ments de 90 % que nous avons entendu parfois attribuer à certains moteurs. Si ce rendement avait été sérieusement obtenu, on eût fait faire des épreuves à Holyoke, où se délivrent au sens du public américain les brevets de bon fonctionnement des turbines, et les preuves certaines de ces expériences nous eussent été remises; toute communication de documents de ce genre est en effet soumise à l'autorisation préalable des intéressés.

A. BLANCHET,
Ingénieur des Arts et Manufactures.

NOTE SUR UNE MÉTHODE D'ESSAI DES TURBINES HYDRAULIQUES EN LABORATOIRE

au moyen d'une chute d'eau artificielle à récupération

Les différentes mesures qui concernent les conditions de marche d'une turbine hydraulique peuvent se trouver dans le cas d'être déterminées exactement, avant toute installation définitive; par exemple pour en fixer la comparaison avec d'autres systèmes similaires ou pour en faire une réception d'ordre commercial, si les clauses d'achat sont limitatives quant au rendement dynamique.

L'organisation d'essais, dits *de Laboratoire*, s'impose donc pour résoudre cette question et, bien entendu, *la chute d'eau artificielle* à créer dans ce but, doit être essentiellement variable en *charge* et en *débit*, pour se plier au plus grand nombre de cas à traiter qu'il soit possible, et répondre aux exigences pratiques de l'industrie de la construction de ces moteurs.

I. — PRINCIPE DE LA MÉTHODE.

Dans le but de réduire l'importance de la puissance motrice à consommer, pour produire la chute artificielle en question, dans un laboratoire d'essais de turbines, on peut utiliser le principe déjà mis en œuvre pour les essais industriels des machines électriques, générateurs ou récepteurs de courant.

Pour les turbines hydrauliques, ce principe peut s'énoncer comme suit, en fonction des divers facteurs en jeu :

Etant donné un moteur de puissance P en HP effectifs, dont le rendement mécanique sera ρ, lequel est à déterminer, la puissance brute de la chute équivalente est par exemple exprimée par :

$$\frac{1}{\rho} 75\, P = 1000\, QH \qquad \text{en kilogrammètres,}$$

en désignant par Q le volume d'eau à débiter en mètres cubes par seconde et par H la hauteur effective de la chute, en mètres.

Le volume d'eau Q est restitué d'une manière continue de l'aval à l'amont de la turbine, pendant l'essai, dans les conditions suivantes :

Une partie mQ est refoulée par une pompe A actionnée par la turbine même à expérimenter.

L'autre partie $Q\,(1\text{-}m)$ l'est par une autre pompe B actionnée par un moteur auxiliaire dont l'énergie doit être fournie de toutes pièces, mais seulement dans la proportion strictement nécessaire et se trouve réglée au prorata de mQ, soit automatiquement, soit par l'opérateur, suivant les modifications de la marche de l'essai.

En supposant à la pompe A une utilisation dynamique fixée par ρ_a le débit en est caractérisé par :

$$1000\, m\, QH = 75\, \rho_a P_a$$

P_a étant la puissance motrice correspondante à sa fonction, laquelle est précisément celle développée par la turbine en essai, d'où :

$$75\, P = \frac{1}{\rho_a} 1000\, m\, QH$$

et

$$1000\, m\, QH = \rho_a \rho\, 1000\, QH.$$

finalement : $m = \rho_a \rho$, caractérisant le débit effectif de la pompe A.

Ainsi la pompe B doit fournir seulement un débit effectif : $(1 - \rho_a \rho)\, Q$, dont la puissance motrice est à affecter d'un coefficient de rendement analogue ρ_2 pour en fixer la dépense de marche.

Pratiquement, en employant des pompes rotatives d'une puissance de débit de 10 HP au moins, on peut poser approximativement : ρ et $\rho_a = 0{,}71$, d'où : $m = 0{,}50$ environ, ce qui montre que la moitié du débit de la turbine peut être assurée, par sa propre marche, avec la pompe A.

Pour la pompe B il convient de l'actionner par un moteur à puissance et à vitesse variables, afin de proportionner son débit complémentaire à la valeur exacte $1 - m$ pendant l'expérience.

Il semble que les pompes rotatives volumétriques du *Système Greindl* peuvent être employées avec succès à ces essais, en raison de la facilité de régler leur débit sous une charge constante, avec une vitesse variable, dans de grandes limites; la continuité du mouvement de l'eau y est suffisante pour donner satisfaction dans le cas présent.

En employant un moteur électrique à courant continu, alimenté sur un système de « ponts » à voltages gradués, pour actionner la pompe B, on peut aussi, avec l'addition d'un rhéostat bien combiné, conduire cette machine à volonté pour régler convenablement son débit pendant l'essai.

L'installation des machines pour un essai de ce genre est figurée sous forme de schéma dans la figure ci-jointe.

On peut prévoir deux pompes d'égales dimensions pour A et B, si le coefficient m est 0,50, ce qui paraît assez probable dès qu'on agit sur une puissance de quelque importance, l'utilisation de la turbine et celle de la pompe pouvant bien atteindre 0,71 en pleine charge.

Pour permettre l'expérimentation de la turbine à plusieurs régimes de puissance, sa vitesse de rotation devant rester la même, bien entendu, une transmission intermédiaire soit à engrenages droits étagés, soit à courroie avec cônes de poulies est établie en E pour réaliser ces conditions nécessaires. Le débit de la pompe A doit, d'autre part, être à charge constante au refoulement et la variation du volume doit résulter de sa vitesse de rotation appropriée, en liaison avec celle de la turbine par ces moyens.

Article published by SHF and available at http://www.shf-lhb.org or http://dx.doi.org/10.1051/lhb/1904004

Il va de soi qu'en supprimant cette liaison, on peut faire l'essai de la turbine *à vide*, sa marche étant assurée exclusivement, à ce moment, par l'eau de la pompe B, réglée en conséquence.

L'appareil prévu sur ce projet d'installation pour maintenir stable la pression de l'eau en amont de la turbine, malgré les fluctuations inévitables du débit de la pompe B, est un accumulateur hydraulique à piston lesté, d'une capacité à peu près égale à *10 secondes* du débit maximum de la turbine.

On peut établir ce genre d'appareil pratiquement jusqu'à 2 mètres cubes de contenance par exemple, en employant du lest en gueuses de fonte de première fusion maçonnées dans du sable sec et placées dans une cuve en tôlerie suspendue au piston plongeur.

L'écart des pressions entre la montée et la descente, qui dépend du rendement dynamique de cet appareil, est très faible dès que le diamètre du piston atteint 0^m500 à 0^m600 ; la perte due aux frottements n'est guère que de 1 à 2 o/o.

Il va de soi que, si l'on a le moyen de substituer à cet accumulateur un réservoir à surface libre situé à une hauteur convenable au-dessus de l'installation d'essai, on peut préférer ce dernier moyen, surtout en notant que la conduite piézométrique de liaison de ce réservoir de charge avec la turbine peut être de petit diamètre et pour correspondre seulement aux différences en plus ou en moins sur le débit réel de la turbine, par le jeu de la pompe B.

Le réglage de cette dernière pompe peut même être produit automatiquement, dans le cas de l'emploi d'un accumulateur à piston, la marche de celui-ci aux environs d'une position moyenne choisie pouvant être liée aux connexions de la dynamo-motrice auxiliaire.

Les dispositifs décrits ci-dessus étant ceux qui correspondent spécialement à la réalisation d'un essai de turbine hydraulique en laboratoire, en s'exonérant de toute chute d'eau naturelle, il peut être intéressant de signaler, pour compléter cette étude, les appareils destinés aux mesures à effectuer pendant les essais, appareils qui, d'ailleurs, sont applicables à tous les cas de contrôle de récepteurs hydrauliques.

II. — APPAREILS DE MESURE.

Mesures hydrauliques. — 1° Observation des débits. — Pour reporter les jaugeages proprement dits à des expériences spéciales et simplifier les opérations sur la turbine même, l'installation est pourvue de *moulinets volumétriques totalisateurs* C_1, C_2, C_3 actionnant chacun un cinémomètre enregistreur (1).

Les diagrammes ainsi obtenus pendant l'essai de la turbine représentent chacun une *fonction* des débits, à tous les moments de l'épreuve, avec toutes les fluctuations inévitables en pratique.

Il suffit que chacun de ces *moulinets*, dont les ailes occupent, par leur évolution, tout le diamètre intérieur de la conduite cylindrique, soit d'une des pompes, soit de la turbine ait été *taré* une fois pour toutes, pour que la simple lecture de son diagramme donne les débits effectifs aux divers moments de l'expérience.

On peut remarquer que les indications du moulinet C_1 doivent être le total de celles des deux autres C_2 et C_3, ce qui donne un contrôle.

2° Observation de la charge effective a l'admission de l'eau sur la turbine. — Ce facteur peut être donné aussi à chaque moment de l'essai par un manomètre de précision combiné avec le cinémomètre C_4 et enregistrant simultanément la pression effective en amont de la turbine, sur le diagramme même du débit.

La lecture des deux ordonnées concordantes sur ce diagramme fournit les deux facteurs de la *puissance brute* de la chute artificielle : Q et H.

3° Observation des ouvertures du distributeur de la turbine. — Pour déterminer les caractéristiques de la turbine en essai, à différents degrés de puissance, il est utile de conserver une trace de l'ouverture de son distributeur pour chaque régime expérimenté.

L'appareil enregistreur C_1 peut donc être complété par un *linimètre* qui marque, sur le diagramme principal, des ordonnées proportionnelles à ces ouvertures.

C'est donc ce *lini-cinémo-manomètre* C_4 qui donnera simultanément ces trois observations principales de l'essai de la turbine, sans autre sujétion, pour l'opérateur, qu'un réglage initial et le remplacement des feuilles quadrillées sur le tambour horaire dont la marche peut être de 25 à 50 minutes pour un tour entier, ce qui est largement suffisant pour constituer un document pratique à dépouiller ultérieurement.

Mesures dynamiques. — La mesure de la puissance effective développée par la turbine pendant l'essai peut fort bien être fournie par le débit effectif de la pompe A qui peut être étalonnée au frein, une fois pour toutes, à différentes allures suffisamment graduées.

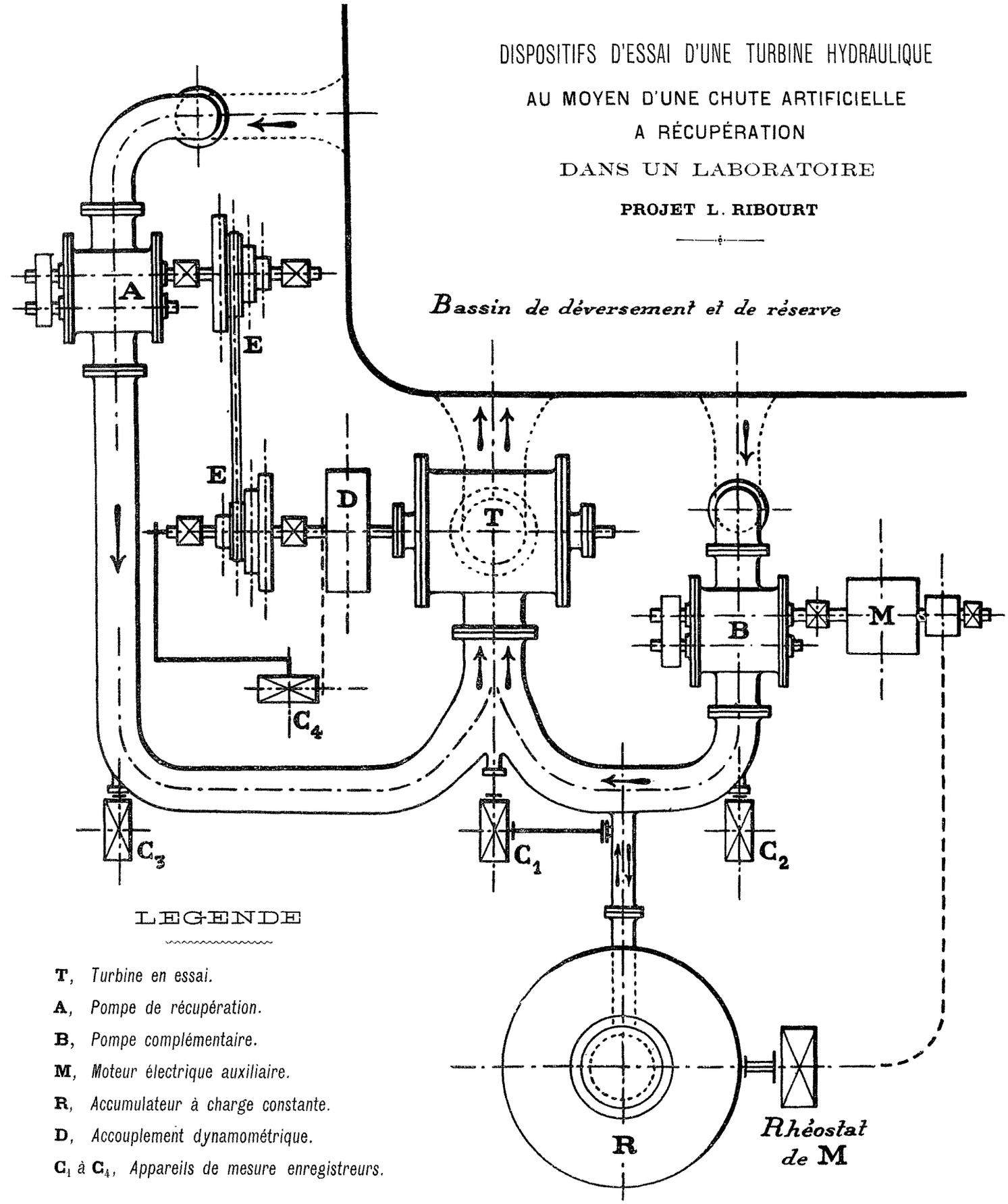
Mais il est préférable d'avoir une mesure directe du couple moteur développé entre la turbine même et cette pompe par un dynamomètre susceptible d'enregistrer cet effort en même temps que les autres éléments d'observation, ainsi que la vitesse de rotation à tous les instants de l'expérience.

C'est ce qui est indiqué sur le schéma de l'installation annexé à cette note, en D, entre la turbine et la pompe A, avec un enregistreur C_4 ou *cinémo-dynamomètre*.

4° Observation du couple moteur effectif développé par la turbine. — L'appareil qui peut fournir cette indication est un *hydro-dynanomètre* (Système breveté de la Cie de Fives-Lille et L. Ribourt), qui, sous forme de manchon d'accouplement adapté aux extrémités des deux arbres de rotation de la turbine motrice d'une part et de la pompe A, dans le cas présent, d'autre part, met en pression proportionnelle au couple moteur, des capacités closes remplies de liquide et communiquant en permanence, pendant la rotation du système, avec le manomètre enregistreur de précision.

On obtient ainsi un diagramme continu dont les ordonnées sont fonction du couple moteur transmis, lesquelles,

(1) Voir, pour ce genre de moulinet avec enregistreur, la note relative à des expériences faites, en septembre 1903, à l'usine du tramway de Moutiers à Brides-les-Bains, par M. Ribourt (*La Houille Blanche*, n° de novembre 1903).



combinées avec celles du diagramme d'un cinémomètre complétant cet appareil et enregistrant la vitesse de rotation du moteur, donnent ainsi les facteurs de la puissance utile développée : F. R et Ω,

F étant l'effort utile au rayon R d'action des pièces d'attelage de l'accouplement, et Ω la vitesse angulaire du système.

En résumé, les dispositifs préconisés ici pour l'expérimentation d'une turbine hydraulique dans un laboratoire dépourvu de chute naturelle et même de bassin de charge piézométrique, sont de nature à donner avec une précision suffisante tous les éléments d'appréciation et de calcul des conditions de marche de ce genre de moteurs, par des

documents matériels et durables. On élimine, *à priori*, les aléas et les confusions inhérentes à des notations relevées par des opérateurs qui devraient être nombreux.

La durée de l'expérience peut être prolongée pendant plusieurs heures, sous tous les régimes désirables, avec une même turbine, surtout si l'on fait usage d'un accumulateur à piston, ainsi qu'il a été indiqué, relié avec le rhéostat de la dynamo-motrice de la pompe complémentaire d'alimentation de la turbine, le débit de celle-ci devenant ainsi automatique.

Quant au tarage des moulinets volumétriques, il peut être effectué, en dehors de l'essai proprement dit des turbines, en y utilisant le bassin d'évacuation disposé dans l'installation, si la capacité en est suffisante et en opérant par des moyens de mesure courants, ou même perfectionnés, d'après des méthodes qu'il serait hors du cadre de cette note d'exposer ici.

L. Ribourt, *ingénieur*,
Professeur à l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures.

NOUVEAUX ESSAIS DE TRACTION ÉLECTRIQUE

A TRÈS GRANDE VITESSE

De nouveaux essais de traction électrique à grande vitesse ont été faits dernièrement sur la ligne Marienfelde-Zossen, près de Berlin, et, le 23 décembre 1903, l'automotrice de la maison « Siemens et Halske » a atteint la vitesse de 207 kilomètres à l'heure. Les expérimentateurs affirment d'ailleurs pouvoir réaliser immédiatement la vitesse de 230 kilomètres avec cette voiture.

Nous allons donner tout d'abord quelques détails intéressants sur les essais effectués, et ceci grâce à l'obligeance de la maison « Siemens et Halske » qui a bien voulu nous fournir les documents nécessaires ; puis nous discuterons les résultats obtenus au point de vue de leur application dans la pratique.

HISTORIQUE DES ESSAIS

Organisation des Essais. — Deux grandes maisons allemandes, l' « Allgemeine Elektricitats Gesellschaft » et MM. « Siemens et Halske » décidèrent de construire en commun une ligne d'essais, et fondèrent pour cela, avec l'aide de la « Banque Allemande », une Société d'études de traction électrique à grande vitesse (200 kil.), à laquelle prirent part plusieurs autres banques et compagnies d'Electricité et dont le conseil d'administration comptait de hauts fonctionnaires de l'Etat et plusieurs spécialistes éminents. Grâce à cette combinaison, cette Société pouvait compter sur l'assistance de l'Administration supérieure et des Compagnies industrielles.

Le Comité technique ayant élaboré les principes fondamentaux du projet, chargea l' « Allgemeine » et « Siemens et Halske » de l'équipement des voitures motrices. La première maison devait, de plus, fournir le courant nécessaire à la ligne par les moyens de son usine génératrice de l'Obersprée, tandis que la seconde prenait à son compte tout le travail de la canalisation aérienne.

La ligne militaire de Berlin à Zossen fut, pour ces essais, mise à la disposition des expérimentateurs par le ministre de la guerre.

Principes généraux du projet. — Avec des trains lourds faisant 200 km/h, on devait s'attendre à une consommation énorme d'énergie électrique. L'économie du transport et la commodité des prises de courant et de la transformation exigeaient l'emploi du courant alternatif à haute-tension ; aussi l'on a eu recours au système triphasé, les moteurs à champ tournant, présentant seuls des garanties de bon fonctionnement dans les conditions particulières des essais. La difficulté de régler la vitesse, propre à ce genre de moteurs, ne paraît pas être un inconvénient pour les lignes à longs parcours ; deux vitesses principales correspondant aux couplages des moteurs en parallèle ou en cascade, ont été estimées suffisantes.

Si le matériel de traction à courant continu est très répandu et très perfectionné, il n'en est pas de même pour celui à courant triphasé, les quelques applications pratiques de ce dernier système ne pouvant pas servir de guide à cause des trop grandes différences de vitesses et de poids. Aussi les conditions particulières du problème ont forcé à recourir dès le début à l'expérience, et c'est à l'aide de perfectionnements successifs que l'on est arrivé à une solution avantageuse. Les bases du projet furent tirées des expériences faites en 1897-1900, par MM. Siemens et Halske, sur la ligne d'essais de Gross-Lichterfelde avec une petite locomotive électrique utilisant du courant triphasé à 10.000 volts transformé sur la voiture même. Le système de canalisation électrique fut également déterminé par ces essais préliminaires.

Energie électrique consommée par une voiture. — La vitesse de 200 kilomètres à atteindre laissait prévoir que la résistance de l'air serait le facteur le plus important de la résistance totale, aussi importait-il de pouvoir la connaître exactement. Comme les formules connues n'étaient établies que pour des vitesses ne dépassant pas 100 km/h, on a eu recours à des expériences préliminaires qui permirent de se rendre compte assez exactement de la valeur de cette résistance. A cet effet, on fixa deux prismes verticaux à essayer aux extrémités d'un levier de 6^m35 de longueur, puis on fit tourner cet ensemble au moyen d'un électromoteur à axe vertical. Pour une vitesse de 200 kilomètres à l'heure, et pour des surfaces sensiblement paraboliques, la mesure de l'énergie électrique absorbée a donné, pour la résistance de l'air, une pression de 90 kilogrammes par mètre carré. Les surfaces de front de la voiture étant de 10 m², la pression totale F_v du vent était de 900 kilogs.

Le coefficient de traction proprement dit fut pris égal à 0,0045, et le poids de la voiture étant de 95 tonnes, l'effort F_t de traction se trouvait être $F_t = 95.000 \times 0{,}0045 = 450$ kgs (chiffre fort).

L'effort total était donc $F = 900 + 450 = 1350$ kilogrammes.

La puissance mécanique à fournir $P = \frac{FV}{75}$ se trouvait donc être $\frac{1350 \times 55{,}5}{75} = 1000$ chevaux.

VOITURE AUTOMOTRICE

Disposition générale de la voiture. — La voiture est du type à deux boggies qui présente une grande stabilité aux hautes vitesses, et son aspect général est celui d'un wagon de troisième classe de l'Etat prussien. Elle se compose d'une partie centrale de 7^m30 de longueur à 18 places, de deux