

**BULLETIN**  
DE L'ASSOCIATION DU  
**CONGRÈS INTERNATIONAL DES CHEMINS DE FER**

---

[ 623 .251 ]

A PROPOS D'UN PROGRAMME D'ESSAIS  
DES  
**FREINS POUR TRAINS DE MARCHANDISES,**

Par A. HUBERTI,

PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ DE BRUXELLES,  
PRÉSIDENT DE LA COMMISSION DES ESSAIS DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT BELGE,

et J. DOYEN,

INGÉNIEUR PRINCIPAL DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT BELGE.

Fig. 1 et 2, p. 302.

Dans le *Bulletin du Congrès des chemins de fer* d'octobre 1907, nous avons consacré une note à la recherche des conditions qui devront être remplies par un programme d'essais de freins continus appliqués aux trains de marchandises.

Dans ce qui suit, nous nous proposons de compléter nos observations et de préciser certains points que nous n'avons fait qu'indiquer.

## I

Le programme de Riva, adopté par la sous-commission du *Verein* <sup>(1)</sup>, prescrit de répartir dans les trains d'essai un certain nombre de wagons d'observation permettant aux expérimentateurs de se rendre compte des réactions d'attelage qui se produisent au cours des freinages : c'est là une excellente mesure, sur le maintien de laquelle tout le monde sera évidemment d'accord, et si nous en parlons ici c'est parce qu'elle se rattache à une méthode d'expérimentation que nous avons appliquée avec succès à diverses reprises et sur laquelle il nous paraît intéressant d'entrer dans quelques détails.

<sup>(1)</sup> Voir *Bulletin du Congrès des chemins de fer*, n° 10, octobre 1908, p. 1143 : « Les freins continus aux trains de marchandises, par J. DOYEN. »

Quelque précieuses que soient les indications recueillies dans les voitures d'observation, il faut reconnaître qu'elles manquent de précision. Ce ne sont, en somme, que des impressions personnelles qui, traduites par les mots « secousse légère », « forte secousse », etc., ne sont comparables ni d'une voiture à l'autre, ni d'un observateur à l'autre. Il n'est donc pas possible d'en tirer la loi des efforts qui se produisent dans les attelages.

Nous avons cherché à compléter ces données un peu vagues, en employant le wagon-dynamomètre de l'État belge <sup>(1)</sup>, qui enregistre les efforts auxquels est soumis son attelage.

Ce wagon étant placé successivement en différents points du train d'essai, fournit, pour chacune des positions qu'il occupe, la courbe des efforts tant de compression que de traction auxquels est soumis son attelage pendant la durée du freinage.

Si on a pris la précaution d'effectuer les arrêts, correspondant à la même vitesse initiale, à un même endroit de la voie, — c'est-à-dire dans des conditions de profil semblables —, on peut superposer les courbes et en tirer des indications analogues à celles que donneraient des diagrammes recueillis dans un train dont toutes les voitures d'observation seraient munies d'appareils dynamométriques. On conçoit sans peine l'importance des déductions qui peuvent être fournies par une expérimentation conduite dans cet ordre d'idées.

Nous allons le montrer par un exemple :

Les diagrammes des figures 1 et 2 se rapportent à un frein à air comprimé qui donne — par des procédés d'ailleurs tout à fait différents — des résultats analogues à ceux obtenus avec le *vacuum brake* à action rapide du dernier type.

La figure 2 donne les diagrammes de l'établissement de la pression dans les cylindres à frein rapportés à l'origine A, qui marque le moment où le machiniste agit sur le robinet du frein (coup de robinet); elle montre que les véhicules placés vers le milieu du train se serrent à fond un temps notable après les derniers.

Dans les belles expériences faites avec le *vacuum brake* en 1907 et 1908 sur les lignes de l'Arlberg et dans les environs de Vienne par les chemins de fer de l'État autrichien <sup>(2)</sup>, il a été relevé des diagrammes analogues; mais on n'a pu aller plus loin, le wagon qui contenait les appareils de mesure ne possédant pas de dynamomètre mesurant les efforts développés dans l'attelage.

Les diagrammes n'ont donc prouvé qu'une seule chose : c'est que l'interversion dans l'ordre naturel de la mise en pression des cylindres à frein était réalisée par le frein Hardy : mais l'efficacité pratique de cette intervention n'a pu être appréciée

---

<sup>(1)</sup> Voir la description de ce wagon dans le *Bulletin du Congrès des chemins de fer*, numéro de septembre 1905.

<sup>(2)</sup> Voir *Bulletin du Congrès des chemins de fer*, numéros d'octobre et de novembre 1907, p. 962 et 1155, et numéro de septembre 1908, p. 1015.

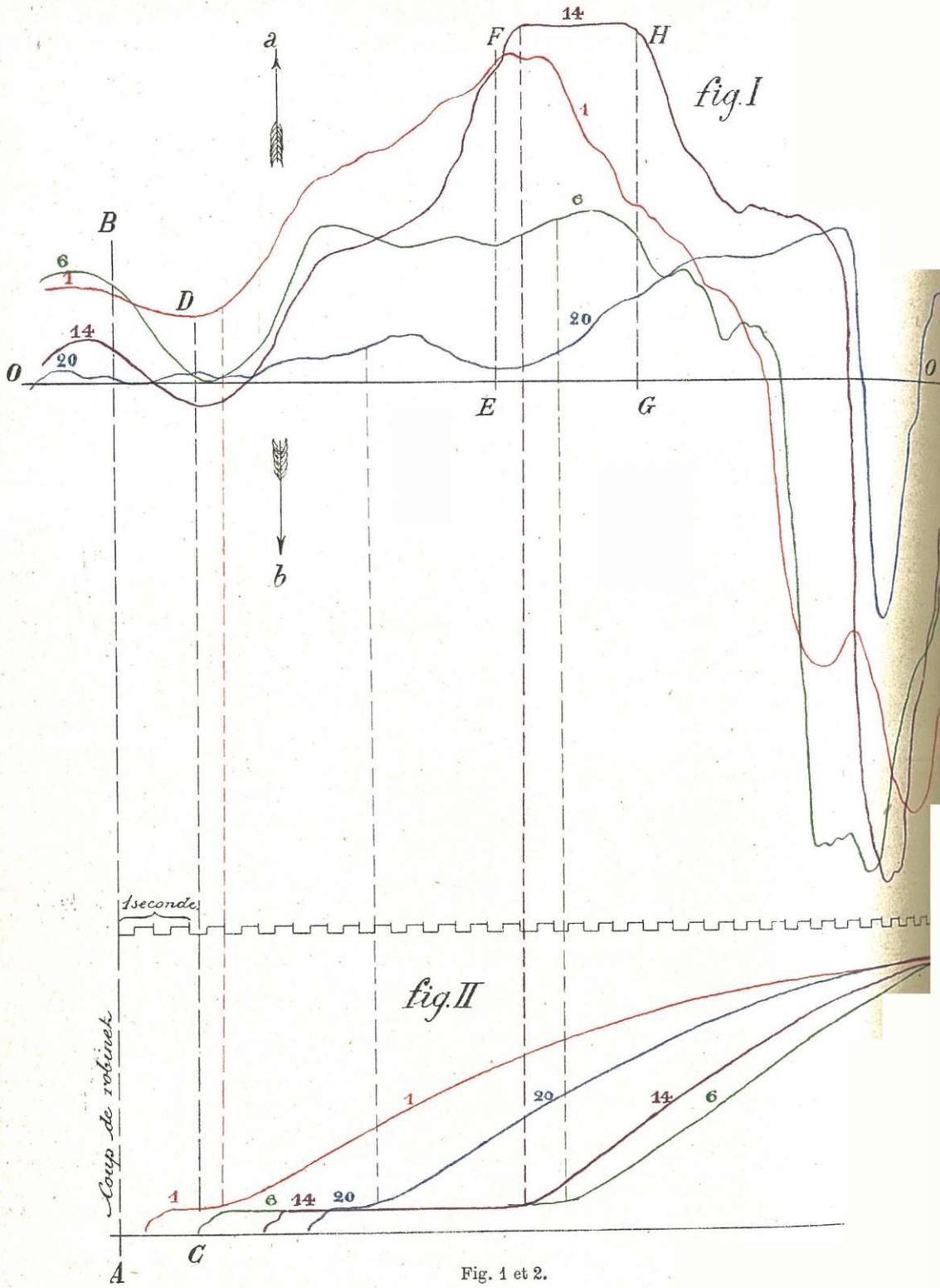


Fig. 1 et 2.

qu'en se rapportant aux phénomènes extrêmes de chocs notables ou de ruptures d'attelage. Or, cela ne suffit pas pour déterminer la valeur relative de deux freins s'ils donnent, comme cela arrive souvent dans les essais, des longueurs d'arrêt sensiblement égales et ne produisent ni l'un ni l'autre de ruptures d'attelage.

Ce dernier critérium, d'ailleurs, est fort sujet à caution, car dans les essais les attelages sont toujours en excellent état, et tel frein qui n'aura déterminé aucune rupture dans les voyages d'expérience pourra fort bien donner des résultats beaucoup moins satisfaisants dans la pratique courante.

Dans la figure 1, les ordonnées des courbes au-dessus de la ligne 00 (flèche A) mesurent les efforts de compression dans les attelages et les ordonnées au-dessous de cette ligne (flèche B) les efforts de tension qui tendent à rompre la barre de traction. (Un effort de 4,000 kg. tant à la compression qu'à la tension est marqué par une ordonnée de 11 millimètres.)

On constate tout d'abord que dans aucun des diagrammes — c'est-à-dire en aucun des points du train soumis à l'observation — l'effort n'a dépassé 8 tonnes, ce qui permet de conclure :

- 1° Qu'à la vitesse de 70 kilomètres, qui est celle des quatre essais, le frein considéré donne une sécurité complète;
- 2° Que pour cette vitesse on pourrait sans danger et très utilement augmenter le coefficient de freinage.

Ces conclusions sont déjà fort intéressantes, mais l'intérêt de la méthode augmente encore si on examine de plus près les courbes de la figure 1. On y voit, en effet, que l'action du frein sur le train devient sensible à partir de la ligne CD qui correspond au commencement du serrage sur le sixième véhicule. (L'allure des courbes, dans la période qui précède, résulte des oscillations des attelages qui sont encore sous l'influence de la fermeture du régulateur effectuée quelques instants avant le freinage.) A partir de CD, et jusqu'en EF, tous les attelages se compriment mais bien différemment. Le quatorzième seul (diagramme mauve) entre franchement en compression; le sixième (diagramme vert) est hésitant; le vingtième (diagramme bleu) se comprime à peine et montre clairement l'efficacité du serrage par la queue qui diminue la compression à l'arrière et par suite dans le train entier.

Mais c'est surtout à partir de la ligne EF que l'interversion dans l'ordre naturel de la mise en pression des différents cylindres à frein fait sentir tous ses effets. La compression diminue rapidement dans le premier attelage (courbe rouge) qui bientôt va se mettre en tension : mais cette mise en tension, dont la grandeur et la rapidité sont de nature à compromettre la barre de traction, est gênée par la réaction du quatorzième et du vingtième wagon qui continuent à pousser vers l'avant toute la tête du train. De même, au moment — marqué par la ligne GH — où le quatorzième wagon tend à reculer sur son attelage la poussée vers l'avant du vingtième (bleu) augmente et combat ainsi l'effet dangereux d'une mise en tension rapide du quatorzième.

Nous ne pousserons pas plus loin l'analyse de ce diagramme, car notre but n'est pas de rechercher les défauts ou les qualités du frein pris comme exemple, mais uniquement de montrer le parti qui peut être tiré de la méthode d'essai que nous venons d'indiquer. Nous croyons pouvoir en conclure qu'il est très désirable, dans les futurs essais de freins, de *mesurer* les réactions d'attelage en différents points du train au moyen d'appareils dynamométriques.

Notre wagon-dynamomètre est à quatre essieux et pèse 35 tonnes. La méthode que nous préconisons s'écarte donc encore du programme de Riva en ce sens que celui-ci prescrit que les voitures d'observation auront sensiblement la même longueur et la même tare que les autres wagons des trains d'essai. Mais nous sommes d'avis qu'il n'est pas mauvais d'introduire dans ces trains un véhicule de poids exceptionnel, car dans la pratique il ne sera pas rare de rencontrer des wagons à marchandises de 30 à 40 tonnes dans les trains équipés au frein continu.

## II

Tous les programmes d'essais prévoient des expériences relatives à la descente des pentes de grande longueur et de forte inclinaison. Nous ne reviendrons pas sur ce que nous avons dit à ce sujet <sup>(1)</sup> des freins directs, des freins à deux et à une chambre et de la combinaison du frein direct et du frein automatique. Mais nous ajouterons que depuis lors la Société Westinghouse a apporté deux solutions nouvelles de la question. La première est fournie par la *valve de graduation au desserrage*. Cet organe est théoriquement parfait et a donné, comme on devait s'y attendre, de très bons résultats dans les essais : il constitue une solution très élégante et très complète du problème, mais son prix semble trop élevé pour le matériel à marchandises et son fonctionnement dépend d'un diaphragme en caoutchouc, accessoire délicat, sujet à s'avarier et dont il nous paraît désirable d'éviter, autant que possible, l'emploi. La seconde solution est celle employée avec un plein succès, dans les essais de l'État hongrois, sur la pente de 25 millimètres et de 36 kilomètres de longueur entre Lic et Fiume. Dans ses grandes lignes, le dispositif employé consiste à relier l'orifice d'échappement des triples valves à une conduite générale secondaire qui peut être d'un diamètre réduit. Cette conduite générale, fermée en queue du train, aboutit sur la machine à un robinet qui permet de la fermer ou de la mettre en communication avec l'atmosphère. L'air s'échappant des cylindres à frein, quand le piston des triples valves est dans la position de desserrage, peut donc, au gré du machiniste, être reçu dans la conduite secondaire ouverte à l'air libre, ou dans cette même conduite fermée, c'est-à-dire dans un espace clos.

Au moment où il aborde une pente, le machiniste provoque un serrage un peu trop énergique du frein automatique; puis, ayant fermé le robinet de la conduite

---

(1) *Bulletin du Congrès des chemins de fer*, numéro d'octobre 1907.

secondaire, il amène la poignée du robinet du mécanicien dans la position de desserrage d'abord et dans la position normale ensuite.

Ces manœuvres successives ont les conséquences suivantes :

1° La pression dans les cylindres à frein ne peut diminuer que de la quantité correspondante à la mise en pression de la conduite générale secondaire. Les freins restent donc serrés.

2° Le machiniste peut, à son gré, diminuer la pression dans les cylindres à frein en laissant échapper de l'air de la conduite secondaire, ou augmenter cette pression en provoquant un nouveau serrage partiel du frein automatique. Il peut donc régler la pression des sabots sur les roues avec autant de précision qu'au moyen du frein direct.

3° En remettant la poignée du robinet du mécanicien, après chaque serrage partiel, dans la position de desserrage ou dans la position normale, le machiniste remet en charge les réservoirs auxiliaires. La réserve d'énergie emmagasinée sur le train est donc toujours maximum.

Nous n'entendons nullement proposer cette nouvelle et ingénieuse solution de la descente des longues pentes à l'approbation de la Commission internationale des freins qui ne pourra s'occuper de dispositifs particuliers qu'après des essais effectués suivant le programme élaboré par elle. Mais en choisissant comme exemple une disposition qui n'est pas une conception purement théorique, il nous sera possible de donner un corps aux idées qui nous restent à émettre au sujet de la descente des longues pentes.

On objectera, sans doute, que la disposition proposée a le défaut d'exiger une seconde conduite. Mais, dans l'espèce, ce défaut est peu grave, car la seule partie de la seconde conduite qui soit réellement onéreuse et assujettissante, est le raccordement entre les wagons ; c'est celui-ci qui seul exige un entretien coûteux et complique les opérations de formation des trains ; le placement d'un tuyau métallique supplémentaire sous chaque wagon est une dépense insignifiante et ne donne lieu à aucun entretien.

Or, si l'on admet que tous les wagons seront munis de ce simple tuyau métallique raccordé à l'échappement de la triple valve et que les organes flexibles destinés à raccorder les wagons entre eux ne seront adaptés à ceux-ci qu'au sommet des longues et fortes pentes pour être retirés au pied de celles-ci, il faut bien reconnaître que la nuisance d'une conduite secondaire est négligeable <sup>(1)</sup>.

(1) Il ne faut pas s'exagérer l'importance de cette manœuvre qui peut être très simple. Déjà la Société Westinghouse propose de former la partie métallique de la conduite secondaire d'un tuyau terminé, près des traverses de tête, par des têtes d'accouplement *sans* bague en caoutchouc. Le boyau flexible portant à chaque bout une tête d'accouplement *avec* bague se placerait et s'enlèverait avec la plus grande facilité de telle sorte que le wagon ne porterait que des organes non périssables et ne demandant aucun entretien. Il ne serait d'ailleurs pas nécessaire d'armer le train entier de ces accouplements amovibles. Il suffirait de constituer, en tête du train, un groupe dont l'importance varierait avec l'intensité de la

L'emploi d'un artifice de ce genre implique le classement des voies en pente en deux catégories bien distinctes : celle où le frein se suffit à lui-même et celle où il faut les compléter par cet artifice. En adoptant ce classement, on simplifierait notablement la recherche d'un frein continu répondant à toutes les exigences des trains de marchandises et on réaliserait d'importantes économies dans les dépenses de premier établissement et d'entretien.

Nous avons longuement insisté sur ce point, parce que nous estimons que la Commission internationale a un rôle très important à remplir en déterminant la pente maximum sur laquelle les freins doivent se suffire à eux-mêmes.

Supposons, pour fixer les idées, que celle-ci soit prise égale à 20 millimètres par mètre et voyons quelles seraient les conséquences de cette décision pour les chemins de fer de l'État belge.

Le réseau de l'État belge comporte des inclinaisons de 25 à 32 millimètres, mais les longues pentes ne dépassent guère 16 à 18 millimètres. Les sections présentant une inclinaison supérieure à 20 millimètres ne représentent que 30 kilomètres environ, soit moins de 1 p. c. de l'ensemble du réseau.

Un frein qui permettrait de descendre en toute sécurité les pentes de 20 millimètres et qui pourrait être transformé facilement et rapidement à l'aide d'un organe peu coûteux en un bon frein pour la descente des inclinaisons plus fortes, nous donnerait entière satisfaction. On peut dire que la même conclusion s'appliquerait aux lignes faisant partie du *Verein*, si l'on s'en rapporte au classement de ces lignes d'après la pente, établi par M<sup>r</sup> Staby, conseiller de direction, dans le numéro du 1<sup>er</sup> août 1908 de l'*Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens* (1).

Si la Commission internationale se ralliait à notre manière de voir, elle aurait à fixer les conditions d'essai sur les pentes de 20 millimètres.

Or, pour réaliser un frein simple et économique, il faut admettre la variation de vitesse la plus grande possible. Nous pensons que, sur une pente de 20 millimètres, cette variation doit pouvoir atteindre 25 kilomètres à l'heure (de 45 à 20 kilomètres, par exemple).

Ce battement de 25 kilomètres permettrait de recharger les réservoirs auxiliaires en toute sécurité.

En effet, supposons un train de 800 tonnes remorqué par une locomotive de 50 tonnes dont le tender pèse 35 tonnes. Nous admettrons que pendant les desserrages du frein automatique, nécessités par le rechargement des réservoirs auxiliaires, le frein direct de la locomotive est maintenu serré et exerce un effort retardateur moyen de 4 p. c. du poids de cette locomotive; nous admettrons aussi que la résistance moyenne au roulement, qui s'ajoute à l'action du frein, est égale à 3 kilogrammes par tonne.

---

pente, groupe dans lequel le machiniste serait maître de modérer le desserrage et qui serait suffisant pour maintenir la vitesse dans les limites admises, pendant le rechargement des réservoirs auxiliaires

(1) Voir également *Bulletin du Congrès des chemins de fer*, numéro d'octobre 1908, p. 1143.

L'effort accélérateur  $F$  sur la pente de 20 millimètres sera donc :

$$F = 885(20 - 5) - 0.04 \times 50,000 = 15,045 \text{ kilogrammes.}$$

Or, on a

$$\frac{885,000}{g} (v - v_0) = 15,045t,$$

et si

$$v - v_0 = \frac{25}{5.6}$$

$t$  sera égal à 48 secondes.

A chaque desserrage, et pendant que le train passera de 20 à 45 kilomètres à l'heure, on disposera donc de 48 secondes pour recharger les réservoirs auxiliaires.

Si les conditions topographiques du réseau sur lequel se font les essais exigent que l'on opère sur une pente inférieure à 20 millimètres, il est très facile de se mettre dans les conditions du programme en réduisant convenablement la variation de vitesse admise.

Exemple : Sur les lignes de l'État belge nous serons amenés à faire les essais sur des pentes de 16 millimètres seulement. Dans ce cas la force accélératrice  $F$  n'est que :

$$F = 885(16 - 5) - 0.04 \times 5,000,$$

d'où

$$F = 9,505 \text{ kilogrammes,}$$

ce qui pour  $t = 48$  secondes donne :

$$v - v_0 = 18 \text{ kilomètres à l'heure seulement.}$$

Si on renonçait à se servir du frein direct pendant les desserrages en pente de 16 millimètres,  $F$  deviendrait :

$$F = 805(16 - 5) = 11,505,$$

et pour  $t = 48$  secondes :

$$v - v_0 \text{ serait égal à 22 kilomètres à l'heure.}$$

Les considérations qui précèdent montrent qu'il serait aisé de faire des essais absolument comparables et de rester dans les conditions du programme même si l'on était amené à opérer sur des profils différents.

Examinons maintenant quelles sont les mesures à prendre pour mettre dans des conditions analogues à celles que nous venons de développer les trains circulant sur des pentes supérieures à 20 millimètres. En d'autres termes, recherchons quel est le supplément de freinage, dont le mécanicien doit disposer pendant le desserrage

du frein automatique, pour descendre des pentes de 25 et de 32 millimètres avec une variation de vitesse de 25 kilomètres et en disposant, à chaque desserrage, de quarante-huit secondes pour le rechargement des réservoirs auxiliaires.

*Pente de 25 millimètres.* — Si on appelle  $x$  le poids total enrayable sur lequel agit le mécanicien lorsque le frein automatique est desserré et  $P$  le poids total du train en kilogrammes, la force accélératrice  $F$ , pendant le desserrage du frein automatique, aura pour valeur :

$$F = \frac{P}{1,000} (25 - 5) - 0.04x$$

en admettant, comme plus haut, un effort retardateur moyen de 4 p. c. du poids total enrayé et une résistance moyenne au roulement de 3 kilog. Nous aurons donc :

$$\frac{P}{g} (v - v_0) = \left( \frac{P}{1,000} 22 - 0.04x \right) t,$$

ce qui pour  $(v - v_0) = \frac{25}{3.6}$ ,  $t = 48$  secondes et  $P = 885,000$ , donne :

$$\frac{885,000}{9.81} \times \frac{25}{5.6} = 954,560 - 4.92x$$

d'où

$$x = 160,000 \text{ kilog.}$$

Or ce poids  $x$  est formé par la locomotive, le tender et la tare (8 tonnes) des premiers wagons pourvus du frein complet et enrayables même quand le frein automatique est desserré; le nombre  $n$  de ces wagons sera par conséquent :

$$n = \frac{160,000 - 85,000}{8,000} = 10 \text{ wagons.}$$

*Pentes de 32 millimètres.* — Sur ces pentes la force accélératrice  $F$  sera :

$$F = \frac{885,000}{1,000} (52 - 5) - 0.04x$$

et

$$\frac{P}{g} (v - v_0) = \frac{885,000}{9.81} \times \frac{25}{5.6} = \frac{885,000}{1,000} (29 - 0.04x) 48.$$

Ce qui donne

$$x = 514,790,$$

d'où

$$n = \frac{514,790 - 85,000}{8,000} = 50 \text{ wagons.}$$

On voit que le système s'appliquerait très aisément sur les inclinaisons les plus fortes. Il donnerait d'ailleurs une sécurité absolue, car on reste dans des conditions extrêmement favorables en ne demandant au frein, comme nous l'avons fait dans ce qui précède, qu'un effort retardateur de 4 p. c.

Tout ceci suppose qu'un train marchant à la vitesse maximum admise, est suffisamment freiné pour s'arrêter sur la longueur maximum jugée nécessaire. Nous croyons pouvoir proposer 600 mètres, quelle que soit la pente, comme valeur de cette longueur maximum.

### III

Les essais de freinage des longs trains de marchandises faits en 1907 par les chemins de fer de l'État hongrois <sup>(1)</sup> ont montré combien il est important de simplifier, autant que possible, la conduite générale du frein. Une simple rectification de cette conduite a donné les résultats suivants :

1° La vitesse de propagation de l'action dans la conduite générale qui était de 167 à 191 mètres par seconde s'est trouvée portée de 171 à 224 mètres. Il en est résulté une transmission plus sûre de l'action rapide et une diminution des réactions d'attelage dans les serrages d'urgence;

2° Les desserrages sont devenus meilleurs et le rechargement des réservoirs auxiliaires plus facile et plus rapide.

Or, il est une mesure qui permettrait de simplifier la conduite générale et sur laquelle il serait très désirable que la Commission se prononçât. Cette mesure est la suppression du double attelage lorsque le train est freiné au moyen d'un frein automatique. Ce double attelage, en effet, au-dessus ou au-dessous duquel doit passer la conduite générale, introduit dans l'établissement de celle-ci une complication nuisible. Il nécessite, d'ailleurs, une manœuvre d'accouplement et de désaccouplement qui allonge et complique les manœuvres sans aucun profit.

### IV

Le programme de Riva stipule qu'on déterminera le temps nécessaire pour faire l'essai du frein. Cette prescription, qui est naturellement à retenir dans le futur programme d'essai, est conçue dans des termes trop généraux, et nous pensons qu'il conviendra de préciser ce qu'il faut entendre par « temps nécessaire pour faire l'essai ». Ce « temps », en effet, doit comprendre non seulement la durée de l'essai proprement dit, mais encore le temps qui sépare l'instant où la continuité de la conduite générale est rétablie, du moment où le personnel responsable de la marche du train est averti de la fin de l'essai.

<sup>(1)</sup> Voir *Bulletin du Congrès des chemins de fer*, numéro de mars 1908, p. 360.

Nous n'hésiterions même pas à aller plus loin si nous ne tenions compte que du système d'exploitation de l'État belge.

Dans nos trains de marchandises, le fourgon, occupé par le chef-garde, est placé en queue du train. Cette prescription réglementaire présente certains avantages, mais elle a l'inconvénient de rendre moins commode la transmission au mécanicien de l'ordre de départ, qui doit être donné par le chef-garde.

Lorsque nos trains de marchandises seront munis du frein continu, nous comptons pouvoir utiliser celui-ci pour transmettre l'ordre de départ de la manière suivante, qui paraît simple et rationnelle.

Dès que la manœuvre est terminée, l'agent qui l'a effectuée prévient le machiniste que la conduite générale est rétablie. Celui-ci met alors son robinet dans la position de desserrage, puis dans la position normale, de manière à rétablir la pression de régime dans la conduite.

Aussitôt que le chef-garde a reçu de la direction de la gare l'autorisation de partir, il se rend à son fourgon, et dès qu'il constate que la pression de régime est établie, il provoque dans la conduite une dépression de  $1\frac{1}{2}$  kilogramme. Le serrage ainsi déterminé constitue pour le mécanicien l'ordre de départ.

Dans ce système qui présente l'avantage, primordial selon nous, de faire intervenir dans la vérification de la continuité de la conduite les deux agents responsables de la marche du train, ce qu'il importe de mesurer, c'est le temps qui s'écoule entre le rétablissement de la continuité de la conduite générale et la fin du dernier desserrage qui permet au mécanicien de se remettre en marche. La durée de l'essai proprement dit est d'importance tout à fait secondaire.

L'essai tel que nous le définissons présente d'ailleurs une sécurité complète. En effet, la continuité de la conduite générale est accusée :

1° Par le rétablissement de la pression de régime que le chef-garde constate au manomètre placé dans son fourgon ;

2° Par le serrage qu'effectue le chef-garde et dont l'effet doit être perçu immédiatement sur la locomotive ;

3° Par le dernier desserrage qui permet au machiniste de se remettre en marche.