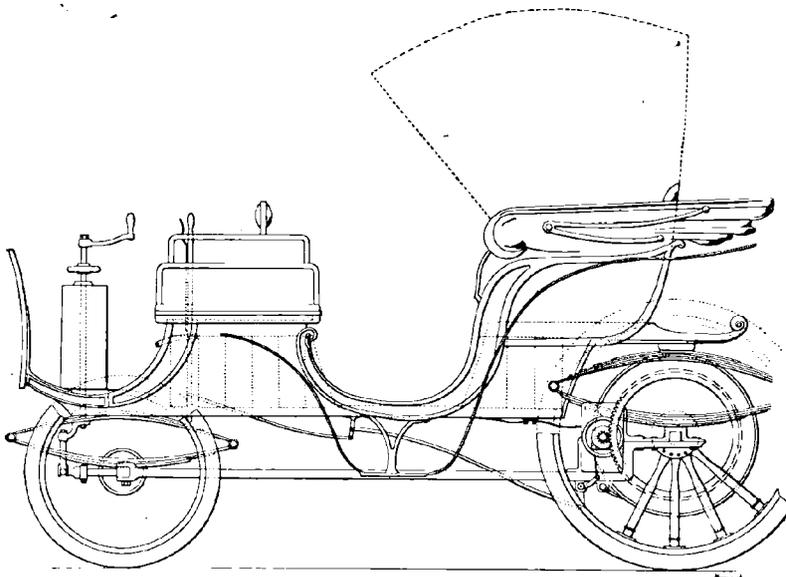


FIG. 169. — Coupé-mylord Scheele

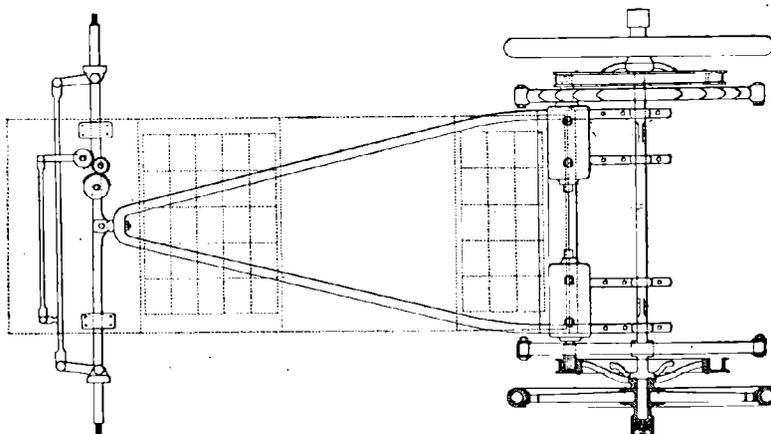


FIG. 170. — Coupé-mylord Scheele, plan du châssis.

(fig. 168). Après ces premiers essais, le type normal adopté

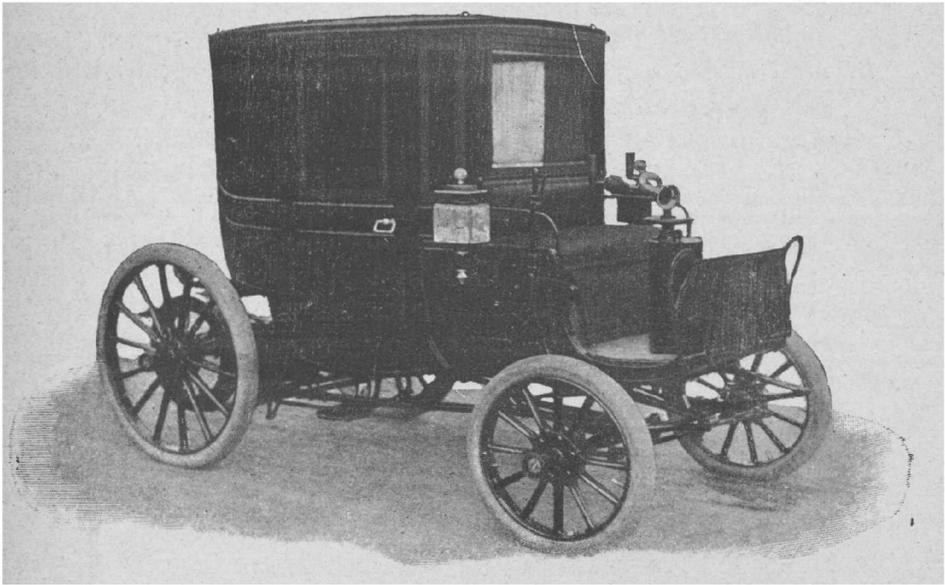


FIG. 171. — Coupé-mylord Scheele, avec la caisse du coupé.

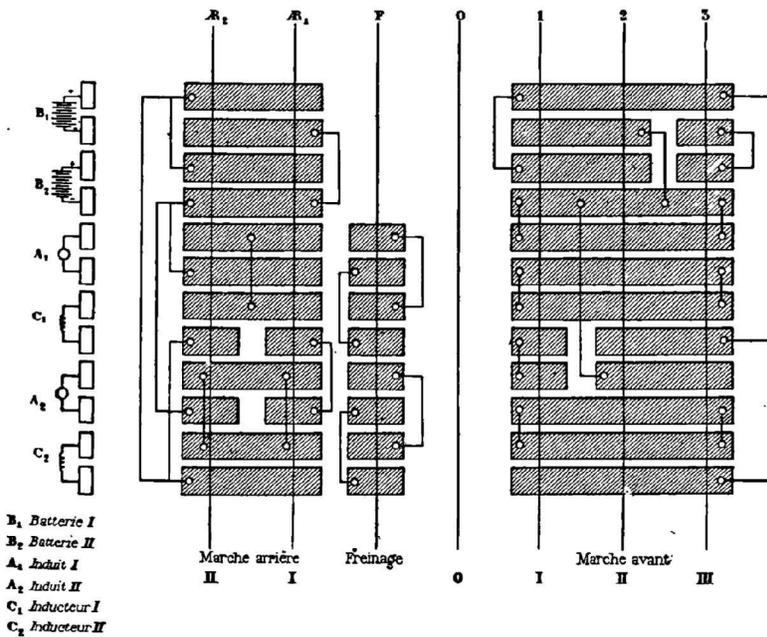


FIG. 172. — Développement du combinateur Scheele pour la marche à deux moteurs en parallèle.

par la maison Scheele est un châssis à deux moteurs avec transmission par engrenages en bronze phosphoreux protégés par des carters en aluminium (*fig. 170*); c'est une voiture de ce modèle qui a pris part au concours des électromobiles à Berlin, en avril 1900. Les moteurs commandent l'arrière-train. Le combinateur, dont le développement est donné par la figure 172, donne les variations indiquées dans le tableau ci-dessous :

MARQUE du COMBINA TEUR	ROLE	BATTERIE	MOTEURS
AR2	Marche arrière, 2 ^e vitesse	En parallèle	En parallèle, inducteurs inversés de la position de marche avant
AR1	Marche arrière, 1 ^{re} vitesse	—	En série, inducteurs inversés
F	Freinage électrique	Hors circuit	En court-circuit
0	Arrêt	—	Hors circuit
1	1 ^{re} vitesse en avant	En parallèle	En série
2	2 ^e —	—	En parallèle
3	3 ^e —	En série	En parallèle

Le combinateur est fixé autour de la tige de commande de la direction. Les deux moteurs sont suspendus au châssis par des ressorts; leur vitesse est de 700 tours par minute; la direction se fait par engrenages et chaînes. Le poids total de la voiture est de 1.400 kilogrammes. Les caisses sont interchangeableables.

Moteur électrique et combinateur de la Vereinigte elektricitäts actiengesellschaft de Vienne. —

Les moteurs construits par cette société sont de deux types principaux; soit à induit à double enroulement avec marche en série parallèle, soit à induit à un enroulement seulement. Ces types sont faits avec ou sans différentiel; la puissance qu'ils sont susceptibles de fournir varie entre 3 et 5 chevaux, à une vitesse allant de 350 tours par minute, pour le modèle le plus faible, jusqu'à 700 tours par minute, pour le plus fort.

La description suivante se rapporte à un moteur du type A5, dont les constantes sont :

Vitesse angulaire.....	500 tours par minute.
Poids.....	135 kilogrammes.
Puissance utile.....	3,5 chevaux.

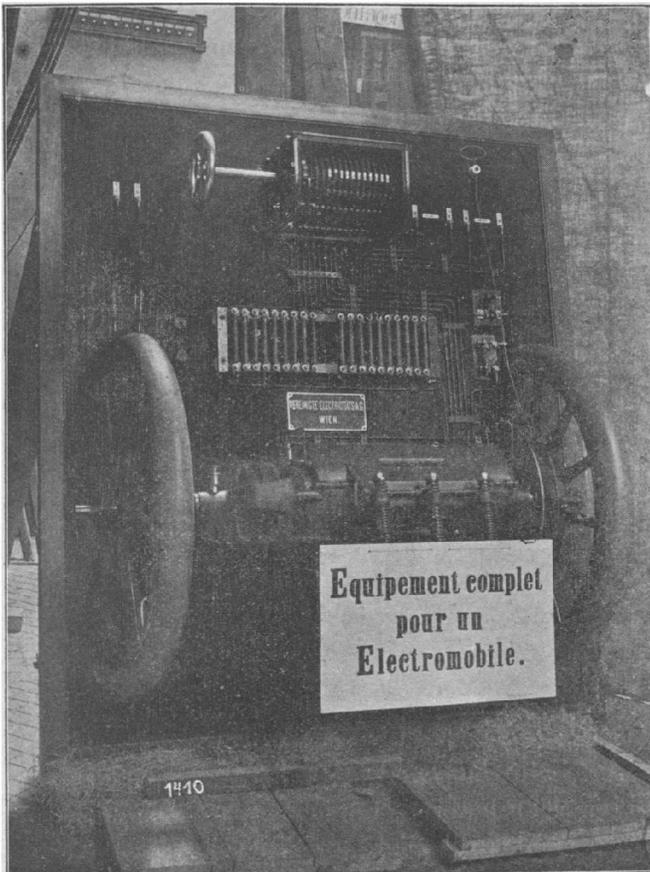


Fig. 173. — Equipement de la Vereinigte elektricitäts actiengesellschaft.

La marche normale du moteur donne, pour une différence de potentiel de 80 volts, un rendement de 80 0/0.

Induit. — La carcasse de l'induit est constituée par des disques en tôle de fer au bois, formant un induit denté; les fils de l'induit, placés dans les encoches, sont isolés de la carcasse avec du mica et calés avec de la fibre.

L'enroulement est fait avec deux collecteurs, donnant aussi deux induits distincts sur la même carcasse; l'extrémité des bobines est reliée aux lames du collecteur par des vis avec contre-écrou permettant un entretien rapide; les lames du collecteur sont en cuivre dur isolées par du mica et maintenues solidement sur l'arbre. Les balais sont en charbon.

Inducteurs. — Le moteur est du type cuirassé, l'inducteur formant l'enveloppe du moteur; il est constitué par une

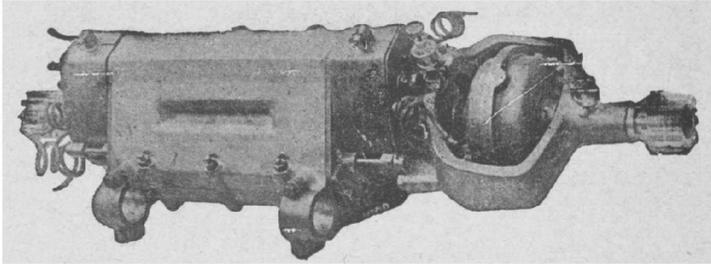


FIG. 174. — Moteur de la Vereinigte elektricitäts A. G., Fermé.

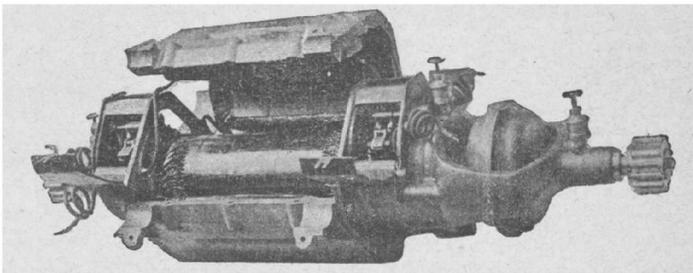


FIG. 175. — Moteur de la Vereinigte elektricitäts A. G., Ouvert.

carcasse en fonte d'acier en deux parties articulées par des charnières, qui permettent un démontage facile de l'induit.

Le moteur est tétrapolaire, chaque moitié de la carcasse portant deux pôles; les bobines magnétisantes, enroulées en série avec l'induit, sont maintenues sur les pôles.

Les figures 174 et 175 montrent, du reste, la vue du moteur fermé et ouvert.

Les extrémités de la carcasse des inducteurs sont formées par des flasques qui servent de paliers avec coussinets en bronze, graissés à la graisse consistante.

Transmission du mouvement. — L'arbre de l'induit est creux et porte les satellites d'un différentiel dont les deux pignons transmettent par des arbres pleins, dont l'un est concentrique intérieurement à l'arbre de l'induit, le mouvement aux roues motrices par des pignons en bronze engrenant avec des roues en acier fixées sur les moyeux des roues de la voiture.

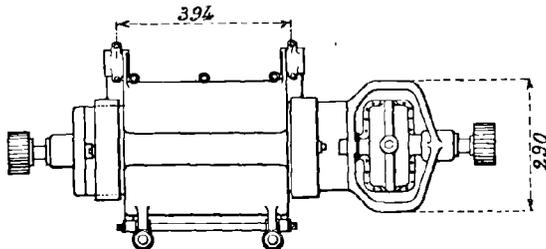


FIG. 176.

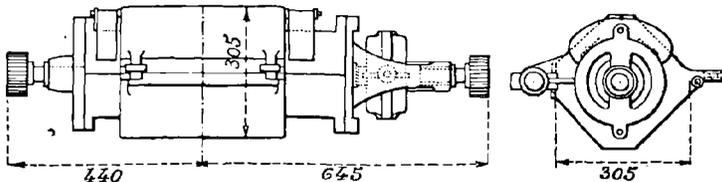


FIG. 177.

Tout le moteur est suspendu par deux attaches après l'essieu arrière.

Les figures 176 et 177 donnent les dimensions d'encombrement du moteur.

Cette transmission par un différentiel calé sur l'arbre même résoud élégamment le problème de la suppression d'un arbre intermédiaire.

Combinateur. — Le combinateur est constitué par un cylindre en matière isolante monté sur une carcasse en aluminium et portant des contacts en laiton avec pare-étincelles en cuivre; les frotteurs sont aussi en laiton.

Ce combinateur est commandé par un volant; ses dimensions sont données par la figure 178.

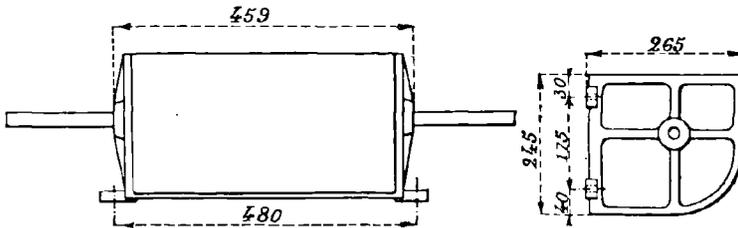


FIG. 178. — Encombrement du combinateur.

Les variations qu'il peut donner sont :

5 vitesses avant dont une pour le démarrage;

2 vitesses en arrière;

3 positions de freinage électrique;

Le démarrage se fait sur une résistance en nickeline.

Les quatre vitesses franches sont obtenues ainsi :

1^{re} vitesse : la batterie divisée en deux groupes réunis en quantité; les deux enroulements induits en tension.

2^e vitesse : la batterie comme pour la première vitesse; les deux induits en parallèle.

3^e vitesse : la batterie en tension, les induits en tension; bien que les induits fonctionnent sous la même différence de potentiel qu'à la deuxième vitesse, puisqu'ils sont en série sous une différence de potentiel deux fois plus grande, la vitesse augmente, l'inducteur étant unique et le nombre d'ampères-tours dans l'excitation étant, par suite, deux fois plus faible qu'à la deuxième position.

4^e vitesse : la batterie en tension ; les induits en parallèle.

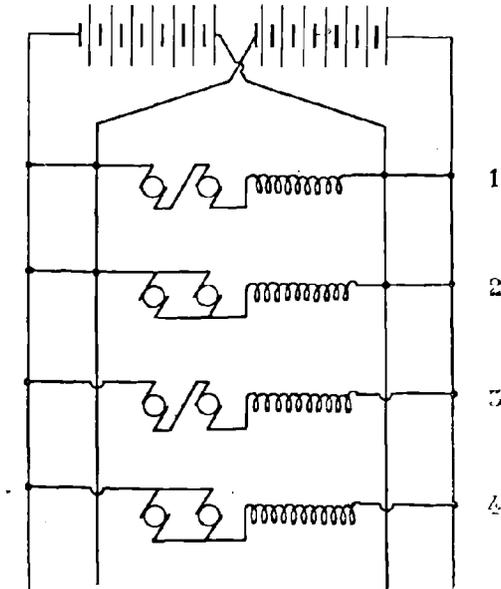


Fig. 179. — Schéma des couplages effectués par le combinateur de la Vereinigte elektricitäts A. G.

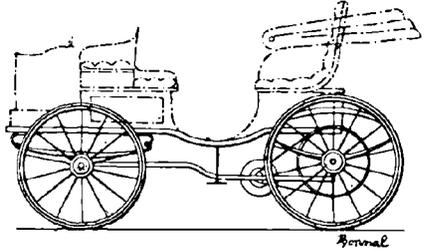
En outre du combinateur, l'équipement comporte un interrupteur commandé par les freins à bande et qui coupe le courant avant le freinage

Voiturette électrique Joël ⁽¹⁾. — La voiture anglaise Joël est constituée par un châssis en tubes ; la forme du châssis est indiquée par la figure 180 ; elle est actionnée par deux moteurs placés au centre du châssis entre les traverses du truck ; à l'extrémité de l'arbre de l'induit de chaque moteur, se trouve un pignon P engrenant avec une roue dentée non visible sur le dessin et

(¹) *The Horseless age*, 1900.

ayant un rapport de réduction de 1 à 2; c'est le pignon inter-

Elevation



Plan

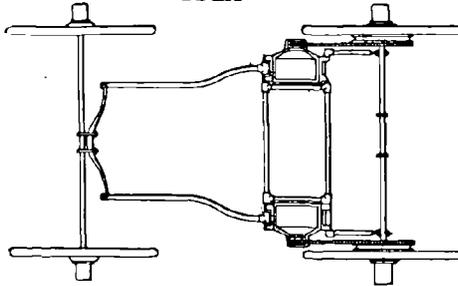


FIG. 180. — Châssis de la voiture Joël

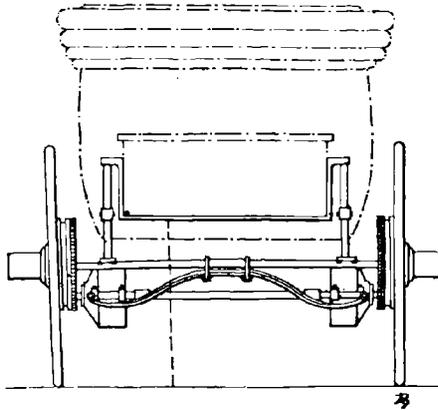


FIG. 181. — Vue de l'arrière de la voiture Joël.

médiaire qui transmet le mouvement aux roues arrière

par une chaîne donnant un rapport de 5 à 1. La réduction totale est alors de 10 à 1.

Les roues avant ont $0^m,75$ de diamètre, et les roues arrière $0^m,825$; elles sont toutes munies de pneumatiques.

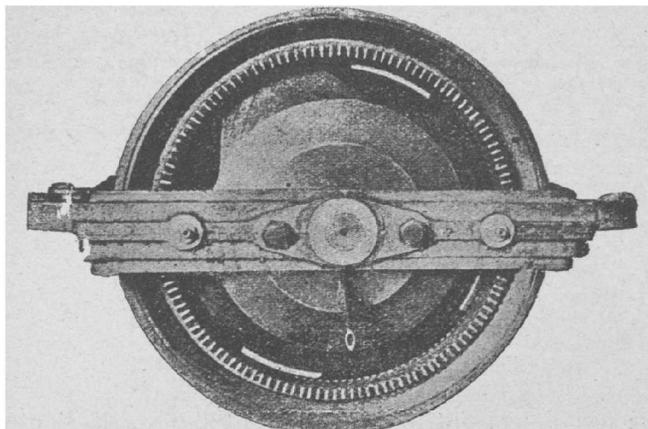


FIG. 182. — Moteur Joël.

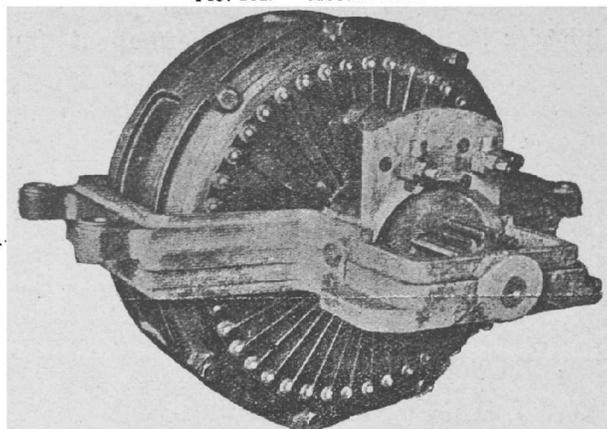


FIG. 183. — Moteur Joël vu du pignon.

La voie des roues arrière est d'environ $1^m,37$ et l'em-pattement d'environ $1^m,65$.

La forme du moteur est représentée par les figures 182 et 183.

L'induit est mobile, mais extérieur à l'inducteur ; c'est, par conséquent, un induit en anneau ; l'inducteur est multipolaire et constitué par deux plateaux portant chacun six

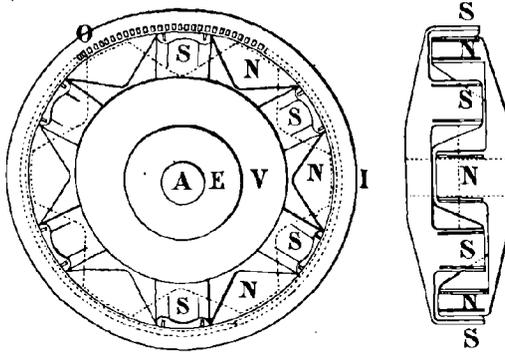


FIG. 184. — Inducteurs du moteur Joël.

pôles ; ces deux plateaux s'emboîtent l'un dans l'autre et constituent ainsi un inducteur à douze pôles placés sur sa périphérie ; les figures 184 et 185 permettent d'en com-

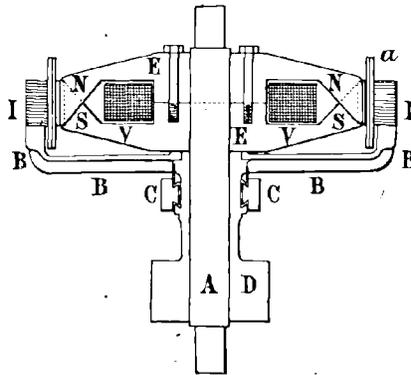


FIG. 185. — Coupe du moteur Joël par un plan parallèle à l'arbre.

prendre facilement le montage ; ces deux plateaux sont boulonnés l'un à l'autre par leur centre, et c'est autour du noyau central qu'est posée la bobine magnétisante.

L'induit est en tôle de fer et est représenté en I sur la coupe du moteur (*fig. 185*) ; il est relié par les bras B, trans-

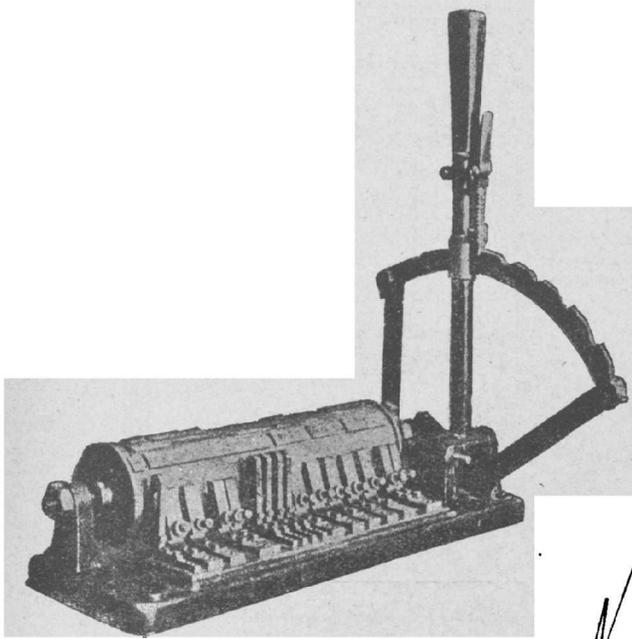


FIG. 186. — Combinateur Joël.

versaux à un manchon concentrique à l'arbre A ; ce manchon porte le pignon D et le collecteur C qui est relié à l'induit ; l'inducteur est calé sur l'arbre fixe A. Le poids de chaque moteur est de 51 kilogrammes ; ils développent normalement

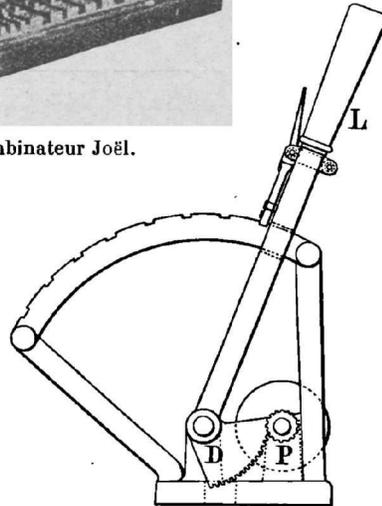


FIG. 187. — Commande du combinateur.

une puissance de 2 chevaux avec une vitesse de 700 tours par minute. Leur rendement à 40 volts serait de 70 0/0 à demi-

charge, 85 0/0 à la charge normale et 89 0/0 avec 50 0/0 de surcharge.

Leur excitation est du type shunt.

Le combinateur est constitué par un cylindre en matière isolante (*fig. 186*), portant des barrettes de cuivre destinées à

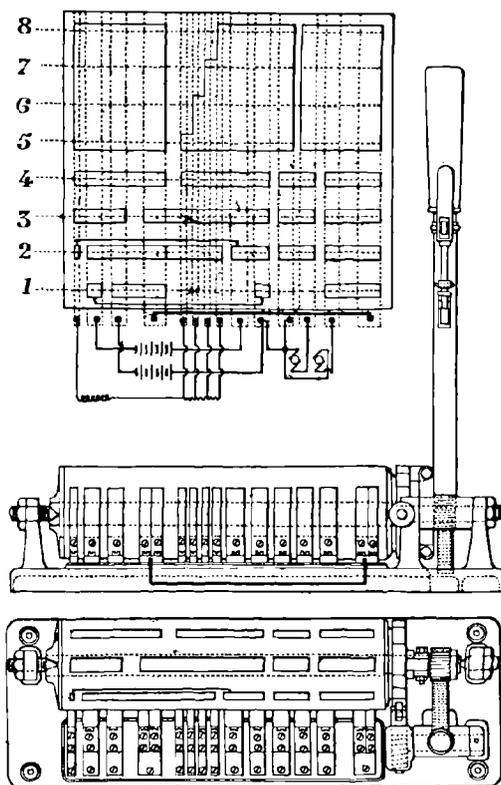


FIG. 188. — Développement, élévation et plan du combinateur Joël.

effectuer les couplages entre les bornes des différents appareils; ces bornes sont en contact avec le cylindre par l'intermédiaire de frotteurs à roulettes; le cylindre est commandé par un levier L (*fig. 187*) se déplaçant sur un secteur

avec crans d'arrêt et portant inférieurement un secteur denté D engrenant avec les pignons P du cylindre.

La figure 188 nous donne le schéma du combinateur avec son développement.

Les combinaisons qu'il permet d'effectuer sont :

Position 1, charge : les deux batteries en série;

- 2, marche arrière : les deux batteries en parallèle; les pôles croisés à l'excitation, les deux moteurs en série;
- 3, première vitesse avant : le même couplage qu'au n° 2, mais les inducteurs à pôles non croisés;
- 4, deuxième vitesse : les deux batteries en parallèle et les deux moteurs en parallèle;
- 5, troisième vitesse : même couplage qu'au n° 5; mais une résistance est intercalée dans le circuit d'excitation;
- 6, quatrième vitesse : deux résistances en série dans l'excitation;
- 7, cinquième vitesse : trois résistances en série dans l'excitation;
- 8, sixième vitesse (maximum) : l'intensité du champ est réduite à son minimum;

Le freinage se fait par la mise en court-circuit de l'induit, les inducteurs excités. La direction se commande par un guidon.

Le poids de la voiturette est de 250 kilogrammes sans les accumulateurs et 600 kilogrammes avec les accumulateurs.

CHAPITRE XV

VOITURES PÉTROLÉO-ÉLECTRIQUES

Le plus grand inconvénient que possède la voiture électrique actuelle, c'est le parcours relativement restreint qu'elle peut couvrir ; les essais véritablement pratiques de voitures électriques ont montré, en effet, que la plus grande distance parcourue était de 120 kilomètres en terrain plat ; pour obtenir de plus longs trajets, on est obligé de transporter un poids mort absolument énorme. D'un autre côté, les voitures à pétrole sont loin d'être la perfection. Le peu d'élasticité du moteur à pétrole l'empêchant de varier de vitesse dans des limites assez larges, les variations de vitesse sont obtenues par engrenages ; dans ces conditions, le moteur fonctionne avec un mauvais rendement et une dépense d'essence très grande.

On a cherché, en partant de ces points, à concilier dans certaines voitures, les avantages du moteur électrique et ceux du moteur à pétrole, de façon à pouvoir obtenir de longs parcours, sans avoir la complication d'organes des voitures à pétrole et l'ennui des accumulateurs déchargés, on a été ainsi amené aux voitures pétroléo-électriques qui sont des voitures électriques pourvues d'un moteur à pétrole associé à une dynamo, et qui tantôt recharge les accumulateurs, tantôt au contraire ajoute simplement sa puissance à celle d'un moteur électrique qui peut être la dynamo elle-même.

Voitures Johnson ⁽¹⁾. — Dans ces voitures l'avant-train est à la fois moteur et directeur. Les organes moteurs sont enfermés dans un caisson A ; ils sont constitués par un moteur à pétrole à deux cylindres C, une dynamo généra-

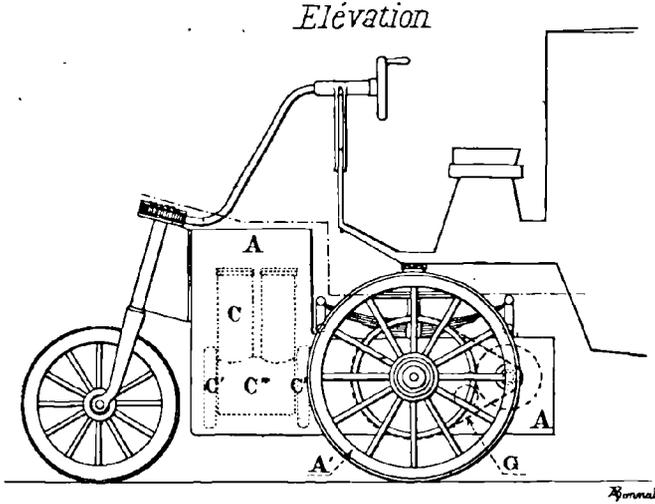


FIG. 189. — Voiture pétroléo-électrique Johnson.

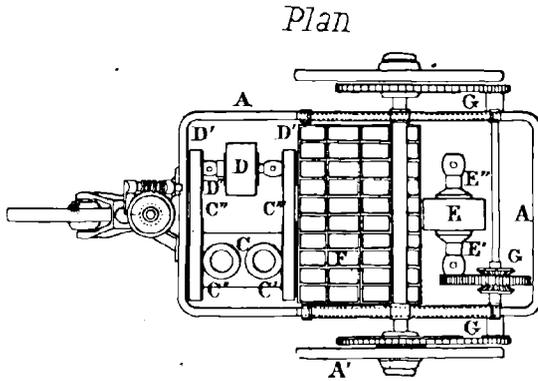


FIG. 190. — Voiture pétroléo-électrique Johnson.

trice D, une batterie d'accumulateurs F et une dynamo réceptrice E (fig. 189 et 190).

⁽¹⁾ *La Locomotion automobile*, 1899.

Le moteur C actionne, au moyen de ses deux volants C' et des courroies C'', l'arbre de la dynamo D dont le collecteur est représenté en D'', avec ses balais, sur le schéma (*fig.* 190).

A côté de ce moteur C, se trouvent les accumulateurs F et, tout à fait en arrière de l'avant-train, est disposée la dynamo réceptrice E, recevant le courant des accumulateurs F et le transmettant aux roues motrices A' par un différentiel G et des chaînes G'.

Lorsque la voiture marche dans des conditions normales, la dynamo D fonctionne, partie pour charger les accumu-

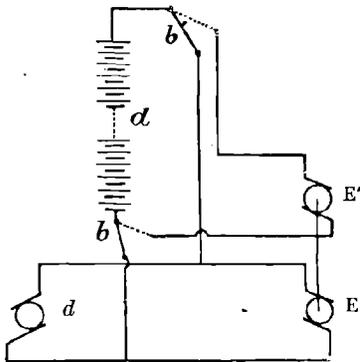


FIG. 191.

lateurs F, partie pour actionner la dynamo réceptrice par l'intermédiaire du collecteur E'. Maintenant, lorsqu'il s'agit de franchir une forte rampe ou que, pour une autre raison quelconque, il est nécessaire d'employer momentanément un effort plus considérable, les accumulateurs F sont séparés de la dynamo génératrice D et reliés à la dynamo réceptrice E par le collecteur E'. Cette dynamo réceptrice est, par conséquent, actionnée à ce moment par une puissance plus grande que celle qui lui était transmise auparavant.

Les commutateurs b, b' servent, lorsqu'ils se trouvent dans les positions indiquées par les lignes pleines (*fig.* 191), à mettre les accumulateurs en communication avec la dynamo génératrice dans le but de les charger, cette dynamo étant reliée par le collecteur E' à la dynamo réceptrice E. Lorsque les commutateurs occupent les positions indiquées par les traits ponctués, les accumulateurs sont séparés de la dynamo D

et reliés au second collecteur E" de la réceptrice, à laquelle ils fournissent, par conséquent, la puissance nécessaire.

Cette voiture présente le désavantage que l'aide du moteur électrique n'est pas automatique.

Voiture de la Fischer equipment Co (1). — Ce véhicule américain construit pour poids lourds est monté sur des roues très solides qui ont des bandages d'acier de 10 centimètres, et qui sont portées par des essieux de 89 millimètres de diamètre munis de roulements à billes. Le siège du conducteur est disposé à la place usuelle, et la direction se fait par un volant d'assez grandes dimensions.

La propulsion est produite par deux moteurs électriques d'une puissance de 5 chevaux chacun, actionnant par engrenage direct les roues arrière; on peut faire donner à chacun de ces moteurs une puissance de 10 chevaux, pendant une période de trente minutes, sans échauffement dangereux.

L'énergie qui alimente ces deux moteurs est fournie par un moteur à gazoline à trois cylindres et d'une puissance de 8 chevaux actionnant une dynamo génératrice; l'excès d'énergie, dont on n'a pas besoin pour la propulsion du véhicule dans des conditions normales, est mis en réserve dans une batterie de 40 accumulateurs ayant une capacité de 144 ampères-heures, qui sont disposés dans une grande boîte qui s'étend sur toute la largeur de l'automobile. Cette voiture peut disposer des vitesses de 6, 4, 9, 6 et 11^{km},20 à l'heure, en marche soit avant, soit arrière. Le poids total de ce « poids lourd » est de 4.082 kilogrammes, et il peut porter une charge de 7.257 kilogrammes.

Quant au moteur à gazoline, il est placé longitudinalement au caisson, dans la partie avant du corps de celui-ci. Sous le siège du conducteur se trouve un réservoir à gazoline d'une capacité de 45 litres et demi, suffisante pour un parcours de 10 heures; enfin on a suspendu sous le corps

(1) *La Locomotion automobile*, 1898.

du camion un réservoir à eau de refroidissement qui peut contenir 91 litres. Cette eau, après s'être échauffée autour des cylindres de la machine, va circuler et se refroidir dans un radiateur à l'avant et sur les côtés de la voiture.

Voiture Pieper⁽¹⁾. — Le résultat assez complexe qu'on recherche par l'association automatique du pétrole et de l'électricité a été réalisé d'une façon assez simple par les établissements Pieper de Liège, grâce à la combinaison d'un moteur à pétrole, d'un moteur électrique et d'une batterie d'accumulateurs.

En principe, la voiture est ainsi constituée :

A l'avant du châssis se trouve un moteur à pétrole vertical, à un seul cylindre et à quatre temps ; sur l'arbre de ce moteur à pétrole se trouve calée une dynamo, qui est reliée au pignon de commande des roues arrière par un changement de vitesse mécanique.

La voiture, lorsqu'elle roule sur un terrain plat n'absorbe pas toute la force produite par le moteur à pétrole qui actionne alors, en même temps que la voiture, la dynamo calée sur son arbre, et le courant produit par celle-ci sert à charger une batterie d'accumulateurs placée sur la caisse ; cette marche se continue tant qu'on n'a pas besoin de toute la force du moteur ; mais si, par suite d'une inclinaison du terrain ou du mauvais état de la route, la résistance au roulement de la voiture augmente, une plus grande force devient nécessaire ; à partir du moment où le moteur à pétrole devient insuffisant, la vitesse diminue et, par suite, la différence de potentiel aux bornes de la dynamo s'abaisse, puisqu'elle est fonction de la vitesse ; diminuant, elle devient inférieure à celle de la batterie d'accumulateurs qui se décharge dans la dynamo génératrice, la faisant alors fonctionner comme moteur ou réceptrice, dans le même sens

(1) *La Locomotion automobile*, 1899.

que le moteur à pétrole, auquel s'ajoute sa puissance, lui permettant ainsi de produire le travail demandé par la voiture.

Lorsque la vitesse du moteur à pétrole, et par suite celle de la dynamo, atteignent la valeur pour laquelle la différence de potentiel de la batterie devient inférieure à celle de la dynamo, le moteur à pétrole actionne seul la voiture, et la batterie se recharge. Il y a un moment où, les différences de potentiel étant égales, le moteur à pétrole est seul utilisé pour la propulsion.

Pendant les descentes, la batterie se recharge naturellement beaucoup plus que dans les paliers et peut, à un certain moment, être retirée du circuit afin d'éviter une surcharge qui pourrait lui être nuisible, un voltmètre placé sur le garde-crotte, avec un ampèremètre, indique son état de charge.

Comme on le voit, tout ceci s'est passé automatiquement sans nécessiter aucune manœuvre de la part du conducteur de la voiture, qui ne fait que régler sa vitesse par des moyens mécaniques appropriés.

Certains détails sont nécessaires pour une pareille application; dans les voitures électriques ordinaires, dont le moteur ne possède qu'un seul genre d'enroulement inducteur, celui-ci est généralement du type série; ici, on ne peut employer ce genre d'excitation, puisqu'on aurait inversion des pôles quand la batterie se déchargerait; on emploie donc une dynamo excitée en dérivation; dans ce type, en effet, quelle que soit la direction du courant aux balais, le sens reste le même dans l'enroulement inducteur, et, par suite, les pôles ne peuvent être changés.

Le moteur à pétrole, dans cette voiture, fonctionne toujours à pleine charge; sa force est toujours complètement utilisée; le rendement est donc maximum, et la dépense d'essence est réduite.

Au point de vue de la batterie d'accumulateurs, un avan-

tage se produit pour son bon fonctionnement ; elle se trouve ici dans le même cas qu'une batterie-volant ordinaire, et en effet sa fonction absolue est de servir de régulateur au moteur à pétrole ; dans ces conditions elle travaille, dans la plus grande généralité des cas, dans la partie de la courbe de décharge située au commencement, avec une différence de potentiel variable suivant le type d'élément, mais qui, pour les éléments à oxyde rapporté, est comprise entre 2 et 2,05 volts. Il est certain qu'en cette partie la décharge fatigue beaucoup moins les plaques que pendant la fin, alors que la différence de potentiel se trouve dans les environs de l'inclinaison de la courbe vers l'axe des temps ; en ce moment les actions électrochimiques se précipitent et abiment beaucoup plus les électrodes. Vu l'état de travail particulier dans lequel se trouvent les accumulateurs, on peut considérablement diminuer leur poids, et par suite celui de la voiture.

En résumé, on voit que, dans ce type d'automobile, les Établissements Pieper ont cherché à placer les organes dans les meilleures conditions de fonctionnement pour chacun d'eux.

Détails de la voiture. — La caisse de la voiture repose, par l'intermédiaire de ressorts disposés au-dessus de chaque essieu sur un châssis en tubes d'acier étiré à froid, sans soudure. Le moteur à pétrole, de la puissance de 3 1/2 chevaux, est placé à l'avant du châssis au-dessus et au milieu de l'essieu ; le refroidissement du cylindre se fait par des ailettes ; au-dessous du moteur se trouve un petit réservoir d'eau qui sert au refroidissement de la culasse et des boîtes à soupapes ; l'eau ayant servi à cet usage retourne au réservoir en passant par des radiateurs placés à l'arrière, où elle se refroidit.

Le carburateur est d'un type spécial, à barbotage et à niveau constant ; l'allumage est, bien entendu, électrique ; le courant est emprunté à la batterie d'accumulateurs. Les bonnes conditions de fonctionnement du moteur, dont la

carburation est réglée une fois pour toutes, et son excellente réalisation pratique, font que la voiture ne donne que très peu de fumée et d'odeur.

L'arbre du moteur à pétrole, placé dans le sens de la longueur, suit le plus grand axe de la voiture, et, ainsi que nous l'avons dit plus haut, sert d'arbre à la dynamo, d'une

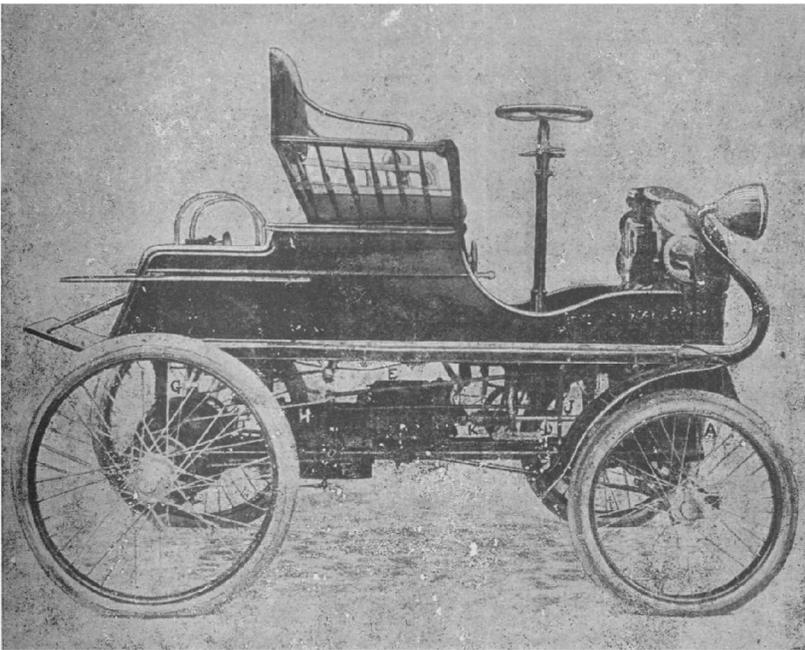


FIG. 192. — Voiture pétroléo-électrique Pieper.

puissance de 1.800 watts, qui est enfermée dans un carter; à la suite de celui-ci s'en trouve un second qui renferme les engrenages du changement de vitesse et l'extrémité de l'arbre de la dynamo avec son pignon de commande; tous ces organes plongent dans l'huile et tournent sans bruit.

Sur l'essieu arrière se trouve le différentiel commandé

par le pignon-cône, calé sur l'arbre des changements de vitesse.

La batterie d'accumulateurs pèse 125 kilogrammes et se compose de 40 éléments fonctionnant toujours montés en tension; elle peut débiter 20 watts par kilogramme de poids total. Le montage de la voiture est effectué de telle sorte que, par un débrayage, on peut charger la batterie pendant un arrêt si, pour une raison quelconque, elle a été un peu trop déchargée.

La présence d'énergie électrique donne encore un avantage considérable à la voiture, c'est sa mise en marche facile; tous les chauffeurs connaissent la difficulté qu'on éprouve parfois à mettre en marche les automobiles à pétrole, en particulier celles dont le moteur est à grande puissance; ici le démarrage est simple et facile; on a réalisé sur la voiture un procédé qui s'emploie journellement dans toutes les stations productrices d'électricité, fonctionnant avec des moteurs à gaz ou à pétrole, c'est d'amorcer le moteur en le faisant tourner à l'aide de la dynamo travaillant comme réceptrice, l'énergie lui étant fournie par les accumulateurs; il suffit donc, pour faire partir le moteur, de fermer le courant des accumulateurs sur la dynamo, en intercalant un rhéostat de démarrage.

La marche arrière est purement électrique; elle s'obtient en fermant l'arrivée de l'air carburé, en inversant le courant des accumulateurs à l'aide d'un interrupteur placé sous le volant de direction et en intercalant le rhéostat de démarrage.

En cas d'accident survenu au moteur à pétrole et pouvant enrayer la marche, on le découple de la dynamo; l'arbre commun est en effet, dans ce but, formé par deux tronçons réunis par un accouplement maintenu par une vis de pression; il suffit de desserrer cette vis et de pousser le raccord, pour obtenir l'isolement du moteur à pétrole; la voiture fonctionne alors comme automobile électrique, et peut couvrir facilement 35 à 40 kilomètres en palier.

La voiture est munie de deux sortes de freins : 1° d'un frein à ruban agissant sur les poulies situées près des moyeux des roues motrices ; 2° d'un frein dont l'effet se produit sur l'arbre moteur. En outre de ces deux moyens de freiner, il faut remarquer que, dans les descentes, la dynamo produit un freinage puisque, fonctionnant comme génératrice, elle a tendance, par suite de l'augmentation de vitesse, à produire un courant de puissance trop grande pour la valeur calculée du moteur.

Le poids de la voiture est de 600 kilogrammes ; elle peut gravir des côtes de 12 0/0, sans que la vitesse devienne inférieure à 12 kilomètres à l'heure.

Comparaison entre les voitures pétroléo-électriques et les voitures électriques. — Il est facile de se rendre compte que la voiture pétroléo-électrique est plus économique que la voiture électrique au point de vue consommation. En effet, dans la voiture électrique, le prix de revient du cheval-heure est toujours dépendant du prix du kilowatt-heure qui, dans les bonnes exploitations, de puissance moyenne, revient à 0 fr. 15.

Or le rendement des accumulateurs, celui du moteur et le rendement organique, donnent ensemble, dans les meilleures conditions, environ 55 0/0, c'est-à-dire que le cheval-heure aux jantes reviendra au minimum à :

$$\frac{736 \times 100 \times 0,15}{55} = 0,20 \text{ fr.}$$

En réalité, en comptant l'entretien des batteries, le prix sera fortement majoré, puisque, ainsi qu'on l'a vu au chapitre 1^{er}, l'entretien revient, en général, à 0 fr. 09 par voiture-kilomètre, ce qui augmente largement le prix du cheval-heure.

Dans la voiture pétroléo-électrique, le moteur à pétrole, fonctionnant toujours à sa charge maximum, se trouve dans

d'excellentes conditions de rendement ; quand on utilise directement la puissance du moteur à pétrole à entraîner une dynamo qui actionne un moteur avec une batterie servant de volant, le rendement moyen sera de 75 0/0, ce qui conduit à une consommation de pétrole d'environ 460 grammes par cheval-heure, aux jantes, si on admet une consommation de 350 grammes d'essence par cheval-heure.

Quand la voiture est du genre de la voiture Pieper, on se trouve ramené à la voiture à pétrole ordinaire, mais avec un meilleur rendement, pour la même raison que ci-dessus, et en outre on n'est pas obligé de prévoir un moteur destiné à de fortes rampes marchant la moitié du temps à demi-charge, puisque le moteur électrique lui apportera son appoint dans les coups de collier.

Un autre avantage que les voitures pétroléo-électriques présentent sur les voitures à pétrole ordinaires, c'est qu'à l'arrêt, quelque courte que soit sa durée, on peut arrêter le moteur à pétrole, puisque le moteur électrique permettra le démarrage et la mise en route. Cette économie n'est pas à dédaigner.

Les accumulateurs électriques dans les voitures pétroléo-électriques. — Les accumulateurs, ainsi que nous l'avons indiqué au chapitre xv, n'ont pas ici le même fonctionnement que dans les voitures électriques ; leur travail s'effectuant dans le genre de celui des batteries-tampon, ils travaillent normalement dans les parties hautes de leur courbe de décharge.

Par suite de ce travail, les plaques fatigueront beaucoup moins, pourvu qu'on ait soin de ne point trop les surcharger ; et leur entretien, de ce fait, sera plus faible ; mais certaines conditions sont, pour cette application, absolument essentielles.

Comme il est souvent difficile d'exiger qu'un conducteur ait l'œil fixé sur le voltmètre, il peut arriver des surcharges

fréquentes et, en outre, il peut être utile d'avoir la batterie en circuit pour éviter les emballements du moteur. Aussi doit-on déjà rejeter les batteries légères et fragiles à grande capacité, à qui ce régime de surcharge est très préjudiciable. Il n'est point besoin ici de grande capacité, et le poids d'une batterie robuste, bien que toujours un peu gênant, ne sera pas un trop grave inconvénient. Les plaques à formation Planté sont donc ici tout indiquées car, en outre de leur solidité, elles seules peuvent présenter des caractéristiques à inclinaison très faible ou, en d'autres termes, elles seules peuvent ne donner que de très légères variations dans la différence de potentiel sous des à-coups élevés de charge et de décharge, par suite de leur résistance intérieure, particulièrement faible.

Le travail qu'on demande ainsi aux batteries étant d'aider principalement aux coups de collier, il est nécessaire que les électrodes aient une grande surface, ce qui n'est pratiquement possible qu'avec les plaques à formation auto-gène, les plaques Faure ne pouvant permettre l'augmentation de la surface qu'au détriment de leur épaisseur et de leur solidité.

Il en est, du reste, dans ce cas exactement de même que pour les batteries-volants stationnaires qui actuellement sont toutes à formation Planté, la faible résistance intérieure étant la condition absolue d'un excellent réglage.

Il est regrettable qu'actuellement les voitures pétroléo-électriques soient négligées et que les essais entrepris n'aient point été poussés assez loin; il y avait là une voie nouvelle pour l'automobilisme, et les résultats eussent été bons d'après ce que laissaient prévoir les tentatives déjà faites. Espérons qu'on recommencera les recherches dans cet ordre d'idées.

CHAPITRE XVI

CONCLUSION

Nous nous sommes efforcés, dans le cours de cet ouvrage, de décrire en détails la construction, en son état actuel, des voitures électriques. Après un engouement rapide et fugace, l'électromobilisme est aujourd'hui dans une passe bien mauvaise; suit-il le malaise général qui résulte pour notre industrie, des efforts faits en vue de l'Exposition, se trouve-t-il simplement victime de la crise que traverse toute l'industrie automobile? Peut-être. Il n'en est pas moins certain que si, actuellement, la voiture électrique est parfaite, les réservoirs d'énergie, eux, ne le sont pas; ils sont loin de répondre à la demande générale : légèreté, grande capacité spécifique et solidité; ce sont les trois grosses difficultés du problème à résoudre et leur solution n'est pas encore trouvée, bien au contraire, quoique, de tous côtés, surgissent des brevets en nombre incalculable sur des perfectionnements apportés aux accumulateurs. Malgré toutes ces améliorations (sur le papier), on en est toujours au même point. Pour nous, l'erreur est que l'on cherche plus à faire des éléments légers que des éléments solides à entretien réduit. Si la Compagnie générale des voitures a cessé son exploitation après avoir fait de lourds sacrifices pour la prolonger le plus longtemps possible, c'est qu'il lui était impossible de continuer dans les conditions d'entretien auxquelles elle devait faire face.

Au point de vue de la simplicité mécanique, il est dif-

facile d'imaginer une voiture aussi simple qu'une automobile électrique. Grâce à l'emploi de deux moteurs on peut supprimer le différentiel, la conduite en est enfantine et la sûreté de marche très grande.

Par les moteurs à double enroulement, on arrive à disposer de moyens de changement de vitesse suffisants et il n'est point besoin de recourir à la méthode néfaste des couplages de batteries.

La consommation des voitures en watts-heures par tonne-kilomètre de poids total oscille toujours, jusqu'à nouvelle détermination, entre 70 et 80 watts-heures; ce chiffre n'a pas été officiellement constaté depuis 1899, les résultats du concours de fiacres de l'Exposition, qui fut comme son devancier de durée trop courte pour donner des résultats bien sérieux, n'ayant pas encore été publiés; il est certain néanmoins que les constructeurs ont cherché à l'abaisser par tous les perfectionnements permettant de diminuer l'effort de traction.

Si, en France, l'automobilisme hésite dans sa marche en avant, il n'en est pas de même à l'Étranger; l'Allemagne et l'Amérique voient grandir chez elles et se développer cette industrie qui devrait être prospère dans notre pays, puisqu'elle y a pris naissance, et qui le serait si des règlements beaucoup trop rigoureux, des mesures de police souvent maladroitement, des impôts excessifs et mille autres tracasseries, qu'on dirait inventées à plaisir, ne venaient à chaque instant paralyser les efforts de nos constructeurs.

Quoi qu'il en soit, ce qu'il faut aujourd'hui, c'est utiliser la voiture électrique, dans le rayon d'action qu'elle possède, c'est-à-dire comme moyen de locomotion à l'intérieur d'une ville avec un parcours de 55 à 60 kilomètres par jour et par batterie.

C'est un tort de vouloir faire des prouesses, de couvrir 130 et 150 kilomètres sans recharge, puisque, pour répéter cela tous les jours, il faudrait avoir des frais d'entretien

tels qu'ils rendraient trop onéreux ce mode de traction. En l'état actuel on ne peut obtenir un fonctionnement normal, qu'avec des batteries robustes et avec de faibles parcours.

En attendant, prenons la voiture électrique telle qu'elle est. C'est, pour le moment, une voiture de luxe et il sera dangereux, tant qu'on n'aura que les accumulateurs actuels plomb-plomb, de vouloir lui faire jouer un autre rôle.

D'autre part, la voiture électrique ne sera possible, comme voiture de tourisme, que le jour où les stations de charge marqueront sur les grandes routes des étapes de 60 kilomètres.

Telle est la vérité d'aujourd'hui, la vraie situation. Travaillons tous pour la rendre meilleure et espérons en l'avenir.

Il est vrai que, si le faible parcours de 55 à 60 kilomètres par jour est, à la rigueur, suffisant pour la voiture de luxe appartenant à un particulier ou pour la voiture de grande remise, il est très difficilement rémunérateur pour un service de fiacres. Le public des grandes villes, habitué maintenant aux grandes vitesses des tramways à traction mécanique, donnerait certainement avec plaisir sa clientèle à des voitures automobiles marchant plus rapidement que les fiacres à chevaux dont la lenteur commence à faire son désespoir. Il sera, par contre, absolument impossible de l'amener à payer l'heure plus de 2 francs et la course plus de 1 fr. 50. Avec les recettes que permettent des tarifs de ce genre, pour une journée moyenne, il est absolument impossible de faire vivre une affaire de voitures électriques de service public, au moins en l'état actuel. Nous avons donné, dans notre premier chapitre, à la page 13, les prix de revient avoués par la Compagnie française des voitures électromobiles pour un parcours journalier compris seulement entre 40 et 50 kilomètres. Le total par voiture et par jour atteint déjà 23 fr. 10. Il serait certainement plus élevé pour de plus longs parcours. Ajoutons-lui l'intérêt du capital engagé, l'amortissement, les frais généraux, et nous

comprendrons tout de suite l'insuccès des tentatives faites pour doter Paris d'un service de fiacres automobiles.

Il n'y a donc pas à s'étonner, si, à peu d'exceptions près, les voitures électriques que nous avons décrites au cours de ce livre ont déjà disparu de la circulation. Chaque fois qu'une industrie nouvelle se crée, elle a ses précurseurs, qui sont trop souvent ses martyrs. Elle cherche sa voie, engloutit des capitaux considérables, puis, à un moment donné, lorsque tout s'est tassé, lorsque tout est bien au point, elle commence à prospérer et finit par enrichir ses exploitants. L'automobilisme électrique a subi la loi commune. Il est permis d'espérer que ses mauvais jours sont passés. Trop d'hommes de valeur sont attelés maintenant à la solution du problème de l'accumulateur électrique pour qu'il ne sorte pas quelque chose de tant d'efforts. Il n'y a pas lieu de se décourager. On est, peut-être, à la veille de la réussite définitive.

FIN

TABLE DES MATIÈRES

Préface, par CHARLES JEANTAUD

CHAPITRE PREMIER

Historique et considérations générales

	Pages.
Les premiers essais de voitures électriques, Faure et Raffard...	2
Jeantaud, Magnus Volk, Immish et H. de Graffigny.....	3
Blanche et Pouchain.....	5
Cummings, Sarcia, Moussette, Blumfield et Garrard.....	6
Carli, Jeantaud, Sturges, Morris et Salom.....	7
Coût de la traction électrique d'après le concours de fiacres de l'Automobile-Club.....	10
L'expérience de Jeantaud.....	12
Les chiffres de la Compagnie française des voitures électromo- biles.....	13

CHAPITRE II

Données théoriques sur les unités électriques C. G. S. et sur les unités pratiques. — Coefficient de traction

Unités de résistance.....	16
Unités d'intensité et de quantité.....	17
Unités de champ magnétique, de puissance électrique et d'éner- gie électrique.....	18
Unités de puissance mécanique, coefficient de traction.....	19
Effort au démarrage.....	22

CHAPITRE III

Production de l'énergie électrique
par les piles primaires

	Pages.
Puissance utile des piles.....	23
Prix de revient de l'énergie fournie par les piles chromiques....	25
Causes du rejet des piles.....	26

CHAPITRE IV

Les accumulateurs électriques

Historique.....	28
Données théoriques sur les accumulateurs.....	29
Variation de la capacité en fonction du débit, constante de Peukert.....	31
Force électromotrice, différence de potentiel, résistance intérieure.....	33
Types autogènes ou hétérogènes; différence entre eux; leurs avantages et leurs inconvénients.....	34
Types mixtes.....	35
Calcul du poids d'accumulateurs nécessaires à une voiture automobile.....	36
Choix de la batterie suivant le cas de voitures de luxe et de plaisance, de voitures d'exploitation ou de voitures de poids lourds.	39
Montage des batteries d'accumulateurs.....	40
Variations apportées dans les différentes parties de l'accumulateur au plomb.....	41

CHAPITRE V

Monographie des différents types d'accumulateurs
de voitures automobiles

Classement des principaux types d'accumulateurs.....	43
I. — <i>Accumulateurs à positives Planté et à négatives Faure</i>	44
Accumulateur Blot-Fulmen.....	44
Accumulateur Majert, de la Compagnie française des Accumulateurs Union.....	47

TABLE DES MATIÈRES

379

	Pages.
Accumulateur Tudor.....	50
Accumulateur de la Société pour le travail électrique des métaux.....	53
II. — <i>Accumulateurs à positives et négatives Faure</i>	57
Accumulateur Faure-Sellon-Volckmar (Walls et C ^{ie})....	57
Accumulateur Fulmen.....	57
Accumulateur de la Société pour le travail électrique des métaux.....	61
Accumulateur B. G. S.....	61
Accumulateur Phénix.....	63
Second type d'accumulateur Phénix.....	66
Accumulateur Pope and son.....	67
Accumulateur Michel Pisca.....	70
Accumulateur Lagarde.....	70
Accumulateur F. Heimel.....	72
Accumulateur Heinz.....	73
III. — <i>Accumulateurs mixtes</i>	76
Accumulateur Pescetto.....	76
Accumulateur Pollak, de la Compagnie générale élec- trique de Nancy.....	78
Accumulateur Heinz.....	80
Résultats donnés par le concours de l'Automobile-Club de France en 1899.....	81
Etude sur les résultats du concours.....	86
IV. — <i>Accumulateurs basés sur un autre couple que le couple plomb-plomb</i>	93
Accumulateur Commelin et Viau.....	93

CHAPITRE VI

Charge des accumulateurs

Charge sous intensité constante.....	96
Charge à potentiel constant.....	97
Rendement.....	97
Dynamos à employer pour la charge des accumulateurs.....	97
Emploi d'un rhéostat pour la charge des accumulateurs, calcul de ce rhéostat.....	99
Charge des accumulateurs sur une installation privée.....	101
Charge des accumulateurs sur un secteur.....	101
Usine de charge de la Compagnie générale des voitures à Paris.	105
Emploi de survolteurs.....	111
Entretien des batteries d'accumulateurs de voitures automobiles.	112

CHAPITRE VII

Les voitures automotrices

	Pages.
Historique des voitures automotrices.....	117
Emploi du trolley et des courants biphasés ou triphasés.....	119
Traction électrique sur le canal de Bruxelles à Charleroi.....	119
Trolley automoteur Lombard-Gérin.....	120

CHAPITRE VIII

Les moteurs électriques

Théorie du moteur électrique.....	125
Force électromotrice et force contre-électromotrice.....	127
Puissance maximum, rendement maximum.....	130
Description générale d'une dynamo.....	132
Induits en anneau et induits en tambour.....	132
Comparaison entre l'induit en anneau et l'induit en tambour...	133
Induits multipolaires.....	135
Induits multipolaires en anneau en quantité.....	135
Induits multipolaires en anneau en série.....	137
Induits multipolaires à tambour en quantité.....	139
Induits multipolaires à tambour en série.....	139
Construction des induits.....	139
Bobinage.....	140
Frettes.....	143
Support de l'induit sur l'arbre, ventilation.....	143
Collecteur, balais et porte-balais.....	144
Inducteurs.....	146
Bobines inductrices.....	148
Circuit magnétique.....	150
Choix des matières premières.....	152
Excitation des inducteurs, caractéristiques mécaniques.....	157
Excitation séparée.....	157
Auto-excitation, excitation série.....	160
Excitation shunt ou dérivation.....	162
Excitation compound ou composée.....	164
Mise en marche des moteurs.....	165
Réaction d'induit.....	165
Moyens de combattre la réaction d'induit.....	167
Changement du sens de marche d'un moteur.....	168

TABLE DES MATIÈRES

381

	Pages.
Calcul d'un moteur électrique.....	169
Calcul du circuit magnétique.....	172
Calcul de l'entrefer.....	173
Etude du moteur.....	176
Conditions de fonctionnement d'un moteur d'automobiles.....	177
Fonctionnement des moteurs sous une différence de potentiel variable.....	181
Entretien d'un moteur électrique.....	183

CHAPITRE IX

Récupération en freinage électrique

Conditions de récupération de l'énergie dans les pentes par recharge des accumulateurs.....	186
Freinage électrique: 1° par mise en court circuit du moteur, 2° par renversement du sens de marche.....	188
Comparaison des divers modes d'excitation au point de vue du freinage.....	189
Démarrage et accélération.....	189

CHAPITRE X

Transmission du mouvement du moteur aux roues

Transmission par courroies.....	191
Transmission par chaînes.....	191
Emploi de la chaîne Varietur.....	192
Transmission par engrenages.....	193
Emploi du différentiel.....	193
Suppression du différentiel par l'emploi de deux moteurs.....	193
Direction des voitures.....	196
Direction électrique Bary et Gasnier.....	197
Direction mécanique Vedovelli et Priestley.....	198

CHAPITRE XI

Appareils de commande électrique, réglage de la vitesse

Le combinateur.....	201
Construction d'un combinateur.....	202
Entretien du combinateur.....	203

	Pages.
Méthodes employées pour obtenir les changements de vitesse...	204
Réglage de la vitesse par variation de la différence de potentiel.	204
Avantages et inconvénients de cette méthode.....	206
Réglage de la vitesse par variation dans le champ magnétique..	208
1° <i>Variation de l'intensité du courant d'excitation</i>	208
<i>a.</i> Couplage variable des batteries d'excitation dans le cas d'un moteur à excitation séparée.....	209
<i>b.</i> Introduction d'un rhéostat variable dans le circuit des inducteurs dans le cas d'un moteur shunt.....	209
<i>c.</i> Shuntage des inducteurs dans le cas d'un moteur série.....	210
<i>d.</i> Couplage entre les enroulements.....	211
2° <i>Changement de polarité des inducteurs</i>	212
Réglage de la vitesse par l'emploi d'un induit à double enroulement.....	213
Cas de deux enroulements égaux.....	213
Cas de deux enroulements inégaux.....	214
Emploi de deux moteurs ou d'un moteur à deux induits calés sur des arbres dans le prolongement l'un de l'autre; couplage en série parallèle.....	215
Changements de vitesse mécaniques.....	217
Embrayage Patin.....	217
Changements de vitesse à trains d'engrenages.....	220

CHAPITRE XII

Appareillage électrique d'une voiture, éclairage, appareils de mesure

Installation des lampes électriques.....	222
Appareils de mesure: ampèremètre, voltmètre, compteurs.....	223
Ampèremètre et voltmètre Chauvin et Arnoux.....	226
Appareils enregistreurs Chauvin et Arnoux.....	229
Appareils de la Weston electrical Company.....	229
Appareils Meylan.....	230
Appareils Jules Richard.....	230
Enregistreur totalisateur de marche Richard.....	231
Enregistreur de vitesse Richard.....	232
Dynamomètre de traction Richard.....	232
Voltmètre-ampèremètre combinés Ullmann.....	232
Compteurs.....	233
Compteur O'Keenan.....	234

CHAPITRE XIII

**Carrosserie, châssis, roues et bandages, influence de la nature
du bandage sur l'effort de traction, suspension du moteur**

	Pages.
Les formes des automobiles électriques.....	237
Position des batteries dans les voitures.....	238
Disposition des caisses, caisses interchangeable.....	239
Châssis, roues et bandages.....	240
Suspension de la caisse, du moteur et des batteries.....	242
Divers types de ressorts.....	243

CHAPITRE XIV

Monographie des voitures électriques

<i>Voitures Jeantaud</i>	244
La première voiture Jeantaud.....	245
Voiture Jeantaud de la course Paris-Bordeaux.....	245
Voitures Jeantaud du concours de fiacres de 1898.....	246
Suspension Jeantaud.....	246
Coupé trois-quarts Jeantaud.....	248
Cab Jeantaud.....	249
Voitures Jeantaud du concours de fiacres de 1900.....	250
<i>Voitures Kriéger</i>	253
La première voiture Kriéger.....	253
Voitures Kriéger de 1895 et 1896.....	254
Voitures Kriéger actuelles.....	254
Voiture Kriéger du critérium des voitures électriques.....	258
Electrolette Kriéger.....	261
<i>Voitures de la Compagnie française des voitures électromobiles</i>	262
<i>Voitures Mildé</i>	270
<i>Voitures de la Compagnie générale des transports automobiles, sys- tème Jenatzy</i>	276
<i>Voitures de la Société des accumulateurs et voitures électriques</i>	
<i>B. G. S. (brevets Bouquet, Garcin et Schivre)</i>	276
Duc à deux places B. G. S.....	281
Fourgon électrique B. G. S. des sapeurs-pompiers de Paris..	283
Pompe électrique B. G. S. des sapeurs-pompiers de Paris...	285
Voiture B. G. S. du critérium de 1900.....	285
<i>Voiture H. Monnard</i>	288
<i>Voiture du capitaine Draullette, dite Autocab</i>	296
<i>Voiture Vedovelli et Priestley</i>	301

	Pages.
<i>Voiture Meynier et Legros</i>	304
<i>Voiture de la Compagnie des automobiles Hurtu (brevets A. de Marchena et Gigot)</i>	311
<i>Voitures Patin</i>	317
<i>Voiturette électrique Patin et Requillard</i>	320
<i>Avant-train moteur électrique Amiot et Peneau</i>	322
<i>Camion de la Raffinerie Say</i>	325
<i>Voitures Morris et P. Salom</i>	332
<i>Tricycle électrique de la Barrow vehicle Company</i>	333
<i>Voitures électriques Riker</i>	334
<i>Voitures Cleveland</i>	339
<i>Voitures Columbia</i>	342
<i>Voitures Heinrich Scheele</i>	342
<i>Première voiture Scheele de 1899</i>	343
<i>Dog-car Scheele</i>	344
<i>Voiture de livraison Scheele</i>	344
<i>Type actuel des voitures Scheele</i>	347
<i>Équipement électrique de la Vereinigte elektricitäts actiengesellschaft, de Vienne</i>	348
<i>Voiturette électrique Joël</i>	353

CHAPITRE XV

Voitures pétroléo-électriques

<i>But des voitures pétroléo-électriques</i>	360
<i>Voitures pétroléo-électriques Johnson</i>	361
<i>Voitures pétroléo-électriques de la Fischer equipment Co</i>	363
<i>Voitures pétroléo-électriques Pieper</i>	364
<i>Comparaison entre les voitures pétroléo-électriques et les voitures électriques</i>	369
<i>Les accumulateurs dans les voitures pétroléo-électriques</i>	370

CHAPITRE XVI

Conclusion

TABLE DES FIGURES

Figures	Pages
1-2. — La première voiture Jeantaud (1881), élévation et plan	4
3. — La voiture Blumfield et Garrard.....	7
4-5. — La voiture Jeantaud de la course Paris-Bordeaux (1895).	8
6. — Courbe des variations de la capacité des accumulateurs en fonction du débit.....	32
7. — Plaque positive de l'accumulateur Blot.....	45
8-9. — Vues en coupe des plaques positive et négative de l'ac- cumulateur Majert.....	48
10. — Plaque positive de l'accumulateur Tudor.....	51
11. — Plaque négative de l'accumulateur Tudor.....	52
12. — Plaque positive de l'accumulateur de la Société pour le travail électrique des métaux.....	54
13. — Plaque négative de l'accumulateur de la Société pour le travail électrique des métaux.....	56
14. — Plaque positive de l'accumulateur Fulmen.....	58
15. — Plaque négative de l'accumulateur Fulmen.....	59
16. — Electrodes élémentaires de l'accumulateur Phénix.....	63
17. — Vue d'un élément Phénix.....	65
18. — Plaque positive de l'accumulateur Pope and son.....	68
19. — Plaque négative de l'accumulateur Pope and son.....	69
20-21. — Plaque positive de l'accumulateur Lagarde, grillage de cette plaque.....	71
22-23. — L'accumulateur Heinz, la plaque positive, grillage de la plaque négative et montage d'un élément.....	74
24. — Plaque positive de l'accumulateur Pescetto.....	76
25. — Grillage de la plaque négative de l'accumulateur Pescetto.	78
26. — Plaque négative de l'accumulateur Pollak.....	79
27-28. — Plaque positive et négative de l'accumulateur Com- melin et Viau.....	94
29. — Schémas des divers types de dynamos à courant continu.	98
30. — Schéma d'un tableau de distribution pour la charge d'une batterie d'accumulateurs.....	102
31. — Autre type de distribution pour la charge sur une instal- lation particulière.....	103

Figures.	Pages.
32. — Tableau de distribution pour la charge sur un secteur..	104
33. — Vue de la salle des machines à l'usine de charge de la Compagnie générale des voitures.....	106
34. — Enlèvement des batteries à l'usine de la Compagnie générale des voitures.....	108
35. — Vue d'une salle de charge à l'usine de la Compagnie générale des voitures.....	109
36. — Schéma d'un montage de survolteur pour plusieurs batteries.....	112
37. — Console pour le support des fils du trolley automoteur Lombard-Gérin.....	120
38. — Coupe du trolley automoteur Lombard-Gérin.....	122
39. — Vue du trolley automoteur Lombard-Gérin.....	123
40. — Enroulement d'un induit en anneau Gramme.....	133
41. — Enroulement multipolaire en anneau en quantité.....	136
42. — Dispositif Mordey de l'induit multipolaire en anneau en quantité.....	136
43. — Enroulement multipolaire en anneau en série.....	137
44. — Enroulement en tambour en quantité.....	138
45. — Enroulement multipolaire en tambour en série.....	138
46. — Tôles pour induits dentés.....	141
47. — Tôles pour induit à trous.....	141
48. — Bobinage d'un induit en tambour.....	142
49. — Section d'induit en tambour faite sur gabarit (Eicke- meyer).....	142
50. — Coupe d'un collecteur.....	145
51-52. — Types d'inducteurs bipolaires.....	147
53. — Inducteur bipolaire Lundell.....	148
54-55. — Types d'inducteurs tétrapolaires.....	149
56. — Inducteurs à pôles conséquents.....	149
57. — Courbes d'hystérésis.....	152
58. — Courbes d'Ewing donnant la variation de l'intensité d'ai- mantation en fonction de la force magnétisante, pour divers métaux.....	154
59. — Courbes d'Hopkinson, variation de la perméabilité ma- gnétique en fonction de l'induction magnétique.....	154
60. — Variation de la force magnétomotrice en ampères-tours par centimètre en fonction de l'induction magnétique.....	156
61. — Caractéristique d'un moteur à excitation séparée en fonc- tion de l'intensité.....	158
62. — Schéma d'un moteur à excitation en série.....	160
63. — Caractéristiques d'un moteur série en fonction de l'in- tensité.....	161
64. — Schéma d'un moteur à excitation shunt.....	162
65. — Caractéristiques d'un moteur Shunt en fonction de l'in- tensité.....	163
66. — Schéma d'un moteur à excitation compound.....	165

TABLE DES FIGURES

387

Figures.	Pages.
67. — Montage d'un rhéostat de démarrage.....	165
68. — Champ dû aux inducteurs, champ dû à l'induit, composition du champ de l'induit et des inducteurs, réaction d'induit.....	166
69. — Courbes de fonctionnement d'un moteur Postel-Vinay...	179
70. — Schéma du freinage électrique pour un moteur shunt..	189
71. — Schéma du freinage électrique pour un moteur série...	189
72-73. — Chaîne Varietur, position de la chaîne Varietur sur un pignon et sur une roue.....	192
74. — Marche des roues d'une voiture dans un virage.....	194
75. — Direction Vedovelli et Priestley.....	199
76. — Disposition des touches de combinateur.....	203
77. — Schéma du couplage des accumulateurs pour le réglage de la vitesse par variation de la différence de potentiel.	205
78. — Schéma d'une résistance en parallèle.....	211
79. — Schéma d'un inducteur shunté.....	211
80-81. — Changement de polarité des inducteurs.....	212
82. — Dispositif à employer dans la marche en série parallèle avec des moteurs en série.....	216
83. — Embrayage Patin.....	218
84. — Equipage mobile et amortisseur des appareils Chauvin et Arnoux.....	226
85. — Ampèremètre et voltmètre Chauvin et Arnoux.....	227
86. — Ampèremètre enregistreur Chauvin et Arnoux.....	228
87. — Voltmètre et ampèremètre Weston.....	229
88. — Enregistreur totalisateur de marche J. Richard.....	231
89. — Dynamomètre de traction J. Richard.....	232
90. — Voltmètre et ampèremètre Ullmann.....	233
91. — Coupe du compteur O'Keenan.....	234
92. — Montage du compteur O'Keenan.....	235
93. — Suspension Jeantaud.....	247
94. — Schéma des couplages du combinateur Jeantaud.....	248
95. — Développement détaillé du montage du combinateur Jeantaud.....	251
96. — Coupé à caisse interchangeable Kriéger.....	253
97. — Victoria Kriéger.....	253
98. — Avant-train Kriéger, vu en élévation.....	255
99. — Avant-train Kriéger, vu en plan, braquage des roues...	255
100. — Voiture Kriéger, schéma de la direction et de la disposition des moteurs (type 1890).....	256
101. — Mylord Kriéger.....	257
102. — Coupé Kriéger.....	257
103. — Schéma des couplages du combinateur Kriéger.....	259
104. — Voiture Kriéger du critérium de 1900.....	260
105. — Electrolette Kriéger (type 1901).....	261
106. — Voiture de la Compagnie française des voitures électromobiles.....	263

Figures.	Pages.
107. — Vue de l'arrière-train des voitures de la Compagnie française des voitures électromobiles.....	264
108. — Développement du combinateur de la Compagnie française des voitures électromobiles.....	265
109. — Combinateur de la Compagnie française des voitures électromobiles.....	266
110. — Elévation et plan du châssis des voitures de la Compagnie française des voitures électromobiles.....	266
111. — Coupe de l'avant-train moteur de la Compagnie française des voitures électromobiles, par un plan passant par l'axe du moteur et parallèle à l'essieu.....	267
112. — Avant-train moteur de la Compagnie française des voitures électromobiles.....	269
113. — Châssis des voitures Mildé du type 1; vu en élévation.....	271
114. — Omnibus Mildé, type n° 1.....	273
115. — Coupé Mildé, type n° 3.....	273
116. — Moteur B. G. S., avec le différentiel.....	277
117. — Schéma des couplages effectués par le combinateur B. G. S.....	279
118. — Châssis du landaulet électrique B. G. S.....	280
119. — Châssis du duc à deux places B. G. S.....	281
120. — Duc à deux places B. G. S.....	282
121. — Fourgon électrique B. G. S. des sapeurs-pompiers de Paris (vue en élévation).....	283
122. — Fourgon électrique B. G. S. des sapeurs-pompiers de Paris.....	284
123-124. — Pompe électrique B. G. S. des sapeurs-pompiers de Paris, vue d'avant et vue d'arrière.....	286
125. — Equipement électrique de la voiture B. G. S. du Critérium de 1900.....	287
126. — Voiture Monnard.....	289
127. — Arrière-train moteur Monnard.....	289
128. — Moteur de la voiture Monnard, vu en coupe.....	291
129. — Arrière-train moteur Monnard, détails de la transmission, des roulements et des freins.....	292
130. — Schéma du montage de la voiture Monnard.....	293
131. — Schéma des couplages du combinateur Monnard.....	293
132. — Coupe de la voiture Monnard.....	294
133. — Autocab Draulette.....	297
134. — Voiture Vedovelli et Priestley, vue en élévation.....	301
135. — Voiture Vedovelli et Priestley, vue en plan.....	302
136. — Combinateur Vedovelli et Priestley.....	303
137. — Moteur Meynier et Legros, vue du collecteur.....	305
138. — Moteur Meynier et Legros, vue de l'anneau et de son support.....	306
139. — Coupe du moteur Meynier et Legros.....	307
140. — Combinateur Meynier et Legros.....	309

TABLE DES FIGURES

389

Figures.	Pages.
141. — Voiture Hurtu (brevets A. de Marchena et Gigot).....	312
142. — Commande des roues de la voiture Hurtu.....	313
143-144. — Autres dispositifs de commande des roues de la voi- ture Hurtu.....	315
145. — Schéma des couplages effectués par le combinateur de la voiture Hurtu.....	316
146. — Elévation et coupe du train moteur Patin.....	318
147. — Moteur Patin.....	319
148. — Voiturette Patin et Requillard.....	321
149. — Plan de l'avant-train moteur de la balayeuse Amiot et Peneau.....	323
150. — Balayeuse Amiot et Peneau.....	324
151. — Camion électrique de la raffinerie Say.....	326
152. — Camion électrique de la raffinerie Say, vu en élévation.	327
154. — Camion électrique de la raffinerie Say, plan du châssis.	328
154-155. — Camion électrique de la raffinerie Say, élévation de l'arrière et de l'avant.....	329
156. — Camion électrique de la raffinerie Say, le train moteur vu de l'avant.....	330
157. — Camion électrique de la raffinerie Say, le train moteur vu de l'arrière.....	331
158. — Tricycle de la Barrow vehicle Company.....	334
159. — Plan des châssis Riker.....	335
160. — La voiture Riker, coupe du moyeu arrière contenant le différentiel.....	336
161. — Moteur Riker.....	336
162. — Combinateur Riker.....	337
163. — Interrupteur automatique du courant des voitures Riker.	338
164. — Prise de courant des voitures Riker.....	338
165. — Voiture Cleveland.....	340
166. — Voiture Scheele (1899).....	343
167. — Voiture de livraison Scheele.....	345
168. — Développement du combinateur Scheele pour la marche avec un seul moteur.....	345
169. — Coupé-mylord Scheele.....	346
170. — Coupé-mylord Scheele, plan du châssis.....	346
171. — Coupé-mylord Scheele, avec la caisse du coupé.....	347
172. — Développement du combinateur Scheele pour la marche à deux moteurs en parallèle.....	347
173. — Equipement électrique d'une voiture de la Vereinigte elektricitäts actiengellschaft.....	349
174-175. — Moteur de la Vereinigte elektricitäts actiengellschaft, fermé et ouvert.....	350
176-177. — Encombrement du moteur de la Vereinigte elektri- citätäts actiengellschaft.....	351
178. — Encombrement du combinateur de la Vereinigte elektri- citätäts actiengellschaft.....	352

Figures.	Pages.
179. — Schéma des couplages effectués par le combinateur de la Vereinigte elektricitäts actiengesellschaft.....	353
180. — Châssis de la voiture Joël, vu en élévation et en plan...	354
181. — Vue de l'arrière de la voiture Joël.....	354
182. — Moteur Joël.....	355
183. — Moteur Joël, vue du pignon.....	355
184. — Inducteurs du moteur Joël.....	356
185. — Coupe du moteur Joël par un plan parallèle à l'arbre...	356
186. — Combinateur Joël.....	357
187. — Commande du combinateur Joël.....	357
188. — Développement, élévation et plan du combinateur Joël.	358
189-190. — Voiture pétroléo-électrique Johnson, vue en élévation et en plan.....	361
191. — Schéma des circuits de la voiture pétroléo-électrique Johnson.....	362
192. — Voiture pétroléo-électrique Pieper.....	367

EN VENTE A LA MÊME LIBRAIRIE

- Electricité à l'Exposition de 1900**, publiée sous la direction de Hospitalier et Montpellier, 15 livraisons grand format. 50 fr. »
- L'Electricité à la portée de tout le monde**, par CLAUDE, ingénieur Grand in-8° avec nombreuses figures..... 6 fr. 50
- Electricité. Première partie.** Théorie et production : Etude générale des phénomènes électriques. Piles. Magnétisme. Courants alternatifs. Machines à courants alternatifs et à courant continu. Transformateurs. Accumulateurs. Mesures, par Ed. DACREMONT, conducteur des ponts et chaussées. In-8° avec nombreuses figures. (Ouvrage couronné par la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale.)
12 fr. »
- Electricité. Deuxième partie.** Applications industrielles : canalisation et distribution de l'électricité, éclairage électrique, transport électrique de l'énergie, traction électrique, électro-chimie, télégraphie, téléphonie, projet de distribution d'énergie électrique, par Ed. DACREMONT, conducteur des ponts et chaussées. In-8° avec nombreuses figures. (Ouvrage couronné par la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale.)..... 12 fr. »
- Tramways et automobiles.** Voie. Traction animale, mécanique et électrique. Automobiles à pétrole, à vapeur et électriques. Règlements, par AUCAMUS et GALINE, ingénieurs. 1 vol. in-8° avec nombreuses figures. 12 fr. »
- Les automobiles à pétrole.** Essai de description méthodique générale, par L. BOCHET, ingénieur des mines. 1 vol. gr. in-8°, avec figures..... 3 fr. »
- Le concours de moteurs de la « Locomotion automobile »** (octobre 1899-janvier 1900). Chiffres et résultats d'expériences, par Gaston SENCER, ingénieur des arts et manufactures, avec une préface de Pierre GIFFARD. 1 vol. gr. in-8° de 110 pages, avec 33 figures. 3 fr. »
- Traction mécanique sur rails et sur routes** pour les transports en commun, par L. PÉRISSÉ et R. GODFERNAUX, ingénieurs des arts et manufactures. 1 vol. gr. in-8° avec figures et 2 planches.. 5 fr. »
- Les moteurs à pétrole.** Etude théorique et pratique contenant la monographie des principaux moteurs, par J. GOBIET, ingénieur, 1 vol. gr. in-8°, avec 60 fig..... 4 fr. 50
- Les Tramways aux Etats-Unis**, par H. TAVERNIER, ingénieur en chef des ponts et chaussées. 1 vol. in-8°, avec 24 tableaux et 1 atlas de 20 pl..... 13 fr. »
- Description. — Voie. — Matériel roulant. — Traction électrique. — Traction animale. — Tramways funiculaires. — Comparaison des divers modes de traction.
- Le chemin de fer Métropolitain de Paris**, par R. GODFERNAUX, ingénieur des arts et manufactures. Grand in-8° avec fig. et 4 planches.
3 fr. 50
- Le Métropolitain de Berlin**, par P. HAAG, ingénieur en chef des ponts et chaussées. Gr. in-8° avec figures et 18 planches.. 10 fr. »
- La fabrication des pneumatiques**, par G. SENCER, ingénieur des arts et manufactures. In-8°, avec figures..... 1 fr. »

Tours. — Imprimerie DESLIS FRÈRES.