

NOTE

SUR LES

CHEMINS DE FER A TRAFIC RAPIDE

(SYSTÈME LANGEN)

ET

PROJET D'UNE LIGNE SPÉCIALE BRUXELLES-ANVERS

PAR

Robert ZUMACH

Chef de service de la Société Cockerill.

(Extrait de la *REVUE UNIVERSELLE DES MINES*, etc
tome LVIII, 3^e série, 46^e année, 1902.)



LIÈGE

55, rue des Champs, 55

PARIS

H. Le Soudier, 174, boulevard St-Germain

NOTE

SUR LES

CHEMINS DE FER A TRAFIC RAPIDE

(SYSTÈME LANGEN)

ET

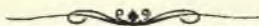
PROJET D'UNE LIGNE SPÉCIALE BRUXELLES-ANVERS

PAR

Robert ZUMACH

Chef de service de la Société Cockerill.

(Extrait de la *REVUE UNIVERSELLE DES MINES*, etc.,
tome LVIII, 3^e série, 46^e année, 1902.)



LIÈGE ,

55, rue des Champs, 55

PARIS

H. Le Soudier, 174, boulevard St-Germain

LIÈGE. — IMPRIMERIE DESOER

NOTE

SUR LES

Chemins de fer à trafic rapide (Système Langen)

ET

Projet d'une ligne spéciale Bruxelles-Anvers

PAR

Robert ZUMACH,

Chef de service de la Société Cockerill (1).



I. — Considérations générales.

La technique des chemins de fer a prouvé depuis longtemps que les trains peuvent rouler sans aucun danger à la vitesse de 120 à 150 kilomètres à l'heure. Tout le monde le sait et les ingénieurs le répètent assez souvent ; il n'est donc pas étonnant que le voyageur se demande pourquoi il faut encore 90 minutes au lieu de 45, pour parcourir les 100 kilomètres qui séparent Bruxelles de Liège, et 50 minutes au lieu de 20, pour effectuer entre Anvers et Bruxelles un trajet de 43 kilomètres.

Nous parlons ici du public dont l'objectif est de pouvoir parcourir, sans arrêts intermédiaires, la distance qui sépare les principaux centres de la capitale. Comme le courant des affaires rend de plus en plus indispensable

(1) Cette note a été présentée par M. A. GREINER, à l'Association des Ingénieurs sortis de l'Ecole de Liège (Section de Liège), le 6 avril 1902.

le va-et-vient continu entre Bruxelles et les villes de province, il n'est guère douteux que grâce à la rapidité et à la fréquence des moyens de transport, le mouvement ira sans cesse en croissant et personne ne peut prédire ce qu'il sera dans un avenir prochain.

Depuis que le réseau des lignes vicinales, avec traction à vapeur, se resserre chaque année davantage à la grande satisfaction des communes rurales, et que le développement des tramways électriques a pris des proportions de nature à satisfaire les plus difficiles, il faut que l'attention se porte sérieusement vers l'amélioration des communications entre les grands centres, relativement rapprochés les uns des autres, et parmi ceux-ci Bruxelles et Anvers attirent immédiatement l'attention. Entre ces deux villes, les transports ont décuplé sans que les installations aient beaucoup changé. Or, pour les modifier dans leur essence, il faut faire un pas décisif et abandonner les errements suivis jusqu'à présent.

Dès le principe, le Gouvernement et l'opinion publique ont accueilli avec faveur l'idée de relier Bruxelles à Anvers par un moyen de communication nouveau, qui mît en incessante relation les deux grands centres financiers et commerciaux du pays. L'initiative dont fit preuve la Belgique, en construisant autrefois entre la capitale et la métropole, l'un des premiers chemins de fer du continent, semble lui donner droit au même honneur en matière de traction électrique à longue distance.

Si le projet de loi dont fut saisi le Parlement belge en 1900, ne rencontra pas l'assentiment de la législature, qui le repoussa à quelques voix de majorité seulement, il n'en est pas moins vrai que la question de principe ne souleva aucune objection et que l'insuccès doit être attribué

uniquement à l'hostilité que provoqua le mode d'exécution proposé.

Depuis lors le mouvement, loin de s'être calmé, n'a fait que s'accroître et l'on peut affirmer que si le Gouvernement présentait au Parlement un nouveau projet, conçu de façon à satisfaire à certaines exigences légitimes, son adoption à une forte majorité serait certaine. Il n'y a toutefois pas lieu de regretter l'ajournement du projet présenté, car la discussion dont il fut l'objet à la Chambre des Représentants, dans la presse et dans les divers cercles compétents, a démontré clairement que la question n'avait pas été suffisamment étudiée et que peu de personnes parvenaient à se rendre un compte exact de l'avenir dont est susceptible une entreprise de cette nature.

Certaines voix se firent même entendre avec une apparence d'autorité, pour déclarer que la création de lignes spéciales, telles que le tramway électrique Bruxelles Anvers, ne serait pas justifiée, du moins avant longtemps; que les moyens existants étaient suffisants et pouvaient au besoin être améliorés et augmentés.

Ces objections et d'autres de nature technique seront rencontrées dans la présente étude.

Quelles sont les conditions à remplir pour une ligne rapide de Bruxelles à Anvers?

Il faut d'abord que la vitesse commerciale atteigne au moins 120 kilomètres à l'heure, c'est-à-dire que la distance entre les deux gares terminus, Bruxelles et Anvers, puisse être franchie en 20 à 25 minutes.

Il faut ensuite que les départs puissent se succéder au besoin à 10 minutes d'intervalle sans horaire fixe et que les points d'arrivée se trouvent en plein centre des deux villes.

Il faut aussi que le coût de l'entreprise ne soit pas trop élevé, puisque l'Etat entend se réserver le droit de rachat, qu'il consent à garantir un intérêt sur le capital engagé dans l'affaire et que les prix modiques des tarifs sont un gage assuré de profits pour l'exploitation.

A prix égal, la préférence devrait être donnée à une entreprise conçue de manière à procurer le plus de travail possible aux usines nationales.

L'énorme circulation qui s'est produite depuis plus de 15 ans sur tous les chemins de fer métropolitains, prouve bien que le public se décide facilement à se servir du chemin de fer, s'il ne doit pas aller le chercher trop loin et si les occasions de départ sont fréquentes. Ces deux conditions remplies, les petits voyages réguliers entrent dans les habitudes, au plus grand profit du développement des affaires.

Est-ce le mouvement urbain, la rapide extension des villes et les relations sans cesse croissantes de ville à ville qui ont fait naître les tramways électriques et tant d'autres excellents moyens du transport moderne? Nous ne le pensons pas. C'est le perfectionnement des moyens de communication qui est la cause de l'énorme accroissement du mouvement. Evidemment l'une de ces causes réagit sur l'autre, mais il n'y a pas de moyen de communication nouveau ou perfectionné dont on ne se soit emparé, dès son apparition, pour en faire un usage qui, presque toujours, dépassait les prévisions les plus optimistes.

Avant de posséder le téléphone, eussions-nous jamais pensé que nous avions tant de choses à nous dire? Nous ne comprendrons combien nous avons besoin de voyager et de nous voir que lorsque nous disposerons de moyens de transport parfaits, ce dont nous sommes encore très

éloignés. Si grand que soit déjà le trafic entre Bruxelles et Anvers, il augmentera encore, surtout quand les tarifs seront abaissés, et il est d'observation constante que plus les moyens de communication se perfectionnent et se multiplient, plus la circulation se développe et cela dans une proportion infiniment plus considérable.

Examinons maintenant : 1° si pour satisfaire aux conditions spéciales que doit remplir la ligne Bruxelles-Anvers, il est nécessaire d'avoir des lignes spécialement affectées au transport des voyageurs à grande vitesse et à grande fréquence de départs ; 2° quel est le matériel de traction à préconiser ; 3° enfin, comment ces lignes doivent être contruites.

A. — NÉCESSITÉ DE LA CRÉATION D'UNE LIGNE SPÉCIALE.

— Le nombre des départs ne peut être augmenté à volonté que sur une ligne servant exclusivement à une seule et unique catégorie de trains. En effet, les trains se succédant à 10 minutes d'intervalle par exemple et devant, affectés tous au même service, rouler à la même allure régulière, ne peuvent en admettre d'autres à marche plus lente. Sur les lignes desservies en même temps par des trains de voyageurs et des trains de marchandises, à grande et à petite vitesse, le nombre des départs pour chaque catégorie est forcément très limité, à cause des multiples dispositions à prendre en vue des dépassements et des croisements. Aussi, les trains rapides et directs étant les plus difficiles à intercaler dans le mouvement général et les accidents auxquels ils peuvent donner lieu devant être considérés comme les plus désastreux, il doit y avoir, dans les Administrations, une tendance à en limiter le nombre autant que possible, sauf à en augmenter la longueur selon l'affluence du public.

Or, si cette solution facilite l'exploitation, elle contrarie trop les désirs et les intérêts du public.

Une ligne exclusivement affectée au service rapide s'impose donc nécessairement.

B. — MATÉRIEL DE TRACTION A PRÉCONISER SUR CETTE LIGNE SPÉCIALE. — Cette ligne spéciale peut-elle être desservie par un matériel de traction semblable à celui qui est actuellement en usage sur les grands chemins de fer ? Oui, s'il s'agissait seulement d'obtenir une très grande vitesse commerciale. Non, s'il agit de rendre en même temps les départs presque ininterrompus.

Personne ne conteste la valeur des locomotives modernes, et s'il est vrai qu'elles sont construites aujourd'hui sur les mêmes principes qu'il y a un demi-siècle, il n'est pas moins vrai que tout a été mis à contribution pour appliquer admirablement ces principes dans la pratique et que certains types de locomotives de récente création touchent à la perfection.

Mais il faut reconnaître aussi que les puissantes locomotives capables de transporter nos trains de voyageurs à la vitesse de 120 kilomètres à l'heure ne peuvent servir pour les départs qui se suivent de près.

On estime qu'une circulation intense, entre Anvers et Bruxelles, fournira en moyenne une cinquantaine de voyageurs pour les départs de 10 en 10 minutes. Le train aurait donc une ou deux, très exceptionnellement trois voitures et il suffirait, pour le remorquer, d'utiliser une locomotive si légère qu'elle ne se trouverait pas dans les conditions de construction nécessaires pour être affectée à une marche très rapide, à moins de négliger complètement les conditions d'économie. Et même dans ces conditions, une locomotive indépendante allonge le

train, encombre les gares, nécessite des dépendances, multiplie et par conséquent complique les manœuvres.

Nous devons conclure de là que, pour jouir d'une liberté suffisante dans l'organisation des départs, surtout au point de vue de leur fréquence, il faut supprimer la locomotive indépendante et rendre les voitures automotrices.

La question des voitures automotrices a depuis de longues années préoccupé les spécialistes des chemins de fer. Il existe d'irréprochables voitures à vapeur, rendant d'excellents services ; mais en fin de compte leur emploi n'a été qu'une étape vers la traction par courant électrique produit dans des stations centrales et répandu tout le long du réseau, de manière que chaque voiture y puise à volonté la force nécessaire à sa locomotion.

Conclusion : le matériel de traction sera pourvu des moyens d'électrotraction que l'expérience indiquera comme les plus avantageux.

C. — LA VOIE POUR TRAFIC RAPIDE. — Voyons maintenant dans quelles conditions ces lignes spéciales doivent être construites.

Ces lignes ne doivent présenter ni croisements, ni bifurcations, sauf dans les gares de remisage du matériel. Elles seront à double voie et les trains ne faisant que se succéder et ne devant jamais se dépasser, ni se croiser, toute bifurcation pour garage devient inutile.

Il n'y aurait aucun passage à niveau ; il dépendra de la nature et du caractère de la contrée à traverser de savoir si la ligne sera en partie ou complètement séparée du sol naturel. La protection de la ligne prend une double importance, parce qu'il s'agit ici de protéger non seulement le chemin de roulement, mais aussi les conduites

électriques, tant pour éviter leur détérioration que pour parer à tout danger.

Enfin les considérations importantes d'expropriation des terrains serviront aussi de base à la question de savoir si la ligne peut être souterraine, ou établie sur viaduc, sur remblais ou sur sol.

Les lignes souterraines appartiennent exclusivement au domaine des chemins de fer métropolitains, à cause de leurs énormes frais d'établissement et des multiples inconvénients auxquels on ne peut remédier qu'au prix de grandes dépenses, que justifie seule la nécessité de traverser une ville sans se mêler à la circulation urbaine et sans possibilité d'établir un viaduc.

Les viaducs à voies ordinaires doivent être également réservés aux chemins de fer métropolitains sur lesquels passent les trains à vapeur des grandes lignes pour aboutir aux gares centrales, sans intercepter le mouvement dans les rues. Ces viaducs ne peuvent que croiser les rues, mais non les suivre, à moins qu'il y ait le long des rues des terrains que l'on puisse exclusivement affecter au chemin de fer. L'acquisition de tels terrains dans les villes rend le viaduc excessivement coûteux, sans compter que sa construction même exige des dépenses énormes.

Evidemment si l'emploi des viaducs est possible et justifié sur certains tronçons de chemins de fer métropolitains à faible vitesse, il ne faut pas y songer pour les parcours en pleine campagne, à la vitesse de 150 kilomètres, avec des trains se succédant sans relâche. Les frais en seraient inabordables.

Le chemin de fer électrique ordinaire, sur sol ou remblai avec assises solides, établi pour réaliser les conditions de vitesse et de grande fréquence des départs, coûterait

en rase campagne beaucoup plus que ce qu'on s'imagine généralement, et les difficultés à l'approche des centres d'Anvers et surtout de Bruxelles, sont telles que la construction de pareil chemin de fer entraînerait une dépense estimée à 35 ou 40 millions, soit le double de ce qui paraît admissible, ainsi qu'il sera prouvé plus loin.

II. — Chemin de fer suspendu ou sur longrines,

Une conception nouvelle est donc indispensable pour atteindre le but proposé. Elle a été réalisée en Allemagne; où elle fonctionne et a fait ses preuves depuis quelques années.

Il existe, en effet, à Elberfeld, en pleine exploitation, une voie électrique d'un type spécial monorail, dû à M. Eugène Langen, qui possède toutes les qualités requises pour notre programme et dont le succès a été si complet que son installation sur d'autres points et sur des distances plus grandes que celles d'Anvers à Bruxelles est à la veille d'être réalisée. Un essai préliminaire de deux ans avait du reste fait présager le résultat concluant obtenu et la popularité que le nouveau système a rapidement conquise.

Le système Langen offre les principaux avantages suivants :

Il est relativement peu coûteux, tant comme construction que comme exploitation et entretien;

Il se prête à merveille à toutes les configurations du terrain et il permet de pénétrer par des courbes de très faible rayon dans les rues les plus étroites;

Il ne nécessite que des expropriations restreintes et n'est un obstacle ni à la circulation, ni à la vue, ni à l'air, ni à la lumière, dans les rues et campagnes qu'il parcourt;

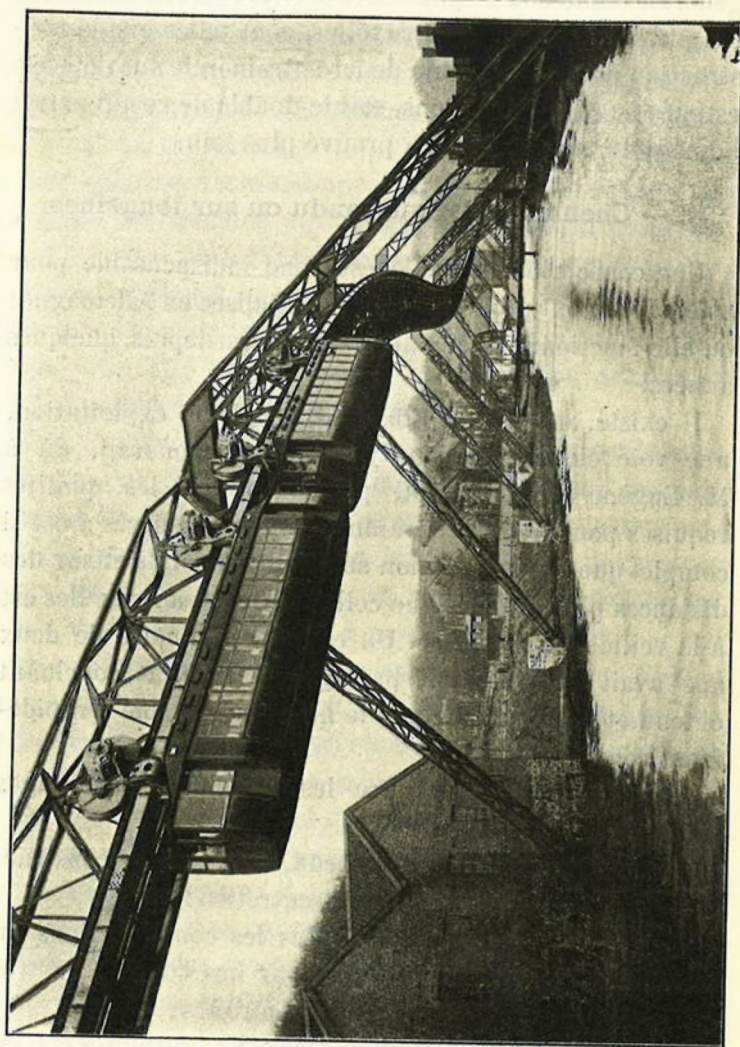


Fig. 1.

Il se pose sans difficulté et avec grande rapidité, sans que pendant ce travail la circulation ordinaire doive être interrompue ;

Il offre une sécurité complète et un confort très grand pour les voyageurs.

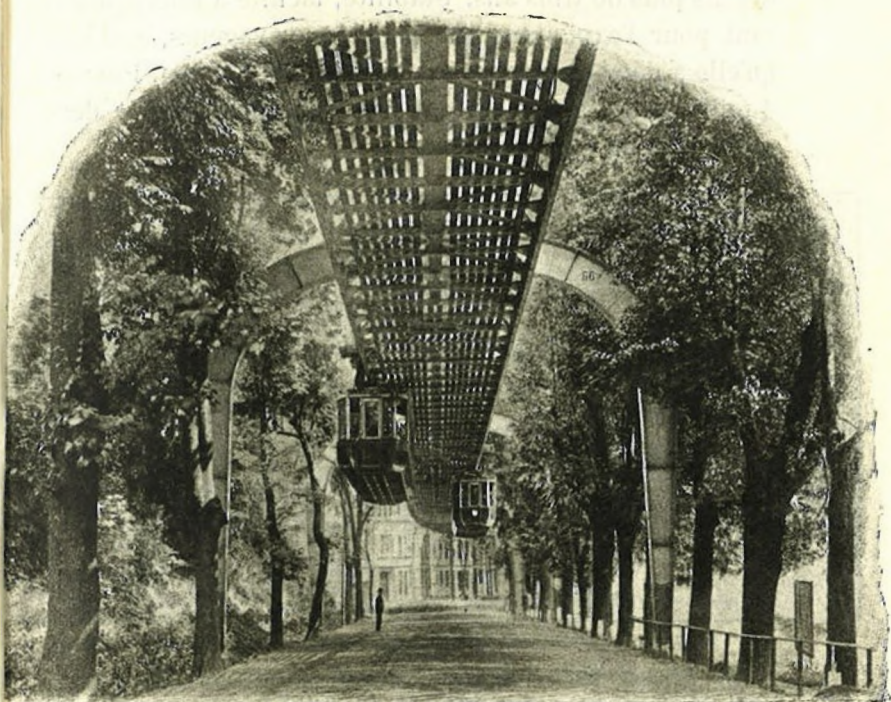


Fig. 2.

Les figures qui accompagnent cette étude, reproductions pour la plupart de photographies prises à Elberfeld, rendent suffisamment compte de l'aspect que présente ce nouveau mode de locomotion. (Voir fig. 1 et 2.)

Sans doute à première vue, la façon de suspendre les voitures semble étrange, sinon dangereuse. Mais la sécu-

rité est au contraire beaucoup plus grande que dans tous les autres systèmes et les Belges s'accomoderont du nouveau mode de transport, tout aussi rapidement que les Allemands.

D'ailleurs, l'expérience a parlé d'une façon décisive depuis plus de trois ans. Stabilité, facilité à tous égards, tant pour l'exploitant que pour les voyageurs, voilà ce qu'elle a démontré en faveur du système Langen. Plus de 4 millions de voyageurs ont été transporté l'année dernière sans un seul accident.

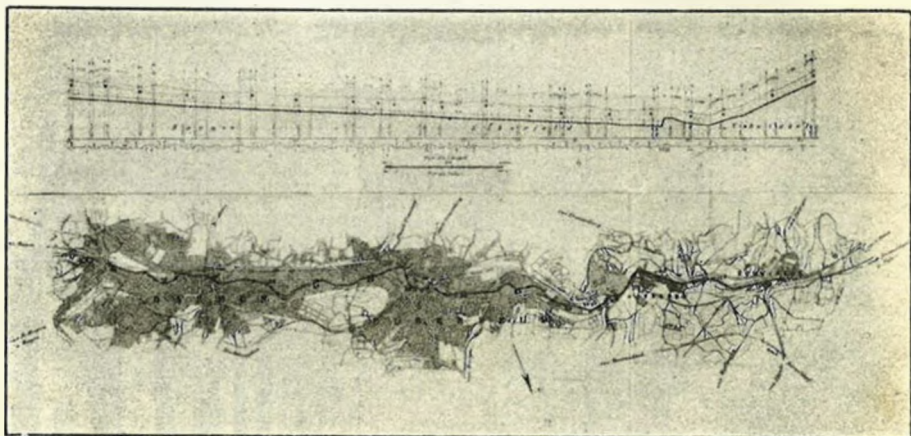


Fig. 3.

Il ne sera pas sans intérêt de faire remarquer que ce système de chemin de fer suspendu fut adopté pour la ligne d'Elberfeld, à la suite d'un concours auquel avaient pris part quelques-unes des Sociétés spécialistes allemandes les plus universellement renommées dans la construction et l'exploitation de chemins de fer électriques, et que la grande supériorité du système Langen fut unanimement constatée dans le Rapport de la Commission technique à laquelle l'affaire était soumise.

Les conditions qui étaient imposées pour le susdit concours, sont en somme celles de tout métropolitain électrique, non souterrain. Ces conditions étaient les suivantes (voir plan et profil, fig. 3) :

« Le chemin de fer doit traverser le centre de la ville » et se prolonger dans la campagne. Il comporte, en ville, » des haltes couvertes environ tous les 700 mètres. La » vitesse sera aussi grande que la distance entre les haltes » le permettra. Le chemin de fer sera surélevé dans toute » sa longueur et évitera ainsi sans aucun croisement de » niveau les nombreuses artères qu'il rencontre, telles que » d'autres chemins de fer, rues, rivières, etc. La traction » sera électrique par courant continu, les signaux seront » électriques et automatiques. Les trains, composés de » deux à quatre voitures, toutes automotrices et pouvant » prendre chacune 50 personnes assises, pourront se succéder à trois minutes d'intervalle. »

Avant de décrire le système Langen, nous ferons remarquer qu'il est un des seuls où la vitesse commerciale est rendue presque égale à la vitesse maxima.

Si, avec des distances aussi courtes entre les haltes et avec des départs aussi fréquents que ceux indiqués au programme ci-dessus, le transport doit être rapide, il est de la plus haute importance d'éviter les pertes de temps aux démarrages et aux ralentissements pour arrêts. Si, par contre, les distances entre les arrêts sont très longues, ce qui sera le cas pour la ligne Bruxelles-Anvers, dès qu'elle sera sortie des deux villes, il est tout aussi important d'éviter tout ralentissement en cours de route. Il s'agit donc d'obtenir une vitesse moyenne qui soit presque égale à la vitesse maxima réalisable et au maintien de laquelle les

démarrages, les ralentissements pour arrêt et les courbes forment autant d'obstacles. Les métropolitains à vapeur avec haltes rapprochées ont montré que la vitesse moyenne ne peut être que la moitié de la vitesse maxima, laquelle n'est atteinte qu'au milieu de la courte distance qui sépare les points d'arrêt et ne peut guère dépasser 45 à 50 kilomètres par heure : à peine cette vitesse est-elle obtenue, qu'il faut déjà ralentir pour l'arrêt.

En ce qui concerne les courbes, on sait que la vitesse du train est réduite par l'effet de la force centrifuge, et que la surélévation du rail extérieur ne corrige que dans une certaine mesure ce défaut. S'il s'agissait de rouler à 200 kilomètres, on ne pourrait tolérer que des courbes de 4000 mètres de rayon ; par exemple, pour une courbe de 500 mètres, parcourue à 200 kilomètres, il faudrait donner à la voie une inclinaison de 30 degrés ! Aussi, suffit-il d'une irrégularité dans la pose de la voie correspondant par exemple à un écart de 2 millimètres sur 4 mètres de longueur, pour provoquer dans un train roulant à 80 kilomètres à l'heure des chocs latéraux très désagréables et mêmes inquiétants ; c'est parce que les irrégularités de cette espèce abondent dans les meilleures voies ordinaires, qu'on n'a jamais osé dépasser la vitesse de 120 kilomètres en service, avec des locomotives à vapeur de la dernière perfection. Il est bien constaté que ce n'est pas la faute de la locomotive, mais bien de la voie qui nécessite des soins et une surveillance tels qu'il paraît impossible d'y faire un service ordinaire et ininterrompu à des vitesses supérieures. C'est bien la voie et non les moyens de traction qui empêchent de dépasser beaucoup, non pas la vitesse commerciale de 100 kilomètres, mais seulement la vitesse maxima de 100 kilomètres par heure. Et la traction électrique ne changera pas cela.

Dans le chemin de fer suspendu du système Langen, les conditions sont totalement différentes. Par suite des heureuses dispositions du chemin de roulement et du matériel roulant, les pertes de temps aux démarrages et ralentissements sont insignifiantes et les courbes de 50 mètres de rayon sont franchies à la vitesse de 60 kilomètres par heure, sans avoir la sensation que la voiture s'incline de 30 degrés, et tout permet de croire que l'on pourra franchir, à 150 kilomètres par heure, les courbes de 300 mètres de rayon avec aisance et sécurité.

Le chemin de fer suspendu offre donc, sur tous les autres systèmes, des avantages marquants au point de vue du tracé et de la construction. Il facilite considérablement la traversée des villes, il est absolument indépendant de la configuration du sol et il peut suivre toutes les sinuosités des chemins existants, sans le moindre ralentissement au passage des courbes.

III. — Description du chemin de fer suspendu, système Langen.

Le chemin de fer suspendu est formé d'un viaduc métallique dont la face inférieure se trouve en moyenne à 7 mètres au-dessus du sol. Les poutres de ce viaduc ont 20 à 30 mètres de longueur et reposent par leurs abouts sur les poitrails transversaux de pylônes qui soutiennent le tablier métallique de la voie. Selon la contrée à traverser (rues étroites, chaussées larges, champs, cours d'eau), ces pylônes affectent la forme soit d'arceaux partant du trottoir où ils n'occupent pas plus de place que les mâts d'éclairage et autres dont ils peuvent d'ailleurs faire l'office, soit de colonnes ou de palées légères, en

formes de caissons à treillis. Les uns et les autres sont articulés à leur base sur des massifs en béton ou sur d'autres fondations à peine visibles à fleur de sol et permettant une grande rapidité d'exécution.

Tous les 200 à 300 mètres sont disposés des pylônes plus importants, à base très large, qui, à la différence des précédents, sont fixes et subissent sans déplacement tous les efforts agissant dans le sens de la voie. La voie, en se dilatant, suivie en cela par les pylônes mobiles, se déplace dans les deux sens à partir des pylônes fixes et le raccordement permettant de compenser le vide qui se produit selon le degré de dilatation, se trouve au milieu de l'espace compris entre deux pylônes fixes.

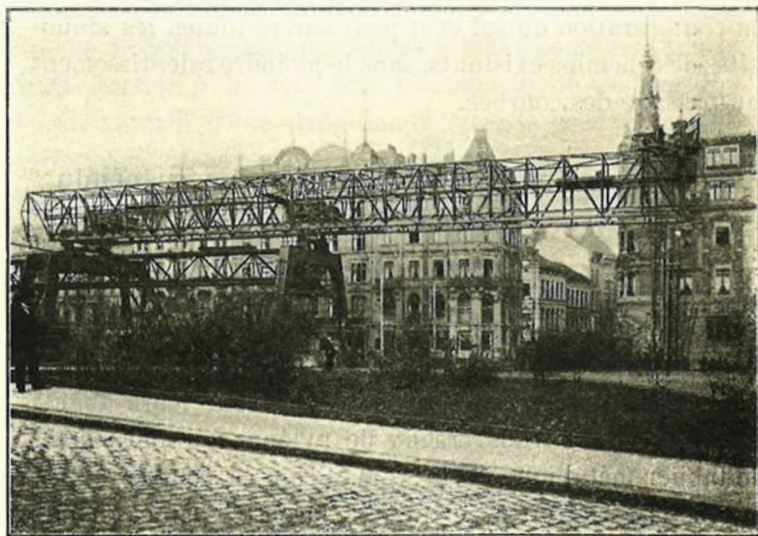


Fig. 4.

La fig. 4 montre un tronçon du viaduc avec un pylône fixe et un pylône mobile. Une grue-pont servant au montage du viaduc y est aussi figurée. Cette grue s'avance sur

le viaduc au fur et à mesure de l'achèvement de celui-ci, elle permet un montage très rapide et évite toute interruption de la circulation ordinaire sur le chantier de montage.

Les poutres soutiennent à droite et à gauche, le long de leurs extrémités inférieures, le chemin de roulement à rail unique. Ce rail est le seul support et guide des voitures, dont les quatre roues, réunies en deux bogies moteurs, portent la caisse suspendue en dessous d'elles (fig. 5).

Chacune des quatre roues est motrice moyennant une dynamo calée sur l'essieu qui prend le courant électrique tout le long de la ligne.

Le centre de gravité de la voiture, y compris les moteurs et roues, se trouve considérablement en dessous de la face de roulement du rail et la voiture, en parcourant les courbes prend toujours l'obliquité qui correspond à l'effet produit par la force centrifuge.

L'inclinaison maxima des voitures d'une ligne Bruxelles-Anvers, avec vitesse de 150 kilomètres par heure, serait de 15 degrés; elle peut atteindre 30 degrés, sans entraîner le moindre inconvénient ou désagrément pour les voyageurs, ce qui permettrait de réduire à 300 mètres le rayon des courbes parcourues à la vitesse de 150 kilomètres à l'heure.

L'expérience a démontré que la construction métallique ci-dessus décrite répond rigoureusement à toutes les conditions de stabilité requises et qu'après avoir été bien réglée, la voie ne se déränge plus et garantit le mouvement absolument tranquille et confortable des voitures. Celles-ci, quelle que soit la vitesse de la marche ou la violence du vent soufflant de flanc, ne sont jamais sou-

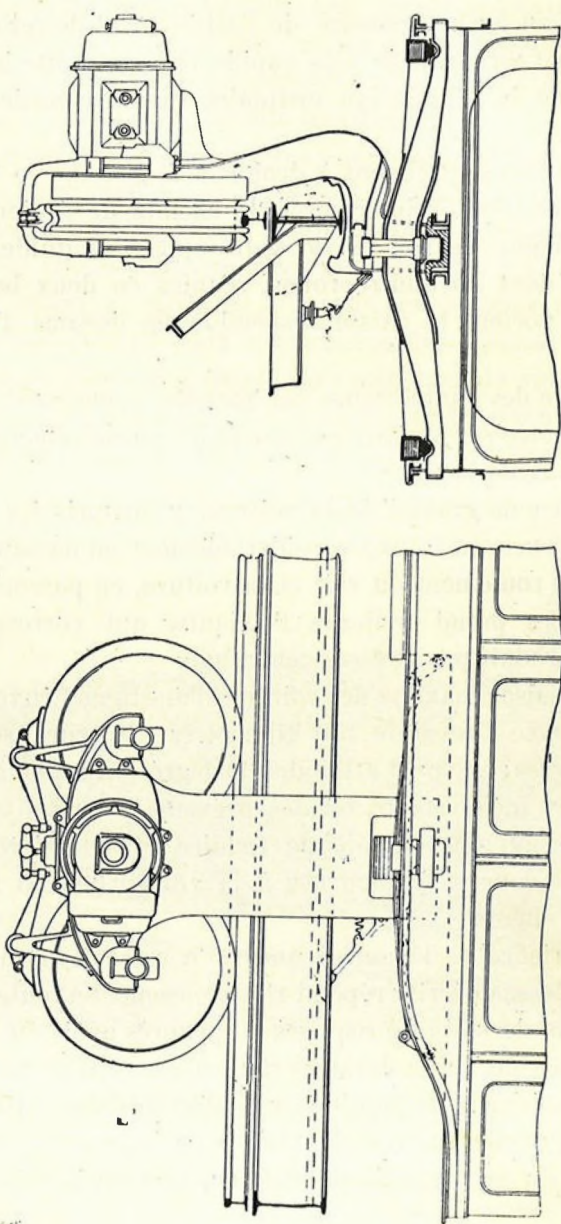


Fig. 5.

mises au moindre balancement et ne prennent d'autre inclinaison que celle qui correspond à la force centrifuge d'un corps librement suspendu. Sur ces points, qui sont naturellement d'une haute importance, le fonctionnement de la ligne d'Elberfeld a d'ailleurs pleinement confirmé les résultats des expériences minutieuses qui, depuis huit ans, avaient été exécutées sur une ligne d'essai construite par la maison Vander Zypen et Charlier et l'Elektricitäts Aktiengesellschaft Schuckert et C^o, avec quelques autres grands industriels allemands.

Le chemin de fer suspendu passe par toutes les rues, larges ou étroites, dont il suit les sinuosités, sans intercepter l'air et la lumière ; le roulement des véhicules est silencieux, comparé au bruit désagréable que font les meilleurs chemins de fer ordinaires à voie en superstructure ; enfin, le voyageur n'est pas incommodé par la poussière, ce désagréable apanage de tout chemin de fer sur sol.

Le mode de construction du chemin de fer suspendu, système Langen, assure aux voyageurs une sécurité complète. Les véhicules ne peuvent verser ; car, grâce à la pesanteur, ils tendent toujours, au moindre dérangement, à revenir d'eux-mêmes à la position d'équilibre. D'autre part, les rails et les longrines qui les supportent, sont embrassés d'une façon complète non seulement à leur partie supérieure, par les roues motrices, mais à leur partie inférieure, et des deux côtés, par les châssis de construction originale qui relient la caisse aux bogies et dont la construction empêche absolument que les roues sautent hors du rail (fig. 5). De même, la construction de ces bras est telle qu'en cas de bris d'essieux, de roues ou du rail, le véhicule vient reposer aussitôt sur le corps du viaduc, sans qu'il ait la moindre possibilité de s'en dégager pour tomber sur le sol.

Songez aux déraillements sur nos chemins de fer sur sol et avouons que c'est là un détail d'une valeur incalculable. On ne nous dira pas que cette précaution est ici chose indispensable ; car elle n'est pas réalisée, ou ne saurait l'être que d'une façon très imparfaite dans les chemins de fer ordinaires, où cependant il y a infiniment plus de causes de déraillement et où les suites de cet accident sont absolument à la merci du hasard.

On pourrait objecter qu'en cas d'arrêt accidentel du véhicule en cours de route, les voyageurs du chemin de fer suspendu se trouveraient dans l'impossibilité de descendre. Mais il est à remarquer que ce fait se présente dans tous les chemins de fer élevés, où l'on en est réduit à transborder les voyageurs dans un train voisin. Ce transbordement est prévu et assuré, par une voiture amenée en tête sur la même voie, ou à côté de la voiture accidentée, sur la voie adjacente. De plus la construction du chemin de fer suspendu est telle que des arrêts de cette sorte ne peuvent se produire que bien rarement et qu'il semble presque impossible qu'un arrêt accidentel assez long puisse avoir lieu simultanément sur les deux voies, attendu que les conducteurs électriques des deux voies sont complètement distincts les uns des autres.

Enfin, pour supplément de précaution, des dispositions sont prises pour permettre facilement de l'intérieur des voitures l'accès au plancher de bois qui, pour les besoins de la surveillance et des travaux, est établi le long des longrines.

Les châssis des bogies descendent, en les contournant extérieurement, jusqu'en dessous des longrines de la voie et s'y terminent en chevilles verticales autour desquelles pivotent les brancards transversaux auxquels, par l'inter-

médiaire de ressorts, la caisse est suspendue par sa toiture. Les ressorts de suspension n'empêchent pas cependant que la caisse du véhicule ait toujours exactement la même position verticale au repos ou au parcours en ligne droite et inclinée en courbes, exactement comme les roues sur le rail de roulement. Sous ce rapport, la caisse de la voiture est donc invariablement liée aux roues (fig. 6).

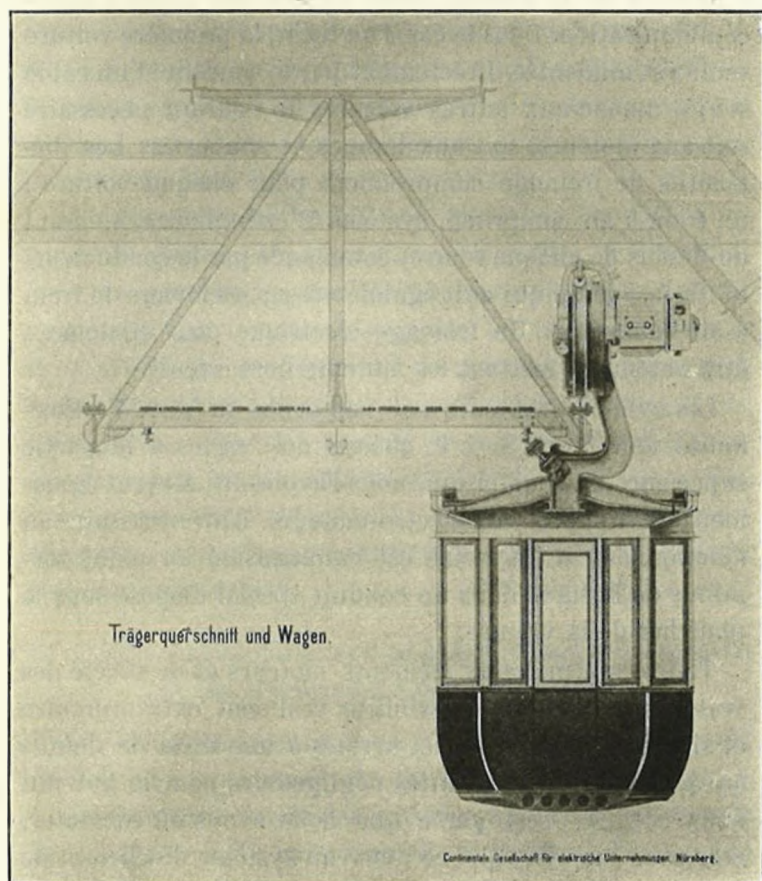


Fig. 6.

Le plancher de la caisse est naturellement suspendu au plafond par les parois verticales. Le tout forme un ensemble d'une construction dont la solidité et la sécurité sont à l'abri de toutes les épreuves.

Le conducteur, placé à l'avant, est complètement isolé du compartiment des voyageurs.

Les voitures peuvent être accouplées les unes aux autres, à hauteur de la toiture, pour former des trains à intercommunication. Dans le cas d'un train, la première voiture seule est alimentée directement par le courant et un câble souple amène aux autres voitures le courant nécessaire soit aux moteurs, soit aux lampes et sonneries. Les dispositifs de freinage comprennent pour chaque voiture : un frein à air comprimé, système Westinghouse, agissant au-dessus de chaque roue et commandé par le conducteur, un frein à main qui agit également sur les leviers du frein à air comprimé. Un freinage électrique peut également être obtenu en mettant les moteurs hors circuit.

Les cylindres moteurs à air comprimé du frein Westinghouse font corps avec le châssis des bogies à la partie supérieure de ceux-ci qui, nous l'avons dit, servent également de supports aux électro-moteurs. L'air nécessaire au fonctionnement des freins est emmagasiné au point terminus de la ligne dans un conduit spécial disposé sous le plancher de la voiture.

Tous ces principaux éléments moteurs et de sûreté des voitures sont d'une accessibilité vraiment extraordinaire et si nous nous sommes ici arrêtés à une série de détails qui paraissent des quantités négligeables pour le but qui nous occupe, c'est parce que nous avons dû constater, non sans surprise, que ce nouveau système de chemin de fer favorise beaucoup la simplification des constructions

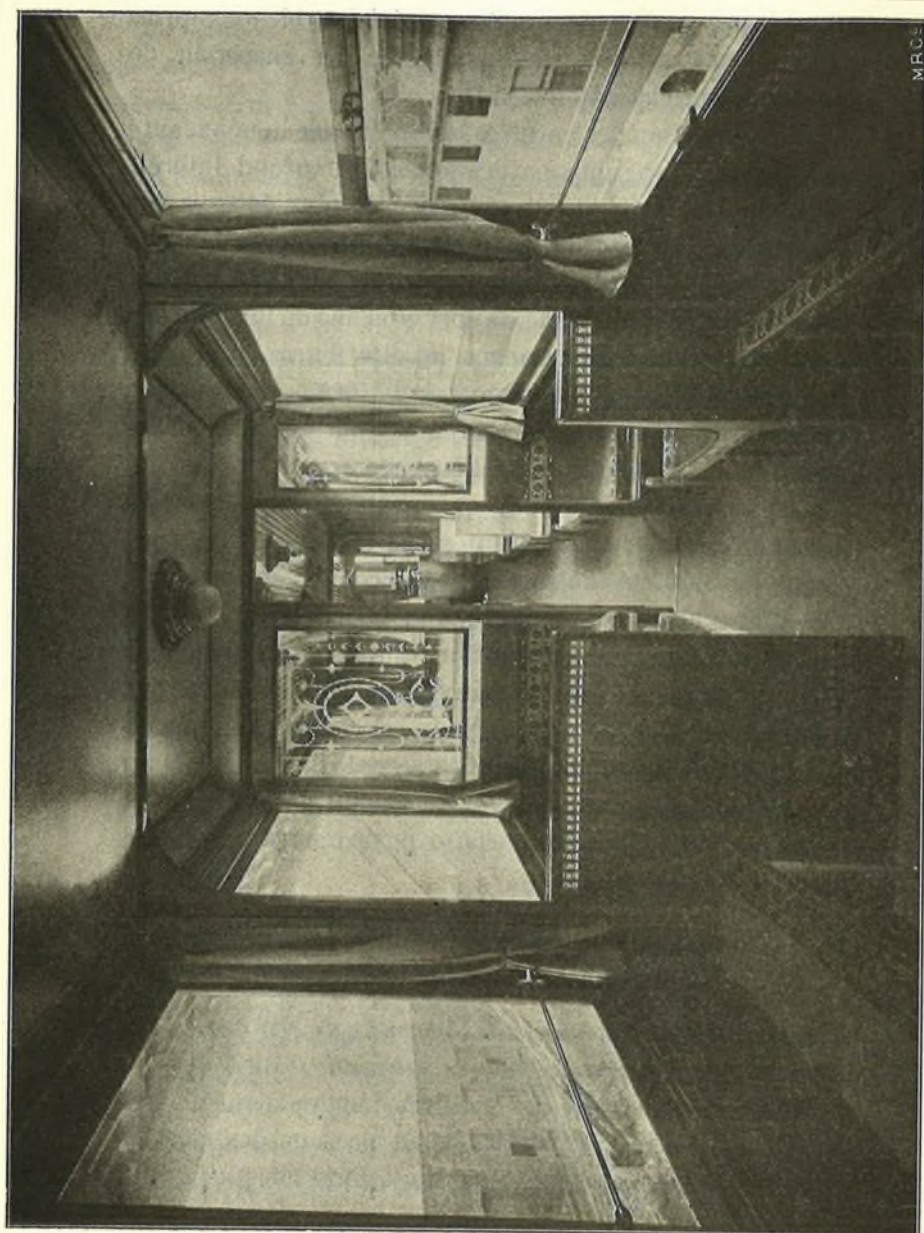
et que cette qualité du système a été fort bien comprise par les constructeurs du chemin de fer suspendu de Barmen-Elberfeld à Vohwinkel.

La construction des voitures, étant donnée la nouveauté du problème, présente naturellement un grand intérêt. Disons tout de suite que l'expérience de plus de trois ans de service a consacré la construction adoptée pour la ligne d'Elberfeld. Ces voitures remplissent les conditions les plus rigoureuses de sécurité, de confort et même de luxe (fig. 7). Aussi cette longue expérience a-t-elle fourni, jusqu'aux moindres détails, tous les éléments relatifs à la construction des voitures qui seraient nécessaires pour exécuter notre programme de la ligne Bruxelles-Anvers.

L'espacement des trains, qui pourront au besoin se suivre de deux en deux minutes, est réalisé, à Elberfeld, par un bloc-système automatique. Le conducteur ne quitte une station que lorsque les signaux lui indiquent que le tronçon de ligne qu'il a devant lui et la station voisine sont libres. Les signaux sont manœuvrés automatiquement par les voitures. L'organisation de ce service est telle qu'en cas d'arrêt de fonctionnement du signal, il n'y ait aucun danger de tamponnement et l'ensemble des signaux et freins est d'une efficacité parfaite pour rendre absolue la sécurité du transport.

IV. — Comparaison entre le chemin de fer suspendu et les chemins de fer ordinaires.

Aucun des *inconvenients des chemins de fer ordinaires n'existe pour le chemin de fer suspendu*. Bien que les roues de chaque bogie des voitures Langen aient un très petit empattement, si favorable au passage des courbes de faible rayon, cet empattement est vingt fois plus grand



que la largeur de la voie, qui est ici égale à celle de la tête du rail. Au chemin de fer birail, la largeur de voie est la mesure prise entre les deux rails et cette mesure n'est guère dépassée, tout au plus doublée par l'empattement des essieux d'un bogie. Le rapport entre l'empattement total des essieux extrêmes et la largeur de la voie est encore dans les voitures Langen, au moins vingt fois plus grand que dans les meilleurs véhicules du chemin de fer birail, pour la même longueur de voiture et la même facilité de passage d'une courbe donnée. Sur la voie à rail unique, la résistance due au frottement et aux mouvements perturbateurs est donc très minime et l'excellente disposition des moteurs électriques que le mode spécial de suspension des voitures permet d'appliquer, réduit considérablement les pertes de travail et influe non seulement sur l'accélération de vitesse au démarrage, ainsi que les résultats de l'exploitation à Elberfeld l'ont prouvé, mais aussi sur la possibilité de réaliser de très grandes vitesses. Celles-ci sont contrariées par la résistance de l'air. Or, si pour les vitesses actuellement en usage dans les chemins de fer ordinaires, l'espace libre entre deux trains se croisant peut être limité à 0^m50, la vitesse de 200 kilomètres à l'heure, avec des trains se succédant à courts intervalles, exigerait un écartement de 2 mètres à cause de la résistance de l'air.

Pour des raisons générales de construction, les deux voies du chemin de fer suspendu sont déjà suffisamment écartées au point de vue de la résistance du vent aux très hautes vitesses ; le vent qui frappe les voitures de front peut dévier des quatre côtés tout autour de la caisse, tandis que dans les voitures de chemins de fer électriques ordinaires, la déviation par dessous la caisse est pour ainsi dire nulle.

Comparons maintenant la construction métallique du chemin de fer suspendu avec les viaducs et remblais des chemins de fer électriques ordinaires.

Le chemin de fer suspendu conserve partout la forme primitive de sa construction, tandis que les chemins de fer ordinaires, qu'ils soient établis sur sol ou sur viaduc, nécessitent des ouvrages d'art variés : le tablier métallique du viaduc d'un chemin de fer birail pour deux voies ne peut avoir moins de 7 mètres de largeur, et cela pour autant que les vitesses ne dépassent pas sensiblement celles en usage aujourd'hui. Il doit être parfaitement étanche et subir toutes les fatigues provenant des mouvements perturbateurs des trains en marche.

Ces mouvements n'existent guère dans le chemin de fer suspendu : de ce fait et de ce que le tablier du chemin de fer suspendu est à jour et n'a que 4 mètres de largeur, contre 7 mètres que doit avoir le tablier étanche du viaduc ordinaire, il résulte qu'à conditions égales, le chemin de fer suspendu ne pèse pas la moitié du viaduc métallique d'un chemin de fer ordinaire.

C'est ainsi que la partie métallique du viaduc du Métropolitain électrique de Berlin, qui est sobrement construit et pour très faibles vitesses, pèse 2000 kil. par mètre, alors qu'un chemin de fer suspendu, à conditions égales d'exploitation, ne pèsera que 900 kil. le mètre. Or, l'importance des fondations étant en rapport direct avec le poids de la superstructure et le viaduc pour chemin de fer ordinaire nécessitant une étanchéité parfaite de son large tablier, il n'y a rien d'étonnant que ce dernier coûte par kilomètre près d'un demi-million de plus que le chemin de fer suspendu. Pour les très grandes vitesses, cette différence de prix serait encore bien plus grande.

Il nous reste encore une comparaison à faire qui, elle aussi, conclut en faveur du chemin de fer suspendu : nous voulons parler des gares. Il est évident que les conditions de vitesse et de succession des trains excluent les gares du niveau de la rue. Or, la hauteur du quai au-dessus du niveau de la rue dépend de la hauteur du plancher des voitures. Pour les chemins de fer suspendus, le plancher des voitures se trouve juste au niveau de la hauteur qui doit être maintenue libre. Aux approches des gares, cette hauteur est de 4^m50 (fig. 8). Dans les chemins de fer sur viaduc ordinaires, c'est l'arête inférieure de la construction métallique du tablier qui se trouve à cette hauteur. En

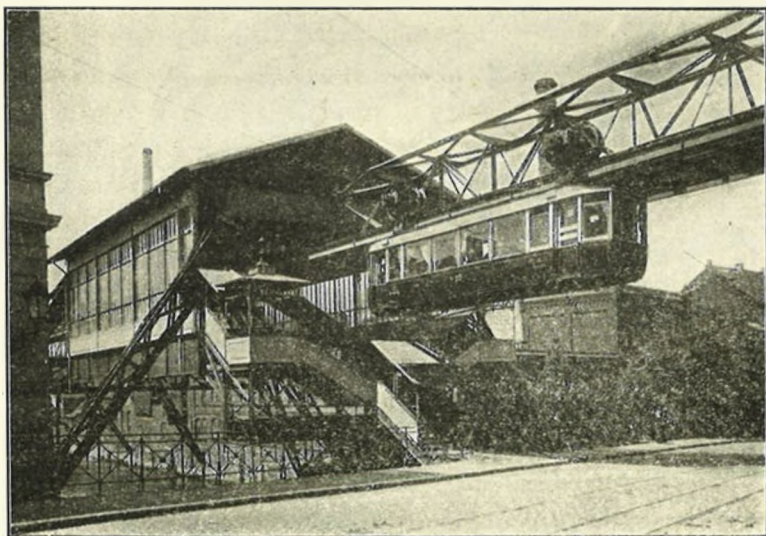


Fig. 8.

conséquence, le plancher des voitures des chemins de fer ordinaires se trouve être plus élevé d'une hauteur égale à l'épaisseur du tablier du viaduc, augmentée du diamètre des roues et de l'épaisseur des châssis de la voiture. La

hauteur des escaliers menant de la rue au quai de la gare se trouve naturellement augmentée d'une même quantité. C'est pourquoi les escaliers du chemin de fer suspendu n'atteignent que 4^m50, tandis que ceux des métropolitains aériens ordinaires, celui de Berlin par exemple, dépassent généralement 7^m50. Evidemment les stations avec 4^m50 de hauteur du quai sont bien plus commodes pour les voyageurs, plus agréables et moins coûteuses que celles qui sont à 7^m50 du niveau de la rue (fig. 9).



Fig. 9.

Depuis 1899, il s'est constitué en Allemagne une Société d'études de chemins de fer électriques à grande vitesse, formée et patronée par les sommités du monde électrique,

industriel et gouvernemental. Cette Société ne poursuit rien moins que la création de grandes lignes destinées au trafic à longue distance et à la vitesse de 200 kilomètres par heure, avec petits trains se succédant sans relâche.

Pour des motifs que nous n'avons pas à discuter, cette Société n'envisage pour le moment que les chemins de fer électriques ordinaires. De plus, elle ne s'occupe pas de la possibilité de les faire pénétrer au centre des métropoles. Les voyageurs amenés par la grande ligne à très grande vitesse, seront débarqués à une gare extérieure et, de là, se rendront en ville. Ce procédé consisterait, dans le cas qui nous occupe, à débarquer par exemple à Schaerbeek les voyageurs pour Bruxelles, ce qui est incompatible avec le principe du transport à très grande vitesse, lorsqu'il s'agit, comme pour Bruxelles-Anvers, d'un parcours total relativement court. Bref, cette Société écarte simplement la difficulté de pénétrer dans l'intérieur des villes et préconise pour le parcours en rase campagne l'établissement de la ligne nouvelle sur remblai continu.

Pour un service à double voie, le terre-plein de ce remblai porterait trois voies, dont deux seraient toujours au service du mouvement, tandis que la troisième servirait de réserve ou serait en réparation. Bien que la superstructure de ce chemin de fer soit déjà d'une construction qui dépassera en soins, solidité et coût tout ce qui existe actuellement, l'établissement de la troisième voie est indispensable, parce qu'il est impossible de procéder à l'inspection et surtout à l'entretien des voies sur lesquelles les trains se suivent sans cesse à la vitesse de 150 à 200 kilomètres à l'heure.

Nous avons dit que l'espace libre entre deux véhicules se croisant sur un tel chemin de fer doit être d'environ

2 mètres à cause de la résistance de l'air. Cet écartement est aussi nécessaire pour le dépôt des matériaux d'entretien des voies, puisqu'il est inadmissible que les ouvriers traversent celles-ci. Il en résulte que le terre-plein du remblai aurait 16 mètres de largeur et que ce remblai de 6 mètres de hauteur, qui traverserait tout le pays, aurait 34 mètres de largeur à sa base : véritable muraille de la Chine, qui, en pays civilisé et cultivé, devra être percée tous les 500 mètres environ pour les communications diverses, cours d'eau, etc.

La construction et l'entretien de la voie ferrée sur viaduc métallique est naturellement beaucoup plus simple, mais ici encore l'inspection de la ligne nécessite une grande largeur du tablier, sinon une troisième voie.

Seul, le chemin de fer suspendu résout toutes ces difficultés. La plate-forme toute entière y est à tout instant, que les trains roulent ou non, ouverte à la circulation et à l'inspection des agents. Nous pouvons nous dispenser d'insister sur les grands avantages qui en résultent pour la sécurité ; mais nous ferons remarquer que de ce chef la troisième voie, jugée indispensable dans le chemin de fer ordinaire, est inutile pour le chemin de fer suspendu.

Il paraîtrait logique, du moins en Belgique, de donner, à conditions égales, la préférence à un système pour lequel la dépense presque entière est appliquée à des constructions métalliques, plutôt qu'à un autre dont les dépenses principales sont occasionnées par des expropriations et des terrassements. Or, nous avons vu que, loin d'être égales, les conditions qui différencient les divers systèmes, sont toutes en faveur du chemin de fer suspendu.

Nous allons brièvement comparer ces divers systèmes au point de vue du coût.

Le chemin de fer sur sol est exclu de nos considérations, comme ne répondant pas aux conditions de sécurité indispensables pour obtenir une rapide succession de trains roulant à très grande vitesse. C'est pourtant sur les lignes à fleur du sol qu'on a fait les premiers essais de vitesse, devant atteindre 250 kilomètres à l'heure, avec électrotraction. Mais que cela ne trompe personne, il ne s'agit là que d'essais et d'études, et non pas d'exploitation régulière. Pour ces expériences, on peut évidemment se servir de certaines lignes spéciales sur sol, comme le chemin de fer militaire Berlin-Zossen. Il y a même des contrées, à population très clairsemée, où le chemin de fer, soigneusement isolé pourra être établi en partie à fleur du sol, mais ce sont là des cas exceptionnels, qui ne se retrouvent pas sur le chemin de Bruxelles à Anvers ; si tel était pourtant le cas, ils laisseraient subsister les trop coûteuses difficultés à vaincre pour franchir les environs des métropoles et pénétrer jusqu'à leurs gares centrales. En conséquence, les grands dangers de pareilles exploitations excluent en général les lignes sur sol et nécessitent l'élévation du chemin de fer sur toute sa longueur.

Le chemin de fer ordinaire sur viaduc entraîne, quoique à un moindre degré que celui sur remblai, à des expropriations et des indemnités très considérables. Car à 4^m50 de hauteur, son large tablier étanche est trop près du sol, le stérilise, le rend impropre à tout usage. Sa construction est très lourde, par conséquent très coûteuse, et les fondations et travaux d'art extraordinaires sont très considérables. Inutile d'entrer dans les détails du coût de ses constructions, on peut l'estimer à 4 ou 500,000 francs

desiderata, pour traverser les quartiers qui servent principalement aux affaires d'utilité publique. On peut l'établir à côté ou au-dessus du sol ou des viaducs de la voie ferrée birail, qu'il peut très facilement quitter et rejoindre là où les travaux d'art de la voie sur sol ou l'encombrement et l'inaccessibilité de ces gares l'exigeraient (fig. 12).



Fig. 11.

Terminons cette note par quelques réflexions sur les essais de vitesse au chemin de fer électrique de Berlin-Zossen.

La Société d'étude de chemins de fer à grande vitesse, dont il a été question plus haut, a fait construire deux voitures électriques de systèmes différents, devant rem-

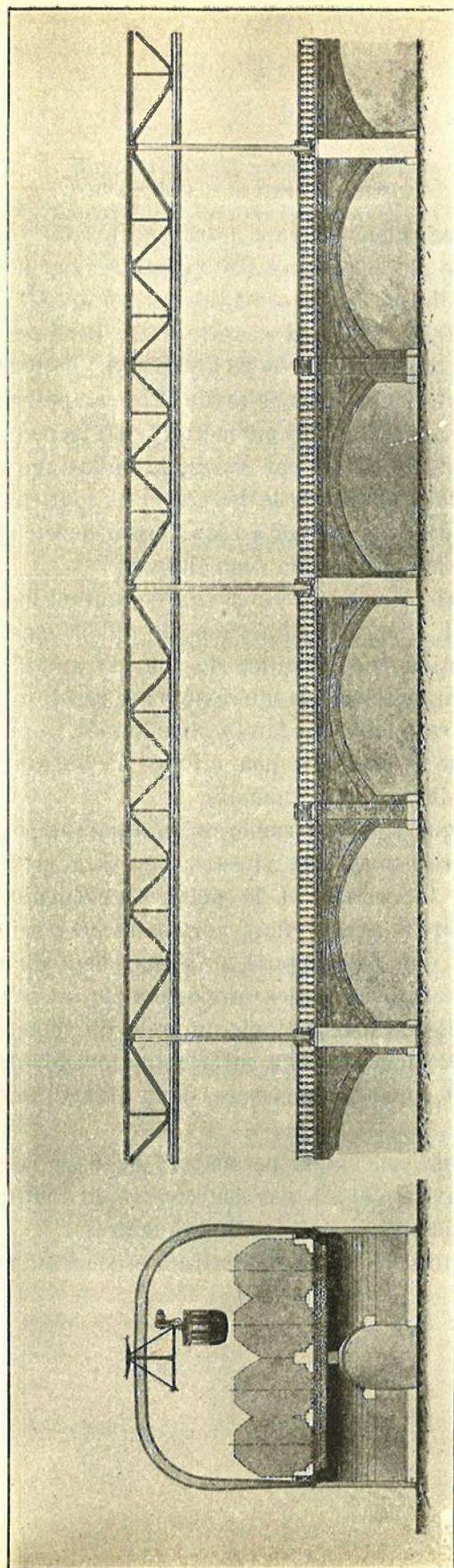


Fig. 12.

plir le programme suivant : transporter 50 voyageurs à la vitesse de 200 jusqu'à 250 kilomètres par heure, sur le chemin de fer birail ordinaire sur sol, que le département militaire allemand possède entre Berlin et Zossen. La ligne a une longueur de 23 kilomètres ; les plus petites courbes ont 1000 mètres de rayon. Les rampes sont rares et n'ont que 5 millimètres par mètre. Les rails permettaient la charge de 16 tonnes par essieu, le ballastage est bien soigné et la majeure partie des traverses sont en bois.

Inutile de nous arrêter à l'équipement électrique de la ligne et à la construction des voitures.

Les essais, d'une bien courte durée, ont eu lieu vers la fin de 1901. Rien n'en a été rapporté officiellement. Mais la description très détaillée de tout le matériel a été publiée par les Sociétés intéressées ; le résultat essentiel des essais est clair : ils furent abandonnés, après n'avoir obtenu que la moitié à peu près de la vitesse maxima qu'on s'était proposé d'atteindre.

Quelle que soit la formule qu'on applique pour déterminer la résistance aux vitesses élevées, il est incontestable que la section et le poids du véhicule sont en rapport direct avec l'effort nécessaire. On sait que la résistance que l'air oppose à l'avancement du véhicule est dans certaines limites proportionnelle au carré de la vitesse. Elle est indépendante du poids du véhicule, mais dépend directement de la surface que le véhicule oppose au vent et, en certaine mesure, de la disposition de cette surface.

Des essais concluants permettent de fixer cette résistance à environ 90 kil. par mètre carré du maître-couple du véhicule à la vitesse de 200 kilomètres.

Les voitures électriques de Berlin-Zossen pèsent 94 tonnes

et opposent au vent une surface de 10 mètres carrés. Pour la résistance au roulement, on compte 4^k5 par tonne. Il en résulte, pour la vitesse de 200 kilomètres ou 55 mètres par seconde, une force de résistance de

$$\frac{(4,5 \times 94 + 90 \times 10) 55}{75} = 980 \text{ chevaux.}$$

Soit donc 20 chevaux par voyageur, puisque la voiture ne contient que 50 personnes.

Conséquemment les voitures ont été munies de quatre moteurs électriques, développant chacun 250 chevaux en cours normal et 750 chevaux en démarrage.

Dans les mêmes conditions de vitesse, de confort et de nombre des voyageurs, la voiture du chemin de fer suspendu (système Langen) ne pèserait que 26 tonnes, n'aurait que 6 mètres carrés au maître-couple et moins de 3 kil. de résistance par tonne au roulement.

La force motrice nécessaire n'atteint donc que 450 chevaux, c'est-à-dire 9 chevaux par voyageur.

Les frais d'exploitation seront donc assez exactement la moitié de ceux du birail avec électrotraction.

Inutile d'insister davantage.

Les essais de la Société d'étude sur la ligne de Berlin-Zossen se sont heurtés à d'énormes difficultés de natures diverses. Fournir les 1000 chevaux pour la traction ou 3000 chevaux pour le démarrage et cela avec la place très restreinte et les autres circonstances aggravantes qu'offre une voiture roulant sur birail, dans la poussière, est un programme que les électriciens sauront apprécier et qui n'a pas été réalisé jusqu'ici à leur satisfaction.

Si, après avoir reconstruit les voitures et de nouveau renforcé la superstructure de la voie, les essais sont

repris, il sera très intéressant d'en connaître les nouveaux résultats. En attendant, il reste acquis que la vitesse n'a pu être poussée au-delà de 130 kilomètres par heure en ligne droite, avec ralentissement dans les courbes et avec maximum momentanément atteint de 160 kilomètres.

Un certain mystère entoure ces expériences, mais l'opinion la plus répandue est que c'est l'état de la voie qui n'a pas permis d'aller plus loin. Or la construction et l'état de cette solide voie militaire étaient connues des expérimentateurs, avant la construction des voitures : la voie avait été consolidée au préalable, et si on ne l'a pas fait davantage, c'est que la Société d'étude l'estimait suffisante pour le roulement à 200 ou 250 kilomètres de voitures électriques pesant 100 tonnes avec bogies sur 12 roues.

Ne seraient-ce pas les mouvements perturbateurs des voitures qui ont détérioré la voie ?

Dans ces voitures électriques, le poids non suspendu aux ressorts est si grand et le centre de gravité des très lourds bogies se trouve à une si petite distance au-dessus des rails, qu'à la moindre irrégularité de la voie ou du véhicule, il se produit des chocs dans le sens vertical et horizontal qui causent des fatigues aux roues et à la voie, bien autrement graves que ce qui se produit avec de bonnes locomotives à vapeur.

La voie doit donc être d'une robustesse extraordinaire et d'un entretien mathématiquement exact. La moindre irrégularité transmet au châssis du bogie un mouvement de lacet qui se prononce d'autant plus que les roues sont petites et qui devient absolument dangereux, si le châssis qui relie un bogie à l'autre, n'est pas d'un poids, d'une stabilité et d'une rigidité considérables.

C'est ainsi que les voitures électriques de la ligne de

Zossen se trouvent, à cause du grand poids accumulé dans les bogies, dans des conditions plus dangereuses que les voitures à bogies de nos grands express, qui ne roulent qu'à 80 ou 100 kilomètres à l'heure. Il est surprenant que ces voitures électriques n'aient pas déraillé à la vitesse de 150 kilomètres.

Les études et essais dont nous venons de parler, sont d'un très haut intérêt et d'une grande valeur pour l'électrotechnique. Mais en ce qui concerne l'électrotraction, il semble dès maintenant certain que le problème des chemins de fer à trafic rapide n'a pas de chance d'être résolu par l'électrotraction sur birail.

Si les futures épreuves sur la ligne Berlin-Zossen réalisent une vitesse de 180 ou même 200 kilomètres à l'heure, ce qui est hors de doute, elles fourniront la preuve que la très grande vitesse, si elle est techniquement possible, est économiquement impossible. Elle nécessitera des lignes spéciales très encombrantes, affectées à une seule et unique catégorie de trains et une force motrice dont les frais ne peuvent être couverts par les recettes.

Pour arriver à une solution pratiquement acceptable du problème du trafic rapide par l'électrotraction, on sera obligé de s'émanciper d'abord du birail.

Le birail est nécessaire à la locomotive à vapeur : tant que et partout où celle-ci règne encore en maîtresse, il est inutile de chercher un autre système de voie. Mais l'électrotraction n'a pas besoin du birail, n'en dépend en aucune façon. Bien au contraire, ce sont certaines qualités essentielles du birail qui rendent la question si difficile à résoudre par l'électricité.

Il faudra encore de longues et nombreuses expériences pour prouver que le birail a besoin de l'électrotraction

pour réaliser les grands projets de l'avenir. Et même lorsque ces preuves seront établies, les applications ne seront pas faites au gré de l'électrotechnique : la locomotive à vapeur est encore loin d'avoir fini sa carrière.

Dès lors puisque la locomotive à vapeur est inséparable du système birail, pourquoi ne s'appliquerait-on pas à la recherche des solutions où le birail cesse de donner satisfaction et même devient impossible ? C'est le cas de la pénétration au cœur des grandes villes et du trafic interurbain à grande vitesse, dans des conditions d'économie qui excluent les tunnels, les viaducs et les grands remblais continus.

Le système Langen, avec monorail suspendu, est très élastique et il n'est pas trop hardi de prévoir dans l'avenir le mouvement entre nos grandes villes constitué par une voie à deux étages : à l'étage inférieur, le trafic établi sur remblai pour les grands trains à vapeur, à l'étage supérieur le trafic extra-rapide par électrotraction, établi sur rail suspendu (fig. 13 à 15). La réalisation d'un tel pareil projet se fera-t-elle attendre encore ? Il est rare qu'on change vite d'habitudes. Mais le siècle nouveau n'en réservera pas moins, selon nous, de très belles perspectives au chemin de fer suspendu du système Langen.

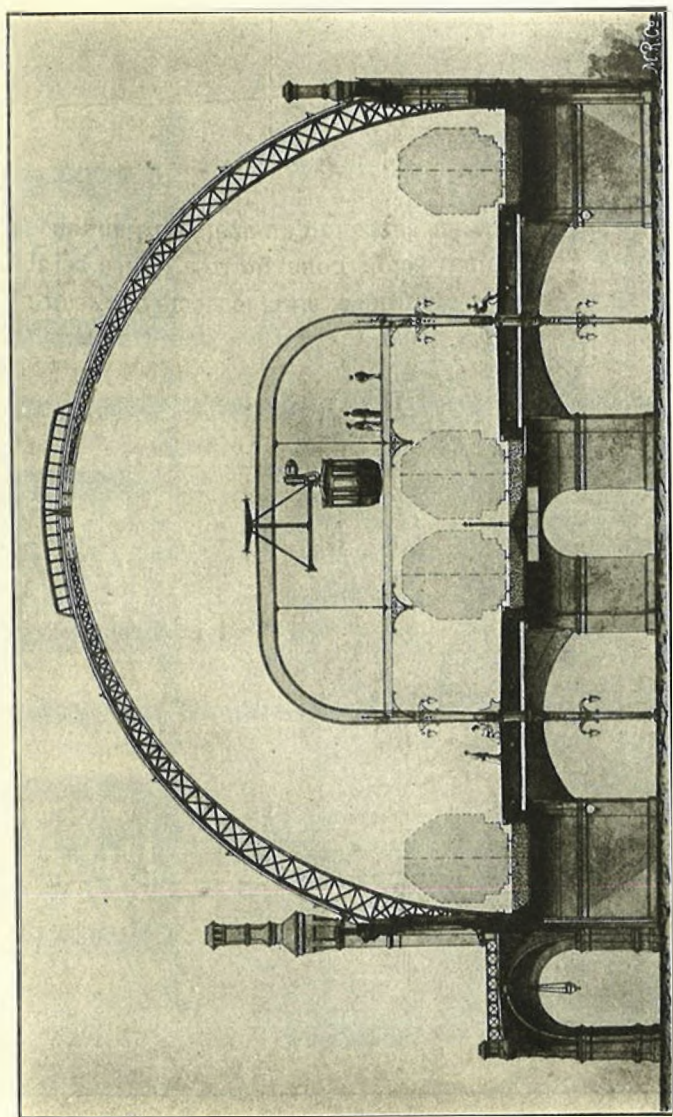


Fig. 14

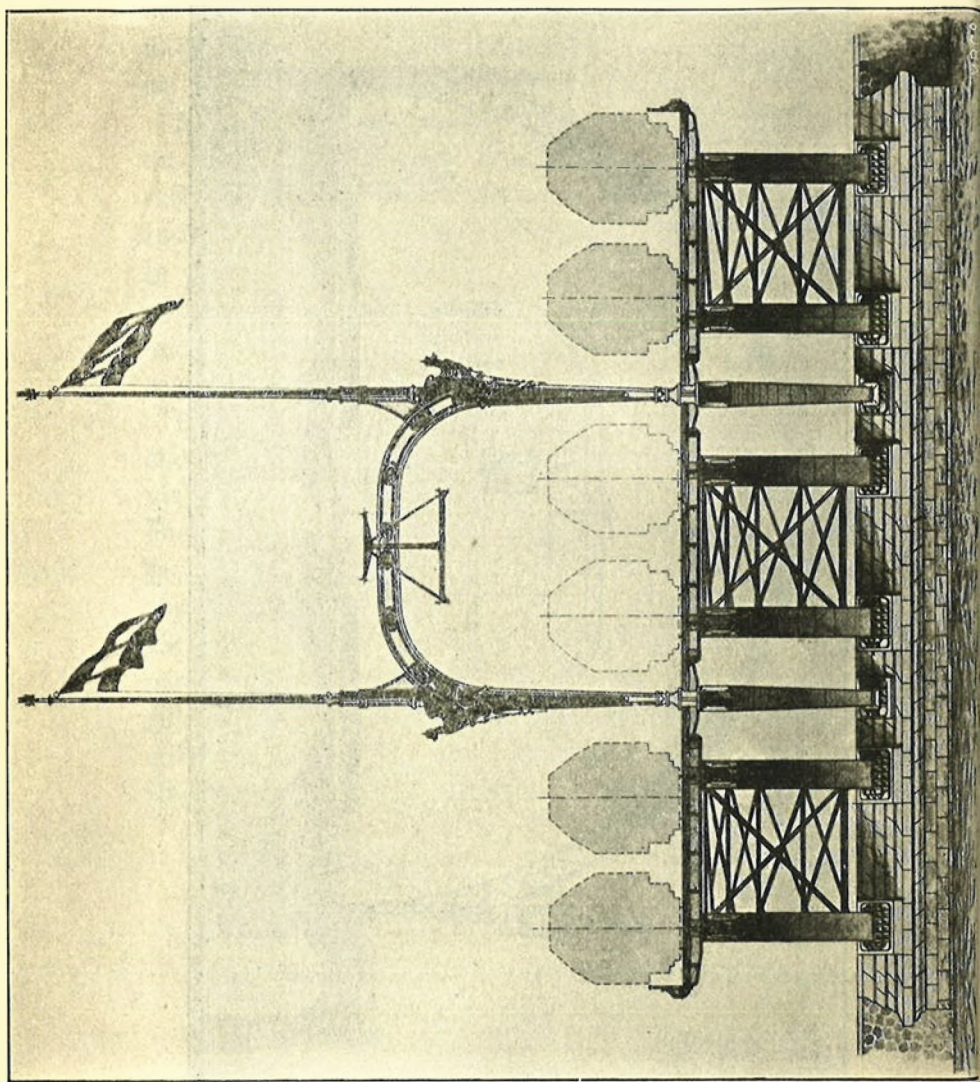


Fig. 13.

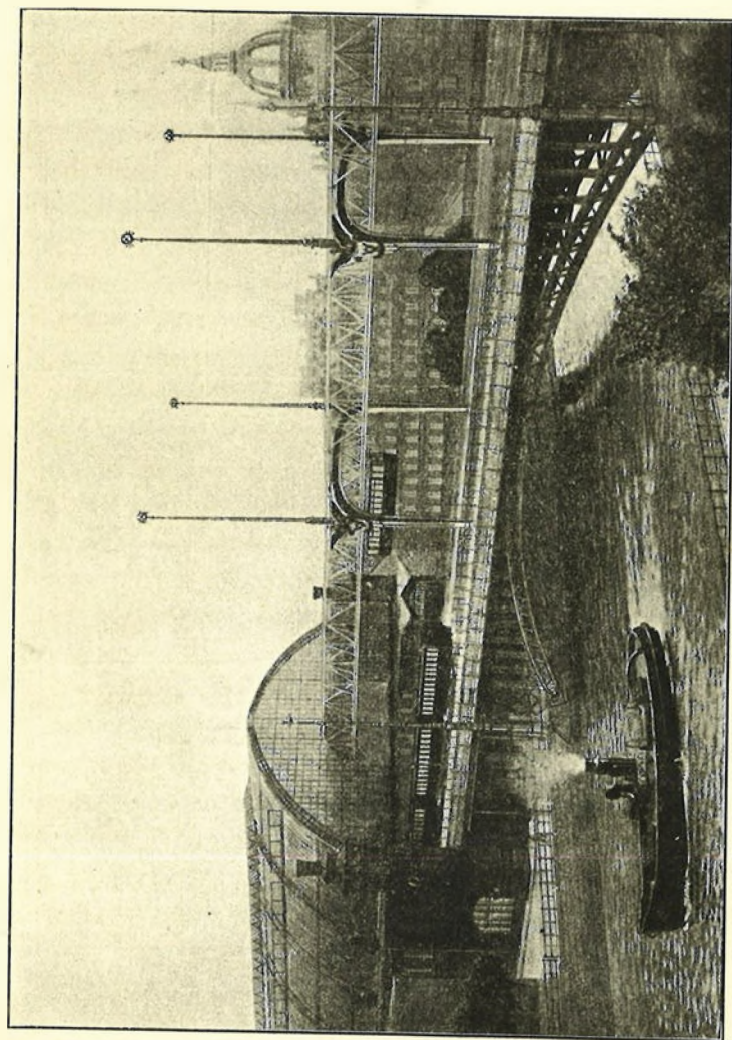


Fig. 15.