

47f.
25

Symphier

Symphier

Geheimer Oberbaurat.

Traction électrique des bateaux sur les canaux

par **LÉON GERARD**

Ingénieur-électricien, ancien Président de la Société belge des Electriciens

Extrait du « Bulletin de la Société belge des Electriciens »
Tome XXIII — 1906



Imprimerie F. VANBUGGENHOUDT

2, Rue d'Isabelle

Téléphone 578

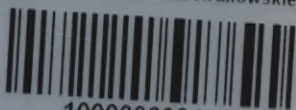
Bruxelles

966.5

66

934.87^a

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000298410

Respectueux hommage
de l'auteur

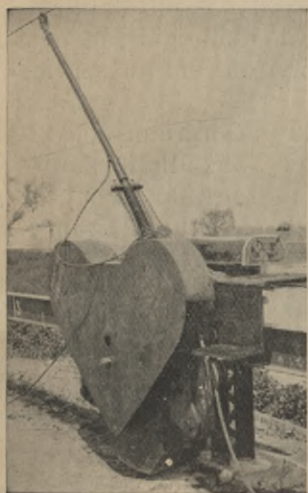
Léon Gerard

|| 31621

TRACTION ÉLECTRIQUE DES BATEAUX

SUR LES CANAUX

par **Léon GERARD**, ingénieur électricien, ancien président
de la Société belge des Électriciens



Trois procédés de traction électrique des bateaux sont discutés et essayés en Europe et en Amérique. Les deux procédés européens sont basés sur l'emploi de tracteurs ou de locomotives à adhérence simple ; le procédé américain est basé sur l'emploi d'un appareil nouveau à adhérence mécanique. Ce dernier système a été décrit en 1905 dans le *Bulletin de la Société belge des Electriciens* (1), qui a reproduit également le rapport de MM. St. John Clarke et L. Gerard, fait sur ce sujet à la X^e session de l'Association

internationale des Congrès de navigation (2). Un article

(1) LÉON GERARD : *Halage électrique des bateaux*. Notice sur les expériences relatives aux tracteurs à adhérence proportionnelle (*Bulletin de la Société belge des Électriciens*, tome XXII, page 621, 1905).

(2) CLARKE et LÉON GERARD : *Étude économique et technique sur la traction mécanique des bateaux par les procédés américains*. Association internationale permanente des Congrès de navigation, X^e Congrès, Milan 1905, 1^{re} section Navigation intérieure.

Akc. Nr.

2564/50



X
2.278

inséré dans le n° 32 de l'*Elektrotechnische Zeitschrift* de Berlin (août 1906) conclut, au contraire, à la supériorité du matériel à adhérence simple construit par la maison Siemens de Berlin pour le canal Teltow et conteste les conclusions du rapport de MM. St. John Clarke et Gerard sur le système américain.

Avant de rencontrer les arguments opposés par le constructeur allemand, nous tenons à rendre hommage aux études si consciencieuses du Teltow Bauverwaltung, d'après lesquelles les installations électriques du canal de Teltow ont été établies. Comme celui de Kiel, ce canal possède des applications électriques complètes avec manœuvres d'écluses de la voie navigable; il fournit un exemple excellent de canal complètement desservi électriquement. Ce service n'est pas limité à la voie navigable, il s'étend jusqu'aux usines particulières et aux villages voisins qui tirent grand profit de son établissement; il est effectué par une centrale d'une puissance de 2,300 chevaux dont un sixième environ sert au service du halage électrique.

Le rapport de MM. St. John Clarke et Gerard ne pouvait être considéré comme une critique des installations allemandes, qui sont conçues avec le plus grand esprit de méthode et ont été étudiées longtemps avant que les procédés américains fussent connus en Europe.

Ces auteurs ont mis en parallèle les résultats techniques de l'emploi des appareils américains et ceux des divers appareils de traction de bateaux usant de rails lisses par adhérence simple en général.

A ce sujet il est intéressant de mettre sous les yeux du lecteur, les photographies des divers systèmes et de rappeler les phases des recherches qu'ils ont motivées.

Il y a lieu de remarquer que le système à deux rails lisses par simple adhérence adopté par le Teltowkanal-Bauverwaltung est tout différent du projet à un seul rail personnel à M. Köttgen, signataire de l'article de l'*E. T. Z.*, primé au concours ouvert par cette administration pour l'étude du halage électrique en 1902. Comme on le sait, ce projet ne fut pas réalisé et l'administration du Teltowkanal, après un examen plus approfondi, adopta le principe du système à adhérence simple sur deux rails lisses

dont les essais venaient, à ce moment même, d'être effectués et publiés par l'auteur de la présente notice au Congrès de navigation de Dusseldorf en 1902 (1). La figure n° 1 représente cette locomotive dont les essais ont été faits sur le canal de Charleroi en 1901.

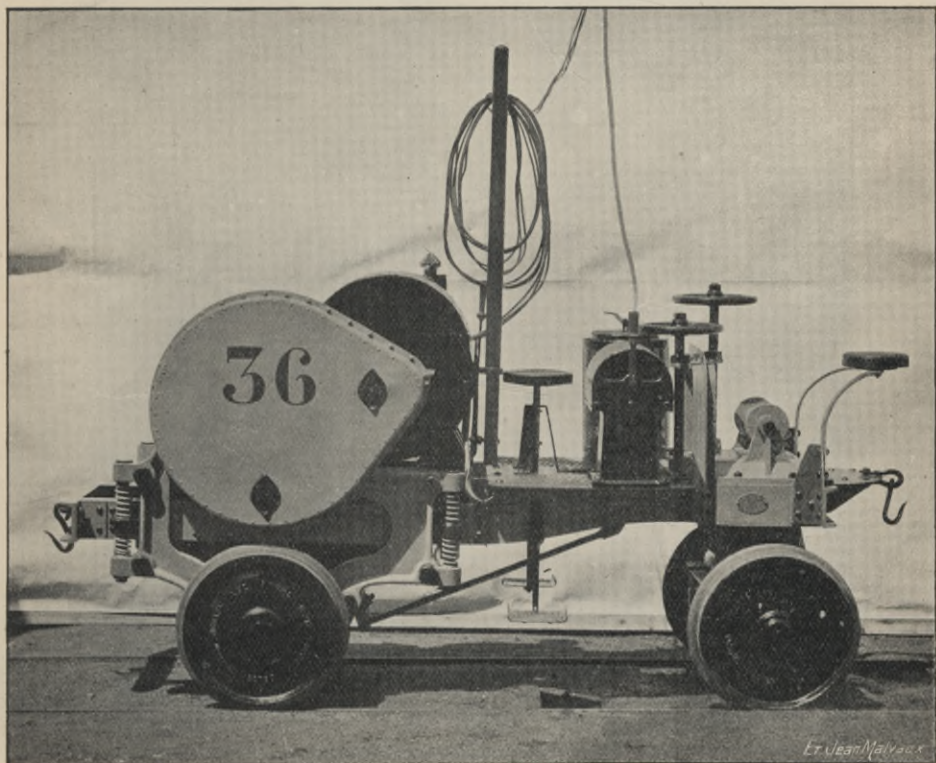


Fig. 1. — Tracteur électrique sur rails lisses. Canal de Charleroi, 1901. Système L. Gerard.

Ces recherches furent corroborées du reste entièrement

(1) IX^e Congrès international de navigation, Düsseldorf, 1902. *Détermination des efforts de démarrage et de traction*, par LÉON GERARD, président de la Société belge des Electriciens et *Bull. Soc. belge des Electriciens* 1902, tome XIX, page 609.

en 1902 par les travaux de MM. La Rivière, Bourgeois et Chanay, en France (1).



Fig. 2. — Tracteur électrique sur rails lisses 20 HP. Canal d'Aire et de la Deule, 1902. Système Chanay.

(1) X^e Congrès international de navigation, Milan 1905. *Rapport sur la traction électrique des bateaux*, par H. LA RIVIÈRE, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées à Lille.

La figure 2 représente le tracteur à adhérence simple (canal d'Aire et de la Deule) qu'ils décrivent et qui est depuis en service sur ce canal.

En 1903-04, le Teltowkanal-Bauverwaltung a établi au

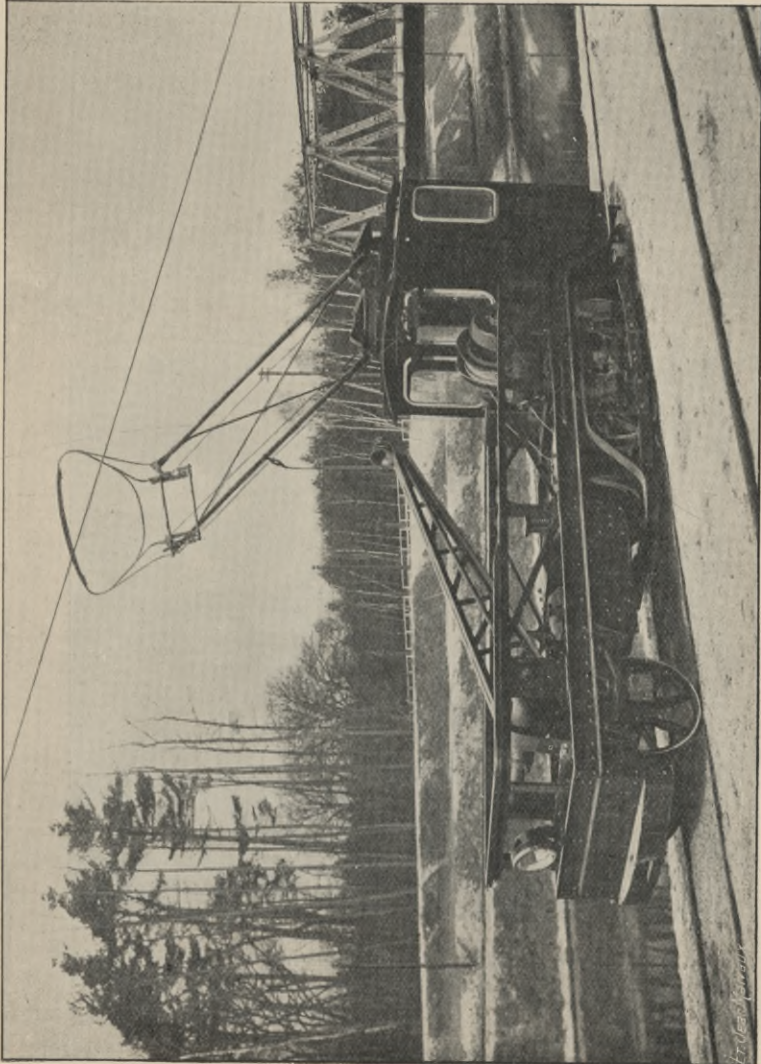


Fig. 3. — Tracteur électrique dissymétrique sur rails lisses 16 HP. Canal de Teltow, 1905. Système Siemens-Köttgen.

Finowkanal 1,400 mètres de voie pour étudier la traction sur rails lisses.

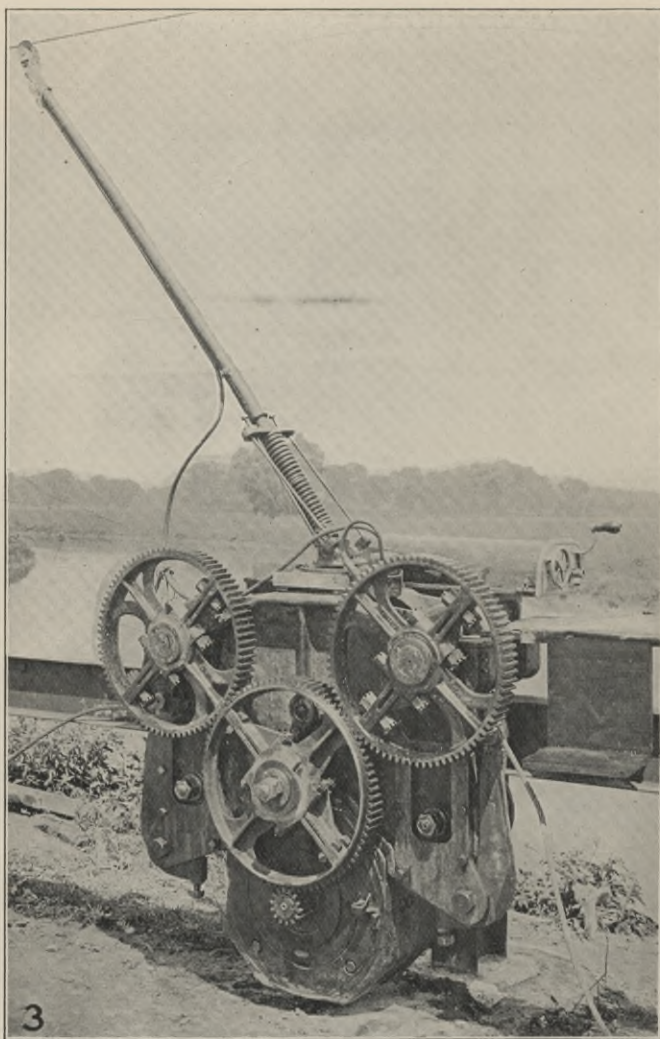


Fig. 4. — Tracteur à adhérence proportionnelle 45 HP. Canal Érié, 1905.
Système Clarke-Gerard.

Divers modèles d'appareils y furent essayés et étudiés en même temps que l'on expérimentait deux remorqueurs

à accumulateurs dont le service est, je pense, suspendu à l'heure actuelle (1).

Les locomotives dissymétriques du modèle Siemens furent finalement adoptées. Ces appareils sont munis d'un mât de remorque élevé et aussi d'un treuil d'enroulement (voir fig. 3).

Qu'il me soit permis d'ajouter que les dispositions du treuil employé dans le tracteur Siemens type Teltow sont inspirées par des dispositions analogues que j'avais réalisées pour le tracteur du canal de Charleroi en 1898 (2).

Ces constatations faites, je tiens à faire remarquer que les conclusions de notre rapport (MM. St. John Clarke et L. Gerard) tendant à attribuer une supériorité économique de 15 p. c. aux systèmes américains (fig. 4), visaient l'ensemble des systèmes à adhérence simple aussi bien belges que français et allemands. L'intervention de M. Köttgen m'amène à préciser et à entrer dans plus de détails au sujet du système Siemens en particulier.

Je crois pouvoir établir que si la comparaison est faite quant à ce système, son infériorité est de 25 p. c. au regard du système américain.

Dans le mémoire opposé au rapport précité apparaissent les quatre thèses suivantes :

- a) L'invention n'est pas neuve. Elle est due à M. Rudolph et a été brevetée par le Patent-Amt allemand sous le n° 107421 en faveur de M. Rudolph; l'invention serait tombée dans le domaine public;
- b) Les frais d'établissement de la voie américaine sont triples de ceux de la voie bi-rails;
- c) Le prix d'un tracteur américain est à peine inférieur à celui d'un tracteur à deux rails de même puissance;
- d) La consommation de courant ne diffère pratiquement pas dans les deux systèmes.

Je me propose de démontrer l'inexactitude de ces affirmations et de démontrer à ce propos quelles sont les

(1) *E. T. Z.*, Berlin, année 1906, H. 22-25, ERICH BLOCH. — *Die Betriebs-einrichtungen des Teltowkanal.*

(2) *Annalen für Gewerbe und Bauwesen.* GLASER. *Electrische Treidelversuche.* page 222, n° 647. H. 11, vol. 54, 1904, Berlin.

conséquences économiques et pratiques des points techniques exposés.

A. — Brevets

Le premier brevet a été accordé par le Patent-Amt allemand sous le n° 165904 et un brevet additif sous le n° 177985 a consacré l'existence de cette invention sous les dates des 3 juin 1904 et 28 septembre 1906.

La procédure sévère et soigneuse du Patent-Amt, les enquêtes contradictoires qu'elle comporte sont assez connues pour qu'il soit inutile d'insister sur le fait que le système américain n'a rien à voir avec les essais Rudolph. Est-il besoin de combattre cette affirmation que le Patent-Amt allemand aurait accordé en 1904-06 à des étrangers un brevet pour une idée émise par un Allemand en 1898 et tombée depuis lors dans le domaine public?

En fait, l'appareil Rudolph n'a pas donné de résultats pratiques. Quoique construit par des constructeurs de premier ordre, tels que Nagel et Kaemp à Hambourg, il n'était pas viable, tandis que les appareils américains établis par la General Electric Company à Schenectady et par la Thomson-Houston de Paris fonctionnent de manière irréprochable; ceci suffirait à montrer qu'il ne s'agit pas ici de deux systèmes utilisant les mêmes moyens, ou dérivés des mêmes principes.

Le caractère tendancieux de l'argumentation est du reste manifeste, car il est facile de se rendre compte que l'appareil de Rudolph ne doit son adhérence, par pression dans le plan horizontal, qu'à l'effet de la faible composante horizontale de l'effort de traction et opère par torsion, tandis que l'appareil américain opère par pression et presse verticalement le rail, en utilisant la presque totalité de l'effort de traction.

Notre contradicteur affirme que le principe de l'adhérence proportionnelle à l'effort n'est pas neuf. En ce seul point il a raison : la louve ou pince à lever les pierres est connue de toute antiquité et nous ne prétendons pas couvrir ce principe dont l'application au halage a été

cherchée sans suite pratique, non pas par Rudoph seul, mais par bien d'autres inventeurs.

L'American Adhesion Company et ses collaborateurs plus heureux ont basé sur ce principe des appareils qui ont reçu la sanction de la pratique, et les brevets qui les couvrent n'ont rien de commun avec les dispositifs dont il est question et qui, du reste, sont tombés dans le domaine public.

B. — Coût de la voie

Nous pensons pouvoir établir que non seulement la voie américaine ne coûte pas le triple de la voie bi-rails, mais que le prix de premier établissement de cette voie n'exige qu'une immobilisation de 70 à 80 p. c. de l'immobilisation des voies bi-rails de *même puissance*.

A ce propos, il convient de remarquer qu'il n'est pas admissible que l'on assimile la voie destinée à porter des appareils américains construits pour développer 45 chevaux et capables d'un effort momentané de traction de 3,200 kilogrammes, à une vitesse de 6 kilomètres, et une voie bi-rails qui ne doit suffire qu'à des locomotives de 16 chevaux développant un effort de traction maximum d'environ 1,100 kilogrammes, à une vitesse de 4.5 kilomètres à l'heure.

A supposer que cette assimilation puisse être faite, encore faudrait-il s'en tenir pour l'une et l'autre voie au coût réel de leur établissement. Or, la voie américaine n'exige pas par kilomètre la mise en œuvre des 150 mètres cubes de béton, à 25 francs le mètre cube, dont parle M. Köttgen; il a été constaté qu'il n'a pas été nécessaire d'employer plus du quart de ce cube et que le prix d'un tel béton est de 17 francs environ le mètre cube.

D'autre part le poids de la voie est bien de 56 à 60 tonnes et non de 80 tonnes par kilomètre, comme l'affirme M. Köttgen. Il suppose qu'il y a lieu de la compléter par des rails supplémentaires. C'est une erreur; il suffit pour s'en convaincre d'examiner la figure 16 du rapport de Milan précité et les figures 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 12, relatives à la voie de tracteur modèle 1905, du travail intitulé

« Notices sur les expériences relatives aux tracteurs à adhérence proportionnelle », paru dans le *Bulletin de la Société belge des Electriciens*, tome XXII, 1905.

En fait, en portant le poids de la voie dans nos estimations à 60 tonnes, nous avons majoré ce poids de 4 tonnes, pour tenir compte des renforts éventuels en certains points spéciaux.

L'expérience a, du reste, montré que l'addition de petits rails prévue en 1903 et employés dans les anciens appareils américains était absolument inutile.

L'usure de la voie est presque nulle en raison de la parfaite adhérence des roues, de l'absence de patinage et de la grande largeur de la portée, qui est quatre fois plus grande sur la poutre que sur le rail (voir diagr. 6 et 7). De plus, l'usure est compensée par le jeu de serrage de l'appareil qui est réglable automatiquement.

Au point de vue de la résistance de la voie, la discussion ne fait que confirmer l'exactitude des calculs des ingénieurs américains qui admettent que des longerons d'acier peuvent supporter à la traction 9 kilogrammes par millimètre carré pour les efforts permanents et que l'on peut admettre des charges allant à 12, même à 15 kilogrammes pour des efforts momentanés et exceptionnels.

Notre contradicteur est amené, dans son argumentation, à supposer que le câble de touage est attelé dans le tracteur américain à un bras ou mât en porte-à-faux de 3 mètres d'élévation. Ce bras n'existe pas. Il arrive ainsi, par des hypothèses toutes gratuites, à créer une nouvelle voie de son invention d'un prix de 37,000 mark, à employer en lieu et place de la voie réalisée qui en coûte 14,000. Or, les photographies et les cinématographies de l'appareil montrent qu'il fonctionne avec le câble fixé au centre des appuis et non à l'aide d'une perche ayant un porte-à-faux de 3 mètres. Il ne saurait être question, pour les ingénieurs américains, de procéder en remorquage d'une manière aussi irrationnelle (voir diagrammes 6 et 10 et fig. 3).

A ce sujet on remarquera, par l'inspection de la fig. 2, que le tracteur français remorque par des crochets situés très près du centre de gravité du système, soit à 1 mètre du sol. Le remorquage se fait, la corde de halage étant

relevée au mât du bateau et non au tracteur et supportée par un mât placé sur celui-ci.

L'hypothèse de M. Köttgen est donc gratuite.

Si à ce procédé de discussion on oppose une comparaison entre choses comparables, on voit que les choses prennent un tout autre aspect : les appareils Siemens de 16 HP peuvent se comparer équitablement avec les appareils similaires américains de 22 HP ou de 14 HP. (Il y a 4 types d'appareils à adhérence proportionnelle respectivement de 100, 45, 22 et de 14 chevaux).

Nous établirons nos comparaisons entre le type américain de voie et de tracteur de 22 HP et le modèle de voie et de locomotive Siemens de 16 chevaux : ces appareils ont à peu près les mêmes puissances, mais les efforts de traction dont l'appareil américain est capable sont plus forts : la voie du système américain pèse 50 tonnes environ par kilomètre, avec des appuis distants de 3^m20, et elle ne nécessite qu'exceptionnellement et dans de mauvais terrains un léger bétonnage. En admettant les plus mauvaises conditions, cette voie coûte à peine 14,000 francs par kilomètre en alignement et en voie courante. Ce chiffre augmenté de dispositifs spéciaux aux écluses, aux passages des routes et des parties où la voie doit s'élever au-dessus de quais ou de grues existantes, ou bien encore s'ouvrir pour former des passages à parties basculantes, porte la valeur de la voie au maximum à 16,000 francs par kilomètre.

On ne saurait contester que la voie bi-rails doit coûter 18,300 francs par kilomètre sans les « bonds » de jonction en cuivre (voir page 911, tome XXII, *Bulletin Elect. belges*).

Le système préconisé par Siemens exige l'établissement de deux voies, car les locomotives telles qu'elles sont établies à Teltow ne peuvent circuler que dans un seul sens, et comme l'on ne peut tourner facilement sur une berge de canal un appareil de 6^m80 de longueur, ce système conduit fatalement à cette complication et à cette dépense de construire deux voies de 18,300 francs, soit d'immobiliser un capital de 36,600 francs par kilomètre. Si l'on met ce chiffre en regard du coût de 16,000 francs de la voie américaine qui est capable d'effectuer le même service dans des conditions excellentes, on mesure la supériorité

du dernier système et la modération de nos appréciations.

A ce sujet, pour justifier un appareillage de leviers, de treuils, de ressorts d'enroulement de câble qui figurent dans la locomotive dernier modèle, il a été émis une théorie nouvelle sur la nécessité de la tension continue des cordes de touage à tous moments en matière de remorque.

En fait, aucun batelier n'admet d'être remorqué en vitesse et à câble tendu au passage des ouvrages d'art et à la rencontre de deux bateaux, même l'un d'eux étant à la berge.

Les usages, consacrés du reste par les règlements de navigation de tous les canaux hollandais, français, belges et, je crois, allemands, veulent ce que la prudence la plus élémentaire indique d'elle-même : le ralentissement des bateaux à ces points et par conséquent le mollissement des amarres.

Les neuf dixièmes des canaux de ces trois pays n'ont qu'un seul chemin de halage, sur un seul côté du canal, et les conditions d'exploitation sont, aussi bien pour les bateaux se croisant que pour les bateaux se dépassant, que l'un des deux doit laisser plonger la corde de touage sous l'autre. Il n'y a là aucune difficulté même si le halage se fait sur le mât du chaland et tous les assistants du congrès de Milan ont pu se rendre compte de ce fait par la cinématographie des canaux américains, où la pratique du croisement est la même que la nôtre.

Je dois faire observer que s'il était reconnu nécessaire dans certains cas spéciaux de faire passer les cordes de halage fort au-dessus du plan d'eau, il existe d'autres moyens mécaniques bien moins coûteux et moins compliqués que ceux de la maison Siemens. En voulant à tout prix justifier le dispositif bizarre d'un matériel de tramway à voie étroite qui exerce son travail par un crochet d'attelage situé 3^m80 du sol et effectue une traction latérale oblique *tendant au renversement de la locomotive*, on arriverait à créer hypothétiquement des conditions mécaniques spéciales à la traction des bateaux qui n'existent point pour d'autres systèmes (voir diagramme fig. 6).

Au reste, l'avantage de satisfaire à des nécessités spéciales de caractère local ou occasionnel, perd toute

importance devant les raisons fondamentales d'économie, qui, elles, sont d'ordre général.

Si la traction électrique sur les canaux est un progrès, elle ne peut se développer que si elle apporte avec elle des éléments d'économie nouveaux au prix du halage; or, l'écart du prix de premier établissement entre un système exigeant une voie de 36,600 francs par kilomètre, fût-il le plus parfait des systèmes, et un système coûtant 16,000 francs suffirait à lui seul, à prix d'exploitation égal, à affirmer la supériorité du système américain et à démontrer le caractère non pratique du système Siemens.

Dans certains cas cette supériorité économique sera encore plus considérable, car il a été reconnu par l'administration du Teltowkanal que le service des bateaux aux abords des écluses ne pouvait pas être effectué par les locomotives dissymétriques de Siemens et qu'il nécessitait l'emploi d'un appareil à *adhérence mécanique* porté sur une voie aérienne formée d'une charpente surélevée de six mètres et de 140 mètres de longueur (1). La plupart des canaux européens ayant des profils accidentés, c'est-à-dire beaucoup d'écluses, le système Siemens conduirait à l'emploi d'un double appareillage; on conçoit facilement la valeur du capital à immobiliser pour un double modèle de voies et un double jeu d'appareils de traction, l'un ne se prêtant qu'au service d'écluse, l'autre au service des biefs.

La caractéristique du système américain est la simplicité: l'appareil ordinaire étant par sa nature même capable d'exercer les efforts de traction nécessaires aussi bien en cours de canal que dans les écluses, il n'y a d'autres différence près des écluses que la surélévation éventuelle de la charpente de voie et le rapprochement des appuis.

Nous avons dit que la voie américaine coûtait moins que la voie bi-rails. M. Köttgen a créé une voie américaine de son invention qu'il dit devoir coûter trois fois plus. En

(1) E. T. Z., année 1906, Heft. 22-25. ERICH BLOCH, *Teltowkanal Betriebs einrichtungen*, voir fig. 17, Laufkatze.

réalité la voie américaine telle qu'elle est conçue par les ingénieurs qui en ont le soin *coûte par kilomètre moins de la moitié du prix de la voie du Teltowkanal.*

C. — Prix du matériel

Le prix d'un tracteur américain, dit notre contradicteur, est à peine inférieur à celui d'un tracteur à deux rails à simple adhérence de même puissance.

Réponse : Les 20 locomotives de 16 chevaux du Teltowkanal ont coûté 250,000 mark, soit **312,500 francs.**

N'importe quel constructeur européen peut équiper pour un prix global de **100,000 francs**, 20 tracteurs à adhérence proportionnelle conformes à la figure 4, munis de moteurs à haut rendement, de construction anglaise, française, belge ou allemande, d'une puissance de 22 HP à 400 tours environ, avec le rapport d'engrenages normal de 5.78.

Le rapport d'économie est de 300 p. c. A raison d'une locomotive par kilomètre de canal, comme le suppose M. Köttgen, l'économie sur le seul poste matériel roulant, assurée par le système américain, serait de 10,000 francs par kilomètre; il me paraît donc inexact de dire, avec cet ingénieur, que le prix des tracteurs américains est à peine inférieur à celui des tracteurs à deux rails de même puissance.

D. — Rendement

Pour arriver à affirmer que la consommation du courant ne diffère pratiquement pas dans les deux systèmes et que, dans tous les cas, celle du système à deux rails n'est pas supérieure à celle du système américain, il a été fait usage de deux méthodes :

La première consiste à soutenir que les auteurs des mesures doivent s'être trompés aussi bien dans les méthodes opératoires que dans les calculs.

La seconde affirme *a priori* qu'il y aurait impossibilité mécanique ou tout au moins absence de motifs à une économie de courant.

Les auteurs des mesures sont les ingénieurs du département de la traction G. E., à Schenectady. Il nous semble que ceux qui ont répandu en Amérique, et quelque peu aussi en Europe, le système des tramways et des chemins de fer électriques Thomson-Houston ont acquis assez d'expérience en cette matière pour que leurs essais ne soient pas discutés aussi légèrement.

En fait, le tracteur à adhérence proportionnelle en service normal fonctionne sur sa poutre dans les mêmes conditions qu'un équipement de tramway mis au frein au banc d'essai.

Muni d'un seul jeu d'engrenages au rapport 5.73 ou 5.78, son rendement ne diffère du rendement commercial à la jante des moteurs des trolley-cars ou des locomotives minières que par le seul facteur de la variation de diamètre des roues.

Il n'y a aucun frottement parasite, aucune torsion; le fonctionnement du moteur est le même que s'il était essayé au frein, à cette différence près qu'il n'y a pas de production de chaleur, le travail réel étant produit par traction.

Le rendement moyen, au banc d'essai, à charge de service avec un seul jeu d'engrenages pour le moteur de 45 HP, G. E. 61 A 1 à 500 tours, faisant l'objet des essais de Schenectady, août 1905, est très voisin de 86 p. c. Or, le rendement moyen du tracteur obtenu sur la rive a été de 83 p. c. Ces mesures cadrent donc rigoureusement entre elles.

Contrairement à ce qui est affirmé, les chiffres publiés ne sont pas la moyenne de trois essais. Notre contradicteur ne tient pas compte des divers essais que j'ai publiés ultérieurement (1), essais dont la moyenne fait ressortir le rendement moyen observé, non pas à 75.5, mais bien à 83 1/2 p. c. pour les travaux à diverses charges correspondant à la pratique et dans des limites de vitesse de service de 1,000 kg. d'effort et 6 km. de vitesse.

Nous n'avons pas admis cependant ce chiffre dans nos

(1) *Bulletin de la Société Belge des Electriciens*, t. XXII, an. 1905, pages 628 et suiv.

conclusions et, pour tenir compte des erreurs d'observation inhérentes à de semblables mesures, nous avons publié le chiffre de 81 p. c. à mettre en regard du chiffre de 64 p. c. résultant des essais du système Siemens publiés par M. le Regierungsbaumeister Erich Bloch (1) et du chiffre de 67.5 p. c. réalisé par les appareils de halage français décrits par M. l'ingénieur en chef La Rivière (2).

Notre contradicteur estime qu'il y a erreur dans nos calculs parce qu'il y a été tenu compte de la vitesse de l'eau. Il lui a sauté aux yeux, dit-il, en examinant de près un des tableaux d'essai, que la vitesse apparente des remorques par rapport à la rive était de 6.7 kilomètres, tandis que la vitesse de l'eau en sens contraire était de 0.5 à l'heure, et que dès lors il fallait faire abstraction de cette dernière vitesse et ne tenir compte que de la vitesse apparente, c'est-à-dire de 6.7 au lieu de 7.2.

Qu'il me soit permis de faire une simple remarque à mon honorable confrère : son raisonnement conduit à cette conclusion que si un remorqueur tire en rivière un train de bateaux contre le courant et se borne à tenir le train à la vitesse apparente 0 par rapport à la rive, le travail de la machine motrice de ce remorqueur serait nul.

Il n'en faut pas davantage pour faire justice de son argumentation et il est clair et sans contestation possible, que la puissance d'un remorqueur est, en kilogrammètres, le produit de l'effort au crochet en kilogrammes multiplié par la somme des vitesses de l'eau et du remorqueur, vitesses exprimées en mètres-secondes *avec leurs signes respectifs* : C'est le travail utile (Tu), lequel, augmenté du travail par seconde nécessité par la propulsion du tracteur lui-même (Tr), donne la forme classique de la puissance du remorqueur ou du tracteur et conduit à la formule :

$$\frac{Tu}{Tu + Tr}$$

expression du rendement.

(1) *Glaser's Annalen für Gewerbe und Bauwesen*. Band 54, Heft 8, p 150.

(2) H. LA RIVIÈRE, ingénieur en chef des ponts et chaussées français. — X^e Congrès de navigation : *Etude économique sur le halage électrique*.

Je me crois donc autorisé à maintenir absolument et ma manière de voir et le mode de calcul critiqué.

Il a été soutenu aussi que nous n'avions pas tenu compte de la correction à résulter de l'obliquité de l'effort de traction et mon contradicteur va jusqu'à chiffrer cette correction à 5 p. c. Or, il écrit à propos d'autres objections que pour 1,000 kilogrammes d'effort la composante perpendiculaire à la voie est 200 kilogrammes : Tangente naturelle 0.200 a pour angle 11 degrés 19 minutes dont le cosinus naturel est 0.98 ; la correction géométrique en question serait donc de 2 p. c. Comme nous avons déduit 2 1/2 p. c. de la moyenne générale des rendements observés, je crois que cette critique n'a pas plus de valeur que la précédente.

Je n'ai aucune peine à avouer ici que cette déduction n'est pas faite avec la prétention d'une exactitude qu'il est impossible d'atteindre dans les mesures dynamométriques d'effort de traction des navires et dans les mesures des vitesses réelles des mobiles sur l'eau.

Une telle précision est hors des limites de l'exactitude des observations : j'ai fait assez bien de mesures de ce genre basées sur des méthodes diverses et, ne voulant pas faire état de mon expérience personnelle dans cette matière, je me borne à renvoyer mon contradicteur aux travaux de M. l'inspecteur général De Mas, professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées de Paris, publiés dans les mémoires de l'Académie des Sciences de Paris et dans les publications du ministère des travaux publics de France (1). Les soins à apporter dans ces essais sont familiers à ceux qui ont la pratique des questions de halage et ceux-là savent qu'une *précision à plus ou moins 2 p. c. ne peut être obtenue dans ce genre d'observations.*

Les chiffres de Teltow comme ceux de Schenectady sont donc à lire avec plus ou moins 2 p. c. d'exactitude.

Enfin, notre contradicteur a longuement cherché pour-

(1) *Recherches expérimentales sur le matériel de la batellerie*, par DE MAS. Imprimerie nationale, Paris, 1893.

quoi le système américain aurait possédé le moindre avantage sur ce qu'il veut bien appeler le tracteur ordinaire, et dans cette recherche, il a émis *a priori* des idées que je ne parviens pas à comprendre, en raison sans doute de la confusion qu'il fait, d'après moi, entre les sollicitations du rail et le travail perdu par frottement dans l'appareil de traction.

Avant d'aborder la discussion de cette argumentation erronée, posons les éléments du problème.

Le chiffre du poids mort de la locomotive Siemens de 16 chevaux est, dit-on, de 8,000 kilogrammes. Je pense que la pratique conduira plus tard à augmenter ce poids pour des raisons de sécurité, afin d'augmenter le moment de stabilité contre le renversement de ces appareils. N'importe, j'admets ce poids. Il attribue au tracteur américain de puissance équivalente 4,000 kilogrammes de poids propre. Or, le poids du tracteur de 22 HP équipé du moteur Thomson-Houston n° T. H. 11, type mine à 400 tours, est à peine de 2,200 kilogrammes, conducteur compris. En réalité, l'appareil de 45 HP pèse 2,860 kilogrammes et non 4,000 kilogrammes.

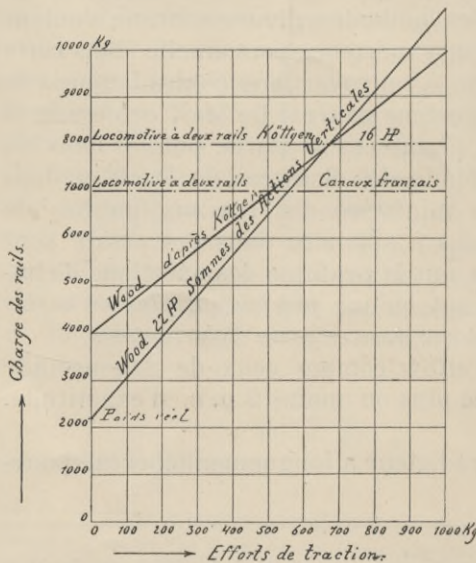


Fig. 5. — Correction du diagramme de M. Köttgen.

Nous reproduisons figure 5 le diagramme erroné de l'article de M. Köttgen, en respectant son texte et sa suscription qui nous paraît, comme je le dirai plus loin, absolument incorrecte. Ce mode de calcul est inexact ; en l'admettant il faudrait au moins tenir compte des poids morts réels, et alors ce diagramme corrigé du seul fait du

pois réel de l'appareil serait le gros trait inférieur interrompu de la figure 5. Il donnerait une représentation inexacte au fond, mais assez vive de l'économie de fonctionnement qui caractérise l'appareil américain en raison de son faible poids mort.

Je dis que ce diagramme, le texte qui l'accompagne et son commentaire sont inexacts, parce que mon honorable confrère me paraît faire une confusion entre les sollicitations du rail et les travaux dus aux frottements dans la locomotive.

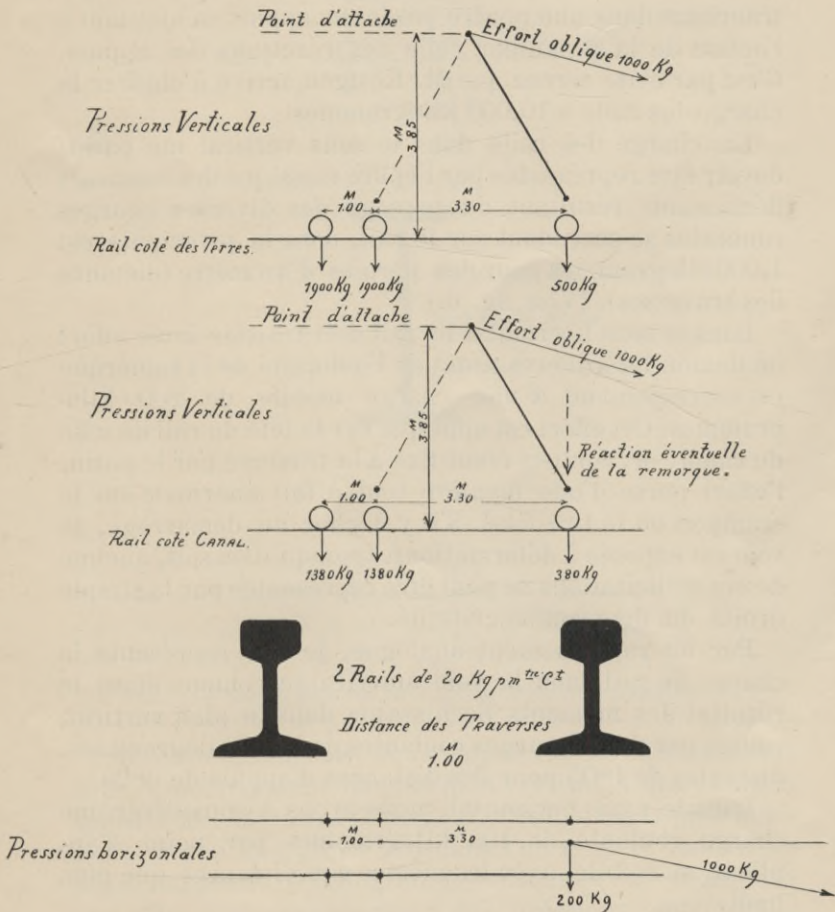


Fig. 6. — Charges de la voie par le tracteur dissymétrique Siemens-Köttgen.

Pour rendre intelligible la discussion qui suit, nous avons représenté dans la figure 6 le schéma de la répartition des poids morts et des efforts dans le tracteur Siemens et dans la figure 7 le schéma de cette répartition dans le tracteur américain.

M. Köttgen prétend représenter la charge des rails dans son système par le poids du tracteur de 8,000 kilogrammes et dans le système américain par le poids du tracteur augmenté du double de la pression mécanique des roues sur la voie!

L'erreur est du même ordre que si l'on comptait l'effort tranchant dans une poutre posée sur appuis en ajoutant à l'action de la pesanteur celle des réactions des appuis. C'est par cette erreur que M. Köttgen arrive à chiffrer la charge des rails à 10,000 kilogrammes.

La charge des rails dans le sens vertical me paraît devoir être représentée par l'épure classique des moments fléchissants résultant du passage des diverses charges roulantes se succédant sur le rail, dont la principale est 1,900 kilogrammes pour des portées d'un mètre (distance des traverses). (Voir fig. 6.)

Dans le sens horizontal le rail doit résister à un effort de flexion latérale résultant de l'obliquité de la remorque et correspondant à une charge mobile de 200 kilogrammes. Cet effort est appliqué sur la tête du rail du côté du canal; or, celui-ci étant fixé à la traverse par le patin, l'effort porte d'une manière tout à fait anormale sur le crampon ou le tire-fond. S'il y a choc au démarrage, la voie est exposée à déformations. Quoi qu'il en soit, aucune de ces sollicitations ne peut être représentée par la simple droite du diagramme critiqué.

Par un raisonnement analogue, je me représente la charge du rail dans la voie américaine comme étant le résultat des moments fléchissants dans le plan vertical, causés par deux charges roulantes de 1,000 kilogrammes, distantes de 1^m05 pour des distances d'appuis de 3^m20.

Dans le plan horizontal, nous avons à considérer une charge roulante de 100 kilogrammes par point d'application mobile, avec les mêmes équidistances que plus haut.

Remarquons que ces dernières sont appliquées au centre

de la poutre en double T et n'exercent aucune torsion ni renversement : elles tendent simplement à la flexion.

Il n'est donc pas possible de comprendre comment notre confrère écrit à propos de l'appareil américain que, lorsque l'effort de traction atteint 1,000 kilogrammes, la charge totale sur le rail atteint 10,000 kilogrammes (voir fig. 7).

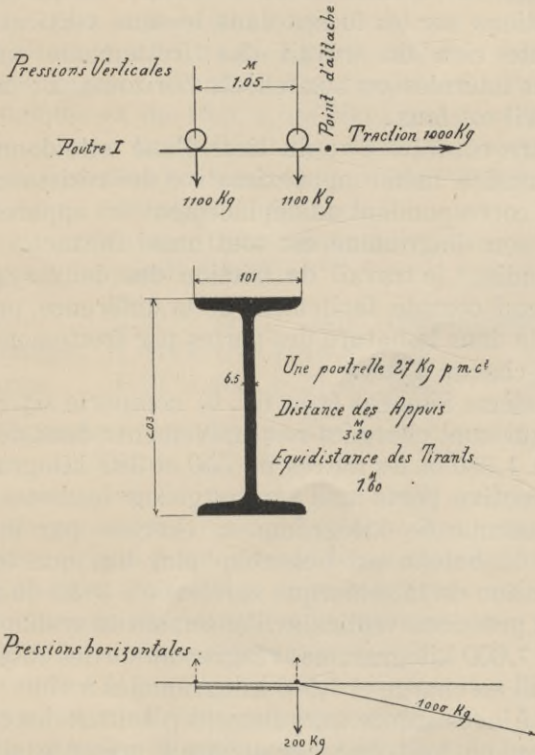


Fig. 7. — Charges de la voie par le tracteur à adhérence proportionnelle.

En résumé, dans les deux appareils les flexions sont dues respectivement dans le plan vertical à des charges mobiles de 1,900 à 1,000 kilogrammes et dans le plan horizontal à une charge de 200 dans l'un et dans l'autre de deux charges de 100 kilogrammes distantes de 1^m05. Quant aux efforts tranchants dus à des pressions contrebalancées par des réactions égales et de signes contraires, ils

sont tellement faibles au regard des sections de la poutre et des rails qu'on peut les considérer comme négligeables.

L'inspection des coupes des rails dans les deux systèmes, fig. 6 et 7, suffit, me semble-t-il, parfaitement à établir ce point.

Le diagramme 5 du travail discuté me paraît donc inexact et il ne représente pas les charges des rails. Il représente fort inexactement la somme des pressions et des réactions sur les fusées dans le sens vertical. Il ne représente rien du travail des frottements dus aux pressions latérales ou aux efforts horizontaux ; numériquement il est faux.

Si notre confrère a voulu tirer d'une telle donnée une représentation même approximative des résistances à la traction correspondant au déplacement des appareils eux-mêmes, son diagramme est tout aussi inexact.

En étudiant le travail de friction des deux systèmes, on se rend compte facilement de la différence profonde qui existe dans la nature des pertes par frottement inhérentes à chacun d'eux.

Le système Siemens (voir fig. 6) comporte six roues à fusées qui sont chargées respectivement : deux de 1,900, deux de 1,380 et les autres de 550 et 380 kilogrammes. La locomotive porte une surcharge sur les roues libres d'une centaine de kilogrammes, exercée par la corde puisque le bateau est beaucoup plus bas que le point d'application de la remorque surélevée à 3^m80 du sol. Du chef des pressions verticales, l'ensemble du système porte environ 7,600 kilogrammes réagissant sur les fusées lors du travail en charge et 7,500 kilogrammes à vide.

Quant à la résistance au roulement résultant des charges verticales, on voit que cet appareil présente sensiblement les mêmes résistances passives qu'il soit vide ou chargé. Elles correspondent à environ 60 kilogrammes. Il n'en est pas de même des résistances au roulement résultant des efforts horizontaux ; elles sont nulles à vide et vont toujours en croissant jusqu'à pleine charge.

En effet, la locomotive Siemens est tirée sur le côté par la remorque, le bourrelet des roues frotte contre le rail ; l'inspection de la figure 3 montre que l'action du câble se reporte sur le train d'arrière qu'elle tend à tirer

obliquement. La locomotive travaille en charge comme si elle était dans une courbe très raide, sous l'angle de 11° pour une longueur de châssis de 3^m30 .

Admettons que les vitesses des deux appareils comparés soient : à vide 12 kilomètres, à mi-charge 6 kilomètres, à charge totale 4 kilomètres à l'heure, soit par seconde respectivement environ 3^m32 , 1^m67 et 1^m12 .

La résistance à la traction résultant des charges verticales est $7.500 \times 8 = 60$ kilogr.

La résistance à la traction provenant des frottements horizontaux dus à l'action des boudins des roues (diamètre 0.800) est de 15 p. c. de 200 kilogr. = 30 kilogr. à pleine charge. Le frottement sur les portées des fusées d'essieux pressées horizontalement par 200 kg. à pleine charge donne 1^k6 supplémentaire.

Les travaux dus aux frottements seront donc en chiffres ronds pour l'appareil Siemens :

A vide. . .	3.32×60	soit	199	kilogrammètres.
A mi-charge.	$1.67 \times (60 + 15.8)$		126	»
En charge .	$1.12 \times (60 + 31.6)$		102.6	»

Le diagramme des travaux dus au frottement ne saurait être une droite.

Les travaux de friction de l'appareil américain sont d'un autre caractère (voir fig. 7). Supposons le mécanisme d'adhérence réglé pour obtenir les mêmes effets que le poids adhérent du tracteur Siemens lequel est de 6,560 kilogrammes de charge utile à l'adhérence pour un poids de 8,000 kilogrammes environ.

Pour suffire à 1,000 kilogrammes de traction les leviers d'adhérence seront réglés au rapport de 4.36.

Les deux roues supérieures portent à vide le poids de 2,200 kilogrammes. L'effort de traction correspondant est de 17.6 kilogrammes. La pression d'adhérence est nulle.

A mi-charge les quatre fusées reçoivent une pression additionnelle résultant de la pression développée par les leviers d'adhérence égale au total pour les quatre fusées à 4,360 kilogrammes à ajouter à 2,200 kilogrammes de poids propre. L'effort au roulement est de 52.48 kilogrammes.

A pleine charge les forces engendrant la friction dans

le plan vertical sont : le poids agissant sur les fusées supérieures est de 2,200, plus la pression d'adhérence, 4,360, à laquelle s'ajoute la pression sur les fusées inférieures, 4,360. La somme de ces pressions donnera un effort au roulement de 87.36 kilogrammes environ.

La résistance à la traction résultant des frottements latéraux à pleine charge supportés par les portées lubrifiées des quatre paliers à butées est égale à

$$200 \text{ kg.} \times 8 \text{ gr.} = 1,600 \text{ grammes}$$

ou 1.6 kilogramme à pleine charge et 0.8 à demi charge.

Il n'y a aucune tendance à frottement des bourrelets parce que la pression d'adhérence étant par roue de 3,280 kilogrammes, l'effort latéral de 100 kilogrammes ne peut déplacer la roue.

A vide, l'effort à considérer est donc 17.6 ; il est à demi charge $52.48 + 0.8 = 53.28$ et à pleine charge $87.36 + 1.6 = 88.96$.

Les travaux dus au frottement sont en chiffres ronds dans les mêmes conditions que plus haut pour l'appareil américain :

A vide.	. . .	3.32×17.6	. . .	soit 58 kilogrammètres.
A mi-charge.	. . .	1.67×53.28	. . .	89 »
En charge	. . .	1.12×88.96	. . .	99 »

Le diagramme 8 ci-contre représente assez exactement la valeur des travaux dus au frottement interne dans les deux systèmes. On voit que ces frottements pourraient tendre à se rapprocher pour la marche exceptionnelle à maximum de charge et que pour tous les autres cas le tracteur américain l'emporte de loin sur le tracteur Siemens.

Il tombe du reste sous le sens qu'entre un appareil simple dont le poids mort est de 2,200 kilogrammes et un appareil compliqué dont le poids propre est de 8,000 kilogrammes, l'avantage du rendement commercial doit appartenir au premier.

Nous attachons beaucoup d'importance à la réduction du poids mort. Notre contradicteur prétend au contraire que 2,000 kilogrammes de poids mort de plus ou de moins n'ont pas d'influence en traction. C'est une erreur, car, dans la pratique de l'exploitation d'un canal, l'import-

tance d'un travail économique à vide et aussi celle d'une grande vitesse sont, au contraire, très grandes.

La plupart de nos canaux ont des transports saisonniers tels que la houille, les betteraves et les grains, pour lesquels il y a de grandes fluctuations de trafic dans une direction déterminée à certaines époques et par conséquent de fortes marches du matériel en sens opposé, marches d'autant plus onéreuses que le tracteur est plus surchargé d'un poids mort considérable et que forcément ces marches doivent être rapides pour satisfaire aux nécessités du service.

Examinons rapidement les diverses causes qui motivent l'amélioration du rendement des appareils américains.

La supériorité pratique du système est au point de vue ci-dessus considérable, car son rendement est très favorable dans les divers cas, même à vide et à grande vitesse.

L'inspection de la figure 8 démontre que l'emploi de l'appareil américain produit une grande

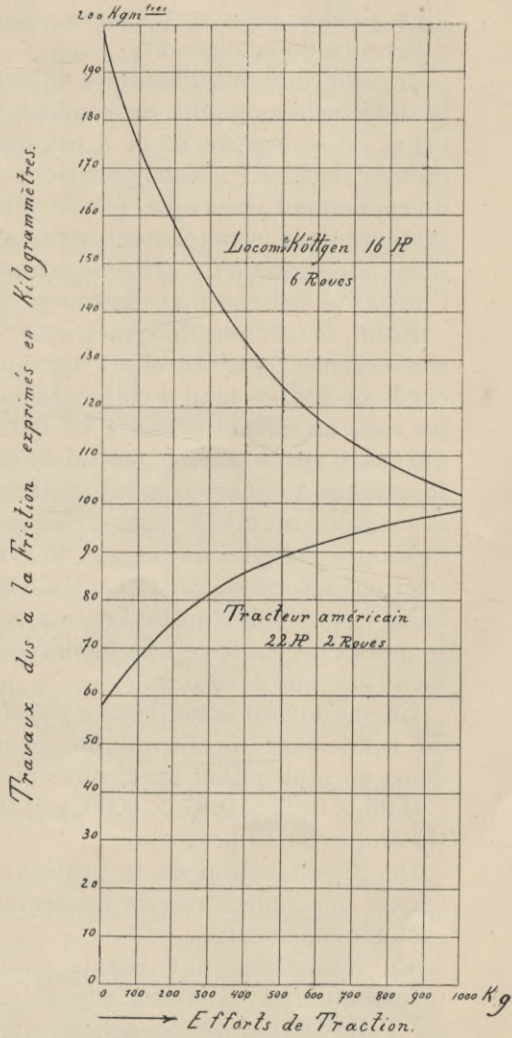


Fig. 8. — Diagramme des pertes par frottement.

économie à résulter de la différence des travaux dus à la friction. Cette différence peut être très modérément chiffrée en moyenne à 2 p. c. d'amélioration de rendement général, du chef de l'emploi de l'appareil américain.

D'autre part, le système Siemens implique l'emploi d'un double jeu d'engrenages, d'où 5 p. c. au moins de différence de rendement.

Il comprend aussi l'emploi de deux moteurs de 8 HP : la différence moyenne de rendement optimum entre ces types de puissance 22 et 8 est de 3 p. c. en faveur du moteur de 22 HP. Nous pourrions porter à 1 p. c. l'écart du rendement théorique par le fait du couplage de deux moteurs dont le rendement net total n'est jamais le rendement théorique d'un système à moteur unique du fait de l'inégalité des roues et engrenage unique.

Enfin, le tracteur dissymétrique Siemens est sollicité au renversement par un effort appliqué à 3^m80 du sol et la corde de halage tend à coller les boudins des roues contre les rails en faisant prendre au bâti une position oblique qui est, d'après M. Köttgen lui-même, de 11°. Ce tracteur fonctionne toujours comme un tramway en courbe, dont la tangente serait 11° pour 3^m30 de développement.

Malgré l'emploi du boggie, le système est soumis à des frictions latérales, car le centre d'oscillation du levier de halage porte au droit de l'essieu des roues folles ; je fixe, je pense, de manière très modérée la valeur de ce frottement parasite à 10 p. c.

En employant la méthode *a priori*, la valeur comparative de rendement en faveur du système américain serait donc, en multipliant les chiffres ci-dessus :

$0.98 \times 0.95 \times 0.97 \times 0.90$, soit 0.8127 ou une différence théorique de 19 p. c.

Or, le fait brutal de la pratique est que les essais ont accusé une supériorité de rendement de 16 p. c. pour le système américain.

En admettant une construction mieux comprise et mécaniquement plus exacte que l'appareil actuel employé au Teltowkanal on ne saurait arriver théoriquement à un rendement supérieur à 77 p. c. pour les locomotives à adhérence simple bien établies telles que les locomotives nouvelles françaises.

M. Köttgen a soutenu qu'en matière de traction le poids mort des appareils n'a pas d'importance, il a confondu la fatigue de la voie et le travail de friction. Il a dit à tort qu'en matière de remorquage il n'y a pas à tenir compte de la vitesse propre du courant de la voie navigable. Il a soutenu que mécaniquement la machine Siemens, dans sa forme anormale de travail, devait avoir un meilleur rendement que le petit appareil américain de forme si logique et si simple. Tout cela n'a pu changer le fait dont nous avons établi les causes : l'appareil américain consomme 16 p. c. de courant en moins que les siens.

Nous allons étudier les conséquences économiques de ces faits qui donnent un avantage économique de 25 p. c. aux appareils américains.

E. — Comparaison économique

Supposons un canal de 100 kilomètres ayant 20 écluses et avec un trafic de un à quatre millions de tonnes-kilomètres.

En comparant les dépenses de premier établissement, nous supposerons l'usage des mêmes modes de distribution qu'au canal de Teltow, c'est-à-dire production en triphasé et transformation en continu, bien que le système américain se prête facilement à d'autres modes de transmission tels que, par exemple, le monophasé du système A. E. G. de Berlin ou Westinghouse (Lamme), systèmes mieux indiqués sans doute dans le cas d'un canal de 100 kilomètres.

Nous supposerons que, comme à Teltow, la puissance électrique à affecter au halage soit empruntée à une grande centrale primaire de 4 à 5,000 kilowatts et de construction très économique, dont le prix de revient de premier établissement ne soit pas de plus de 550 francs par kilowatt d'usine, terrains, bâtiments et accessoires compris, plus 280 francs par kilowatt de puissance transportée et transformée en courant continu (transformateurs, sous-stations, convertisseurs rotatifs, appareils de

contrôle et de distribution). Nous baserons donc notre comparaison sur les éléments les plus favorables possibles pour le système Siemens.

Nous remarquerons ici que dans notre projet le rendement du tableau aux trolley (pertes en lignes primaires en transformation en lignes secondaires) sera de ces chefs, pour les deux systèmes, $0.97 \times 0.90 \times 0.96$. Le rendement de tableau à trolley sera donc voisin de 84 p. c. pour les deux systèmes. A Teltow on compte 18 p. c. de perte; nous admettrons que cette perte soit seulement de 16 p.c. pour les deux systèmes comparés.

Le rendement du trolley au crochet de remorque sera différent pour les deux systèmes : 0.65 pour le système Siemens, 0.80 pour le système de Schenectady, d'où l'on tire les rendements nets respectifs :

0.65×0.84 et 0.80×0.84 , soit respectivement 0.545 et 0.67.

Si le canal exige, en service intensif, l'usage dans les pointes de 70 tracteurs de 16 kilowatts (puissance au crochet), le premier système conduira à l'immobilisation à l'usine et à la construction de lignes et d'appareils de transformation correspondant à

$$\frac{70 \times 16}{0.545} \text{ K. W. pour le système Siemens}$$

$$\text{et } \frac{70 \times 16}{0.67} \text{ K. W. pour le système américain,}$$

soit respectivement en chiffres ronds 2,050 et 1,675 kilowatts, auxquels nous ajouterons 20 p. c. pour la réserve de puissance, soit en chiffres ronds 2,500 et 2,100 kilowatts.

De même le poids de cuivre des lignes d'alimentation ou des feeders pour une charge et des pertes égales peut être réduit dans le rapport de 0.65 à 0.80, soit de 15 p. c., par l'emploi du second système.

En prenant comme base des prix unitaires voisins des prix faibles payés à Teltowkanal, mais en tenant compte aussi des prix correspondant à des installations du plus

haut rendement économique possible, on arrive aux résultats comparatifs suivants exprimés en francs :

A.

Production et distribution	Système Siemens	Syst. américain
Usine 2,500 et 2,100 kilowatts . fr.	1,375,000	1,155,000
Ligne primaire 75 kilomètres . .	450,000	405,000
Sous-stations 2,400 et 2,000 kilowatts	672,000	560,000
Lignes secondaires :		
Mâts	270,000	270,000
Lignes de contact 65 millimètres .	250,000	250,000
Feeders 80 et 65 millimètres . .	200,000	165,000
Lignes spéciales de contact aux écluses, 140 × 20 × 2.5. . . .	7,000	
<hr/>		
Premier total partiel : Production et distribution fr.	3,224,000	2,805,000

B. Voie et matériel roulant.

	Système Siemens	Syst. américain
Voie bi-raïl de 20 kilogrammes une par rive, 200 kilomètres . . fr.	3,660,000	
Voie mono-raïl 100 kilomètres . .		1,600,000
Voie spéciale aux écluses :		
140 × 20 × 50	140,000	
Aiguillages, passages surélevés, appontements et signaux. . .	400,000	400,000
Matériel roulant :		
70 locomotives en service et 10 en réserve	1,250,000	400,000
20 locomotives d'écluses, 2 de réserve, 22 × 6,000	132,000	
Ateliers de réparation	170,000	50,000
Hangars à locomotives	100,000	50,000
<hr/>		
Second total partiel : Voie et matériel roulant fr.	5,852,000	2,500,000

Au sujet du chapitre voie et matériel roulant, on doit remarquer que si l'on supposait, comme il est pratiqué en France depuis longtemps, le halage mécanique à simple adhésion réalisé par une voie unique bi-raïls sur

une seule rive, on obtiendrait pour le système à adhésion sur rails lisses. fr. 4,022,000

En totalisant les dépenses de centrales, lignes, voies et matériel, le capital à investir dans une installation du type Siemens à adhérence simple sera de. . . fr. 9,076,000
du type français à adhérence simple. . . . 7,246,000
du type américain à adhérence proportionnelle 5,305,000
soit en chiffres ronds respectivement $9,7\frac{1}{4}$ et $5\frac{1}{3}$ millions.

On pourrait discuter sur le point de savoir si, en matière d'exploitation de canaux, la question du prix de premier établissement n'est pas négligeable au regard du prix d'exploitation, du coût de l'entretien et de la sûreté de fonctionnement du système.

Il est indiscutable que les questions de bon entretien et de bon fonctionnement ont une importance capitale, et c'est précisément la simplicité, la rusticité et la force du système américain qui assurent cette facilité d'entretien et la sûreté du fonctionnement. Elles lui donnent sa supériorité sur un système dont plus loin nous analyserons toute la complication et toutes les chances d'avarie.

La question du prix de premier établissement a une importance capitale et elle est telle qu'elle peut primer tout autre avantage. Par exemple, pour le système Siemens ce prix est absolument prohibitif pour une application économique à la plupart des canaux européens de moins de 1,500,000 tonnes de trafic.

En effet, on peut admettre que l'intérêt du capital engagé, le taux d'amortissement et la constitution d'un fonds de renouvellement pour parer aux réparations et remplacements accidentels exigent au total par an 8 p. c. du capital investi. C'est là une estimation que je crois prudente.

Le kilomètre d'un équipement de halage Siemens coûtant usine comprise 90,000 francs, le service financier correspondant à ce chiffre doit être fixé d'après moi à 7,200 francs par an et par kilomètre. Le trafic de 1,000,000 de tonnes-kilomètres est donc grevé de ce chef seul à concurrence de 7.2 millimes la tonne-kilomètre, et comme il n'est pas un canal européen de grande navigation où un tarif aussi élevé puisse être demandé, on voit que le système Siemens ne saurait jamais être appliqué

économiquement à la grande majorité des canaux, mais probablement seulement à ceux d'un tonnage annuel égal au moins à 3,000,000 de tonnes-kilomètres.

Il n'en est pas de même de notre système, dont les charges financières ne sont à ces taux que 4 1/2 millimes pour un trafic annuel de 1,000,000 de tonnes-kilomètres. Je crois inutile d'insister sur cette conséquence considérable résultant des différences de rendement des deux systèmes.

Je me fais un devoir d'ajouter que l'administration de Teltowkanal considère que le chiffre de 8 p. c. pour rente du capital, amortissement, renouvellement, est trop élevé et qu'il taxe l'intérêt à 4 1/2 et l'amortissement à 1.77 p. c., soit un service financier correspondant à 6.27 p. c. ; ce mode de calcul grèverait le trafic annuel d'un million de tonnes dans notre canal théorique de 5.65 millimes de franc par tonne-kilomètre ou 2.82 pour un trafic annuel de 2,000,000 de tonnes. Cependant, même en admettant ce mode de calcul, l'avantage acquis au système américain reste évident.

Le service du capital à Teltow est chiffré par M. l'ingénieur Erich Bloch, dans les conditions définies plus haut pour trafic de 2 millions tonnes-kilomètres, à 2.51 millimes par tonne-kilomètre, soit 10 p. c. en moins du chiffre auquel je penserais devoir fixer ce prix dans un canal normal : cette différence tient au petit nombre de locomotives employées à Teltow (1 par 1,600 mètres) et au fait que ce canal n'a qu'une seule écluse pour 33 kilomètres de longueur.

Si ces conditions d'amortissement étaient considérées comme acceptables, en les appliquant au système américain pour le canal de 100 kilomètres avec un trafic de 1,000,000 de tonnes-kilomètres, la charge tomberait à 3.45 millimes et pour un trafic de 2,000,000 de tonnes-kilomètres seulement, à 1.72 millime ; enfin, pour un canal tel que celui de Teltow, à une seule écluse par 33 kilomètres, au trafic de 2,000,000 de tonnes, cette charge se réduira à 1.5 millime. On voit donc que dans toutes les hypothèses il y a toujours un écart allant de 2 à au moins 1 millime de différence en faveur du système américain sur la seule question de service du capital et sur un coût global de

6 1/2 millimes, soit donc un avantage financier en faveur du système nouveau se chiffrant en tout cas par au moins 15 1/2 p. c.

Examinons si cet avantage est le seul qui retentisse sur le prix du halage.

Dans le travail précité de M. Bloch et que nous ne pouvons mieux faire que de prendre comme base, puisqu'il repose sur des observations pratiques faites par des gens d'une indiscutable compétence, le prix d'exploitation est représenté à Teltow par Pf. 0.269 la tonne-kilomètre, soit en millimes de franc 3.36 par tonne-kilomètre.

Admettons pour un instant que le seul bénéfice d'exploitation acquis au système américain soit l'économie de courant et ne tenons pas compte en ce moment de la question de main-d'œuvre et des différences du chef d'usure et de réparation entre des appareils très simples et des organes fort compliqués. Revenons à l'exploitation du canal-type étudié plus haut pour ce prix d'établissement et fonctionnant avec un trafic annuel de 3,000,000 de tonnes, avec une dépense de courant pour le système Siemens (1) taxée à 4 watt-heures par tonne-kilomètre à charge pleine.

Nous avons par an pour la demande théorique de courant : $100 \times 3,000,000 \times 4 = 1,200,000,000$ watt-heures, soit 1,200,000 kilowattheures à fournir pour une puissance de 2,400 kilowatts, soit une utilisation annuelle théorique de 500 heures seulement. Une telle centrale ne peut guère produire le courant qu'au prix brut coûtant (prix ne comprenant pas le service financier calculé précédemment) de 10 centimes. M. Erich Bloch renseigne pour Teltow que le prix du courant à l'usine est de 7 Pf. ou 8.75 centimes, ce qui porte le prix du courant au trolley à 10 centimes; nous sommes donc bien d'accord sur ce point.

L'économie du courant ne présentera en apparence, dans les conditions supposées, qu'un très faible écart. Il n'en atteint pas moins dans notre hypothèse 15 p. c. de 1,200,000 kilowattheures à fr. 0.10 ou 18,000 francs par an, soit en millimes 0.06 par tonne-kilomètre : économie non négligeable car elle représente 10 p. c. d'économie

(1) *Glaser's Annalen* Berlin 1904, n° 642-645, et *E. T. Z.* 1903, page 1083.

sur la dépense d'exploitation correspondant à la seule consommation théorique du courant. Mais remarquons aussi que les 18,000 francs d'économie sont calculés sur une dépense théorique de 4 wattheures par tonne-kilomètre, ce qui suppose le trafic constant à charge pleine. Or, nous avons expliqué plus haut qu'une telle forme de trafic ne se rencontre pas en pratique.

En effet, le débit moyen du courant au tableau du fait des courses à vide et des charges incomplètes est bien voisin de 6.5 wattheures pour les systèmes à adhérence. A ce taux, l'économie sur le courant seul serait donc de près de 30,000 francs par an. Une économie d'exploitation de 300 francs par kilomètre et par an nous paraît importante, en une matière où l'on recherche encore la limite inférieure de trafic compatible avec l'établissement de l'électricité.

L'économie de courant n'est pas la seule acquise au compte d'exploitation par le système américain.

A Teltow comme en France, comme en Belgique, on constate que la main-d'œuvre atteint même pour des trafics élevés plus de 40 p. c. des frais totaux. Or, le système américain n'exige ni le personnel spécial pour les tracteurs affectés aux écluses, ni le personnel de revision de la voie; il réduit les frais correspondant au poste main-d'œuvre de 20 p. c., soit donc 10 p. c. du prix total d'exploitation.

Si donc l'on prend comme base les chiffres contrôlés à Teltow et si on les applique au canal théorique de 100 kilomètres qui a servi de base à notre étude, on dressera le tableau suivant établi pour un service financier de 6.27 p.c.

Tableau exprimant en millimes de francs les prix coûtants du halage électrique par tonne kilométrique.

TRAFFICS ANNUELS	DÉPENSES					
	Service financier		Exploitation		Totales	
	S.	A.	S.	A.	S.	A.
1,000,000 de T. K. .	5.65	3.45	3.60	3.20	9.25	6.65
2,000,000 de T. K. .	2.82	1.72	3.30	2.80	6.12	4.52
3,000,000 de T. K. .	1.85	1.15	2.80	2.50	4.65	3.65
4,000,000 de T. K. .	1.41	0.86	2.60	2.20	4.01	3.06

Ces chiffres n'ont rien d'absolu, ils sont plutôt trop faibles; pour conserver un plan de comparaison, nous avons adopté les bases du tableau d'amortissement tel qu'il est arrêté au canal de Teltow.

Or, nous pensons qu'industriellement il faut taxer plus haut les sommes affectées à l'amortissement; en revanche nous pensons que l'on peut actuellement réaliser, par le système monophasé et même par le triphasé, des transmissions à longues distances à moindre prix que le système de Teltow. Cette différence ne compenserait pas cependant les grands écarts de prix démontrés plus haut. Quoi qu'il en soit, les hypothèses admises sont au désavantage du système américain.

Les conclusions de notre rapport de 1905 sont donc, en ce qui concerne en particulier le système Siemens, trop favorables. En effet, les appareils américains assurent une économie comparative de 3 à 4, soit de 25 p. c. pour les forts trafics, et de 6.6 à 9.25, soit de 28 p. c. pour les trafics minima; enfin, nous croyons avoir démontré que l'on peut commencer à envisager comme possible l'emploi de la traction mécanique, dans l'état actuel des choses, pour le trafic de 1,000,000 de tonnes-kilomètres à l'aide du système à adhérence proportionnelle.

Cette étude démontre que l'application du système Siemens aux canaux d'un trafic égal à 1,000,000 de tonnes-kilomètres par an est impossible, tandis qu'une telle application réalisée par le procédé américain est capable, malgré la faiblesse du trafic, de rentrer à 4 1/2 le capital engagé et de l'amortir à 1.77 p. c. l'an.

Je crois donc avoir établi que les conclusions du rapport Clarke-Gerard au X^e congrès de navigation sont, en dépit d'affirmations erronées, restées fort modérées et que, en ce qui concerne plus spécialement la comparaison du système américain avec le système Siemens, elles sont même fort en dessous de la réalité. Les objections de notre contradicteur nous ont amené ici à préciser et à rendre plus particulièrement applicable au système Siemens-Schukert ce que nous avons dit de manière générale pour l'adhérence du rail uni appliqué déjà de manière pratique et sans aucun brevet par la Compagnie de halage électrique du Nord de la France.

E. — Prix du halage

Quant au fait essentiel repris à nos conclusions, à savoir que l'adoption du système américain conduirait à réaliser des prix de halage voisins de 4 millimes par tonne kilométrique pour tout canal ayant un trafic voisin de 3 millions de tonnes, l'étude qui précède renforce cette opinion, car ce prix serait seulement de 3.65 millimes en se basant sur les résultats expérimentés de Teltow et publiés après notre rapport. Ils le confirment donc entièrement. Aucune des assertions de notre contradicteur ne peut infirmer ce point capital qui résume toute la question technique et économique soulevée.

Le point essentiel est de savoir jusqu'à quel point la navigation intérieure à traction mécanique peut lutter avantageusement avec le chemin de fer. Il y a lieu de déterminer si, en offrant à l'industrie un mode de transport dont les frais de traction sont 4 millimes environ par tonne kilométrique, ce système nouveau pourra battre le transport par railway et abaisser les frets des matériaux pondéreux dont le trafic est disputé par le canal et le railway. Toute la question gît dans ce point et elle n'est certes pas résolue par les systèmes Siemens avec la même certitude et dans une aussi générale mesure, qu'avec le système que M. Clarke et moi-même nous avons eu l'occasion de décrire dans nos travaux.

G. — Comparaison des dimensions d'encombrement

Afin de permettre au lecteur de se rendre compte de la simplicité relative et de la forme mécanique des divers appareils de traction dont il est question dans ce travail, nous avons reproduit les diverses photographies de ces organes.

La figure 1 représente la première locomotive électrique sur rails lisses établie pour halage électrique en 1901. Elle a servi aux travaux relatés au IX^e congrès de navigation à Dusseldorf en 1902 (loc. cit. 1).

Le n^o 2 représente la locomotive symétrique à simple

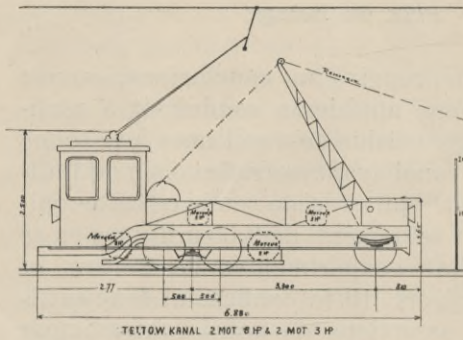
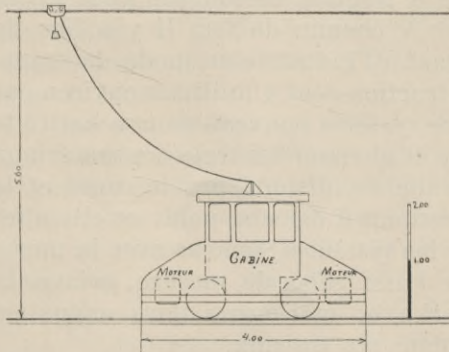


Fig. 9. — Tracteur Teltow (face).



CANAL NORD FRANÇAIS 2 MOTEURS 10 HP.
Fig. 10. — Tracteur français (face).

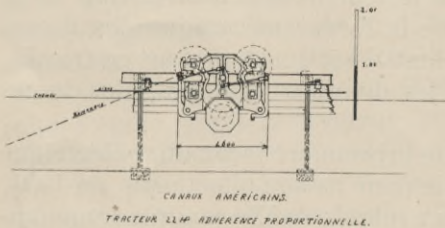


Fig. 11. — Tracteur américain (face).

adhérence en service depuis 1903 sur le canal d'Aire et de la Deule, à Douai, en France, décrite par M. l'ingénieur en chef La Rivière (v. fig. 10 et 13).

La figure 3 représente la locomotive dissymétrique de 16 chevaux du Teltowkanal, expérimentée d'abord au Finowkanal et décrite par M. le Baumeister E. Bloch (v. fig. 9 et 12).

La figure 4 représente le tracteur de 45 HP d'Erié, canal décrit par Clarke et Gerard au X^e congrès de navigation à Milan, en 1905 (v. fig. 11 et 14).

Le diagramme n^o 5 représente la correction numérique du diagramme qui d'après M. Köttgen représenterait la charge des rails pour trois appareils de traction à adhérence simple symétrique ou dissymétrique et à adhérence proportionnelle pour un même effort de traction et pour des puissances de 22 à 16

chevaux. Le diagramme montre très grossièrement que les sollicitations imposées à la voie dans le système Siemens sont considérables et sont toujours les mêmes, que le travail utile soit notable ou nul. Il montre aussi que le tracteur de la Deule à charge symétrique est plus favorable à ce point de vue et que le tracteur américain a l'avantage sur les deux.

Les figures 6 et 7 donnent les charges réelles des voies dans les deux systèmes.

La figure 8 représente en kilogrammètres les pertes par frottements des appareils comparés.

Les six figures ci-contre représentent, à même échelle, l'élevation et la vue latérale des trois tracteurs.

La figure 15 représente la coupe d'un tunnel sans banquette avec traction électrique américaine.

Le lecteur peut

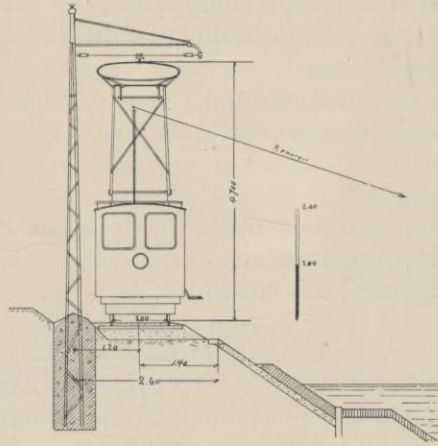


Fig. 12. — Tracteur Teltow (côté).

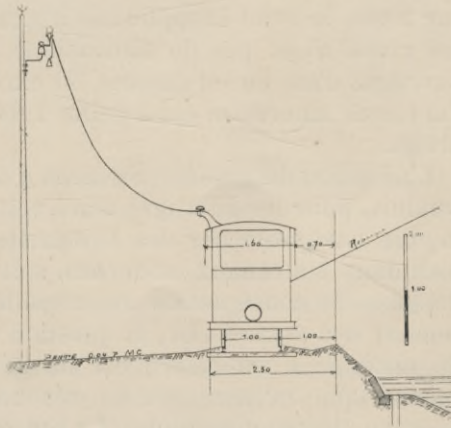


Fig. 13. — Tracteur français (côté).

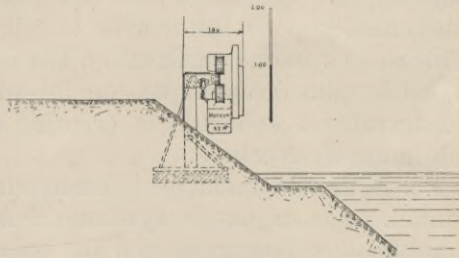


Fig. 14. — Tracteur américain (côté).

ainsi se rendre compte du petit volume relatif de l'appareil américain et de la facilité de son application sur une rive de canal.

Les dimensions à considérer au point de vue de la comparaison des volumes sont :

	Longueur	Hauteur	Largeur
Appareil Siemens	6.80	1.80	2.80
Appareil français	4.80	1.60	2.50
Appareil américain	1.60	0.60	1.50

Or, l'effort limite de traction par temps humide du premier appareil est à peine de 1,050 kilogrammes tandis que le second développe 1,200 kilogrammes et le troisième 3,000 kilogrammes.

L'encombrement du tracteur Siemens (section de 2^m60 sur 2^m80) le rend inapplicable à nombre de canaux dont les rives n'ont pas de dimensions suffisantes. Sous les ouvrages d'art un tel gabarit est excessif. Le gabarit de l'appareil américain est à peine 1^m00 × 1^m50 (voie comprise).

L'adoption du système Siemens à des canaux nouveaux conduit, pour les ouvrages d'art, soit à l'étranglement de la voie navigable par des banquettes que l'on n'accepte plus dans les canaux modernes, soit à l'augmentation de dépenses de construction très considérables par agrandissement des portées. Or, la question capitale en matière de navigation intérieure est de résoudre un problème économique et non pas de résoudre un problème de traction électro-mécanique. Le but est d'arriver, avec des conditions techniques parfaites, à employer le plus petit capital possible et dans des conditions de rentabilité convenables pour lutter avec le railway. Dans cet ordre d'idées, le système américain a l'avantage à tous égards : il est le plus économique par lui-même, occupe moins de terrain et demande la création d'ouvrages d'art du minimum d'ouverture.

La figure 15 montre l'établissement du système en tunnel. Dans ce cas le système Siemens est tout à fait inapplicable sans création d'une banquette qui limiterait la capacité commerciale du canal.

Quant à la simplicité relative des deux appareils, remarquons que l'appareil américain comprend un seul moteur à 400 tours et quatre engrenages dont l'engrenage central équilibré fonctionne comme une roue satellite, deux roues à double coussinet à longue portée, à bague et à bain d'huile, deux roues de pression montées de même, cinq leviers et deux ressorts du poids de 2,200 kilogrammes. C'est là tout l'appareil.

Il est à comparer à un appareil comprenant une cabine avec tous les accessoires d'une chambre de wattman d'un train électrique; quatre moteurs dont deux de 8 PS à 800 tours et deux moteurs de 3 PS à 1,400 tours; un boggie moteur pesant 6,560 kilogrammes, dissymétrique, chargé de 3,800 kilogrammes d'un côté et de 2,760 kilogrammes de l'autre; quatre roues; quatre boîtes à graisse; quatre ressorts à lames; huit engrenages; un train de deux roues libres chargées

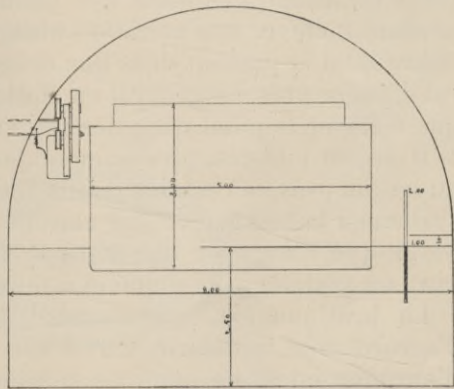


Fig. 15. — Tracteur américain en tunnel.

l'une de 550 kilogrammes, l'autre de 390 kilogrammes; deux ressorts à lames; un treuil automatique à ressort agissant de 1,000 à 2,000 kilogrammes; un bras de touage en treillis manœuvrables de 3^m30 : je passe sous silence un inventaire complet de châssis de wagon avec plaques de garde.

Si l'on ne tenait pas compte de la supériorité mécanique du système américain et du considérable avantage d'assurer une économie des frais d'exploitation d'au moins 25 p. c., je pense que tout homme pratique jugera que, du chef de la simplicité, ce système possède un avantage pratique énorme au point de vue de l'entretien et de la sûreté dans le fait qu'il ne doit pas mettre en jeu des organes d'une aussi grande complication.

J'ajoute que bien que la répartition des réactions sur les six roues de l'appareil Siemens soit dissymétrique (voir figure 6), le coefficient de stabilité du système en cas de traction sur le mât surélevé est faible : le rapport des moments de renversement au moment de stabilité est inférieur à quatre.

La stabilité d'un tel système est à la merci des battements des ressorts, du jeu des manettes de suspension et des boulons de sous-garde. Cette considération me fait penser que, dans la pratique, cet appareil sera encore surchargé au delà de 8,000 kilogrammes de poids mort. On a vanté l'avantage résultant de la facilité de passer la corde de halage au-dessus des quais. Il me semble plus prudent d'élever une corde de touage au droit du mât du chaland en la passant dans une drisse à poulie, comme il est d'usage presque général en Hollande et en Belgique, que d'élever le point d'application sur le tracteur.

Il est, en tout cas, plus économique de surélever la voie au besoin près de certains points spéciaux et d'adopter le système à la fois le meilleur marché et le plus mécanique plutôt que d'engager une dépense considérable en adoptant un système compliqué et à faible rendement.

La pratique est, me semble-t-il, une fois de plus d'accord avec la théorie, car il est plus simple, en cas d'encombrement de quai, de surélever la voie comme le font les Américains et les Français, que de recourir aux complications peu mécaniques du système Siemens.

Il a été dit que le système Siemens tirait avantage de ce qu'il ne mettait en œuvre que les pièces de construction ayant déjà fait leurs preuves dans le matériel de chemins de fer.

Il serait plus exact de dire que le point faible du système Siemens est de faire travailler de manière anormale un matériel de traction électrique à voie étroite qui n'a pas été étudié pour ce genre d'efforts et qui est détourné de sa destination.

Ce matériel est fait pour une traction longitudinale dans l'axe de la voie près du centre de gravité et non pour être attelé par le haut de la perche à trolley et sollicité au renversement.

Je trouve une confirmation de mon opinion dans le fait

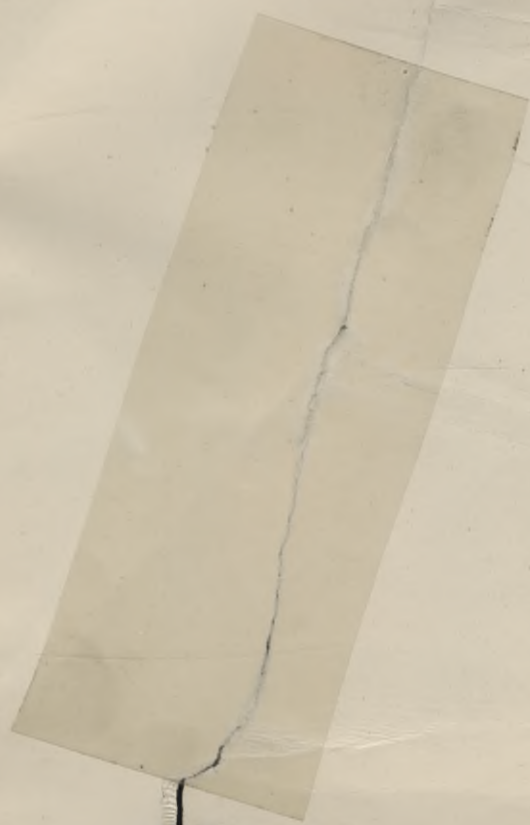
que cette erreur mécanique ne peut pas même trouver d'excuse dans les résultats économiques qu'elle assurerait. Loin de là : nous avons vu que le système coûte beaucoup plus cher sous tous les rapports.

En résumé, je crois avoir démontré le caractère tendancieux et inexact des objections de notre contradicteur et je crois avoir prouvé que les deux systèmes discutés sont différenciés par le caractère pratique, la simplicité, le fait d'une économie de 25 p. c. obtenue dans le coût du halage électrique et la possibilité de l'appliquer à des canaux ayant un trafic dépassant 1,000,000 de tonnes kilométriques.

Bruxelles, le 15 octobre 1906.



1956



WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

31621

Kdn., Czapskich 4 — 678. 1. XII. 52. 10.000

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000298410