

Titre : L'avenir de l'électricité dans les chemins de fer

Auteur : Weissenbruch, L.

Mots-clés : Chemins de fer*Électrification

Description : 1 vol. (28 p. ; fig.) ; 30 cm

Adresse : Paris : Georges Carré ; Bruxelles : A. Manceaux, 1886

Cote de l'exemplaire : CNAM-BIB 4 Sar 129

URL permanente : <http://cnum.cnam.fr/redir?4SAR129>

L'AVENIR DE L'ÉLECTRICITÉ

Collection de Monsieur

André SARTIAU

DANS LES

CHEMINS DE FER

CONFÉRENCE FAITE A LA SOCIÉTÉ BELGE D'ÉLECTRICIENS

LE 30 DÉCEMBRE 1885

PAR

L. WEISSENBRUCH

INGÉNIEUR DU MINISTÈRE DES CHEMINS DE FER,
POSTES ET TÉLÉGRAPHES DE BELGIQUE

EXTRAIT DE LA REVUE INTERNATIONALE DE L'ÉLECTRICITÉ
ET DE SES APPLICATIONS

PARIS

GEORGES CARRÉ

BRUXELLES

A. MANCEAUX

Libraires-Éditeurs

112, boulevard Saint-Germain, 112

12, rue des Trois-Têtes, 12

1886



L'AVENIR DE L'ÉLECTRICITÉ

DANS LES
CHEMINS DE FER

Messieurs, je dois vous parler aujourd'hui de « l'avenir des applications de l'électricité dans les chemins de fer », mais avant de parler de l'avenir il convient de jeter un coup d'œil sur le passé et sur le présent; c'est le seul moyen d'arriver à des déductions rationnelles.

Rassurez-vous, cependant. Je n'ai pas l'intention de vous décrire minutieusement toutes les applications de l'électricité aux chemins de fer qui ont été imaginées par les inventeurs, ni même celles, plus rares, qui sont entrées dans le domaine de la pratique. — Le peu de temps dont je dispose serait très loin d'y suffire. — Mon but est simplement d'indiquer le principe des applications les plus utiles, de chercher à découvrir celles dont l'emploi peut dès aujourd'hui être recommandé, d'essayer de déterminer celles qui, grâce à de nouvelles expériences, paraissent pouvoir être perfectionnées, et enfin de tâcher de poser nettement les problèmes qu'il reste à résoudre au génie des inventeurs.

En suivant cette marche, qui me permettra d'exposer certaines vues personnelles, je n'ai d'autre but que de soulever la discussion. Je crois que c'est surtout de cette façon que les conférences faites devant un public technique peuvent être utiles, car de la discussion naît, ou doit naître, la lumière.

Si nous cherchons à remonter à l'origine de l'emploi de l'électricité dans les chemins de fer, nous voyons que déjà bien peu de temps après l'inauguration des railways, elle avait fait son apparition dans la télégraphie employée à l'annonce des trains.

C'est même un lieu commun de dire que, sans la télégraphie électrique, l'exploitation intensive des chemins de fer eût été impossible. Et pourtant cette assertion n'est pas tout à fait exacte; car si l'on n'avait point disposé de ce moyen de correspondance rapide on en aurait certainement établi d'autres, et l'on sait qu'en France, par exemple, avant son introduction, il existait un réseau complet de sémaphores.

Ce qui est vrai c'est que l'exploitation eût été bien plus onéreuse qu'aujourd'hui.

En 1840, douze ans après l'établissement de la ligne de Liverpool à Manchester, cinq ans après l'inauguration des chemins de fer en Belgique, l'électricité était pratiquement employée pour signaler les trains sur le chemin de fer à câble et à machine fixe de Londres à Blackwall. Mais l'invention était encore antérieure à cette époque, car l'appareil employé, combiné pour

l'usage dont il s'agit par MM. Wheatstone et Cook, avait obtenu un brevet en 1837, et on trouve même, dans une lettre de G. Weber, du 12 juillet 1835, la proposition de construire un télégraphe en employant comme conducteurs des rails de chemins de fer placés sur le sol et reliés métalliquement les uns aux autres. L'idée de Weber n'aurait pu être mise en pratique sans modification; il est néanmoins curieux de constater avec M. Banderali, le savant ingénieur du Nord français, que c'est elle qui a inspiré l'inventeur du block-system automatique le plus *progressiste* qui soit employé en Amérique, celui de l'« Union Electric signal Company », dont nous dirons un mot tout à l'heure.

A la fin de 1844, huit lignes de chemin de fer étaient déjà exploitées au moyen du télégraphe en Angleterre, en utilisant le principe du retour du courant par la terre, que venait de découvrir Steinheil.

En Allemagne, vers cette même époque, un appareil Wheatstone, modifié par Fardelly, fut placé sur la ligne du Taunus.

En France, les premiers essais eurent lieu en 1845, sur la ligne de Saint-Germain.

Enfin en Belgique, la première ligne télégraphique fut ouverte au public entre Anvers et Bruxelles le 9 septembre 1846. Mais ce n'est qu'à partir de 1850 que cette ligne fut rachetée par l'Etat et que ce dernier en établit de nouvelles le long de ses principaux chemins de fer, pour en faciliter l'exploitation.

Partout l'usage du télégraphe électrique se répandit rapidement dans les chemins de fer, et les appareils employés se perfectionnèrent. On peut diviser ces appareils en deux classes bien distinctes : d'une part ceux qui, placés dans les stations, sont manipulés par des agents spéciaux et doivent servir à échanger des communications variées; d'autre part ceux qui sont destinés à être maniés par des agents d'une éducation bornée. Les premiers ont été successivement des systèmes Wheatstone, Bréguet et Morse. Mais le système Morse a prévalu pour deux raisons principales : d'abord parce qu'il permet de conserver une trace permanente des correspondances échangées tout en n'exigeant qu'une instruction préalable de courte durée de la part des agents, ensuite parce que des pertes légères par la ligne ou une transmission un peu défectueuse n'empêchent pas la réception.

Quand les appareils doivent être confiés à des ouvriers de la route, il importe que le nombre

de signaux à échanger soit le plus restreint possible. Les sonneries peuvent quelquefois servir, mais en général il est préférable de doubler chaque signal acoustique d'un signal optique.

Les cloches dites allemandes et les appareils de block primitifs sans enclenchement ne sont que des appareils de correspondance à nombre de signaux limité et leur origine remonte presque à l'époque de l'apparition de la télégraphie électrique. Les principes du block-system simple sont en effet exposés dans un livre de Cook intitulé « Telegraphic Railway » et paru en 1842. L'auteur y préconisait un système nouveau d'exploitation des lignes à simple voie consistant à espacer les trains en divisant la ligne en sections fermées successives, dans chacune desquelles deux trains ne pouvaient se trouver à la fois. De la sorte les trains devaient être protégés par des intervalles invariables et certains de distances fixes parcourues et non par des intervalles variables et incertains des temps employés à les parcourir, comme cela se faisait primitivement, puisqu'on se bornait autrefois à attendre qu'un certain temps se fût écoulé depuis le départ du train précédent.

La première application du principe posé par Cook fut faite sur la ligne à voie unique de Norwich à Yarmouth. Chaque chef de station pouvait lire sur un cadran à aiguille Wheatstone la section sur laquelle était engagé le train qu'on signalait électriquement lors de son entrée dans cette section. Ces dispositions nécessitaient autant de fils que de sections; elles étaient donc fort coûteuses et inapplicables sur une ligne d'une certaine étendue.

Quant aux cloches allemandes, les premières furent construites en 1846 par M. Leonhardt pour le chemin de fer de la Thuringe.

Les applications du genre de celles dont nous venons de parler se répandirent peu à peu en même temps que les appareils se perfectionnèrent; mais l'électricité ne remplissait toujours, ne l'oublions pas, que le rôle d'agent de correspondance, servant simplement à transmettre des avis, des ordres et des instructions.

Vers 1857 un pas de plus fut fait : on admit l'électricité à contrôler le fonctionnement d'appareils à transmission mécanique. M. Jousset, ingénieur du chemin de fer de Lyon, fut le premier, croyons-nous, qui employa une sonnerie trembleuse à vérifier la position des disques tournants.

Cette importante application se répandit bientôt partout et fit naître à sa suite une série d'avertisseurs et de contrôleurs. Le Nord français réclame l'honneur de l'initiative du placement des premiers avertisseurs électriques pour passage à niveau. Des pédales à soufflet de Tesse et Lartigue furent installées en 1859 à Maubeuge, au pont de la Deûle.

Puis vinrent les appareils contrôleurs d'aiguilles, contrôleurs de la position des leviers de manœuvre, de l'extinction des feux de signaux, de la position des ponts tournants, etc.

En 1861 M. Prud'homme inventa son intercommunication entre les différentes voitures des trains, laquelle est aujourd'hui adoptée, avec certains perfectionnements, par presque toutes les compagnies françaises.

Les premières améliorations aux block-systems primitifs datent de 1862. M. Preece eut alors l'idée de donner aux aiguilles indicatrices des appareils électriques de correspondance dont on se servait à cette époque (système Walker, Tye et Bartholomew), la forme de sémaphores en miniature. Il introduisit en même temps le perfectionnement du signal répétiteur ou *accusé de réception*, dont le principe est de donner au poste transmetteur l'assurance que son signal est bien arrivé au poste de réception et qu'il a eu pour effet de placer le bras du petit sémaphore dans la position désirée. Enfin vers 1871 ou 1872 apparaissent successivement les premiers appareils de block réalisant la solidarité entre les signaux extérieurs et les indications des appareils de correspondance. Ce sont les appareils Lartigue, Siemens, Sykes, Hodgson, Flamache, etc.

Pour terminer, ajoutons que l'éclairage à l'électricité, qui est aujourd'hui reconnu indispensable aux grandes gares de manutention et de transbordement, a été appliqué pour la première fois, en France, à la gare de la Chapelle en 1875.

En résumé, vous voyez, Messieurs, que, depuis l'origine jusqu'en 1872, l'électricité n'a été employée que pour faire fonctionner des appareils de correspondance et quelques contrôleurs, et que c'est vers 1872 seulement qu'on a commencé à la faire concourir d'une façon plus directe à la sécurité, en lui faisant réaliser des enclenchements.

Ce qui précède, c'est l'histoire des applications existantes.

Nous avons passé jusqu'ici sous silence tous les essais qui n'ont pas encore eu pour résultat d'enrichir le domaine de la pratique générale. Ils sont nombreux pourtant, car presque partout l'imagination des inventeurs a été fort enflammée par les merveilles des premières découvertes et a devancé les nécessités de l'exploitation. C'est là du reste un fait général qui se remarque partout dans les applications de l'électricité; car l'année dernière, en laissant de côté les brevets pris dans différents pays pour la même invention, on peut estimer à 3,000 ou 4,000 les idées nouvelles revendiquées dans ce domaine. Mais parmi cette multitude de brevets les idées sérieuses sont assez rares et il ne nous sera pas très difficile de distinguer celles des applications de l'électricité aux chemins de fer qu'il faut s'attacher à perfectionner.

Une pareille recherche ne peut être abordée sans quelque réserve. Nous sommes en effet de ceux qui croient que rien ne doit jamais être condamné *en principe*. Telle invention qui nous paraît d'une hardiesse extrême peut s'imposer tout à coup à l'attention, grâce à un très petit perfectionnement mécanique. Il faut donc se garder soigneusement de tout parti pris. N'a-t-on pas vu un ouvrage de télégraphie qui fait autorité dans la science démontrer qu'en principe l'invention du téléphone était impossible et cela bien peu de temps avant son apparition.

Constatons tout d'abord, Messieurs, que la défiance générale qu'inspirait autrefois l'électricité a aujourd'hui complètement disparu.

On lui reprochait d'être un agent subtil, insaisissable, que des influences mystérieuses et inconnues faisaient disparaître tout à coup.

Certaines compagnies de chemins de fer, rebelles à l'introduction des inventions nouvelles, ont longtemps entretenu ce préjugé afin de se dispenser d'adopter les appareils de sécurité basés la plupart sur l'emploi de l'électricité. Aujourd'hui, les électriciens ont prouvé que, grâce aux perfectionnements récents, l'électricité est un agent des plus sûrs pour qui sait s'en servir, et que ce n'est pas le fluide qui avait des caprices, mais bien ceux qui étaient inhabiles à le conduire.

Le dernier coup d'ailleurs été porté aux préjugés dont nous parlons par le Congrès des chemins de fer de Bruxelles.

Déjà le Congrès des électriciens de 1881 avait fait la déclaration suivante :

« L'utilité de l'électricité dans l'exploitation des chemins de fer est tellement évidente, qu'il n'y a pas lieu de formuler un vœu ni de voter sur cette question. »

Le Congrès des chemins de fer a émis son opinion d'une façon plus formelle dans les termes suivants :

« Le Congrès constate que des progrès considérables ont été réalisés dans l'emploi de l'électricité appliquée aux chemins de fer ; il est probable que des progrès nouveaux se produiront encore et cela est en même temps désirable. Quant à la question de savoir si l'on doit préférer les appareils électriques aux appareils mécaniques et réciproquement, c'est une question d'espèce, de distance, de climat, de nature d'appareil, etc., que l'on ne peut résoudre que par une étude comparative des deux solutions en présence. »

Ainsi, dans le choix dont il s'agit, *l'infériorité que l'on attribuait autrefois, a priori, aux moyens électriques, ne sera plus désormais un facteur.*

Mais quel est le motif qui a retardé jusqu'ici les progrès de l'électricité appliquée aux chemins de fer ?

C'est, croyons-nous, que l'on n'a encore presque rien demandé au principe si fécond de la transmission de la force à distance tel qu'il a été mis en lumière notamment par les remarquables travaux de M. Deprez et de M. Siemens. Et cependant, combien n'y a-t-il pas dans l'industrie des chemins de fer de manœuvres qui doivent s'effectuer à distance !

Jusqu'ici dans tous les appareils inventés la force motrice est empruntée à des contrepoids et à des ressorts que l'électricité sert uniquement à déclencher, en imprimant un très petit mouve-

ment de va et vient à l'armature d'un électro-aimant par l'interruption ou le rétablissement du courant qui parcourt ce dernier. Le motif en est dû à un préjugé qui règne encore chez beaucoup d'hommes de chemin de fer et qui veut que les seules sources d'électricité suffisamment sûres, pratiques et commodées, soient les petites piles télégraphiques et les machines d'induction à main, semblables à celles qui servent à produire l'appel dans les téléphones urbains.

Aujourd'hui que les progrès réalisés dans la construction des dynamos permettent si facilement de produire des quantités considérables d'électricité, il est probable que les piles et les petites magnétos seront bientôt abandonnées. Il est en effet établi que pour des forces motrices moyennes (7 chevaux) et des distances moyennes (14 km.) le rendement des transmissions électriques peut atteindre au minimum 50 p. c. — C'est là un résultat qui n'est pas discuté et qui est acquis indépendamment du succès ou de la non réussite des expériences de Creil dont on parle tant en ce moment.

Dès lors il paraît certain que les transmissions électriques détrôneront fatalement les transmissions par tiges et par fils de transmission ; car il n'est jamais nécessaire dans l'industrie des chemins de fer — si l'on excepte bien entendu la traction des trains — il n'est jamais nécessaire, dis-je, que de transmettre des forces de quelques kilogrammètres à quelques centaines de mètres de distance.

Les moyens mécaniques resteront toujours les plus pratiques pour transporter une force assez grande à une distance faible. Mais déjà à partir de 100 m., le rendement de l'électricité devient plus grand que celui des transmissions par l'eau et par l'air comprimé, et, à plus forte raison, que celui des transmissions par tringles et surtout par fils, comme le prouve le tableau suivant, dressé par un ingénieur du gouvernement allemand, M. Berniger :

DISTANCE	de 100 à 1000 m.	à 5000 m.
Rendement par l'électricité.	68 p. c.	60 p. c.
Rendement par l'eau sous pression. . .	50 »	40 »
Rendement par l'air comprimé. . . .	55 »	50 »

Employée comme nous venons de le dire, l'électricité révolutionnera l'organisation du service dans les stations et augmentera dans une très grande mesure les commodités dont disposent les voyageurs dans les trains en marche.

PERFECTIONNEMENTS A INTRODUIRE DANS LES INSTALLATIONS DES STATIONS ET DE LA VOIE

Supposons que chaque station soit pourvue de générateurs électriques. Ceux-ci pourront servir à effectuer bien des manœuvres de force qui doivent être faites aujourd'hui à la main. Citons seulement celles des barrières, des disques, des aiguilles.

Or, on sait qu'en ce qui concerne particulièrement les disques et les aiguilles, la distance à

laquelle ils doivent être manœuvrés augmente tous les jours. Dans les grandes gares, les leviers de ces appareils ont dû être concentrés en un même point parce que leur éparpillement naturel est une cause de fatigue pour les agents et que leur concentration permet de les coordonner ensemble, de telle sorte que toute fausse ma-

nœuvre soit impossible. On peut en effet, grâce aux enclenchements, empêcher qu'une aiguille ne soit ouverte avant que les signaux ne soient faits pour la voie correspondante; ils permettent aussi d'éviter tous les accidents, dus à des erreurs commises par des aiguilleurs et des signaleurs — et l'on sait qu'ils étaient autrefois nombreux.

D'autre part les disques à distance qui doublent les signaux d'arrêt ont une tendance à s'éloigner de ces derniers. Car un train de 500 m. de longueur arrêté, à 300 m. d'une gare, constitue un obstacle dangereux à 500 plus 300 ou 800 m. de la gare, — et c'est à partir de ce point qu'il faut compter la distance du signal d'avertissement. Celui-ci peut ainsi devoir être reporté à 2,000 ou 2,300 m. au lieu de 1,200 ou 1,500 m.

Or, à mesure que les disques et les aiguilles s'éloignent davantage de leur levier, les moyens de transmission mécanique deviennent plus insuffisants. Il est très malaisé de manœuvrer une aiguille au moyen de tringles de plus de 300 ou 400 m. de longueur et les transmissions par fils ne peuvent plus agir que très difficilement au-delà de 1,000 à 1,500 m.

On comprend donc tout le parti qu'on peut tirer de l'électricité.

Mais, dira-t-on, pourquoi les disques électriques, dont il existe déjà de nombreux systèmes, ne se sont-ils pas répandus davantage? — C'est, répétons-le, parce qu'ils ont tous été construits, à très peu d'exceptions près, en vue d'utiliser les très faibles sources d'électricité usitées en télégraphie, et que, de la sorte, on n'a pu réaliser que des appareils très délicats, sujets à mille causes de dérangement, ou bien des appareils à mécanismes d'horlogerie, coûtant cher et ayant l'inconvénient de devoir être remontés.

Il existe pourtant un vrai sémaphore à action directe, celui de *Currie et Timmis*, mis à l'essai en Amérique sur le raccordement de la « Gloucester Wagon Co ». Le bras du sémaphore est fixé en son milieu à un axe autour duquel le fait osciller une tige commandée elle-même par l'écran à double verre qui masque le feu de la lanterne fixée au mât. Le poids de cet écran tend à faire retomber le bras dans sa position horizontale; pour effacer le signal, il faut relever l'écran. Pour obtenir ce mouvement qui exige un assez grand effort, les inventeurs ont eu recours à l'emploi d'un aimant à longue attraction, sorte de solénoïde capable de développer une action énergique.

Cet aimant se compose de deux tubes concentriques de fer doux, réunis entre eux par des plaques de même métal, de manière à former une boîte annulaire remplie de fils de cuivre. Une sorte de piston creux peut glisser à l'intérieur de cette boîte annulaire.

L'aimant commence donc à agir sur son noyau, de la même façon qu'un solénoïde, jusqu'à ce que ce noyau soit enfoncé assez loin dans le tube, la force d'attraction décroissant, d'ailleurs, à mesure que le noyau s'enfonce. Mais comme, d'autre part, l'armature s'approche de l'aimant et commence à entrer en jeu à une certaine distance, la force d'attraction reste à peu près constante. On a donné à cette armature la forme d'un couvercle qui épouse la plate-

forme supérieure de l'aimant, et il suffit d'une faible force pour la maintenir en contact. Quand le courant passe, l'aimant attire son armature, l'écran démasque la lanterne et le sémaphore s'abaisse.

Les sources d'électricité sont des accumulateurs. Malgré l'élégance de la solution de MM. Currie et Timmis, il est permis de se demander si l'on ne pourrait produire un appareil plus robuste en le faisant actionner par un moteur analogue à une machine Gramme.

La seule difficulté, semble-t-il, c'est la production de l'électricité. Elle disparaîtrait si les stations étaient pourvues de véritables usines mettant partout l'énergie électrique à la disposition du personnel.

Faut-il attendre le moment où il en sera ainsi? Cela ne paraît pas nécessaire. La manœuvre d'un disque n'exige qu'une force de huit kg. au maximum, en supposant la surface du disque soumise à une pression horizontale de 40 kg. par m. carré produite par l'action d'un fort vent. La perte d'énergie dans une transmission de 2 km. ne dépasserait pas 50 p. c. Or un poids ou un ressort peut facilement développer 16 kg. Dès lors, au lieu d'employer ce poids ou ce ressort à faire mouvoir directement les disques, pourquoi ne pas l'appliquer à la manœuvre de générateurs électriques?

Le travail à produire pour remonter les poids ou les ressorts des générateurs serait plus grand, il est vrai, mais on éviterait les objections tirées de l'impossibilité pour les signaleurs de se rendre eux-mêmes aux disques et de connaître le moment précis où le remontage doit avoir lieu.

Puis, les signaleurs pourraient contribuer à ce remontage dans leurs moments de loisir. La fatigue qu'ils supporteraient de la sorte, mieux répartie, si je puis ainsi m'exprimer, ne serait certes pas plus considérable que celle qui est produite aujourd'hui par la mise en jeu des leviers que les transmissions électriques permettraient de supprimer.

Nous venons de parler de la nécessité de l'enclenchement des leviers des aiguilles et des signaux. Ces enclenchements sont en général effectués uniquement par des dispositions mécaniques. Cependant déjà aujourd'hui il y en a qui sont réalisés à distance par l'électricité. C'est principalement en Allemagne que cela existe, parce que les principes de centralisation qui y sont adoptés exigent que le chef de station ou plutôt le chef du mouvement, recevant seul les communications intéressant le service, soit seul à pouvoir prescrire l'ordre de succession des différentes manœuvres.

Si les disques étaient tous manœuvrés électriquement, il est évident qu'il serait fort avantageux de recourir aussi à l'électricité pour effectuer tous les enclenchements.

On pourrait alors supprimer tous les leviers de manœuvre des signaux optiques et les remplacer par de simples boutons électriques. Les signaux seraient maintenus à voie libre par le passage d'un courant et ils seraient mis à l'arrêt par sa suppression.

Toute aiguille reliée à un signal serait enclenchée par le passage du courant qui maintient

le signal ouvert et ne pourrait, par conséquent, être manœuvrée que pendant la fermeture du signal. De plus, le signal serait à l'arrêt et son circuit interrompu tant que l'aiguille ne serait pas dans sa position normale. Un signal d'arrêt absolu ne pourrait être tourné à l'arrêt qu'après la fermeture de son signal avancé. Enfin plusieurs signaux d'arrêt absolu reliés entre eux ne pourraient être ouverts simultanément.

Le coût d'établissement des cabines Saxby est proportionnel au nombre de leviers. Or chaque enclenchement mécanique augmente ce nombre d'une unité, tandis qu'un enclenchement électrique ne nécessite qu'un bouton commutateur en plus. On pourrait donc obtenir de la sorte une très forte réduction dans le prix des installations.

Des améliorations seront également introduites dans les communications entre les stations et les agents de la voie par la généralisation de l'emploi du téléphone.

Le téléphone pourrait, dans un très grand nombre de cas, remplacer les appareils de correspondance et le télégraphe; malheureusement, la difficulté que l'on éprouve, même avec les microphones les plus perfectionnés, à percevoir le son de la voix au milieu des bruits si divers qu'occasionne le service d'une grande gare, restreint beaucoup l'usage qu'on peut en faire, particulièrement pour mettre en relation un poste Saxby avec plusieurs points d'une gare. Pourtant, d'après les conclusions de la dixième assemblée de l'Union des chemins de fer allemands, une des administrations de cette Union avait obtenu, dans cet usage, des résultats favorables de l'emploi du téléphone.

Parmi les conclusions de la même réunion, on en trouve encore une autre relative au téléphone. La voici :

A-t-on employé le téléphone pour faire communiquer les stations avec le personnel de la voie ou le personnel des trains, et de quelle manière assure-t-on la sécurité de l'exploitation?

Réponse. « On peut employer le téléphone avec succès pour faire communiquer les stations avec le personnel de la voie et le personnel des trains, placés à des postes éloignés du bureau de la gare, et pour leur transmettre des ordres concernant le service des trains. On peut assurer la sécurité en faisant répéter, par le destinataire, l'ordre donné et en déterminant par des prescriptions spéciales la forme des communications téléphoniques. En enregistrant ces dernières, on a un moyen de contrôle. »

Il y a lieu d'ajouter une attention particulière aux deux dernières phrases de cette conclusion. Il semble, en effet, que la trace des messages conservée par le télégraphe Morse ne soit nullement une preuve plus sûre que l'enregistrement à la main, dans un carnet, des ordres reçus. On peut supprimer une partie d'une bande Morse. Il est difficile d'arracher, sans qu'on s'en aperçoive, une page d'un carnet à feuillets numérotés.

Sur les lignes où il existe des cloches, des téléphones pourraient, avec avantage, être ajoutés à chaque poste intermédiaire. Sur les lignes insuffisamment outillées sous le rapport des signaux, il serait aussi fort utile d'établir certains

postes de secours convenablement répartis et munis de téléphones.

En ce qui concerne particulièrement le cas des wagons en dérive, ces installations seraient des plus précieuses.

Le téléphone pourra même être employé dans certains cas pour remplacer les cloches dans un but d'économie.

Cet emploi paraît s'être répandu récemment en Allemagne sur les lignes secondaires.

Nous lisons à ce sujet ce qui suit dans la *Gazette de l'Allemagne du Nord*¹ :

« On a fait dans ces derniers temps de nombreuses tentatives d'emploi du téléphone dans le service des chemins de fer. La direction des voies ferrées a reçu des rapports sur ces expériences et les a communiqués à toutes les compagnies. Nous en extrayons les renseignements suivants, qui sont d'intérêt général :

« Le téléphone est employé dans la plus grande partie des chemins de fer allemands, soit à titre d'essai, soit à titre définitif par 33 compagnies, sur un parcours total de 28,436 km. Les résultats les plus favorables ont été obtenus sur les lignes secondaires où cet appareil sert de moyen presque exclusif de correspondance, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des gares. C'est le cas notamment sur les lignes peu étendues où l'exploitation est facile et où il n'y a généralement pas de croisement de trains. Sur certaines lignes plus importantes où la sécurité du service a exigé l'emploi simultané du télégraphe électromagnétique et du téléphone, on a constaté également des résultats si satisfaisants que l'on a quelquefois supprimé le télégraphe. . . . »

« Nous mentionnerons encore tout spécialement les essais d'emploi du téléphone en pleine voie. Il y a plusieurs années qu'on a intercalé des téléphones sur les lignes destinées aux signaux de cloches, ce qui a permis aux garde-barrières de correspondre entre eux ainsi qu'avec les gares voisines. On a récemment essayé de remplacer les Morses des trains par des téléphones dont on s'est servi, notamment pendant les tempêtes de neige, avec beaucoup plus de facilité et de rapidité qu'avec les appareils autrefois en usage dans les mêmes cas. »

Que l'on construise une ligne nouvelle ou que l'on veuille utiliser un fil télégraphique déjà placé, l'emploi du système Van Rysselberghe est ici tout indiqué. Arrêtons-nous un instant au cas de l'utilisation d'un fil servant à échanger des signaux télégraphiques.

Nous supposons tous les appareils télégraphiques munis des dispositions anti-inductrices de M. Van Rysselberghe, que l'on connaît, et que la figure 1 montre sommairement² :

La figure 2 montre ensuite comment on peut parler sur la ligne AB entre les postes T et T' en utilisant la partie de ligne mn et en inter-

1. Voir aussi la *Revue internationale de l'électricité*, novembre-décembre 1883, p. 451.

2. Voir *Téléphonie et télégraphie simultanées*, par Ed. Buels, fonctionnaire de l'administration des télégraphes de l'État belge. Les figures 1 et 2 sont extraites de cet ouvrage.

posant dans les fils de raccordement deux condensateurs C et C'. De la sorte les deux téléphones restent insensibles aux courants forts des appareils Morse, parce que l'émission de ces courants n'est pas brusque mais graduée, et que

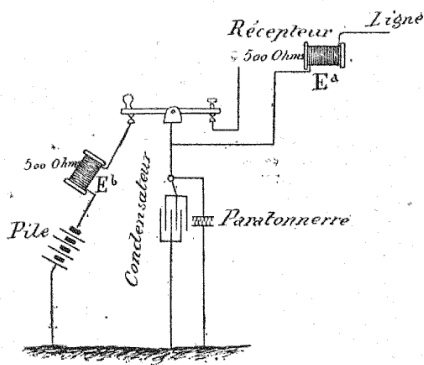


Fig. 1.

dans ces conditions la plaque du téléphone fléchit sans vibrer et ne donne lieu à aucun bruit.

On sait d'ailleurs qu'il existe un appareil, appelé *appel phonique*, sorte de relai permettant dans ces conditions d'actionner de T en T' et réciproquement des sonneries aussi fortes que l'on veut, en n'envoyant au travers de la ligne mn que des courants téléphoniques identiques à ceux que l'on produit lorsqu'on se sert des téléphones T et T' pour converser¹.

Ne nous préoccupons donc pas davantage des moyens d'appel et arrivons au cas de deux stations entre lesquelles se trouvent plusieurs postes intermédiaires, trois par exemple. — Trois solutions sont en présence.

1° On peut ainsi que le montre la figure 3, intercaler en chacun des points I', I'', I''' une résistance de 500 ohms au moins.

Cette solution est complète, c'est-à-dire qu'entre chacun des points A, I', I'', I''', B, la correspondance sera possible dans des conditions semblables à celles qui sont réalisées sur une ligne télégraphique omnibus, — et cela au moyen des commutateurs C, C' et C''.

1. Voir *Téléphonie et télégraphie simultanées*, p. 153 et fig. 19.

Malheureusement il y a un inconvénient : c'est que l'intercalation des trois résistances de 500 ohms chacune, dans la ligne télégraphique AB, exige le renforcement des piles. Cet inconvénient est le seul, car il ne faut, à la rigueur, qu'une sonnerie et qu'un appel phonique par poste, puisqu'on peut convenir de se servir de deux roulements pour le poste de gauche et d'un seul pour le poste de droite. D'ailleurs on conçoit aussi qu'on peut facilement, par une disposition de commutateur, n'employer qu'un seul poste téléphonique dans chaque station.

2° La solution représentée dans la figure 4 est la plus simple. Elle permet de n'intercaler aucune résistance dans la ligne.

Seulement il faudra convenir d'employer :

1	roulement pour appeler A
2	» » B
3	» » I'
4	» » I''
5	» » I'''

De cette façon les appels les plus compliqués s'appliqueront aux postes intermédiaires qui devront souvent appeler les postes extrêmes pour leur demander du secours, mais qui seront probablement rarement appelés par eux.

3° La solution mixte représentée dans la figure 5 permet de limiter à trois le nombre de roulements des appels :

On pourra en effet convenir d'employer :

1	roulement pr appeler A de I' ou de I''.
1	roulement pr appeler B de I'' ou de I'''.
2	roulements pr appeler I' de A ou de I''.
2	roulements pr appeler I'' de B ou de I'''.
3	roulements pr appeler I''' de A, de B, de I' ou de I''.

Voilà bien des progrès réalisables sans découvertes nouvelles! Doit-on s'arrêter là? — Rien ne le prouve. Et tout d'abord il est fort probable que les block-systems deviendront un jour automatiques et que les signaleurs pourront être complètement supprimés.

Que faut-il pour cela? — Il suffit que l'on invente une bonne pédale, si l'on emploie

ce mot pour désigner en général tout appareil mécanique ou électrique pouvant fonctionner par le passage des trains sans intervention de la main de l'homme.

L'idée première de l'automatisme n'est pas nouvelle; elle remonte à 1847, époque vers laquelle M. Breguet, puis MM. Maigrot, Verité, Bellemare et d'autres encore, inventèrent des appareils à cadran et à aiguille, destinés à en-

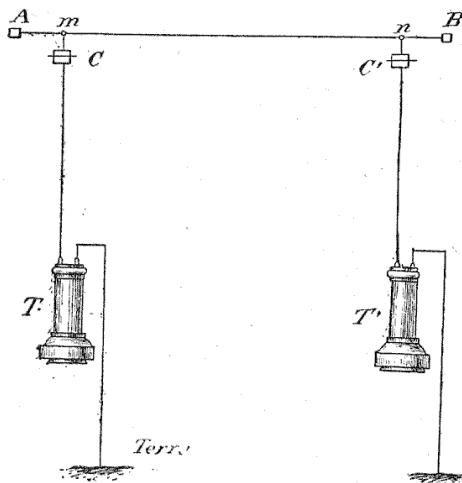


Fig. 2.

régistrer, dans les gares d'avant et d'arrière, le passage des trains devant les poteaux kilométriques de la voie, en face de chacun desquels était placée une pédale. Mais tous les systèmes proposés à l'origine ne se répandirent guère. Beaucoup restèrent à l'état de projet; les autres furent rapidement abandonnés.

C'est que leur mécanisme ingénieux, mais compliqué, ne présentait pas une garantie suffisante de fonctionnement régulier. Puis ils arrivaient avant leur heure, le prix du travail manuel n'ayant pas encore suffisamment augmenté pour qu'ils fussent devenus nécessaires.

Il n'en est pas de même aux Etats-Unis, où la difficulté de recruter un personnel sûr et l'élévation du prix des journées ont poussé les ingénieurs à chercher activement les moyens de s'affranchir de l'intervention des agents dans la manœuvre des signaux.

Les blocks à pédale qui existent en Europe ne sont pas des vrais blocks automatiques; leurs pédales ne servent en réalité qu'à avertir le personnel du passage des trains, parce que les compagnies n'admettent l'emploi de combinaisons automatiques que pour empêcher le personnel de commettre une erreur ou un oubli, et qu'elles ne veulent pas qu'une manœuvre puisse se faire sans que l'intelligence d'un agent la contrôle.

De cette façon, le seul avantage de l'automatisme c'est de réduire au minimum les chances d'accidents. Ceux-ci ne peuvent plus se produire que par la coïncidence de trois circonstances : une collision, une défaillance de l'homme, un dérangement à l'appareil.

La manière de voir des Compagnies européennes changerait certainement, si l'on inventait une nouvelle pédale d'un fonctionnement très sûr. Alors un simple service de surveillance fait par des agents intelligents rendrait un dé-

rangement plus improbable que ne l'est aujourd'hui la folie, l'ivresse ou la fatigue d'un signaleur, soumis très souvent à un service au-dessus de ses forces.

Malheureusement toutes les pédales essayées jusqu'ici paraissent imparfaites, et principalement celles qui agissent par chocs. De ce nombre est la pédale du block Hodgson, qui n'a jamais fonctionné convenablement sur le réseau de l'Etat belge. Les efforts faits pour la remplacer ou pour l'améliorer ont jusqu'ici échoué.

La pédale mécanique de l'appareil Le Boulengé, pour le contrôle de la vitesse des trains, est la seule qui fonctionne régulièrement; mais elle est beaucoup trop délicate pour servir dans un block-system.

Le Nord français préconise l'appareil de contact appelé *crocodile*. Ce crocodile est, comme on sait, une pièce de bois de deux mètres de longueur fixée aux traverses de la voie, et portant une feuille de cuivre qui est reliée au pôle positif d'une pile dont l'autre pôle est à

la terre. Une brosse métallique placée sur la locomotive et reliée au réservoir commun, ferme le circuit lorsqu'elle passe sur la plaque de cuivre du crocodile et met en action la sonnerie

ou l'appareil avertisseur intercalé. Les crocodiles sont en usage sur le Nord français depuis six ou sept ans environ. M. Sartiaux, affirme qu'en 1882, sur 548 contacts fixes en service on n'a signalé que dix ratés, soit 2 %, et M. Cossmann que sur un million de passages on n'a relevé que

quatorze ratés provenant du retroussement de la brosse, du tassement du crocodile ou de défauts de la pile. L'appareil serait insensible à l'action du verglas et de la neige. Pourtant les crocodiles employés sur le réseau du Nord n'ont été adoptés jusqu'ici par aucune autre compagnie.

Les contacts électriques à trépidation semblent

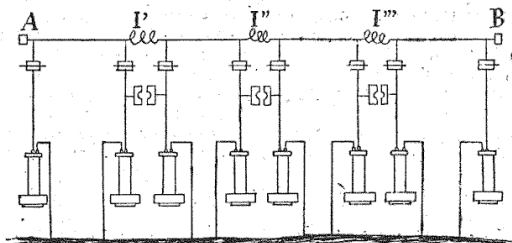


Fig. 3.

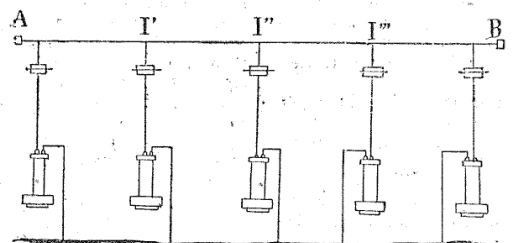


Fig. 4.

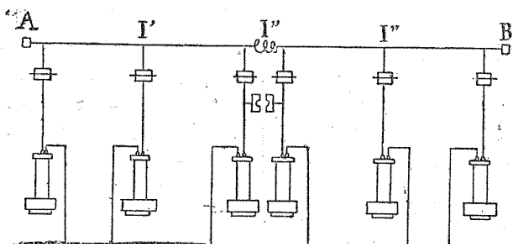


Fig. 5.

aussi avoir donné d'assez bons résultats. Citons celui de MM. Mors frères, composé d'une boîte à mercure fixée latéralement à un rail. Cette boîte est ébranlée par le passage de la locomotive; le mercure est déplacé et ferme un circuit métallique interrompu dans la boîte. D'après M. Dufour, ingénieur de l'Etat néerlandais, le mercure s'oxyde et il est préférable d'utiliser dans les mêmes conditions, non les fermetures du courant mais ses ruptures, obtenues par les chocs imprimés à une bille de charbon, placée librement sur deux crayons de même matière.

On a aussi essayé l'appareil magnétique Ducousso, qui se compose d'un aimant en fer à cheval, autour des pôles duquel sont enroulés des bobines. Ces pôles sont placés à une courte distance des rails. Des courants sont produits dans le circuit des bobines par le passage de lourdes pièces de fer d'une locomotive devant les pôles de l'aimant.

Au premier abord l'appareil Ducousso semble idéal. Car :

- 1° Il n'emploie pas de piles et son entretien doit être fort minime;
- 2° Il ne subit aucun choc et n'est donc pas sujet à des avaries;
- 3° Il est insensible à l'action des wagonnets de service.

Malheureusement les courants produits sont très faibles, et par conséquent le récepteur sur lequel on les fait agir doit être un relai polarisé fort délicat.

De nouveaux essais sont entrepris en ce moment un peu partout.

En France, M. de Baillehache a été dernièrement autorisé à installer un rail isolé de son invention à la gare de Courcelles (ceinture) et à la gare de l'avenue de Clichy. D'après l'inventeur ce rail a été franchi par plus de 46,000 trains sans qu'un seul raté se soit produit. Le système est des plus simples. Le rail isolé constitue l'un des pôles d'une pile dont l'autre pôle est rattaché à la terre par l'intermédiaire d'une sonnerie. Celle-ci tinte aussitôt que le rail isolé est lui-même mis en communication par l'intermédiaire de la locomotive, avec un des rails voisins reliés au réservoir commun. L'isolement est obtenu en garnissant les éclisses, les boulons et les joints de cuir goudronné et de gutta.

Il est difficile de prévoir dans quelle voie la solution désirée doit être cherchée.

On pourrait pourtant conseiller de perfectionner les contacts à trépidation en remplaçant les pièces de charbon de M. Dufour — lesquelles se brisent et sont trop mobiles, — par des pièces

d'acier légèrement aimantées. L'appareil Ducousso paraît aussi susceptible d'être amélioré. On pourrait chercher à augmenter l'intensité des courants qui y sont produits.

Quant à la délicatesse du relai employé comme récepteur, c'est là une difficulté qui n'est nullement insurmontable.

Ainsi que nous l'avons dit plus haut, on n'a pas attendu en Amérique l'invention d'une pédale parfaite pour y introduire des block-systems entièrement automatiques. Ces blocks sont des plus intéressants et nous allons essayer d'en donner une idée.

Dans le système Rousseau, comme dans la plupart des blocks automatiques, chaque poste comporte un signal et deux contacts électriques. Un de ces contacts est relié au signal du poste même et l'autre au signal du poste précédent, comme le

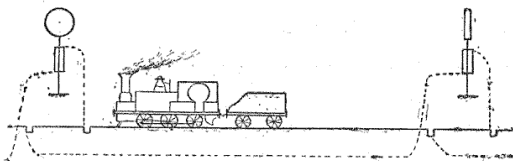


Fig. 6.

montre la figure 6.

En passant sur le premier, le train met le signal du poste à l'arrêt et se bloque ainsi lui-même; en passant sur le second, il efface le signal qui bloquait la section précédente.

L'appareil de contact est électro-mécanique. Le contact est produit par un piston placé à l'intérieur d'un gros cylindre vertical en caoutchouc, situé sous le rail.

Dans le système de l'Union electric signal Company, chaque file de rails d'une section forme un conducteur électrique isolé de la file correspondante de la section suivante. A une extrémité

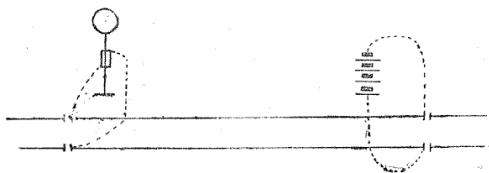


Fig. 7.

de la section se trouve une batterie électrique dont chacun des pôles est relié à une file de rails. A l'autre extrémité est un signal dont la rotation est commandée par un déclenchement électrique formé essentiellement d'un électro-aimant, dont les extrémités du fil sont rattachées aux files de rails et forment le circuit.

La figure 7 montre la disposition générale du système.

Tant que les bobines de l'électro sont traversées par le courant, le signal reste à voie libre; l'interruption du courant met le signal à l'arrêt. Cette interruption (ou du moins un très grand affaiblissement qui fait le même effet) est produite par le passage d'un train ou d'un véhicule dont les roues et les essieux ferment directement le circuit en mettant les deux files de rails en communication par la voie la plus courte.

Tout dérangement de la pile, toute rupture du fil conducteur, a pour effet d'amener le disque à la position d'arrêt, puisque le circuit est alors interrompu; mais l'électricité atmosphérique pourrait encore ramener indûment le signal à voie libre.

Dans la plupart des systèmes de block automatique, notamment dans celui de Rousseau, lorsqu'un train se trouve dans une section qu'il a bloquée en passant devant le signal placé à l'entrée, un second train pénétrant dans cette même section, après avoir attendu pendant les délais nécessaires, remet le signal à voie libre et se découvre au lieu de se protéger; il n'est de nouveau couvert que quand le premier train quitte lui-même la section. C'est un grave inconvénient qui résulte de ce que le signal se remet alternativement à voie libre et à l'arrêt pour chaque émission de courant. Ici il ne peut en être de même, par la raison que la position à l'arrêt du signal est une conséquence obligatoire de la présence d'une paire de roues sur la section que protège ce signal.

Il est à remarquer aussi que le déblocage de la section n'a lieu, en réalité, que quand le dernier véhicule l'a quittée, ce qui est un grand avantage.

Enfin, les signaux se mettent à l'arrêt par une rupture des rails qui entraîne une interruption du circuit.

Nous avons déjà fait remarquer que le principe de ce système est une idée émise par Weber en 1835, à un moment, il est vrai, où sa réalisation était impossible.

Si perfectionnés que soient les signaux précédents, ils sont jusqu'ici moins répandus que ceux de Hall, qui sont plus anciens et ont pour eux la sanction d'une plus longue expérience.

L'ensemble du système Hall est analogue à celui du système Rousseau. Le contact employé est une pédale munie d'un piston qui empêche — comme le soufflet dont nous avons parlé plus haut — qu'elle ne soit actionnée par toutes les roues du train. Le signal est composé d'une boîte vitrée sur ses deux faces, à l'intérieur de laquelle se meut un voyant opaque. La nuit, le signal est éclairé par transparence.

L'avantage de ce genre de disque, c'est qu'il n'y a ni ressort, ni poids à remonter. En revanche il est beaucoup trop délicat pour un bon usage.

Il existe encore aux Etats-Unis un autre système : C'est celui de Hadden en service sur le « Pennsylvania Railroad » et sur le « Chicago, Burlington and Quincy Railroad ».

Il est combiné pour une ligne à simple voie. Il faut donc qu'un train entrant dans une section par l'une de ses extrémités ne produise pas le même effet que celui qui en sortirait en sens inverse par cette même extrémité. A chaque bout d'une section se trouvent deux signaux manœuvrés chacun par l'armature d'un électro-aimant. L'électro de l'un des deux signaux d'une extrémité d'une section est compris dans le même circuit électrique que l'électro de l'un des deux signaux de l'autre extrémité. Dans ce circuit est intercalé une pile comme le montre la figure 8.

Quand les armatures des électros sont attirées, les signaux sont à leur position normale de « voie libre ». En entrant dans une section, le train agit d'abord sur la pédale B, ce qui ne produit pas d'effet, car le circuit qu'elle ferme un instant est un circuit dérivé de même résistance que le circuit principal. Le train passe ensuite sur la pédale A, qui interrompt momentanément le circuit principal. Les deux électros lâchent leurs armatures et les signaux se mettent à l'arrêt. En même temps chacune des armatures, faisant l'office de

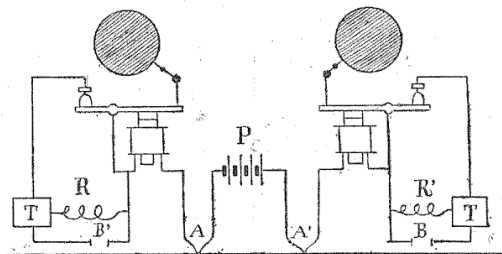


Fig. 8.

commutateur, introduit une résistance dans le circuit, de telle sorte qu'un instant après, lorsque sa continuité est rétablie, le courant est devenu trop faible pour que les électro-aimants puissent ressaisir leurs armatures. Les signaux restent donc à l'arrêt, couvrant le train en avant et en arrière. Mais lorsque ce dernier arrive à l'autre extrémité de la section, après avoir passé sans produire d'effet sur la pédale A, il passe sur celle B, ferme le circuit et enlève la résistance qui y avait été introduite en cet endroit. La puissance du courant augmente ainsi de nouveau et les deux signaux se remettent à l'arrêt. Les signaux se mettent aussi à l'arrêt en cas d'avarie, de manque d'électricité et, en général, pour toute cause qui interrompt un instant le courant de la ligne.

PERFECTIONNEMENTS A INTRODUIRE

DANS LE SERVICE DES TRAINS EN MARCHÉ

Abordons maintenant la question des trains en marche et voyons quelles améliorations l'emploi de l'électricité peut permettre d'y introduire.

Tout d'abord, remarquons que l'électricité est seule capable d'y produire un éclairage suffisant. Le Congrès des chemins de fer l'a reconnu en adoptant le vœu que voici :

« Il est à souhaiter que dans l'éclairage des voitures le desideratum suivant soit réalisé :

« Lumière douce, fixe et blanche, en quantité suffisante pour qu'on puisse lire très aisément, « quelle que soit la place occupée dans la « voiture. »

Le besoin de lire en chemin de fer se fait en effet de plus en plus vivement sentir. On raconte qu'en Angleterre un seul fabricant vend annuellement 60.000 lanternes de poche pour cet usage.

Or, il faut le reconnaître, les lampes à huile

ou les becs de gaz aujourd'hui employés fournissent une lumière trop faible pour la lecture et souvent pénible pour les yeux.

Plusieurs compagnies de chemins de fer poursuivent depuis plusieurs années déjà des expériences d'éclairage électrique des trains. Elles ont vaincu toutes les difficultés techniques qui s'étaient d'abord présentées, mais, comme on le verra plus loin, il ne semble pas que la question soit résolue au point de vue économique.

Les principales expériences sur lesquelles les journaux spéciaux nous ont apporté quelques détails sont celles du « London Brighton and South Coast Ry », de la direction des Chemins de fer Royaux, à Francfort-sur-le-Mein, de la Compagnie du Chemin de fer du Sud de l'Autriche, du Chemin de fer de l'Est français, du « Pennsylvania railroad Cy », de l'Etat belge, etc.

Quel que soit le système particulier que l'on adopte, on se sert toujours des lampes à incandescence dans le vide embranchées par dérivation sur un circuit fermé allant du fourgon de tête ou de la locomotive à la queue du train. Suivant les préférences particulières des compagnies, on a essayé les lampes Edison, celles de Swan, celles de Maxim ou d'autres encore.

On sait que toutes ces lampes ne diffèrent entre elles que par la matière qui sert à produire le filament de charbon et que chaque inventeur fait construire des lampes de différentes intensités, en faisant varier convenablement les dimensions de ce filament et l'intensité du courant. Remarquons, en passant, qu'il est avantageux, au point de vue économique, de forcer celles-ci, parce que la lumière produite par une lampe augmente plus vite que la dépense de travail; mais il y a une limite imposée par ce fait que la durée de la lampe diminue en proportion inverse. Dans des conditions normales, les lampes que l'on fabrique aujourd'hui ont une durée moyenne de 900 à 1,000 heures.

Pour déterminer l'intensité des lampes à employer, il faut se guider par cette considération que le rendement et, par conséquent, la valeur économique augmente avec l'intensité lumineuse¹.

On éclaire donc chaque compartiment par une seule lampe. Il suffit pour cela qu'elle ait 8 à 10 candles (0,86 à 1,08 carcel). On a soin de la doubler d'une lampe de réserve qui s'allume automatiquement lorsqu'un accident survient à la première.

Il est nécessaire que l'on puisse diminuer l'intensité de la lumière pendant la nuit. Pour cela, au lieu de mettre un voile sur les lampes, on peut adopter un système de mise en veilleuse.

Si l'on emploie une dynamo génératrice sans accumulateurs, chaque fois que l'on éteint une lampe, on introduit à sa place une résistance égale, afin de ne pas forcer la lumière des autres. M. Swan a construit dans ce but un appareil formé de lames de mica entourées d'un fil de fer nickelé. Cette solution a cet inconvénient que

1. Le tableau suivant résulte des expériences de la Commission de l'Exposition de 1881 sur des lampes Maxim :

Intensité lumineuse moyenne.	37,7	2,00	1,44
Carrels par cheval d'arc.	16,88	13,89	11,12

la production d'électricité est toujours la même, lorsque les lampes éclairent ou lorsqu'elles n'éclairent pas. Si l'on voulait éviter cet inconvénient, il faudrait employer, comme dans les installations fixes, des régulateurs automatiques, agissant sur les balais de la dynamo génératrice, ou introduisant des résistances dans le circuit de son inducteur; malheureusement le système deviendrait alors trop compliqué.

Quand la source d'électricité se compose d'accumulateurs, on peut sans difficulté éteindre une lampe en la mettant hors circuit. On peut aussi augmenter sa résistance et, par suite, diminuer en même temps que son intensité lumineuse l'intensité du courant dérivé qui l'alimente et sa consommation d'électricité. Il est donc préférable d'avoir, pour servir de veilleuse, une lampe spéciale qui se mette dans le circuit par le fait de l'extinction de l'autre lampe. Cette disposition a été adoptée par le « London Brighton Ry ».

La source d'électricité peut être une pile primaire, un accumulateur, une machine dynamo seule, ou enfin une machine dynamo employée concurremment avec un accumulateur.

A. *Piles primaires.* — En mars 1884, MM. Holmes et Burke ont fait essayer, par plusieurs compagnies de chemins de fer anglais, une pile primaire spécialement combinée pour l'éclairage des trains. Cette pile a des électrodes de zinc et de charbon. Les solutions sont de l'acide sulfurique étendu et une solution d'un mélange de plusieurs sels baptisé « oxydone ». M. Langdon, electricien du « Midland Ry », dans une communication faite à la Société des ingénieurs télégraphiques et des électriciens de Londres, a émis un avis favorable sur les résultats des essais¹.

MM. Siemens et Crompton lui ont répondu qu'aucune pile primaire connue ne pouvait produire économiquement l'électricité. Et, en effet, toutes les inventions de piles économiques, annoncées à grand fracas dans ces derniers temps, ont disparu de la scène presque aussitôt après leur apparition, non seulement parce qu'elles ne sont pas économiques, mais parce qu'elles ont le grand inconvénient d'exiger les soins minutieux d'hommes spéciaux. Elles ne sont à leur place que dans un laboratoire.

B. *Accumulateurs.* — Le « London Brighton Ry » a fait en octobre 1881 des expériences où des accumulateurs *Faure*, placés à demeure dans les voitures, étaient la seule source d'électricité. Le chargement se faisait par une dynamo spéciale, placée dans un local spécial et surveillée par un agent spécial : ce qui était d'autant plus dispendieux que le train était immobilisé pendant dix heures.

Des perfectionnements apportés aux accumulateurs permirent bientôt de les enlever facilement pour les recharger et firent ainsi disparaître

1. D'après M. Langdon, les solutions ont duré 10 heures pendant lesquelles la lumière a pu être maintenue. En renouvelant les solutions, la pile continuait à fonctionner, mais il était nécessaire de réamalgamer les zincs deux fois par semaine. Il fallait pour 6 lampes de 5 candles, 15 éléments de pile d'un poids de 100 kilogrammes, occupant un volume de 1m00x0m30x0m30.

une grande partie des inconvénients inhérents à ce système. Néanmoins, la Compagnie préféra adopter un autre système plus économique, celui de Stroudley-Houghton, qui, ainsi que nous le verrons plus loin, combine l'emploi des accumulateurs avec celui d'une dynamo, mue pendant la marche par l'un des essieux.

La « Pennsylvania Railroad Co », aurait, d'après les journaux spéciaux, adopté depuis le commencement de cette année des accumulateurs *Brush* pour l'éclairage de tous les trains de ses lignes.

Le grand avantage de l'emploi des accumulateurs, c'est que l'éclairage de chaque voiture peut être rendu parfaitement indépendant. Il paraîtrait qu'à la « Pennsylvania Railroad Co » l'accumulateur de chaque voiture est constitué de telle sorte, qu'il peut entretenir l'éclairage pendant quinze heures.

Les accumulateurs employés seuls, présentent les inconvénients suivants :

1° Ils donnent lieu à une perte de 40 pour 100 du travail électrique qui aurait été disponible sans leur intermédiaire, ainsi que nous le verrons plus loin en parlant de la traction par les accumulateurs ;

2° Il est nécessaire, si l'on ne veut pas immobiliser le train, de déplacer les accumulateurs pour les charger. Ces déplacements sont onéreux par eux-mêmes et sont une cause d'usure rapide.

C. *Machines dynamos*. — Si, pour les motifs que nous venons d'exposer, on repousse absolument les accumulateurs, on peut produire l'électricité au fur et à mesure de sa consommation par une dynamo actionnée directement au moyen d'un moteur à vapeur à grande vitesse.

Il existe bon nombre de moteurs satisfaisant aux conditions de simplicité de grande vitesse et de facilité d'installation nécessaires à cet emploi particulier¹. Le plus répandu est le moteur *Brotherhood* à trois cylindres. Tous ces moteurs ont l'inconvénient de se détériorer assez rapidement et de donner lieu à une forte consommation de vapeur. En revanche, ils tiennent peu de place et leur marche peut être réglée en fonction de la consommation des lampes par un des régulateurs électriques *Carus*, *Wilson*, *Richardson*, *Cook*, *Westinghouse* ou *Williams*².

Des expériences ont été faites lors de l'exposition de Munich sur la ligne de Munich à Starnberg, pour l'éclairage d'un train au moyen d'une dynamo mue par un moteur *Abraham* à quatre cylindres. La vapeur était fournie par une chaudière spéciale placée sur un wagon plat en queue du train. M. Eugène Sartiaux dit, en rendant compte de ces expériences auxquelles il a assisté :

« Le fonctionnement des lampes à incandescence a laissé beaucoup à désirer et cela devait surtout tenir à la marche irrégulière du moteur qui, comme tous ses similaires, absorbe beaucoup de vapeur et demande une surveillance constante. »

Il semble que ces inconvénients auraient dis-

1. V. la *Lumière Electrique*, 1884. « Les machines à vapeur rapides », par G. Richard.

2. V. *Ibid.*

paru si l'on avait fait usage d'un régulateur électrique du courant de la dynamo.

Des expériences analogues ont été faites en Angleterre par M. *Massey* et l'*Electric Light Co*. Le moteur était du type *Williams*, l'une des machines à simple effet non compound les plus économiques. Il était alimenté par un générateur placé sur un fourgon spécial, afin de ne pas encombrer la locomotive¹.

Il est probable que c'est à cette solution qu'on s'en tiendra le jour où l'on appliquera sur une grande échelle l'électricité à l'éclairage des trains. C'est celle qui est actuellement employée sur les bateaux à vapeur. Remarquons à ce sujet que, sur les navires, les dynamos ont été modifiées de façon à fournir la force électromotrice et le courant voulus, à des vitesses variant de 400 à 650 tours par minute². Les moteurs rapides se comportent alors avec plus de régularité et sont plus économiques. Il est vrai que le poids et les dimensions des dynamos doivent être plus forts, mais cet inconvénient n'est pas majeur.

D. *Machines dynamos et accumulateurs combinés*.

— Aujourd'hui, la solution préférée consiste à placer une dynamo dans un fourgon, à la faire commander par l'essieu d'une paire de roues et à suppléer au manque d'électricité sur les rampes et dans les stations par l'emploi d'accumulateurs.

Pour transmettre le mouvement de l'essieu à la dynamo, plusieurs systèmes ont été proposés. Les transmissions de ce genre doivent remplir plusieurs conditions : elles doivent, si l'on ne veut employer ni commutateurs ni régulateurs spéciaux du courant, pouvoir imprimer à la dynamo une rotation uniforme et toujours de même sens, que le train avance ou recule ; elles doivent aussi fonctionner indépendamment de l'essieu par rapport au fourgon.

On parvient à satisfaire à ces conditions par l'emploi de courroies attaquant les dynamos à l'aide des mécanismes inverseurs comme dans le dispositif de *Hogers*, ou indirectement par des embrayages à friction ou magnétiques cessant de fonctionner quand le train recule soit automatiquement, comme dans l'appareil de *Tommasi*, soit à la volonté du garde ou du mécanicien, comme dans l'appareil de *Starr*. — MM. Stroudley et Houghton ont employé la transmission par un galet intermédiaire appuyé sur le bandage de l'une des roues du fourgon.

Il existe aussi des transmissions sans engre-

1. D'après une communication faite à la Société des ingénieurs télégraphistes et des électriciens de Londres (1^{er} trimestre 1884), les essais auraient réussi. La lumière obtenue aurait été particulièrement économique : elle ne se serait élevée qu'à fr. 0.013 l'ampère-heure de 16 candles, y compris l'entretien et le renouvellement des appareils. Les frais d'installation n'auraient été que de 4,250 francs par train et auraient pu être réduits à 3,000 francs en installant le moteur et la dynamo sur la locomotive. Ce prix semble très bas. D'après les expériences faites jusqu'ici, il ne serait peut-être pas impossible à réaliser dans les installations fixes, à condition que les lampes aient 10 et non pas 16 candles d'intensité.

2. Conférence de M. Jamieson à l'*Institution of Civil Engineers*.

nages (système *Rogers* et système *Boothby*), mais elles doivent être rejetées, parce qu'elles comportent des mécanismes délicats qui ne pourraient fonctionner longtemps dans le tourbillon de poussière qui enveloppe toujours les essieux. On peut en dire autant de la solution de MM. Preece et James, qui consiste à placer sur les essieux des excentriques qui commandent des pompes comprimant de l'air dans des réservoirs, afin de s'en servir pour actionner un moteur *Brotherhood*.

Le redressement des courants, de manière à leur conserver la même direction dans le circuit des lampes quel que soit le sens de la rotation des dynamos, peut s'obtenir très simplement par un aiguillage ou croisement des contacts qui relie le circuit aux pôles de la dynamo. MM. Tommasi et Stern et Billingsby ont des appareils basés sur ce principe. Cet aiguillage peut être effectué par une oscillation du cadre même qui porte les balais de la dynamo, comme dans le dispositif *Volk* et l'appareil de *Stroudley* et *Houghton*.

Généralement la transmission est réglée de façon que la dynamo fasse mille tours par minute quand le train a une vitesse de 32 kilomètres à l'heure. Il faut alors ou bien que la vitesse de la dynamo reste la même lorsque celle du train augmente, ou bien que le courant traversant les lampes conserve la même intensité, quelle que soit la vitesse de la dynamo.

C'est la première solution qui a été réalisée dans les essais de la *Direction des chemins de fer royaux de Francfort-sur-le-Mein*. Nous extrayons ce qui suit du compte rendu des expériences :

« Sous les wagons, au-dessous de la machine « dynamo, se trouvent des cônes tronqués correspondant à de seconds cônes tronqués attachés à l'un des axes du wagon. La forme des cônes tronqués ainsi que le diamètre des poulies sont choisis de manière à rendre constante « la vitesse de rotation de la dynamo quand le « train a une vitesse de 30 à 70 kilomètres par « heure. La transmission de la force aux dynamos et au régulateur (nécessaire par suite « de la vitesse changeante du train) est effectuée « par un rouage alternatif et des poulies assorties. A l'aide d'un gyrotrope instantané, le « circuit dans lequel la machine dynamo est « intercalée, est rompu automatiquement, aussitôt que le train s'arrête ou qu'il va plus « lentement que 30 kilomètres à l'heure; et « dans ce moment, par le même appareil, les « accumulateurs sont intercalés dans le circuit. « Pendant que le train est en pleine course, la « charge des accumulateurs est effectuée, les « lampes étant intercalées. Pendant le jour, les « accumulateurs sont aussi chargés pendant la « course, mais les lampes ne sont plus intercalées. »

Si l'on veut rendre l'intensité du courant des lampes indépendante de la vitesse de la dynamo, plusieurs méthodes se présentent. MM. Stern et Billingsby, ainsi que MM. Stroudley et Houghton, distribuent le courant de la dynamo à une série d'accumulateurs, alternativement

chargés, puis déchargés aux lampes à des intervalles réguliers. Cette solution ne peut donner un rendement plus élevé que celle qui consiste à employer des accumulateurs chargés avant le départ.

M. Tommasi arrive au même résultat par interposition d'une résistance variable avec la vitesse de la dynamo, dérivant aux accumulateurs une partie de son courant telle que le courant des lampes reste invariable. (Expériences de l'Est français et de l'Etat belge.)

M. de Calo introduit dans le circuit des lampes, à l'aide d'un arc de contact dont l'aiguille est manœuvrée par le manchon d'un régulateur à force centrifuge, un nombre d'éléments de piles secondaires variant en raison inverse de la vitesse des dynamos. (Expériences du chemin de fer du Sud autrichien.)

Lorsque la vitesse du train descend en dessous d'une certaine limite (30 kilomètres à l'heure), la force électromotrice du courant produit par la dynamo peut s'abaisser au-dessous de la force contre-électromotrice des accumulateurs. Alors, au lieu de se charger du côté du circuit utile, les accumulateurs ont une tendance à se déverser du côté de la dynamo. Il est donc indispensable d'interposer entre la machine et les accumulateurs un organe propre à opérer automatiquement la disjonction au moment utile. Il en existe plusieurs espèces et nous citerons particulièrement celui du système *Stroudley* et *Houghton* et celui du système *Tommasi*.

Il va sans dire que l'induit de la dynamo est formé de deux enroulements distincts dont l'un forme excitatrice séparée.

Il n'est pas à notre connaissance qu'il ait été possible de charger les accumulateurs sans employer une machine fixe pendant le jour. L'éclairage ne peut donc être économique, d'autant plus qu'il faut un agent spécial dans le fourgon où sont installés les appareils. D'après les mesures faites par la direction des chemins de fer rhénans à Francfort, la lampe-heure de 10 bougies coûterait 10 centimes et les frais de premier établissement seraient de 3,125 francs.

Certains ingénieurs admettent qu'il faut placer des accumulateurs dans chaque voiture, afin que l'éclairage puisse s'y maintenir pendant une ou deux heures en cas de rupture d'attelage ou de séparation du train. C'est l'avis du journal de l'Union des chemins de fer allemands. C'est aussi celui exprimé par le vœu suivant du Congrès des chemins de fer (VII^e question) :

« Il est à souhaiter que dans l'éclairage et le chauffage des voitures les *désirata* suivants soient réalisés :

« Indépendance des voitures dans la mesure « du possible pour le chauffage et l'éclairage, « chaque véhicule portant les approvisionnements qui lui sont nécessaires. »

Il n'est peut-être pas impossible d'arriver à ce résultat, mais, à notre connaissance, cela n'a pas encore été réalisé dans les essais d'éclairage électrique faits jusqu'à ce jour. D'ailleurs, cette objection n'a pas empêché plusieurs exploitations de chemins de fer d'adopter l'éclairage au gaz,

lequel ne permet pas non plus le sectionnement des trains.

Le mélange à volonté des voitures de compagnies différentes est un desideratum auquel il a fallu renoncer pour le moment, à cause de la question des freins continus. Cette question a du reste moins d'importance à cause de l'emploi d'un matériel spécial pour les trains internationaux.

Pour éviter l'emploi toujours coûteux d'accumulateurs, M. Tommasi a proposé un système mixte utilisant l'électricité pendant la marche et le gaz pendant les arrêts. Un petit appareil automatique intercalé dans le circuit général des lampes et faisant l'office de robinet, permet, toutes les fois que l'intensité électrique baisse, de fournir aux becs de gaz la quantité de gaz nécessaire au maintien de l'éclairage normal; quand, au contraire, le courant est assez fort pour alimenter les lampes à incandescence, les becs de gaz se trouvent ne plus brûler qu'à l'état de veilleuse, c'est-à-dire que leur consommation est réduite au minimum. Pour éviter qu'ils ne s'éteignent, une spirale en platine est placée dans la flamme de chacun d'eux; elle est constamment rougie et provoque instantanément le rallumage en cas d'extinction.

Le système de M. Tommasi n'a pas encore été essayé pratiquement; l'économie de 51 pour 100 annoncée paraît tout au moins exagérée.

En résumé, il semble que l'on aura beaucoup de peine à rendre économique l'éclairage par les dynamos et les accumulateurs combinés et que c'est plutôt en commandant directement une dynamo par un moteur placé sur la locomotive que l'on résoudra le problème.

Mais comme la machine ne donne souvent que la quantité de force indispensable à son service de traction, on est conduit en définitive par là à l'idée d'installer dans un fourgon une machine à vapeur spéciale. Celle-ci pourrait dès lors servir aussi à assurer tous les autres services d'un train en marche, chauffage, ventilation, manœuvre des freins, sonneries d'alarme.

Le chauffage électrique peut être réalisé en faisant passer un courant d'une intensité suffisante, dans des résistances qu'il puisse chauffer.

MM. Courcelles et Elu ont fait exécuter au commencement de cette année des expériences dans les conditions suivantes : Une caisse en fer-blanc de 1^m,80 de longueur contenait 36 paires de plaques de plomb placées transversalement à la boîte et reliées en dérivation à deux fils de fer d'assez faible diamètre qui leur amenaient le courant.

D'après le journal *la Lumière Électrique*, en plaçant une bouillote dans chaque compartiment, les expériences ont prouvé qu'il faudrait dépenser 100 kilogrammètres par voiture à quatre compartiments. Pour un train de 10 voitures, il faudrait donc un supplément de force motrice de 15 chevaux.

M. le docteur D. Tommasi avait fait breveter, en décembre 1884, une autre disposition qui paraît plus économique, bien qu'elle n'ait pas encore été expérimentée. Elle consiste à placer les spirales de fer chauffées par le courant au milieu d'une matière possédant une forte cha-

leur latente de fusion (comme l'acétate de soude, cristallisé ou l'hyposulfite de soude) et échauffée préalablement par immersion dans l'eau bouillante.

Le courant n'aurait alors qu'à entretenir la température initiale, et cette tâche serait singulièrement facilitée par la solidification de l'acétate de soude, laquelle comme on le sait, dégage une grande quantité de chaleur.

La ventilation a été spécialement recommandée par le Congrès, seulement il a conseillé de l'effectuer par le système de chauffage. Il semble qu'on pourrait, sans grande dépense, confier le soin d'aérer chaque compartiment à un petit moteur électrique alimenté par le même courant que les chauffeferettes.

Arrivons maintenant à la question des intercommunications entre les voyageurs et les agents des trains.

Le Congrès des chemins de fer a reconnu leur nécessité dans tous les trains ayant de longs trajets sans arrêt. Nous espérons donc que rien ne retardera plus l'établissement de sonneries d'alarmes dans les pays qui n'en possèdent pas encore. Elles sont devenues d'autant plus indispensables aujourd'hui, que l'on généralise peu à peu le reculement des coupons à la sortie des gares, afin d'empêcher les gardes de circuler sur les marchepieds.

Peut-être les intercommunications pourront-elles être combinées avec les freins électriques.

Ceux-ci ne sont pas sans avenir, bien qu'ils n'aient encore été adoptés par aucune grande exploitation. Il faut en convenir, si les freins continus aujourd'hui en usage sont tous des freins à vide ou à air comprimé, c'est que ceux-ci ont été expérimentés en premier lieu. Lorsque les découvertes nouvelles en électricité ont rendu les freins électriques possibles, ils ont trouvé leurs concurrents établis trop solidement pour pouvoir lutter avec eux.

On peut diviser les freins électriques en deux classes :

Les freins à entraînement, où l'électricité n'agit que pour produire un déclenchement et où l'énergie dont on se sert pour produire le serrage est empruntée à la force vive des roues du train; et les freins où l'énergie est entièrement empruntée à l'électricité.

A. *Freins à entraînement.* — M. Regray a fait¹ un exposé des plus intéressants des expériences qui ont été accomplies, sous sa direction, au chemin de fer de l'Est français, pour modifier le frein Achard et le rendre pratique. En 1881, les essais qui n'avaient pas encore entièrement abouti ont pris fin, le Ministère des Travaux publics de France ayant exigé l'emploi immédiat d'un frein continu et la Compagnie de l'Est ayant décidé de s'adresser à la maison Westinghouse.

Le premier type de frein de M. Achard, expérimenté en 1869, se composait d'un axe auxiliaire recevant son mouvement de l'essieu de la façon suivante : un levier soulevé à chaque tour, à l'une de ses extrémités, au moyen d'un excentrique calé sur l'essieu, faisait avancer

1. V. la *Lumière Électrique*, 1883.

d'un cran, par son extrémité opposée, une roue dentée calée sur l'axe auxiliaire. Cet axe était empêché, par une roue à rochet, de tourner en sens inverse.

Il portait également, calé sur lui, un électro-aimant en forme de cylindre. De chaque côté de ce cylindre étaient deux plateaux qui en constituaient les armatures; ces plateaux étaient reliés à deux manchons fous sur l'axe et formant treuils pour les deux chaînes qui actionnaient les freins. Cet appareil, bien qu'il donnât de bons résultats comme serrage et qu'il fût automatique, fut abandonné parce qu'il se composait d'organes trop multipliés et trop délicats. Le levier, notamment, était en mouvement continu; on avait dû ajouter un second électro-aimant pour suspendre son action pendant la marche du train. C'est surtout cette adjonction qui avait apporté des complications par les dispositions accessoires qu'elle avait entraînées.

Un deuxième type de frein fut essayé en 1878. La modification principale consistait en ce que l'axe auxiliaire empruntait son mouvement à l'essieu par l'intermédiaire de deux galets de friction. Quoique beaucoup simplifié, l'appareil comportait des organes en mouvement continu, ce qui devait en rendre l'entretien fort dispendieux.

Dans le type qui est devenu définitif et qui a été combiné avec les facilités accordées par M. Regray en 1879, un électroaimant cylindrique mobile autour de son axe et muni de frettes formant armatures à ses deux bases, est suspendu en face de l'essieu. Quand on fait passer le courant dans l'électro-aimant, les armatures s'aimantent, se collent à l'essieu et sont entraînées dans sa rotation. Dès lors l'axe auxiliaire peut servir directement de treuil aux chaînes. Tous les détails de ce nouveau frein ont été très soigneusement étudiés et de nombreuses expériences ont montré que, dans sa dernière forme, il était puissant, modérable et d'une construction facile, légèrement supérieur, au point de vue de l'énergie, aux freins Westinghouse et Smith. Les essais ont prouvé aussi que la meilleure source d'électricité est une machine Gramme placée sur la locomotive et actionnée par un moteur Brotherhood à trois cylindres. Le frein, il est vrai, n'est plus automatique, mais l'automatisme pourra être réalisé au moyen d'accumulateurs dès que ces appareils auront atteint le degré de perfection désirable.

En dehors des essais de M. Regray, il existe un grand nombre d'inventions de freins électromagnétiques à embrayages. Celui qui paraît avoir donné lieu aux expériences les plus importantes est celui de M. Olensted (1872-1883, « Norths London Ry »). Il se compose d'un axe auxiliaire muni d'un galet de friction, fou sur cet axe, et qui en est rendu solidaire lorsque le courant passe par les armatures d'électro-aimants portés par lui. Cet arbre auxiliaire se met alors à tourner, et comme il sert de treuil aux chaînes de serrages, le frein est mis en action. Les essais entrepris n'eurent pas de suites, bien que, d'après le compte rendu de M. Fox¹, ils eussent été satisfaisants. L'automatisme était

obtenue au moyen de piles locales placées dans chaque voiture et aboutissant aux aimants par un commutateur fixé au plafond; ces piles étaient mises en action par la corde d'inter-communication en cas de rupture de cette corde.

Nous ne parlerons pas des autres freins électromagnétiques à embrayage de MM. Wipple, Duvelius, Conover, etc., parce qu'ils n'ont pas, à notre connaissance, donné lieu à des essais d'une certaine durée. Nous accorderons pourtant une mention spéciale au frein Masui, qui n'est, du reste, pas autre chose que le premier type Achard, dans lequel l'axe auxiliaire n'existe plus. Le cylindre magnétique est directement placé sur l'essieu, ainsi que les manchons qui servent de treuil aux chaînes.

Le frein Masui a été soumis à des essais en Belgique, après que le premier type du frein Achard y avait dû être abandonné à cause de sa complication et de son usure rapide. Les essais ne furent pas continués. Un de ses inconvénients principaux était, semble-t-il, dans la place choisie pour l'électro-aimant qui aimantait nécessairement l'essieu sur lequel il était placé, et l'aimantait d'une façon permanente s'il était en acier. On chercha à lutter contre le magnétisme rémanent, par l'inversion instantanée du courant avant sa rupture; mais ce moyen avait été reconnu insuffisant lorsqu'on cessa les essais.

B. *Freins à transport de force électrique.* — Il existe toute une série de freins de ce genre où l'on a cherché à produire, au moyen d'électro-aimants, une action directe de serrage sur les sabots des roues. On a aussi utilisé l'adhérence de pôles d'électro-aimants sur les bandages ou même sur les rails.

Les freins agissant sur les rails sont depuis longtemps condamnés comme dangereux, particulièrement aux croisements de voie. Dans les essais qui ont été tentés, les autres n'ont donné qu'un serrage excessivement faible. Nous citerons le frein *Sigmund von Sawieski*. Il avait comme principale originalité que l'adhérence magnétique des armatures sur les bandages ne faisait qu'amorcer le serrage qui se complétait par l'arc-boutement de ses armatures en forme de coins, entraînées par le bandage sous des pièces fixées au châssis du véhicule. Ce système a dû être abandonné parce que le serrage était trop brusque et le desserrage des sabots coincés très difficile. Les essais exécutés avec un frein de ce genre sans arc-boutement ont donné un serrage excessivement faible (chemin de fer du Nord, février 1881).

Dans le système de *Sir W. Siemens* et de *A. Boothby*, le frein de chaque véhicule est actionné par une machine dynamo, placée sous ce véhicule. — Toutes les dynamos sont reliées entre elles dans un circuit et mises en mouvement par une dynamo-génératrice installée sur la locomotive.

Chaque dynamo motrice commande, par une transmission de leviers, le mouvement de la rotation de l'arbre servant à serrer les freins. Ces leviers sont reliés à l'arbre par l'intermédiaire d'un manchon, fou sur cet arbre, mais pouvant être embrayé par une griffe. Celle-ci est sous le dépendance de la corde d'intercommu-

1. Society of Engineers, 3 mars 1873.

nication du train, de telle sorte qu'en tendant cette corde le manchon est débrayé et un ressort convenablement disposé commence immédiatement à serrer les freins. La dynamo achève ensuite le serrage automatiquement ou à volonté; dès qu'on lâche la corde, on laisse l'embrayage se refaire. Pour desserrer on intervertit le sens du courant et on fait tourner les dynamos motrices en sens inverse.

Les essais tentés en Écosse, avec ce système, ont réussi, paraît-il. Ils n'ont pas été continués en Angleterre, la plupart des compagnies ayant adopté par mesure générale les freins à air comprimé ou à vide.

Les expériences faites jusqu'aujourd'hui avec le frein Regray ont-elles été assez encourageantes pour en tenter de nouvelles? — Nous le croyons, et vous en jugerez vous-mêmes, Messieurs.

Le rendement ou effort retardeur moyen produisant l'arrêt, en supposant tout le train freiné a atteint 191 millièmes du poids freiné; il a été en moyenne de 150 millièmes avec le train de 12 voitures et des vitesses de 60 à 80 kilomètres à l'heure; le rendement a été de 170 millièmes avec des trains de 6 voitures et des vitesses de 45 à 104 kilomètres. — Or, le frein Westinghouse, d'après les essais faits à la Compagnie de Lyon, n'a jamais dépassé le rendement de 151 millièmes¹, et ce rendement aurait encore été inférieur sur l'Ouest français, d'après le rapport de M. J. Morandière à la Société des ingénieurs civils de France. De plus, sur un train de 12 véhicules, la dépression de l'air comprimé met deux secondes pour passer de la tête à la queue, et avec 24 voitures elle en met quatre, accroissant ainsi de ce nombre de secondes le temps nécessaire (1 1/2 seconde) pour obtenir le serrage en tête. Or, avec le frein Regray, on a trouvé, pour 6 à 16 véhicules, que :

1° Le rendement est indépendant du nombre d'électro-aimants compris dans le circuit et de la vitesse du train;

2° Le rendement dépend de la vitesse de la machine Gramme².

On peut donc conclure à la supériorité sur les autres freins continus des freins électriques du genre Regray s'ils étaient suffisamment perfectionnés³.

L'électricité peut aussi servir sur un train en marche à allumer les fanaux d'avant et d'arrière.

Dès 1875, on avait songé à placer une lampe électrique comme fanal à l'avant des machines. Mais les essais n'avaient pas réussi, aucun régu-

lateur ne pouvant résister aux trépidations de la marche.

MM. Sedladzek et Wikulille, du chemin de fer « Rudolfbahn » (Autriche), ont résolu le problème par la suppression du mécanisme d'horlogerie. Dans leur régulateur, c'est le poids du charbon supérieur qui sert de moteur, et son mouvement est transmis au charbon inférieur par l'intermédiaire d'un liquide. A cet effet, un tube recourbé en forme de U, rempli de glycérine, est fermé par deux pistons dont l'un porte le charbon inférieur, l'autre le supérieur, au moyen d'une potence. Afin que le charbon négatif monte d'une quantité 1 quand le positif descend d'une quantité 2 et que le point lumineux reste fixe, la partie du tube recourbé sur laquelle le charbon négatif est placé a un diamètre double de celui de l'autre partie. Le courant passe dans un électro-aimant qui commande une sorte de robinet de communication des deux parties du tube.

L'inventeur de ce régulateur vient d'être récompensé par le *Verein* allemand.

Dans les expériences faites au chemin de fer du Nord en 1881 et 1882, la lampe Sedladzek était fixée à la cheminée à 3^m38 au-dessus des rails et munie d'un réflecteur parabolique. La source d'électricité était une dynamo commandée directement par un moteur Brotherhood. D'après le compte rendu publié, les résultats ont été les suivants :

« 1° La lampe Sedladzek ne s'éteignait pas en marche aux vitesses ordinaires des express;
« 2° La lumière électrique n'altérait en rien la visibilité et les couleurs distinctives des signaux;

« 3° La voie et les tranchées en avant de la machine étaient parfaitement éclairées et visibles pour le mécanicien à une distance de 250 mètres; un agent placé sur la voie voyait les objets éclairés dans son voisinage lorsque la machine était encore éloignée de 800 mètres, et apercevait le fanal électrique à 1,500 mètres.
« Il ne paraît pas que les mécaniciens des trains croissants aient été éblouis.

« Pour les agents placés sur la voie, il y a quelques réserves à faire au sujet de la gêne que pourrait leur causer l'éblouissement produit par leur brusque passage du cône de lumière dans le cône d'ombre. »

S'il était nécessaire d'éclairer une zone plus étendue en avant de la machine, il serait facile de le faire en employant les projecteurs Mangin, construits par MM. Sauter et Lemonnier. Mais le prix de l'installation serait augmenté¹.

Les ingénieurs du Nord ont admis qu'il pourrait être utile dans quelques cas spéciaux d'installer l'éclairage électrique sur une locomotive de secours, mais il ne leur a pas paru que cet éclairage eût une utilité suffisante en service courant pour justifier la dépense de 3 000 francs par machine qui en serait résultée. Ils se sont même demandé si le foyer électrique ne serait pas mieux placé à l'arrière des trains, puisque ces derniers sont précisément les obstacles les

1. Rapport de M. Gérard dans le *Mémorial des chemins de fer de l'Etat belge*.

2. Le rapport de M. Regray ajoute que le temps perdu pour amorcer la machine Gramme est inappréciable. Il y a lieu de faire quelque réserve à ce sujet. Quoi qu'il en soit, si le temps n'est pas négligeable, il n'est nullement impossible de le rendre tel, par l'emploi d'accumulateurs, par exemple.

3. Les journaux spéciaux de la fin de l'année dernière ont publié la nouvelle que des essais d'un frein électrique étaient en cours au chemin de fer de la haute Italie entre Turin et Orbassano. Un train animé d'une vitesse de 15 milles à l'heure aurait pu être arrêté en six secondes sur une distance de 20 mètres. Nous n'avons pu obtenir d'autres détails.

1. Voir les *Appareils de projection de lumière électrique*, par L. Weissenbruch. Bruxelles, Mucquardt.

plus dangereux qu'on puisse rencontrer sur la voie.

La question semble en être au même point en Allemagne, où des expériences ont été faites, notamment sur la ligne de Munich à Tolz et celle de Strasbourg à Wissenburg.

En Autriche, d'après les informations des journaux spéciaux d'août 1884, plusieurs locomotives de l'État ont été pourvues de feux d'avant électriques, mais il faut interpréter ce fait simplement dans ce sens que l'on a voulu y continuer les expériences.

La dixième assemblée technique de l'Union des chemins de fer allemands (juillet 1884) s'est occupée de la question. Elle avait été rédigée dans les termes suivants :

Fait-on usage de la lumière électrique pour les signaux des trains ou de la voie? Quels sont les résultats obtenus?

La conclusion proposée par la Direction I. R. des chemins de fer de l'État à Vienne a été la suivante :

« Jusqu'ici, l'usage de la lumière électrique pour les signaux des trains n'a eu lieu que sur une échelle très restreinte; on ne l'a pas encore employée pour l'éclairage des signaux de la voie. Il n'est donc pas possible de porter un jugement sur l'emploi de cette lumière pour les signaux en question. »

En Amérique, il paraîtrait que le chemin de fer de Chicago à Saint-Paul aurait adopté les fanalons électriques d'une manière définitive, mais on sait que les nécessités de l'exploitation aux États-Unis et en Europe sont tout à fait différentes.

Voilà, d'après nous, toutes les manières dont l'électricité peut être appliquée au service des trains en marche. Mais les Américains ne se sont pas arrêtés là. Reprenant récemment un problème depuis longtemps abandonné dans la vieille Europe, celui de la communication électrique directe des trains en marche entre eux et avec les stations, ils ont installé sur la locomotive une magnéto mue par la vapeur et un poste téléphonique. Un bras réglable à volonté met le poste en communication avec un fil tendu le long de la voie et n'ayant aucun contact avec la terre si ce n'est aux stations où des dérivations peuvent être reliées au réservoir commun. Cette invention n'est, bien entendu, pas encore passée dans le domaine de la pratique.

C'est sur le *Michigan central Railway* que les expériences ont été faites.

« S'il y a deux locomotives sur les mêmes rails », disait le journal qui en rendait compte, « les deux sonneries fonctionnent. A ce signal,

les deux mécaniciens s'arrêtent et entrent en communication au moyen de leurs téléphones. »

C'est là un mode d'exploitation qui peut être praticable en Amérique, mais qui certes ne l'est pas en Europe.

On peut faire la même observation pour le système de M. Phelps, installé en ce moment à titre expérimental, paraît-il, sur une section de ligne à une voie de 12 milles de longueur, entre Harlem-River et New-Rochelle Junction sur le « New-York, New-Haven and Hartford Railroad. » D'après le journal *The Electrical World* du 21 février 1885, voici la description du système :

« Le principe sur lequel l'invention entière est basée, est l'induction que peut exercer, sur les parties rapprochées de lui d'un circuit mobile avec un train, un courant traversant un conducteur fixe placé le long d'une voie de chemin de fer, et cela à distance et sans aucun contact.

« Ainsi si un courant est envoyé à travers le fil AA' (fig. 9), un courant induit est envoyé dans la bobine CB,

et celui-ci peut servir à actionner un parleur par l'intermédiaire d'un relai. — Bien que l'emploi d'un courant induit ne soit pas un principe nouveau, son application au cas particulier dont il s'agit constitue en réalité une invention ainsi que le reconnaissent les brevets

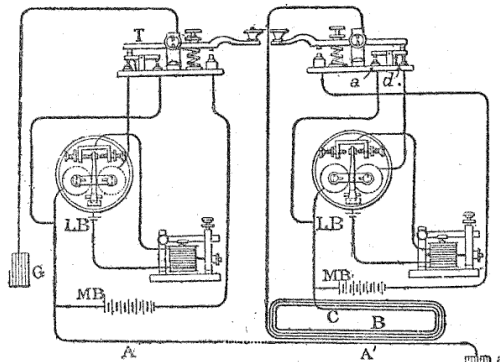


Fig. 9.

accordés.

« La figure 9 montre la disposition générale du système dans le poste fixe (partie de gauche) et dans le train en marche (partie de droite). Quelques modifications y ont cependant été apportées, comme on verra tantôt. Ainsi le poste fixe est muni, outre la batterie et le manipulateur inverseur, d'un téléphone — au lieu du relai et du parleur représentés par la figure.

« Le conducteur fixe est placé au milieu de la voie entre les deux rails. C'est un gros fil de cuivre isolé au moyen d'*okomite* et placé dans une gaine en bois, dont la partie supérieure est à un niveau un peu moins élevé que le dessus des rails. — M. Phelps a combiné une machine pour raboter les traverses au même niveau et faciliter le placement de cette gaine.

« Aux croisements et aux changements de voie on emploie des dispositions particulières qu'il serait trop long de dire ici, et qu'il est facile d'imaginer.

« Le fourgon spécial, muni du système inducteur, est un fourgon ordinaire. La seule chose que l'on remarque à l'extérieur est un tube de caoutchouc de deux pouces de diamètre, sus-

pendu au-dessous du fourgon sur toute sa longueur (10 mètres environ) en regard du conducteur fixe et à sept pouces de distance de ce dernier. Ce tube remonte le long des flancs de la voiture et l'entoure entièrement de façon que l'autre partie parallèle à la voie en soit éloignée le plus possible. Il contient 90 enroulements de fil de cuivre de 1mm de diamètre, isolé au moyen de coton tressé et paraffiné. La longueur totale de ce fil est ainsi de 2,475 mètres environ dont près de 1,000 mètres sont très près du conducteur fixe et soumis à son influence inductrice. L'une des extrémités du fil est reliée au manipulateur du poste télégraphique placé dans le fourgon; l'autre extrémité va à la pile.

« Le poste mobile est muni outre le manipulateur d'un buzzer ou vibreur, d'un parleur (*sounder*), d'un relai

polarisé et d'une batterie de cinq éléments dont l'un constitue la batterie locale. Les bouts de la bobine sont amenés au manipulateur, l'un directement à l'axe, l'autre au contact extrême par l'intermédiaire d'un relai polarisé dont nous parlerons plus loin. — Ce relai sert de récepteur

en fermant le circuit de la batterie locale sur le parleur, lequel est placé sur une caisse sonore. — Pour la transmission des télégrammes par le train en marche, le courant des quatre éléments est lancé par le contact antérieur du manipulateur dans la bobine et le buzzer. Celui-ci produit des interruptions du courant si rapides que le simple clic qui serait produit sans lui est transformé en un fort bourdonnement. Les interruptions vibra-

toires du courant induisent des courants interrompus semblables dans le fil fixe de la voie, et

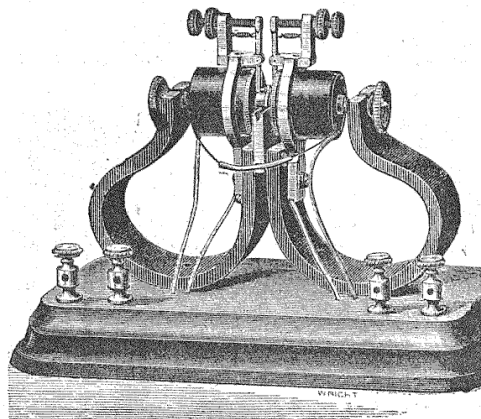


Fig. 10.

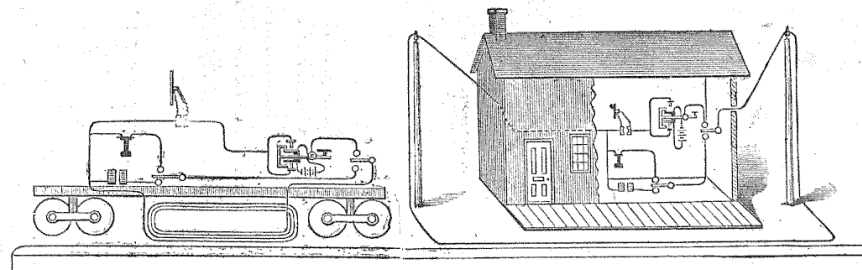


Fig. 11.

le télégraphiste du poste fixe peut parfaitement recevoir au son, au moyen d'un téléphone, les signaux Morse transmis.

« Quand on veut recevoir un message dans la voiture, l'opérateur du poste fixe agit sur son manipulateur, et les interruptions du courant sont répétées par induction dans le circuit de la bobine du train où ils viennent agir sur le relai. Le parleur produit des clics perceptibles à 3 mètres de l'appareil même quand le train est lancé à toute vitesse. »

« Il est évident que la station pourrait aussi employer un relai au lieu d'un téléphone, mais ce dernier instrument est préférable parce qu'il

n'exige dans le fourgon du train que la présence d'une faible pile. D'autre part le téléphone aurait pu être employé dans le fourgon, mais les bruits confus qui se produisent toujours sur un train en marche auraient nui à la facilité de la réception. — L'emploi d'un relai était donc nécessaire; mais il fallait qu'il fût à la fois très sensible aux courants induits et très insensible aux chocs et aux vibrations du fourgon. Ces deux conditions sont remplies par le relai de M. Phelps, représenté par la fig. 10.

« Ainsi qu'on le voit cet appareil se compose de deux aimants recourbés, dont les pôles « Sud » sont reliés et prolongés par une pièce en fer

doux dans laquelle est creusée une chape en forme de V.

« Dans cette chape se meut une armature en fer doux. Autour des pôles « Nord » des aimants sont enroulées deux bobines de fil fin. L'armature a la forme d'une petite pièce de monnaie dont un segment a été enlevé de façon à former un couteau qui puisse prendre place dans la chape en V. La course de l'armature est limitée par deux petits leviers de cuivre servant de buttoirs. La position de ces leviers peut être réglée au moyen de vis et de ressorts d'une façon analogue à l'armature des appareils Morse ordinaires. — L'insensibilité du relai aux chocs provient de la petite masse et de la faible course de l'armature en même temps que de l'intensité du champ magnétique dans lequel elle est placée.

« On n'a pas encore cherché à établir la communication entre deux trains, mais nous ne doutons pas qu'elle ne puisse être réalisée. Actuellement cette communication ne paraît d'ailleurs pas désirable.

« La fig. 9 a déjà montré l'établissement des communications dans le cas où le poste fixe est une station terminus.

« La fig. 11 est un diagramme pour une station intermédiaire. On voit que cette station reçoit et transmet les courants comme la voiture mobile elle-même au moyen d'un circuit induit d'autant plus facile à établir que sa longueur n'est pas limitée par une distance fixe : comme celle de la bobine du fourgon l'est par l'écartement des essieux.

« Dans le cas des expériences actuelles, le courant envoyé du poste fixe dans la ligne a une intensité de $1\frac{1}{2}$ ampères environ. Le manipulateur est un manipulateur inverseur ; il est évident que son emploi n'est pas absolument nécessaire, car les courants induits dans le circuit du fourgon sont renversés à l'ouverture et à la fermeture du circuit inducteur de la voie. Cependant le manipulateur inverseur augmente l'effet produit.

« La fig. 12 montre la disposition des appareils à l'intérieur du fourgon.

La ligne sur laquelle se font les expériences a 12 milles de longueur dont 3 milles sur chevalets. Il y a douze stations sur la route ; deux ponts tournants sur des rivières nécessitent l'emploi, l'un d'un câble de 110 pieds, l'autre d'un câble de 175 pieds. Il existe de plus 47 passages à niveau (dont l'un a 65 pieds de longueur) où le conducteur passe dans les tubes en fer. »

Voici également un extrait d'une lettre écrite

de Philadelphie par feu M. l'ingénieur de l'Administration des Télégraphes belges, Bertin, et datée du 7 mars 1885. J'en dois la communication à la bonne obligeance de M. Evrard, ingénieur en chef, chef du service technique des Télégraphes.

« J'ai eu l'occasion d'essayer le système de M. Phelps. Les grandes lignes de ce système sont décrites dans le numéro du 21 février 1885 de *l'Electrical World* ; je crois inutile de reproduire ce qui est déjà dit dans ce journal, et je me contenterai de donner, avec mon appréciation, quelques détails techniques complémentaires.

« La pile employée au poste fixe se compose de 150 éléments au bichromate

donnant une force électro-motrice de 300 volts environ, et celle du fourgon se compose de 12 éléments Leclanché.

« Pour traverser les ponts tournants, le fil passe par câble au fond de la rivière. A cette distance les signaux n'agissent plus sur le relai, bien qu'ils actionnent encore un téléphone. C'est un inconvénient : M. Phelps m'a dit avoir pris une patente pour faire passer le courant dans le câble quand les ponts sont ouverts et par le fil posé entre les voies quand il est fermé : c'est en somme un commutateur automatique qu'il va employer.

« Le jour où j'ai visité l'installation, le 6 mars, tout marchait bien, c'est-à-dire que j'ai pu envoyer des télégrammes et en recevoir pendant tout le parcours du train depuis New-York (Harlem River) jusque New-Rochelle Junction.

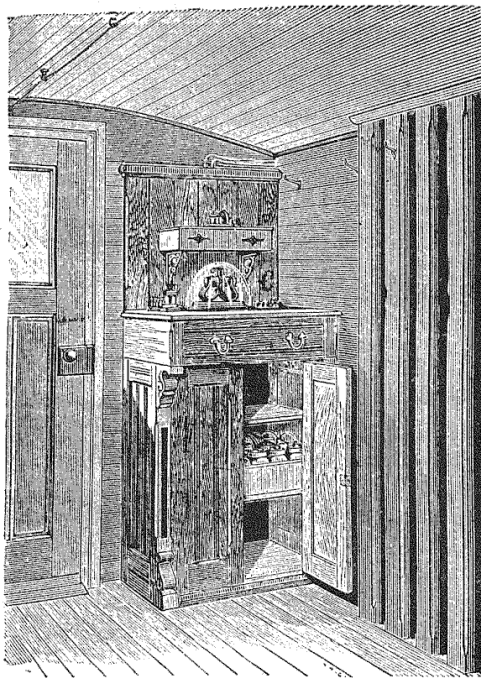


Fig. 12.

« Quant au relai, les chocs violents comme ceux que l'on ressent dans le fourgon d'un train en marche sont incapables de produire le moindre déplacement de son armature, et cependant, il est si sensible électriquement qu'il fonctionne admirablement sous l'action des courants les plus faibles. Aussi les signaux reçus dans le train étaient-ils parfaits.

« Mais il n'en était pas de même pour les signaux reçus à la station, la pile de 12 éléments Leclanché qui se trouve dans le fourgon est trop faible pour permettre au courant induit, reçu à la station, d'actionner les relais convenablement. Il faut, pour que les signaux ne soient pas coupés, que l'opérateur du train ralentisse la vitesse de sa transmission. Cependant au moyen d'un téléphone, l'employé recevrait parfaitement les signaux envoyés du train.

« À ce propos j'ai constaté que l'induction télégraphique produite par les fils aériens sur le fil qui se trouve au milieu de la voie était très perceptible au téléphone raccordé à ce dernier fil.

« Il y a donc à améliorer la réception aux postes fixes. M. Phelps espère arriver à ce résultat en plaçant les induits à 12 centimètres du fil inducteur au lieu de les mettre à 30 centimètres, comme cela existe actuellement. Il pourrait augmenter la batterie du fourgon, mais il estime qu'il est préférable de recourir au téléphone comme récepteur. Il y aurait donc un employé installé à chaque gare, et ayant en permanence un téléphone à l'oreille, ce qui me paraît beaucoup trop coûteux.

« En résumé, pour des lignes à simple voie, ce système peut fonctionner, mais à la condition d'avoir un employé télégraphiste à chaque station et dans chaque fourgon.

« Si le courant envoyé d'un train vers la station est déjà trop faible pour l'application actuelle, il l'est évidemment à fortiori pour permettre aux trains de communiquer entre eux. Si donc un message doit être transmis d'un train à un autre, cette transmission devra se faire par l'intermédiaire d'une station.

« Qu'arrivera-t-il quand on appliquera le système Phelps à une ligne à double voie ?

« L'inventeur n'a pas encore fait d'essais dans ces conditions. Mais il est à prévoir que l'induction qui se produira entre les deux fils inducteurs aura une force suffisante, peut-être, pour actionner les relais dans les fourgons des deux trains et, certainement, pour faire parler les téléphones récepteurs des stations.

« Cette objection a paru contrarier un peu M. Phelps, et il m'a dit qu'il espérait surmonter cette difficulté en employant des circuits complets pour les circuits inducteurs.

« Je doute qu'il arrive à une solution convenable par ce moyen : il tournera dans un cercle vicieux.

« Il résulte donc de l'examen de ce système, qu'il n'est pas encore assez mûr pour la pratique.

« Tel qu'il est, il peut servir dans le cas d'une ligne à simple voie si l'on ne se sert pas des fils télégraphiques pour la téléphonie à longue distance. Mais il est dès à présent très probable

que les systèmes Van Rysselberghe et Phelps ne feront jamais bon ménage ensemble.

« Puisque dans une application à une voie de 12 milles, j'ai pu percevoir les signaux Morse de la ligne télégraphique parallèle à la voie, à plus forte raison entendrai-je, sur les fils télégrapho-téléphoniques, les signaux envoyés sur le conducteur placé entre les rails. »

Le système du « Michigan central Railway » et celui du « New-York New-Haven and Hartford Railroad » sont certainement fort ingénieux. Nous ne croyons pas cependant que dans l'état actuel des nécessités de l'exploitation des chemins de fer, la solution du problème de la communication directe des trains en marche entre eux et avec les stations doive être poursuivie, et la Commission d'Enquête française de 1879, sur les moyens de prévenir les accidents de chemins de fer, s'est prononcée catégoriquement dans ce sens.

Et, en effet, quelle est la garantie de sécurité nouvelle que donnerait cette communication et qui ne pourrait être obtenue mieux et à moins de frais par d'autres moyens ? C'est peut-être d'empêcher le danger d'une collision entre deux trains engagés en sens contraire *sur une voie unique*. Car, en ce qui concerne la communication des trains en détresse, elle peut, sans conteste, être obtenue fort aisément par des postes de secours et, quant à l'annonce des trains aux passages à niveau, elle peut se faire très facilement par les stations au moyen de cloches allemandes.

Or, le danger d'une collision, seule éventualité à laquelle il reste à obvier, est, il faut en convenir, bien rare ; des appareils qui ne devraient servir que pour un cas aussi exceptionnel seraient fort probablement mal entretenus et hors d'usage au moment opportun.

Le danger d'une collision est d'ailleurs aussi évité, dans une certaine mesure, sur les lignes à simple voie, par les signaux des cloches allemandes, qui peuvent avertir les mécaniciens de deux trains qu'ils marchent à la rencontre l'un de l'autre.

En ce qui concerne les lignes à double voie, les blocks résolvent suffisamment la question de la sécurité des trains en marche, et les blocks automatiques peuvent même être considérés comme réalisant la communication des trains entre eux et avec les stations, bien qu'ils l'effectuent par l'intermédiaire des postes échelonnés le long de la voie.

Pour terminer l'examen des applications de l'électricité aux chemins de fer, il nous reste à étudier la traction électrique des trains et l'éclairage électrique des gares.

Les locomotives des grands chemins de fer seront-elles un jour mues par l'électricité ? Vous savez tous, Messieurs, où en est aujourd'hui la question de la traction électrique des tramways, les essais de l'Exposition d'Anvers ayant attiré l'attention d'une manière toute spéciale. Je crois que je puis dire, sans crainte d'être contredit, que ce mode de traction n'est pas encore sur le point de se substituer aux chevaux ou aux petites locomotives des chemins de fer à voie étroite.

Les partisans des tramways électriques se divisent en deux groupes : les uns veulent transmettre l'électricité aux tram-cars par des conducteurs et des balais, et les autres veulent la condenser dans des accumulateurs dont ils chargent les véhicules.

La première solution paraît théoriquement plus économique que la seconde.

Des expériences de M. Deprez ont, en effet, prouvé qu'on peut transmettre par un conducteur électrique :

7 chevaux à 14 kil. avec un rendement de 60 p. c.

40 chevaux à 58 kil. avec un rendement de 50 p. c.

Admettons donc d'une part le chiffre de 50 p. c. qui n'est pas contesté pour une installation parfaite.

D'autre part, nous pouvons admettre aussi que le rendement maximum des accumulateurs (c'est-à-dire le rapport du travail électrique produit par la décharge au travail électrique absorbé par la charge) est de 60 p. c.

Ce chiffre résulte du rapport sur les accumulateurs Faure, présenté par MM. Allard, Leblanc, Joubert, Potier et Tresca, à la suite d'expériences exécutées en janvier 1882 au Conservatoire des Arts et Métiers. Il a été vérifié depuis par de nombreux expérimentateurs. Ainsi MM. Monnier et Guillon, à la suite de leurs études faites sur les accumulateurs Faure-Sellon-Volckmar, — précisément au moment où ils servaient aux expériences de traction électrique de M. Philippart (octobre 1883) — MM. Monnier et Guillon, dis-je, ont trouvé le chiffre de 62,44 p. c. et MM. Pichet, Hospitalier et Jousset sont arrivés au chiffre de 63 p. c. M. Tamine seul prétend avoir atteint 70 p. c. (1885) ¹.

Depuis lors, aucun chiffre nouveau n'a été publié. Quelques inventeurs ont parlé, il est vrai, de certains perfectionnements dont le résultat devait être d'augmenter le rendement. Mais ils se sont gardés de les décrire et la quantité de l'augmentation n'a été constatée nulle part.

Nous pouvons donc affirmer que le chiffre de 60 p. c. n'est pas discutable.

Admettons que 70 p. c. soit à la fois le rendement de la dynamo génératrice et celui de la dynamo motrice (c'est un maximum). Le rendement final sera $0.70 \times 0.60 \times 0.70 = 0.29,4$ ou 30 p. c. en chiffres ronds.

Ainsi en supposant des deux côtés des installations parfaites, les accumulateurs ne peuvent donner qu'un rendement final de 30 p. c., tandis qu'une transmission directe peut donner 50 p. c. et même peut-être 60 p. c.

Examinons donc d'abord comment on a essayé de résoudre le problème de la traction électrique par transmission directe, la source d'électricité étant une dynamo fixe.

Bien que le principe de la réversibilité des générateurs électriques eût déjà donné lieu,

1. On trouvera des renseignements détaillés dans le *Traité pratique d'électricité industrielle* de MM. Cadiat et Dubost (1885) et dans les *Recherches théoriques et pratiques sur les accumulateurs électriques*, par M. René Tamine (1885).

depuis plusieurs années, à des applications du transport de la force à distance, notamment à Vienne en 1873, ce ne fut qu'en 1879, à l'exposition de Berlin, qu'apparut le premier chemin de fer électrique. Pourtant, comme chacun le sait, le principe d'un pareil chemin de fer est des plus simples, puisqu'il ne s'agit que de faire tourner les roues d'un véhicule et que le mouvement produit dans une machine dynamo-électrique est précisément un mouvement de rotation. Tout le mécanisme se réduit donc à une dynamo fixe génératrice et à une dynamo motrice portée par la voiture. La seule difficulté, c'est la transmission du courant à la réceptrice, tandis qu'elle se déplace et s'éloigne de la génératrice. Nous verrons plus loin comment on a cherché à la résoudre.

Dynamo génératrice. — Nous avons peu de chose à dire des dynamos génératrices. Tous les types conviennent, pourvu qu'ils aient un rendement suffisant. En accouplant les machines dont on dispose, en quantité ou en tension, on pourra toujours rendre disponible le courant nécessaire. Les expériences de M. Marcel Deprez ont démontré qu'il est nécessaire de faire usage de tensions élevées pour vaincre l'accroissement de la distance, lorsqu'on ne peut augmenter suffisamment le diamètre des conducteurs.

Au lieu d'obtenir ces tensions par l'accouplement de plusieurs petites machines, il y a avantage à employer des machines de grandes dimensions. Les expériences de Creil semblent l'avoir démontré. Dans le cas particulier d'un chemin de fer de ville qu'il faut pouvoir arrêter fréquemment et rapidement, l'emploi des hautes tensions présente pourtant des difficultés sérieuses, car il exige une grande prudence autant pour la sécurité des personnes chargées de manier les machines que pour la conservation des machines elles-mêmes. En effet ¹, lorsque la résistance du circuit ou de la vitesse d'une machine vient à varier brusquement, l'intensité du courant acquiert une valeur énorme. La chaleur développée peut détruire les isolants et mettre les machines hors de service. Aussi est-il nécessaire pour la mise en marche ou l'arrêt des appareils, de prendre des précautions spéciales, telles que l'introduction ou la suppression de résistances auxiliaires ².

Dynamo motrice. — La dynamo motrice est toujours portée par un des véhicules qui sert au transport des voyageurs, afin d'utiliser l'adhérence de ce véhicule. Lorsqu'on forme des trains de plusieurs voitures, on peut placer une dynamo de grande dimension sur un seul véhicule qui devient une vraie locomotive, ou bien mettre

1. V. Rapport de la commission de l'Académie des sciences chargée d'examiner les expériences de M. Deprez au chemin de fer du Nord, en 1883.

2. A Offenbach il y a 4 machines dynamo-électriques à double enroulement tournant à la vitesse de 600 tours par minute. Elles ont une hauteur de 2 mètres. Le diamètre des anneaux est de 45 centimètres et leur longueur de 70 centimètres; la tension électrique est de 600 volts. Généralement il y a 4 wagons en route et 2 machines dynamos couplées en quantité servant à engendrer le courant. La ligne a 6,500 mètres. Quand les wagons sont couplés deux à deux, on se sert de 3 dynamos génératrices.

un moteur sur chaque voiture. Ce dernier système a été proposé par Edison en 1882. Il est économique, car il fait servir pour l'adhérence motrice le poids du train tout entier.

La transmission du mouvement de la dynamo motrice à l'essieu d'une paire de roues se fait par une chaîne de Galle ou, dans les systèmes les plus récents, par une courroie de feuilles d'acier. En Amérique, MM. Reckenzaun, Ward et Edison se sont servis de la transmission elle-même pour faire varier la vitesse par l'emploi, soit d'un axe auxiliaire dont la distance à l'essieu était variable, soit de deux transmissions différentes accolées et pouvant se substituer l'une à l'autre.

Frein. — Une heureuse propriété des machines dynamos, fait que l'électro-moteur agit comme frein lorsque sa vitesse augmente. En effet, la force contre-électro motrice de la dynamo motrice croît alors aussi, produisant dans le circuit de la génératrice le même effet que si l'on y introduisait des résistances croissantes. Pour le faire comprendre, supposons la locomotive immobile sur un plan horizontal. Au moment du départ, le moteur ayant à vaincre l'effort du démarrage tourne très lentement. Ce courant générateur n'étant que très peu contrarié, est très fort et permet de mettre la machine en mouvement. Une fois la voiture lancée, il n'y a plus à vaincre que les frottements. Un courant d'intensité beaucoup moindre suffit donc. Le surplus de cette intensité sert à augmenter progressivement la vitesse du moteur; mais la force contre-électro-motrice de celui-ci, augmentant en même temps, le courant produit par la génératrice diminue jusqu'à ce que le véhicule ait pris une vitesse uniforme et que le courant n'ait plus que la valeur nécessaire pour vaincre les frottements.

Si la voiture doit descendre une pente, la pesanteur accélère le mouvement de la dynamo motrice. Il peut arriver alors que sa force contre-électro-motrice soit plus forte que celle de la génératrice et le sens du courant peut être renversé; la machine réceptrice agissant pour produire du travail tend à ralentir la marche du véhicule. Pour produire l'arrêt, il faut interrompre le courant. Si cette interruption avait lieu brusquement, il jaillirait des étincelles qui pourraient endommager le collecteur. Pour empêcher cet inconvénient, on fait arriver le courant par l'intermédiaire d'un levier de manœuvre. Des résistances sont intercalées graduellement dans le circuit par le mouvement même du levier. Celui-ci sert aussi à intervertir la position des balais de l'électro-moteur et à renverser le sens du courant, soit pour produire le changement de marche, soit pour servir de frein.

Transmission du courant : 1° Par une barre isolée et les rails. — On peut envoyer le courant par une barre métallique¹ isolée, placée à mi-

distance des deux rails, et le faire revenir par ces derniers qui n'ont pas besoin d'être séparés de la terre¹. Afin d'assurer un bon contact, les frottements qui empruntent le courant à la barre doivent être à ressort².

Ce système présente des inconvénients si la voie doit être traversée par le public, parce que une dérivation établie par un chariot arrête le tramcar et que les chevaux peuvent recevoir des secousses électriques. Puis, lorsque les rails se recouvrent de boue, ils sont isolés des roues et ne constituent plus une bonne « terre » pour l'électro-moteur.

Ces inconvénients n'existent pas pour les chemins de fer aériens³.

2° Par les rails seuls. — On peut envoyer le courant par l'un des rails et le faire revenir par l'autre. Ce système présente, outre les inconvénients du précédent, celui que les rails doivent tous deux être parfaitement isolés⁴. En Amérique, MM. Edison et Daft avaient tous deux jugé nécessaire d'augmenter la conductibilité des rails, le premier par quatre fils de cuivre serrés l'un contre l'autre par un éclissage, le second par une âme du même métal.

3° Par un caniveau souterrain.⁵ — Dans ce système, le conducteur métallique est placé sur isolateurs dans un caniveau analogue à celui des tramways funiculaires. Un petit chariot muni de collecteurs circule dans le canal, et des plaques de cuivre passant à travers la fente longitudinale amènent le courant au tramcar. Le caniveau sert de rail central à la roue motrice. Les autres roues sont simplement porteuses, comme dans le système bien connu de Larmengeat⁶.

4° Par des conducteurs aériens. — C'est aux conducteurs aériens qu'il faut avoir recours chaque fois que la voie placée à ras du sol est traversée sur une grande partie de son étendue par les voitures et le public. M. Siemens forme son conducteur d'un tuyau de cuivre fendu longitudinalement et suspendu à des isolateurs par

1. Le premier tramway électrique, celui de l'exposition de Berlin de 1879, était ainsi établi.

2. On peut employer des brosses métalliques en cuivre ou des ressorts arqués d'acier (système Trail en usage à Portrush).

3. Ce système a été adopté pour les chemins aériens de New-York et aussi pour le chemin de fer routier de Bushmills à Portrush (nord de l'Irlande), parce que la voie qui a une longueur de 10.5 kil. a pu être placée sur l'accotement d'une chaussée et protégée par un exhaussement en granit. Aux deux ou trois passages à niveau qui existent, le troisième rail est remplacé par un conducteur enterré et le tramcar continue sa course en vertu de la vitesse acquise.

4. Ce système est celui du chemin de fer de Berlin à Lichterfelde (2.5 kil.). Les pertes de courant y sont assez sensibles. A l'exposition de Vienne, où l'on avait employé le même système, la partie de la voie ferrée qui traversait la rue était normalement isolée du reste de la voie. Elle était mise dans le circuit automatiquement au moment du passage du train.

5. Ce système, combiné par M. Holroydsmith, a été essayé à Moorside, près d'Halifax, dans le Yorkshire. M. Trail, l'ingénieur du chemin de fer de Portrush, est l'inventeur d'un système analogue où les collecteurs sont des ressorts arqués comme ceux qu'il emploie à Portrush.

1. Cette barre est généralement en fer. Pourtant dans certains cas particuliers on l'a faite en cuivre lorsque le tramway avait peu de longueur. Même au petit chemin de fer qui, au camp de Wimbledon, sert à transporter les tireurs depuis le mât du drapeau jusqu'aux cibles, on s'est servi de deux bandes de cuivre, l'une amenant le courant, l'autre servant au retour.

l'intermédiaire de câbles d'acier. Une pièce de contact est engagée dans le tuyau et son mouvement de glissement est facilité par un petit chariot maintenu par des ressorts et roulant le long du conducteur. A chaque croisement de voie, il suffit de bifurquer le tuyau ¹.

On a aussi recours aux conducteurs aériens dans les mines où le sol est humide. On les forme alors de poutrelles en simple T suspendues à la voûte au moyen d'isolateurs à double cloche en ébonite ².

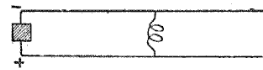


Fig. 13.

Montage des conducteurs. — Dans les premiers essais, le moteur était toujours placé en dérivation sur les deux conducteurs partant de la machine (fig. 13).

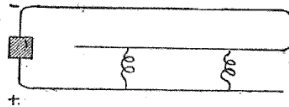


Fig. 14.

Lorsque la voie a une certaine longueur, une difficulté surgit : au départ, la dynamo réceptrice est tout près de la génératrice ; à mesure qu'elle roule, une longueur de rails de plus en

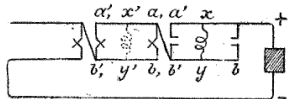


Fig. 15.

plus grande s'allonge entre elles deux, en sorte que les conditions dans lesquelles le transport se fait sont continuellement variables et de plus en plus désavantageuses. Dans les chemins très courts, cet inconvénient est faible, surtout lorsqu'on se sert de rails à grande section pour amener le courant. Avec des conducteurs aériens il devient très sensible. Pour y remédier, on peut adopter le montage en dérivation par opposition (fig. 14), ainsi appelé parce que le second conducteur est relié à la machine par l'extrémité qui lui est opposée. La résistance du circuit reste alors toujours la même, mais elle est aussi toujours très grande. D'ailleurs, dans l'un et l'autre cas, s'il y a deux moteurs sur la ligne, l'intensité du courant qui les traverse n'est que la moitié de celle du courant de la génératrice. Le calcul prouve qu'au

1. C'est ainsi qu'a été établi le tramway de l'exposition de Paris de 1881 et celui de Francfort à Offenbach.

2. C'est le système des mines de Hohenzollern.

point de vue du rendement la disposition la plus avantageuse est le montage en tension. Le courant traverse alors tout entier les machines qui se trouvent sur les diverses parties de la ligne.

Lorsque le tramcar passe de la position xy à celle $x'y'$, il produit automatiquement le rétablissement des communications ab et $a'b'$ et la rupture de celles a_1b_1 , a_1b_1 (fig. 15).

Un autre montage en tension peut encore être employé, c'est celui d'Ayrton et Perry (fig. 16). La voie est divisée en sections d'une longueur un peu inférieure à celle du train, réunies par des ponts qui sont normalement fermés. Le premier véhicule du train ouvre le pont et force ainsi le courant à passer par la dynamo motrice ; le dernier véhicule le referme.

Les tramways électriques à source d'électricité fixe paraissent, à première vue et théoriquement, devoir être plus économiques que les tramways à vapeur. En effet, une petite machine à vapeur brûle au moins 3 kilogr. de charbon par heure et par cheval, tandis qu'avec une machine de 100 chevaux il ne faut qu'un kilogramme par heure et par cheval. La perte est donc de 2 kilogrammes sur 3, c'est-à-dire de 66.7 p. c., tandis qu'elle peut n'être que de 40 p. c., avec une transmission électrique directe bien conditionnée.

Il est vrai que le prix du cheval-heure n'est pas seulement proportionnel au charbon brûlé, mais aussi à l'intérêt et à l'amortissement du capital de l'installation qu'augmente notablement l'emploi de l'électricité.

Il est évident que si l'on possède une chute d'eau dont l'exploitation est 6/7 de fois plus économique que celle de la vapeur, il est avantageux d'employer la traction électrique directe.

Jusqu'ici cependant la conclusion théorique à laquelle nous venons d'être amené et qui est si favorable à la traction électrique directe, n'a pas encore été vérifiée par l'expérience. Quels sont, en effet, les chemins électriques existants ?

Si l'on passe sous silence les chemins de fer aériens des villes où les habitants se sont opposés à l'emploi de tout autre moteur (comme à New-York, Saint-Louis, Cleveland, Toronto, Broo-

klyn, Saint-Paul et Baltimore), si on laisse de côté les chemins de fer établis dans les mines, où l'emploi de la vapeur

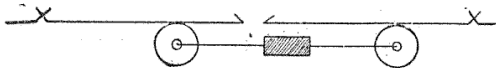


Fig. 16.

est impossible et où les chevaux sont dans des conditions déplorables (comme dans les mines de Hohenzollern), si l'on écarte enfin les tramways d'expositions et ceux qui sont construits par les villes de plaisance pour attirer les étrangers (comme à Zandvoord, Wiesbaden, Brighton, Coney-Island, Saragota et au parc de Fairmount) — que reste-t-il ? — Celui de Portrush, où la force motrice est fournie par une chute d'eau, deux autres situés dans la banlieue de Berlin (Lichterfelde à l'École des cadets et Charlottenburg au Spandauer Bock) et enfin celui de Steinbach avec ses conducteurs aériens qui donnent lieu à des dérangements assez fréquents. Or, jamais pour ces trois der-

niers, des chiffres concluants n'ont été publiés, démontrant que la traction électrique y a permis une exploitation plus économique que les chevaux ou la vapeur.

Le chemin de fer de Portrush, inauguré depuis plus de deux ans, a, paraît-il, distribué un dividende de 3 p. c. à ses actionnaires. Mais ainsi que nous venons de le dire, la dynamo-génératrice y est actionnée par une puissante chute d'eau et la voie, surhaussée par rapport à la large chaussée dont elle suit l'accotement, est protégée contre les chariots par une bordure en granit. Le 3^e rail en forme de T a pu être placé, grâce à ces circonstances, sur des potelets de 45 centimètres de hauteur.

A New-York, nous l'avons déjà fait remarquer, ce sont les réclamations incessantes des habitants contre l'emploi des locomotives à vapeur sur les chemins de fer aériens, qui ont forcé les édiles à décider en principe l'établissement de la traction électrique directe au moyen d'un rail central. Comme la voie est partout supérieure au niveau des rues, les difficultés d'isolement sont fort réduites.

Les installations ont été commencées en avril dernier, et ont été inaugurées en octobre, d'après l'*Electrical World*. Le courant est pris sur le rail central, à l'aide d'un galet en bronze phosphoreux de 40 centimètres de diamètre. La marche en avant ou en arrière s'obtient par un décalage des balais. Il y a un frein électrique sur la locomotive, lequel se compose de gros électro-aimants qui vont s'appliquer contre la jante des roues quand le courant les traverse. — La locomotive fournit 75 chevaux vapeur à la vitesse de 29 kilomètres à l'heure, son poids est de 4 tonnes et sa longueur de 4^m50.

Le moteur est du système Daft (inducteur Siemens, induit Gramme) monté sur un chassis, lequel repose lui-même sur deux roues motrices de 1^m20 de diamètre et deux roues d'arrière supportant la plate-forme du conducteur. L'entraînement se fait par frottement direct à l'aide de poulies à jante ondulée.

Le moteur est articulé à l'une de ses extrémités et soutenu de l'autre par un écrou à l'intérieur duquel se meut une vis manœuvrée par un volant horizontal. Cette vis permet de soulever le moteur et de faire varier à volonté la pression entre les poulies frottantes, afin de proportionner à chaque instant l'adhérence à l'effort de traction.

On règle la vitesse en modifiant le couplage des inducteurs sans jamais se servir de résistances additionnelles, ce qui permet de placer la machine dans les meilleures conditions de rendement compatibles avec chaque cas particulier.

Le rail central est en acier et est supporté par des isolateurs présentant l'aspect extérieur d'un parapluie de fonte. Ce parapluie protège l'isolant sur lequel il repose, lequel est composé de bois saturé d'asphalte.

Bien que les essais n'aient pas encore pris fin, les résultats obtenus jusqu'ici sont, paraît-il, très satisfaisants¹.

Nous terminerons les renseignements qui pré-

1. V. l'*Electricien* du 26 décembre 1885.

cèdent sur la traction électrique directe par la comparaison suivante publiée par la compagnie Van Depoele entre les dépenses de son système et celles de la traction par chevaux.

Il va sans dire que nous ne reproduisons cette comparaison que sous toutes réserves :

Frais d'installation électrique pour 50 voitures marchant 16 heures par jour.

Une machine de 250 chevaux.	22,500 fr.
Trois chaudières de 100 chevaux	
chacune.	13,500 »
Installation, pompe, etc.	12,500 »
Générateurs électriques.	72,000 »
Moteurs Van Depoele.	100,000 »
Maison pour la station.	25,000 »
Conducteurs électriques, etc.	50,000 »
	<hr/> 295,500 »

Frais d'exploitation par journée de 16 heures.

Charbon.	100 fr.
Ingénieur.	30 »
Chauffeur.	20 »
Machiniste.	20 »
Huile, etc.	12,50
Intérêt à 6 p. c. et amortissement à	
10 p. c.	160 »
	<hr/> 342,50
Moyenne par voiture et par journée	
de 16 heures.	6,85

Frais de premier établissement de 50 voitures attelées marchant 16 heures par jour.

425 chevaux à 625 francs.. . . .	265,625
100 harnais.	25,200
Écurie pour les chevaux.	100,000
	<hr/> 368,125 fr.

Frais d'exploitation de 50 voitures traitées par des chevaux.

Nourriture de 425 chevaux à fr. 2,25.	956,25
25 palefreniers à fr. 7,50.	187,50
12 employés d'écurie à fr. 7,50.	90
Ferrure des chevaux.	105
Vétérinaire et médicaments.	10
Intérêt à 6 p. c. et amortissement à	
15 p. c.	170
	<hr/> 1,518,75
Frais par voiture et par jour.	30,35

Les chiffres qui précèdent doivent nécessairement être modifiés suivant les localités.

La traction par accumulateurs, n'était son faible rendement, aurait sur la traction électrique directe bien des avantages.

Plus de conducteurs encombrants! Plus de difficultés d'isolement. Les accumulateurs placés sous les banquettes font avancer le véhicule sans que les non initiés puissent deviner d'où part la force motrice. L'effet est magique et doit séduire. Malheureusement, ce moyen de traction si merveilleux coûte cher.

Sans vouloir entrer pour le prouver dans le détail des chiffres toujours ennuyeux dans une conférence, il nous suffira de montrer que les tramways électriques à accumulateurs sont bien

plus rares encore que les chemins de fer à traction électrique directe.

Si nous passons sous silence les expériences de M. Philippart à Paris, nous ne pouvons parler sur le continent que du tramway qui, après avoir circulé rue de la Loi à Bruxelles, a été transporté à l'exposition d'Anvers. C'est du moins le seul qui ait effectué un service de quelque durée.

En Angleterre les journaux vantent depuis quelque temps les résultats obtenus par M. Reckenzaun avec les accumulateurs de l'*Electrical Power Storage company*, mais il est à remarquer que les perfectionnements de cet inventeur s'appliquent uniquement à des questions de détail et ne peuvent modifier sensiblement l'économie générale du système. On peut dire la même chose du tramway de l'exposition d'Anvers, où l'on se sert d'accumulateurs Faure en plomb gaufré et antimoné, d'après ce que dit du moins un article du numéro d'août dernier de la *Revue Internationale de l'Électricité et de ses applications*. Pourtant, d'après la publication de M. Charles Murlon, intitulée « L'Électricité à l'exposition d'Anvers », ces accumulateurs auraient été l'objet de certaines modifications de nature à augmenter le rendement. D'ailleurs, nous saurons bientôt à quoi nous en tenir à cet égard, car le rapport de la Commission chargée des essais paraîtra incessamment.

De ce qui précède nous ne voulons pas conclure que la traction par accumulateurs coûte toujours trop cher pour être employée.

Il est certain qu'elle s'imposera quand l'emploi des locomotives sera impossible, quand l'établissement de conducteurs aériens rencontrera trop d'obstacles, quand les chevaux seront chers et le salaire des palefreniers très élevé.

Il peut encore arriver qu'elle soit fort utile pour un service supplémentaire d'été qui exigerait l'achat immédiat d'un grand nombre de chevaux devant être revendus à vil prix à l'entrée de l'hiver.

M. Reckenzaun a été plus loin. Il a prétendu dans une conférence donnée à l'*Inventors institute* que dans les essais faits par lui à Mellwall et à Battersea (près de Londres), il n'a brûlé que 0^{fr}10 tonne de charbon par mille parcouru et que les frais généraux se sont montés seulement de 0^{fr}35 tonne par mille et par voiture. Dans ces conditions, la traction par accumulateurs serait particulièrement économique.

Mais ces chiffres sont-ils bien réellement exacts?

Il n'est pas impossible pourtant que des découvertes nouvelles ne viennent changer complètement la face de la question qui nous occupe. Déjà un grand progrès serait réalisé si l'on pouvait se borner à transporter le peroxyde de plomb des électrodes négatives des accumulateurs et le plomb spongieux des électrodes positives — en laissant tout le reste de l'accumulateur à poste fixe.

Quoi qu'il en soit de cette question en ce qui concerne les grands chemins de fer, on n'entrevoit pas encore, même théoriquement, le moment où les locomotives actuelles seront détrônées par des locomotives à accumulateurs électriques.

On ne peut dire la même chose des locomotives électriques à action directe. Une transmission électrique bien conditionnée peut transmettre la force avec un rendement de 50 pour 100. Or, certaines locomotives brûlent 3 kilogr. environ de charbon par heure et par cheval quand les arrêts sont fréquents, tandis qu'une machine fixe de 100 chevaux peut ne brûler que 1 kilogr. La perte est donc souvent de 2 k. sur 3, c'est-à-dire des deux tiers par l'emploi de la vapeur, tandis qu'elle peut n'être que de la moitié avec l'électricité.

Aucune locomotive électrique capable de circuler sur un chemin de fer à voie normale et d'y opérer la traction d'un train de voyageurs ou de marchandises n'a cependant encore été construite. Mais MM. Marcel Deprez et Sartiaux ont, chacun de son côté et en même temps, imaginé des types, lesquels, d'après eux, pourraient être employés avec avantage sur le chemin de fer métropolitain de Paris, qui devra être établi souterrainement.

M. Deprez a publié une étude complète de son projet fait en collaboration avec M. Maurice Leblanc. Nous allons tâcher de la résumer très brièvement.

« L'emploi des locomotives à vapeur, s'il était possible, offrirait, dans un chemin de fer entièrement souterrain, de grands inconvénients, lesquels ne seraient d'ailleurs pas moindres si le chemin de fer était aérien, puisqu'à New-York les plaintes des habitants ont forcé de remplacer la traction à vapeur par la traction électrique. Au Métropolitain de Londres, où il y a, d'ailleurs, de nombreuses tranchées, on se sert, il est vrai, de locomotives, mais ce sont des machines spéciales dont les chaudières renferment beaucoup d'eau. Chaque fois qu'un train aborde un tunnel, le mécanicien desserre son échappement et ferme son cendrier. La combustion est ainsi presque totalement arrêtée et la chaudière vit sur son propre fonds. Néanmoins, on respire dans le Métropolitain anglais une atmosphère humide et malsaine. D'ailleurs, l'étude des conditions d'exploitation et du tracé du futur chemin de fer souterrain de Paris montre que la vitesse des trains devra y être de 30 kilomètres à l'heure (démarrage et arrêts compris) sur un profil comportant des rampes de 20 millimètres et sur des courbes de 150 mètres de rayon. On en conclut¹ que la puissance qu'il faudra développer devra varier dans le rapport de 1 à 5.

1. La formule connue de la résistance d'un train donne :

$$r = 0.843 V + 2.34 - \frac{P}{200}$$

où r est la résistance à la traction par tonne exprimée en kilog.; V , la vitesse en kilom. à l'heure; P , le poids total du train en tonnes. On en déduit que la quantité de travail absorbée par la traction d'un train de 60 tonnes, marchant à la vitesse de 40 kilomètres à l'heure, en palier et en alignement, n'est que de 47 chevaux, mais que, pour maintenir la même vitesse sur une rampe 20 m/m., en courbe de 150 mètres, il faudrait dépenser plus de 240 chevaux, et cela sans tenir compte de l'organe moteur, c'est-à-dire que la puissance qu'il faudra développer devra varier dans le rapport de 1 à 5.

Cette condition exigerait de la part d'une locomotive une élasticité presque inadmissible, et on serait forcé d'employer des machines tellement fortes que la plupart du temps elles ne seraient pas utilisées. Or, comme leur poids croît en proportion de leur puissance, la traction ne pourrait se faire que dans des conditions économiques très défavorables. On trouve même qu'en supposant un coefficient d'adhérence de $1/15$ à cause de l'humidité du souterrain, l'effort de traction pouvant atteindre 1800 kilog., il faudra une locomotive de 60 tonnes pour remorquer un train du même poids.

L'emploi des locomotives à vapeur étant impossible, on se trouve conduit à étudier les divers accumulateurs d'énergie. En s'en servant pour actionner le moteur, on n'a plus, en effet, à transporter l'organe de transformation proprement dit et il semble que l'on pourrait diminuer le poids de l'organe moteur jusqu'au minimum nécessaire pour développer l'adhérence voulue, quitte à recharger souvent le réservoir d'énergie.

Mais les accumulateurs à air comprimé nécessitent des récipients énormes et fort lourds, à poids égal, ils emmagasinent moins de travail que les réservoirs à eau chaude à 200° , sans avoir les avantages de leur volume réduit. On pourrait ne donner à ces derniers qu'un poids de 20 tonnes pour leur permettre de faire un voyage aller et retour. Mais il faudrait employer un moyen pour remédier à l'insuffisance de l'adhérence, par exemple, l'attraction magnéto-électrique. N'est-il pas plus simple alors de recourir directement à l'électricité? Les accumulateurs à eau chaude auraient d'ailleurs le défaut de remplir de vapeur le tunnel déjà humide par lui-même.

Nous avons déjà dit qu'il ne faut pas songer à faire usage des accumulateurs électriques à cause de leur faible rendement.

Les accumulateurs étant rejetés, il ne reste plus que la traction électrique, la source d'électricité étant une dynamo fixe. En étudiant ce dernier moyen, on arrive aux conclusions suivantes : Comme il faudrait que le matériel ordinaire pût circuler sur le chemin de fer projeté, il serait impossible de placer un moteur sous chaque voiture, ce que l'on aurait été tenté de faire afin d'utiliser l'adhérence du train tout entier. On emploierait donc une locomotive électrique à laquelle on pourrait donner un poids de 13 tonnes. Afin d'éviter l'emploi d'engrenages, la dynamo motrice aurait la même vitesse angulaire que celle des roues auxquelles serait communiqué son mouvement (une simple bielle suffirait alors pour la transmission). A cet effet, la dynamo serait spécialement construite de façon à augmenter le diamètre de l'induit.

Le supplément d'adhérence nécessaire serait demandé à une paire de roues électro-magnétiques, formées en substituant aux essieux moteurs des électro-aimants analogues à ceux que M. Achard a employés en dernier lieu pour ses freins ¹.

1. M. Deprez a trouvé qu'un effort adhérent de 30 tonnes pourrait être obtenu au moyen de deux électro-aimants cylindriques, pesant une tonne chacun et absorbant un travail de cinq chevaux par seconde.

Le tunnel étant continu, la pose du conducteur aérien serait très simplifiée. On trouve qu'il pourrait être composé d'un fil de cuivre d'une section de 12 millimètres carrés sans que le rendement s'abaissât en dessous de 50 p. c. et que le potentiel s'élevât à plus de 5000 volts à la station centrale, à condition que celle-ci fût placée de telle sorte que la plus grande distance à parcourir par l'électricité fût de 12 kilomètres. Les installations seraient chères, mais elles seraient fort bien utilisées, la voie étant parcourue par des trains très fréquents ¹.

Le rendement, à la traction, de la locomotive électrique, serait $60/73 = 0.82$, puisqu'il faudrait 13 tonnes pour en remorquer 60. La machine génératrice rendant au minimum 50 p. c. du travail dépensé, le rendement final serait $0.50 \times 0.82 = 0.41$, c'est-à-dire qu'on devrait brûler 2 kil. 30 environ par cheval-heure, si la machine à vapeur dépensait un peu moins de 1 kilogramme par cheval-heure. De plus, si un train gravissait une pente pendant qu'un autre la descendrait, il y aurait une économie qui peut être évaluée à 11 p. c.

Une machine à vapeur de 20 tonnes sans foyer donnerait dans les mêmes conditions un rendement à la traction de $60/80 = 75$ p. c. par cheval-heure; on peut calculer qu'elle dépenserait 2 kil. 26, environ de charbon. Ce chiffre est légèrement inférieur à celui de 3 kil. 30 trouvé plus haut. Mais, d'autre part, en faisant usage de la vapeur il est impossible de récupérer le travail perdu sur les pentes.

Il nous reste, Messieurs, à parler de l'éclairage électrique des gares. Mais le sujet est vaste et je puis à peine l'effleurer. J'espère, d'ailleurs, que l'un de nos membres qui s'occupe spécialement de cette question voudra bien, un de ces jours, vous l'exposer en détail. Je me bornerai à constater qu'il est prouvé que pour les gares à marchandises les gros foyers électriques peuvent seuls procurer une clarté suffisante pour qu'on puisse y effectuer, aussi facilement que pendant le jour, les manœuvres de formation et de décomposition des convois ainsi que le chargement et le déchargement des wagons, etc. D'après certaines expériences, avec le gaz ou le pétrole, le travail exécuté la nuit serait de 37 p. c. inférieur au travail de jour, et les avaries au matériel de 70 p. c. plus coûteuses qu'avec l'électricité ².

On n'est pas encore fixé sur la hauteur des supports et sur l'intensité des foyers électriques à employer. Les lampes, que l'on essaie en ce moment à Schaerbeck, ont 110 carrels seulement d'intensité moyenne sphérique; elles sont placées à 30 mètres de hauteur et espacées du double de cette hauteur. On croit généralement qu'on sera obligé de renforcer un peu leur intensité lumineuse.

1. Il faut aussi remarquer que la légèreté du moteur électrique et l'absence du mouvement de lacet permettrait de faire une économie sur le poids des rails.

2. Voir les *Applications de l'électricité aux chemins de fer*, rapport fait à la demande du Congrès des chemins de fer, par L. Weissenbruch. — Bruxelles, Mancaux, Paris, Georges Carré.

Vous voyez, Messieurs, d'après l'exposé qui précède, que l'industrie des chemins de fer a beaucoup à attendre du développement des applications de l'électricité et tout particulièrement des transmissions électriques.

Mais, pourquoi, dira-t-on, si l'emploi de ces transmissions peut être si avantageux, ne s'est-il pas encore répandu davantage?

C'est que l'industrie ne peut pas suivre la science pas à pas. La première fois que l'on a vu une machine Gramme en actionner une autre servant de moteur, c'est en 1873, à l'exposition de Vienne. D'autre part les bonnes machines électriques ne sont pas nombreuses, et leur prix n'est devenu réellement accessible aux applications courantes que depuis l'exposition de 1881.

Il n'est donc pas encore possible de dire qu'il y ait eu du temps perdu.

Ce n'est, d'ailleurs, pas uniquement dans l'industrie des chemins de fer que l'emploi des transmissions doit apporter des perfectionnements importants. C'est dans toutes les industries, ou du moins dans les machines-outils de tous les ateliers.

Il paraît en effet certain que les transmissions par courroies seront un jour entièrement remplacées par des transmissions électriques.

Leur introduction apportera de grandes facilités de travail et des simplifications importantes dans les machines-outils. Car, il sera bien plus facile d'obtenir la vitesse convenable par de petits moteurs électriques que par les cônes et les renvois qu'on utilise aujourd'hui.

Puis on peut espérer réaliser, par l'emploi de l'électricité, de sérieuses économies, lorsqu'on considère que les courroies dépensent en général beaucoup plus de 50 pour 100 du travail total des moteurs, tous les outils ne travaillant pas ensemble et la transmission tournant souvent toute entière pour l'exécution d'un travail utile relativement insignifiant.

On trouvera des renseignements intéressants sur ce sujet dans une note de M. Hippolyte

Fontaine intitulée : *Transmissions électriques. Renseignements pratiques*¹.

M. Fontaine ne peut être taxé d'optimisme en ce qui concerne le transport de la force à distance, puisqu'il n'est généralement pas considéré comme un partisan enthousiaste des expériences de Creil. Et cependant dans la note dont il s'agit, en parlant des avantages si évidents du remplacement des courroies par des moteurs électriques, il exprime aussi l'avis qu'il n'y a pas encore eu de temps perdu et il base son opinion sur la lenteur que le public a toujours mise à adopter les inventions nouvelles. Par exemple, combien de défiances les machines Corliss — dont on reconnaît aujourd'hui toutes les qualités — n'ont-elles pas eu à surmonter dans le principe!

L'avis de M. Fontaine paraît fort juste et sa conclusion peut être étendue avec d'autant plus de raison aux applications de l'électricité à l'industrie des chemins de fer, que l'initiative individuelle semble devoir y avoir moins d'action que dans l'industrie privée.

Nous espérons, cependant, que dans le cas particulier dont il s'agit, les grandes compagnies de chemins de fer iront jusqu'à devancer l'industrie privée. La Compagnie du Nord français a déjà montré l'exemple en prenant une part active dans les expériences de Creil.

En vous remerciant, Messieurs, de l'attention que vous avez bien voulu me prêter, permettez-moi de vous dire que je me considérerai comme trop heureux, si ma conférence a pu avoir pour effet de ramener à de meilleurs sentiments ceux d'entre vous qui n'avaient qu'une confiance limitée dans le développement des transmissions électriques, et si je suis parvenu à vous faire partager à tous cette opinion que dans un avenir peut-être plus rapproché qu'on ne le croit généralement, — mettons un demi-siècle, pour ne pas être traité de rêveur, — l'électricité jouera un rôle très important dans l'industrie des chemins de fer.

1. Voir le *Bulletin technologique de la Société des Anciens élèves des Ecoles nationales d'Arts et Métiers*.

