Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 70 (1944)
Heft: 19

Artikel: L'essai des locomotives électriques en course
Autor: Dubois, Fr.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-53261

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

70e année 16 septembre 1944 N° 19

BULLETIN TECHNIQUE
DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

ABONNEMENTS :
Suisse : 1 an, 13.50 francs
Etranger : 16 francs
Pour sociétaires :
Suisse : 1 an, 11 francs
Etranger : 13.50 francs
Prix du numéro :
75 centimes.
Pour les abonnements s'adresser à la librairie F. Rouge & Cie, à Lausanne.

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale.

COMITÉ DE PATRONAGE. — Président : R. Neeser, ingénieur, à Genève ; Vice-président : † M. Imer, à Genève ; secrétaire : J. Calame, ingénieur, à Genève. Membres : *Fribourg :* MM. L. Hertling, architecte ; P. Joye, professeur ; *Vaud :* MM. F. Chenaux, ingénieur ; E. Elskes, ingénieur ; Epitaux, architecte ; E. Jost, architecte ; A. Paris, ingénieur ; Ch. Thévenaz, architecte ; *Genève :* MM. L. Archinard, ingénieur ; E. Martin, architecte ; E. Odier, architecte ; *Neuchâtel :* MM. J. Béguin, architecte ; R. Guye, ingénieur ; A. Méan, ingénieur ; *Valais :* M. J. Dubuis, ingénieur ; A. de Kalbermatten, architecte.

Rédaction : D. Bonnard, ingénieur, Case postale Chauderon 475, Lausanne.

Publicité :
TARIF DES ANNONCES
Le millimètre (larg. 47 mm.) 20 cts.
Tarif spécial pour fractions de pages.
En plus 20 % de majoration de guerre.
Rabais pour annonces répétées.
ANNONCES-SUISSES S. A.
5, Rue Centrale,
LAUSANNE
& Succursales.

CONSEIL D'ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ ANONYME DU BULLETIN TECHNIQUE
A. Stucky, ingénieur, président ; M. Bridel ; G. Epitaux, architecte.

SOMMAIRE : *L'essai des locomotives électriques en course*, par Fr. Dubois. — Bibliographie. — Communiqués : *Appel aux ingénieurs et techniciens ; Association des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale.* — Documentation : *Le Plastiment* (suite et fin). — Service de placement.

L'essai des locomotives électriques en course,

par Fr. DUBOIS.

L'électrification des chemins de fer, déjà très avancée dans un grand nombre de pays européens et en préparation dans d'autres, a mis à l'ordre du jour l'essai des locomotives électriques en course. Cet essai intervient principalement dans les deux catégories suivantes de déterminations :

a) Expérimentation systématique des locomotives électriques par le moyen de mesures simultanées des grandeurs mécaniques et électriques, en vue de la détermination de l'énergie consommée par km × tonne, du rendement et des pertes propres des locomotives et de leurs caractéristiques au démarrage. Ces mesures sont nécessaires pour analyser l'utilisation de l'énergie dans les différents organes de la locomotive : transformateur (pour les machines à courant alternatif), moteurs, transmission moteurs-roues, auxiliaires, etc., et établir dans quels organes des améliorations sont désirables pour réduire la consommation d'énergie électrique. Un nouvel essai des locomotives améliorées permet de constater l'efficacité des transformations introduites.

b) Essais de réception de locomotives électriques à leur mise en service, en vue de s'assurer si les conditions des cahiers des charges sont satisfaites.

Le moyen le plus commode et aussi le plus employé pour procéder à toutes ces déterminations est l'utilisation d'un wagon dynamomètre à équipement mixte, mécanique et électrique. Un tel wagon constitue en effet une station d'essais roulante complète, incorporée au train. La création et la mise en œuvre de tels wagons de mesure constituent une branche très spéciale et fort intéressante de la technique expérimentale.

Alors que la littérature scientifique allemande des vingt dernières années est extrêmement riche en publications relatives tant à l'installation des wagons dynamomètres mécano-électriques qu'aux résultats obtenus, avec données numériques et diagrammes à l'appui [1], la littérature suisse et française est assez pauvre dans ce domaine [2], bien que ces deux pays aient été, avec l'Allemagne, à l'avant-garde de la traction et des mesures électriques.

Les lignes qui suivent ont pour but de combler cette lacune. Après exposé de la disposition générale d'un wagon dynamomètre à équipement mixte, mécanique et électrique, elles donnent la description d'installations fournies ces dernières années par des maisons suisses à des chemins de fer européens, pour les différentes sortes de courant. Ces descriptions sont accompagnées de diagrammes originaux de courses et de diagrammes de démarrage relevés au moyen de ces wagons.

I. Equipement pour mesures mécaniques.

La description de l'équipement mécanique d'un wagon dynamomètre (constructeur : Alfred-J. Amsler & Co, Schaffhouse) a paru dans le *Bulletin technique de la Suisse romande*, il y a un certain nombre d'années (voir *Bulletin technique*, numéros du 5 janvier, 2 février, 16 février, 1er mars, 12 avril et 26 avril 1924). A part les perfectionnements de détail réalisés depuis cette date, cette description correspond encore dans ses grandes lignes à la disposition actuelle de l'équipement dynamométrique.

[1] Voir entre autres les années 1924 à 1944 des revues allemandes suivantes : *Glaser's Annalen* ; *Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens* ; *Elektrische Bahnen* ; *Archiv für technisches Messen.*

[2] La seule publication suisse vraiment importante est celle de M. L. Thormann dans la *Schweizerische Bauzeitung* du 8 juillet 1916, pages 9-15 : « La consommation d'énergie de la traction électrique du Chemin de fer des Alpes bernoises (ligne du Lötschberg) », dont un résumé a paru dans le numéro du 25 novembre 1916, pages 352-356, de la revue française *Le Génie civil.* Un autre court article est contenu dans les *Brown, Boveri-Mitteilungen*, décembre 1922, pages 262-263 : « Abnahmefahrten der 1B-B1 Lokomotiven der Schweizerischen Bundesbahnen auf der Strecke Luzern-Chiasso ». Enfin une publication analogue, également assez brève, « La locomotive à grande vitesse Type 2-D-2, Série E 4801, de la Compagnie des Chemins de fer du Midi », a paru sous la signature de M. Leboucher dans la *Revue générale des Chemins de fer* de novembre 1933.

Pour la compréhension de l'exposé qui va suivre, notamment en ce qui concerne les diagrammes de courses et de démarrage reproduits, il est rappelé que l'équipement pour mesures mécaniques comprend : les appareils pour l'enregistrement de la vitesse, de la force de traction, du travail et de la puissance instantanée au crochet, de la force d'inertie (force de masse =, rapportée à la masse 1, à la somme algébrique de l'accélération linéaire et de la composante de la gravité terrestre en rampe) et du travail de la force d'inertie, enfin de toutes les grandeurs relatives au freinage (pression de l'air comprimé dans les différents organes pneumatiques de frein, force radiale et tangentielle aux sabots). A ceci s'ajoutent les appareils auxiliaires pour l'avance du papier à diagramme proportionnellement au chemin parcouru ou au temps, et pour le marquage des kilomètres, minutes et secondes.

Les wagons dynamomètres mixtes mécano-électriques sont, dans leur installation mécanique, en grande partie analogues à l'exécution standard ci-dessus ; sur un seul point, toutefois, ils présentent par rapport à celle-ci une modification importante.

Le wagon dynamomètre, dans sa réalisation courante décrite dans le *Bulletin technique* de janvier à mai 1924, permet bien la mesure de l'effort de traction dans les deux sens de marche, mais avec cette différence que la résistance propre du wagon est ou n'est pas comprise dans les grandeurs mesurées au crochet explorateur, selon que le wagon est attelé côté dynamométrique en avant, ou côté dynamométrique en arrière. Pour les essais de résistance au roulement de trains, cette distinction est sans importance ; les grandeurs au crochet indiquent toujours la résistance d'un train, que le wagon dynamomètre lui-même soit compté ou ne soit pas compté dans celui-ci : le nombre d'essieux remorqués est simplement plus ou moins grand. En revanche, s'il s'agit d'étudier les caractéristiques d'une locomotive, il est indispensable que la locomotive soit toujours accrochée au côté dynamométrique du wagon, afin d'exclure de la mesure les grandeurs propres au wagon ; cette condition est irréalisable à la marche arrière, d'où nécessité de retourner le wagon. Il n'est cependant pas toujours possible de retourner le wagon sur une plaque tournante, car il n'en existe pas dans toutes les gares. D'autre part, pour l'essai de locomotives électriques, qui sont rigoureusement symétriques et ne possèdent pas de « côté avant » ou « côté arrière » prononcé, il est désirable de pouvoir, après une course d'aller, repartir en arrière pour la course de retour depuis n'importe quelle gare d'un réseau sans avoir besoin de retourner le wagon dynamomètre.

Dans de tels cas, la disposition de la figure 6, page 3 du *Bulletin* du 5 janvier 1924, est insuffisante, et il y a intérêt à posséder un wagon dynamomètre à deux côtés dynamométriques, avec crochet mesureur, balancier et amortisseur également à l'arrière du wagon, et liaison entre ces organes et le cylindre hydraulique placé à l'avant du wagon par une tringle traversant toute la partie centrale du châssis de l'arrière à l'avant.

Une telle disposition a été réalisée pour la première fois sur le wagon dynamométrique des Chemins de fer fédéraux suisses où elle a été ajoutée en 1931, en raison de la suppression des plaques tournantes dans de nombreuses gares après l'électrification ; elle a, depuis 1931, été installée sur les wagons dynamomètres Amsler à équipement mixte destinés aux pays à réseau fortement électrifié.

Dans ces wagons (fig. 1), le dynamomètre hydraulique reste, comme dans les wagons simples, placé immédiatement après le dispositif de traction et de poussée avant. Le dispositif de traction et de poussée arrière est, jusqu'à et y compris la broche servant à le verrouiller au châssis en cas de non-emploi du dynamomètre, rigoureusement semblable au dispositif normal avant. Egalement le principe de la transmission du déplacement aux pistons du dynamomètre par la longue tringle d'attaque du côté arrière a été conservé, en vue du fonctionnement des soupapes automatiques de remplissage destinées à compenser les pertes d'huile du dynamomètre (voir *Bulletin technique* du 5 janvier 1924, pages 6 et 7).

En revanche, du côté arrière, les forces de poussée ne sont pas transmises au dynamomètre hydraulique, en sorte que la longue tringle arrière traversant presque toute la longueur du wagon travaille uniquement à la traction et n'est pas sujette au flambage. La tringle peut ainsi être réalisée de manière très légère et ses guides réduits en nombre et en dimension, avantage qui compense largement l'absence de la mesure des efforts de poussée du côté arrière ; cette absence est d'ailleurs sans grande importance pour la majorité des essais de locomotives électriques et de matériel roulant.

Lors d'une poussée sur les tampons, le dispositif arrière de traction et de poussée rétrograde d'abord sans transmission de force jusqu'à sa position médiane. Au moment où il atteint sa position médiane, le chariot de l'amortisseur bute contre un pont de choc solidaire du châssis. A partir de la rencontre, la force de poussée prend naissance et est transmise directement par le pont au châssis, sans que la longue tringle soit sollicitée. La rétrogradation à vide du dispositif arrière de traction et de poussée jusqu'à l'instant de sa rencontre avec le pont de choc suffit à provoquer le remplissage automatique d'huile du dynamomètre.

Le passage de la mesure en marche avant à la mesure en marche arrière s'effectue de manière très simple par l'échange de deux broches de verrouillage analogues à celle dont il est question dans le *Bulletin* du 5 janvier 1924. A la marche avant, le dispositif de traction et de poussée avant est articulé au cadre du dynamomètre au moyen de l'une des broches, et le dispositif arrière verrouillé au châssis au moyen de la seconde ; pour la mesure en marche arrière, ce sont les attaches inverses qu'il faut établir.

II. Equipement pour mesures électriques.

Après l'abandon, aujourd'hui définitif, du courant triphasé comme courant de ligne de contact, les deux seuls genres de courant utilisés actuellement et dans un proche avenir pour la traction électrique sont le courant continu à 1500 ou 3000 volts, et le courant monophasé à 15 000 volts, $16\,^2/_3$ pér./sec. ou, plus rarement (locomotives à groupe convertisseur), à fréquence industrielle (50 pér./sec.). Les méthodes et les instruments de mesure électriques en usage sur les wagons dynamomètres mixtes sont, en principe, exactement les mêmes que dans la métrologie classique de ces deux sortes de courant. Toutefois, le fait qu'il ne s'agit ici ni d'installations à demeure, comme dans les centrales électriques, ni d'installations de laboratoire, à connexions rapidement improvisées, mais bien d'installations semi-permanentes, intermédiaires entre ces deux cas extrêmes, et devant permettre l'accouplement et le désaccouplement rapide entre locomotive et wagon mesureur, impose à l'appareillage électrique des conditions particulières. A ces conditions viennent s'ajouter la localisation séparée 1° de l'arrivée du courant (ligne de contact), 2° des machines électriques à

expérimenter, 3° de l'appareillage de mesure, situés chacun sur des unités plus ou moins mobiles l'une par rapport à l'autre. Enfin entre en considération la question de l'isolement électrique qui, réalisé dans des conditions moins favorables que dans les centrales ou les laboratoires, doit cependant donner le degré de sécurité élevé exigé des installations ferroviaires. Toutes ces circonstances ont presque d'emblée conduit à adopter certaines dispositions fondamentales, particulières aux wagons de mesure, et qui sont aujourd'hui devenues plus ou moins une norme standard en Europe.

Le courant continu nécessite de par sa nature et en raison de la plus grande simplicité de ses locomotives un appareillage relativement restreint. En revanche, les questions de haute tension et de transmission d'un ampérage important aux circuits wattmétriques de mesure créent, pour ce courant non transformable, de sérieuses difficultés. La question d'isolation a été résolue de façon satisfaisante en reportant la plus grande partie possible des circuits de mesure entre le pôle négatif des moteurs et le rail, c'est-à-dire sur la basse tension [1]. Toutefois, un retour éventuel de haute tension continue aux instruments en cas de court-circuit à la locomotive est un des aléas à envisager dans les mesures de sécurité. Quant à la transmission d'un ampérage élevé depuis la locomotive aux enroulements d'intensité des compteurs de kWh, elle exige l'emploi de conducteurs de disposition spéciale.

Pour le courant alternatif monophasé, les difficultés ci-dessus n'existent pas, vu la possibilité de raccorder les instruments électriques à des transformateurs de mesure permettant d'alimenter tous les circuits des instruments en basse tension et à faible ampérage. En revanche, l'appareillage de mesure est infiniment plus étendu et volumineux, en raison d'une part du nombre plus élevé de grandeurs caractéristiques du courant alternatif [2], d'autre part de la complication naturelle des locomotives monophasées travaillant à tensions différentes avant et après le transformateur à gradins. La méthode d'expérimentation consiste ici à faire la prise de courant sur le wagon dynamomètre même, muni de ses propres pantographes, et après traversée de l'appareillage de mesure à haute tension monté à demeure sur le wagon, à amener le courant de ligne aux barres omnibus de la locomotive qui roule avec ses pantographes abaissés. Les mesures du côté secondaire du transformateur à gradins (moteurs de traction et auxiliaires) doivent naturellement se faire sur la locomotive même ; les courants induits secondaires des transformateurs de mesure sont ensuite

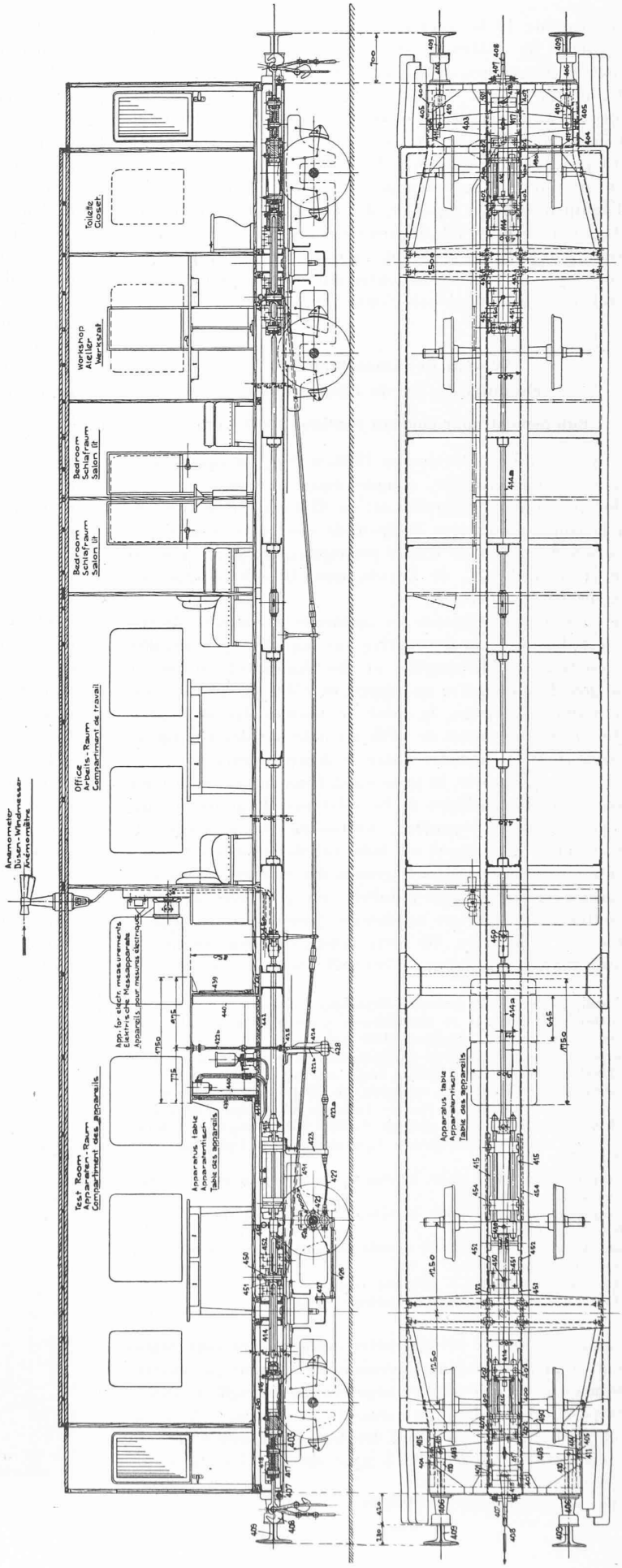

Fig. 1. — Wagon à 2 côtés dynamométriques, échelle 1 : 80.

[1] A la connaissance de l'auteur, ce mode de connexion a été réalisé une des premières fois sur le wagon dynamomètre mixte du Great Indian Peninsula Railway, dont une description succincte a paru, pages 431-438, dans le numéro de novembre 1930 du *Railway Engineer* (Londres).

[2] Cos φ et fréquence, éventuellement puissance réactive en plus des volts, ampères et watts, communs au courant continu.

à ramener de la locomotive au wagon dynamomètre par un système de câbles, c'est-à-dire, abstraction faite des tensions et ampérages, de la même manière que pour le courant continu.

Les indications générales ci-dessus suffisent pour définir le problème dans l'un ou l'autre genre de courant. Elles ne seront pas développées plus à fond dans cette introduction. Les pages qui vont suivre donneront la description complète de l'équipement électrique de deux wagons dynamomètres mixtes, de réalisation relativement récente, l'un pour courant continu, l'autre pour courant monophasé, 16 $^2/_3$ pér./sec. Ces descriptions concrètes montreront mieux qu'un exposé général les solutions adoptées dans l'un ou l'autre cas.

Wagon dynamomètre des chemins de fer de l'Etat italien.

Equipement pour courant continu, 3000 volts.

Ce wagon, mis en service en 1936, a reçu un équipement dynamométrique Amsler, comme décrit ci-dessus.
L'effort maximum mesurable est de 45 tonnes à la traction et à la compression. Son équipement électrique, étudié par la maison Amsler, a été réalisé principalement par la maison Trüb, Täuber & C^1e^, de Zurich, avec la collaboration de deux firmes étrangères [1].

Le courant qui alimente les appareils de mesure électriques est dérivé de la locomotive sur laquelle sont installés des résistances additionnelles et des shunts, et est amené au wagon dynamomètre au moyen de câbles flexibles. Pour les circuits de voltage, la prise de tension des voltmètre, wattmètre et compteurs de kWh est faite sur des résistances montées en potentiomètre entre la haute tension continue (3000 volts) et la terre, la prise étant branchée entre la terre et un point intermédiaire de la résistance. Pour les circuits d'intensité des ampèremètre, wattmètre et compteurs de kWh, la prise de courant est faite sur des shunts intercalés du côté basse tension entre le groupe des moteurs de traction (connectés en série, série-parallèle, ou parallèle) ou entre les moteurs des services auxiliaires (ventilateurs, compresseur d'air) et la terre. De cette façon, tous les circuits de mesure, tant de tension que d'intensité, sont à basse tension.

L'équipement pour mesures électriques consiste en :
1 voltmètre indicateur et enregistreur pour les circuits de traction à 3000 volts, échelle 0-4000 volts.
1 ampèremètre indicateur et enregistreur comme ci-dessus, échelle 0-1000, respectivement 0-500 amp, suivant le shunt utilisé.
1 wattmètre indicateur et enregistreur de puissance consommée (positive) et récupérée par le freinage électrique (négative), échelle 0-3000, respectivement 0-1500 kW suivant le shunt.
Ces trois enregistreurs sont à équipage mobile rigoureusement équilibré.
1 compteur de kWh pour le circuit de traction pour énergie consommée (positive).
1 compteur de kWh pour le circuit de traction pour énergie récupérée (négative).
1 compteur de kWh pour le circuit des services auxiliaires (ventilateurs, compresseur).
Les trois compteurs à courant continu sont de construction spéciale pour chemins de fer, système Siemens.

L'ampèremètre et le wattmètre enregistreurs sont munis chacun d'un commutateur-inverseur de courant permettant de transformer les déviations négatives de l'aiguille en déviations positives pendant les parcours de freinage électrique à récupération. De cette façon, les deux instruments peuvent être dispensés d'une échelle à ligne de zéro intermédiaire, et l'enregistrement dispose en marche récupérative comme en marche directe de toute la largeur de l'échelle.

Les deux compteurs du circuit des moteurs de traction sont munis d'un seul totalisateur, servant à la mesure de l'énergie dans un seul sens ; chacun des deux compteurs est pourvu d'un dispositif d'arrêt du mouvement rétrograde. Les enroulements d'intensité de ces deux compteurs, ne disposant que de la faible différence de tension aux bornes de leur shunt, doivent travailler à fort ampérage [2] et pour cela être alimentés par des conducteurs à très large section.

Le compteur de kWh pour le circuit des services auxiliaires de la locomotive a, vu l'ampérage peu élevé de ces services, son enroulement d'intensité raccordé directement sans shunt au circuit général des services auxiliaires.

Tous les instruments de mesure électriques sont groupés sur un tableau à suspension sur ressorts, placé sur la paroi transversale arrière de la salle des appareils (c'est-à-dire à peu près au milieu du wagon). Le tableau est en deux pièces ; la moitié de droite porte les trois appareils enregistreurs, voltmètre, ampèremètre et wattmètre, la moitié de gauche les trois compteurs de kWh. Cette subdivision est motivée d'une part par la masse et le moment d'inertie fort différents des deux groupes d'instruments. La subdivision du tableau est imposée, d'autre part, par l'obligation de construire le demi-panneau des compteurs en tôle d'aluminium afin de soustraire ceux-ci aux influences magnétiques de leur fixation [1], tandis que les appareils enregistreurs ferrodynamiques, non-sensibles au magnétisme de leur entourage, peuvent sans inconvénient être montés sur une tôle d'acier plus résistante, qu'exige leur grande masse. Les deux demi-tôles du tableau sont mises individuellement à la terre.

Du tableau électrique, des câbles isolés mènent à des boîtes de raccordement placées symétriquement aux deux extrémités du wagon dynamomètre. La locomotive, attelée à l'avant ou à l'arrière du wagon, est reliée par des câbles flexibles démontables à la boîte de raccordement de l'extrémité correspondante du wagon (fig. 4). Les lignes du voltmètre, ampèremètre et wattmètre, ainsi que les lignes des enroulements de tension des trois compteurs de kWh sont réunies en un seul câble flexible à dix âmes sous gaîne isolante ; le raccordement des épanouissements du bout de câble mobile venant de la locomotive aux terminaisons des

[1] Voir note 1, page 238.

[2] Les compteurs de kWh pour courant continu sont en effet à enroulement dépourvu de fer.

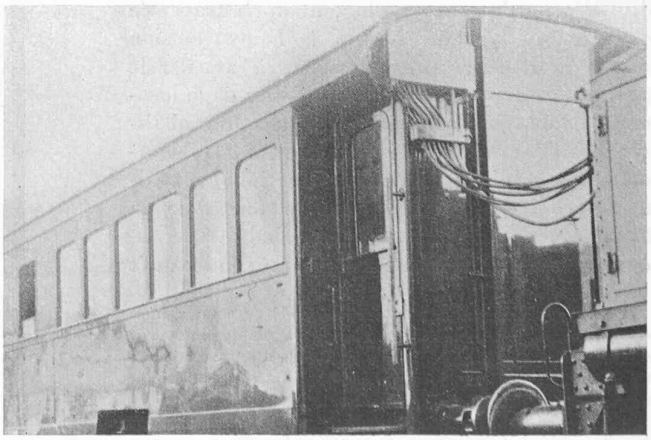

Fig. 4. — Boîte à câbles.

demi-câbles fixes aux extrémités du wagon a lieu au moyen de cossettes avec petits boulons et écrous. Les enroulements d'ampérage des trois compteurs de kWh sont reliés aux prises de la locomotive par trois fois deux câbles individuels flexibles de gros diamètre sous gaîne isolante ; le raccordement des six bouts de câbles mobiles venant de la locomotive aux terminaisons des six demi-câbles fixes aux boîtes d'extrémité du wagon dynamomètre est, pour assurer une résistance de passage invariable, réalisé au moyen de blocs métalliques à très grande surface de contact avec boulons et écrous. Tous les câbles en deux tronçons (une demi-longueur à demeure sur le wagon dynamomètre et une demi-longueur mobile entre paroi frontale du wagon et shunts à l'intérieur de la caisse de la locomotive), y compris leurs organes de raccordement, sont étalonnés conjointement avec l'instrument de mesure correspondant.

Le papier à diagramme des appareils enregistreurs (voltmètre, ampèremètre et wattmètre) est entraîné par une transmission allant sous le plancher de la table dynamométrique Amsler au tableau électrique, de manière à obtenir une avance des diagrammes électriques proportionnelle à l'avance du diagramme des grandeurs mécaniques. Les arbres des tambours à papier de tous les enregistreurs sont en ligne et assemblés par des accouplements à haute isolation. La liaison entre extrémité de la ligne d'arbres et la transmission venant de la table Amsler est assurée par un bout d'arbre télescopique à cardans.

Les instruments enregistreurs électriques sont munis chacun de deux marqueurs électromagnétiques inscrivant sur les deux bords de la bande de papier, actionnables à volonté l'un en fonction du temps donné par l'horloge de la table Amsler, l'autre en fonction de l'espace parcouru par le wagon dynamomètre ou de signaux quelconques de référence.

Les enregistreurs à courant continu pouvant, en cas de dérangement survenu dans les circuits électriques de la locomotive, se trouver soumis accidentellement à la haute tension, des dispositifs de sécurité ont dû être prévus pour la protection des opérateurs. Ils consistent en :

1° Isolation des instruments en cas d'ouverture du boîtier pour échange du papier (interruption automatique du courant lors de l'ouverture de la porte vitrée, par un interrupteur multipolaire solidaire de la poignée de la porte).

2° Empêchement de retour dangereux de haute tension aux masses de la table Amsler par les circuits des inscripteurs de marques sur les diagrammes électriques. A cet effet, l'excitation des électro-aimants des marqueurs a lieu au moyen de courant monophasé à 40 périodes, avec interposition dans le circuit alternatif de transformateurs de séparation empêchant le passage de la haute tension continue. Le courant alternatif est lancé ou interrompu dans le primaire des transformateurs par des relais actionnés en courant continu à 12 volts depuis la table Amsler. Il est fourni par une petite commutatrice monophasée alimentée par une batterie d'accumulateurs à 24 volts. Commutatrice et transformateurs sont logés dans une armoire à proximité du tableau.

La figure 5 donne une vue de la paroi postérieure de la salle des appareils sur laquelle, pour des raisons d'encombrement, les instruments pour mesures électriques ont été placés au-dessus des instruments pour mesures caloriques.

Le wagon dynamomètre est en outre muni d'une série d'appareils électriques portatifs de précision (un voltmètre, un ampèremètre avec leurs résistances additionnelles et

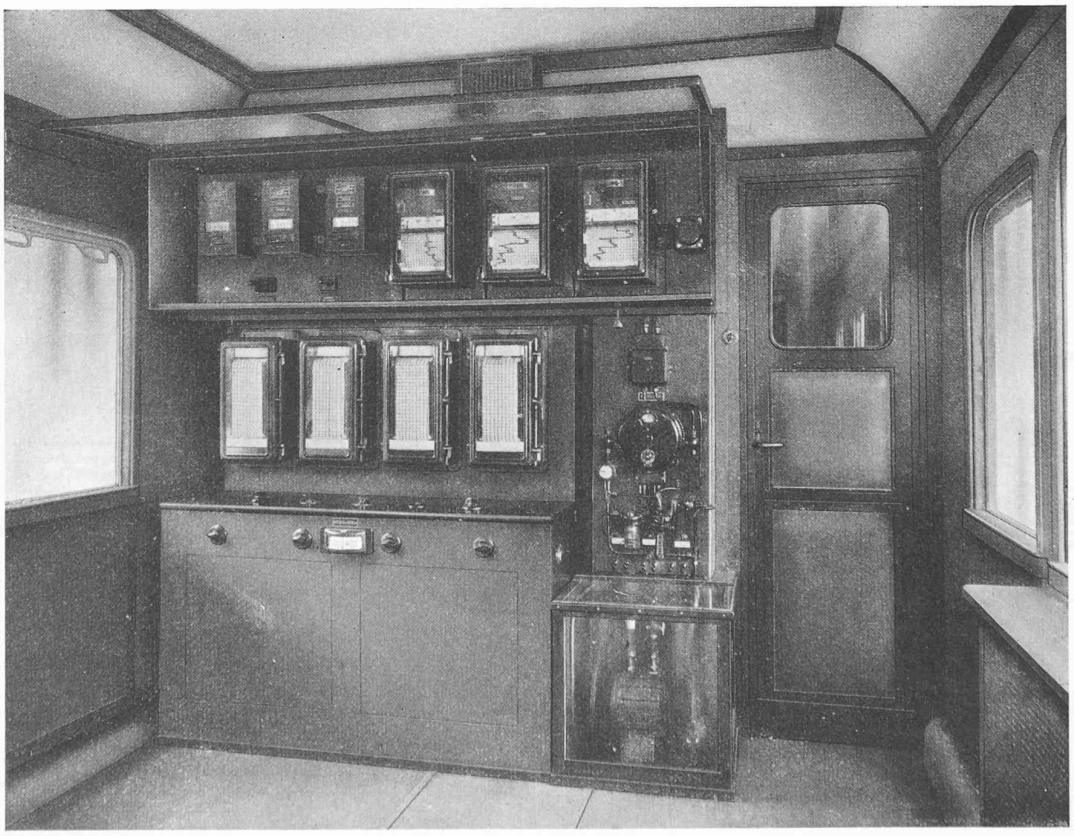

Fig. 5. — Wagon dyn. Etat italien. Salle des appareils. Paroi postérieure avec, en haut, les instruments pour mesures électriques, et, en bas, les instruments pour mesures caloriques.

shunts) pour étalonner de temps en temps les appareils enregistreurs et les compteurs de kWh [1].

Résultats de mesures.

La figure 8 représente le diagramme des grandeurs mécaniques relevé lors des essais de réception du wagon dynamomètre des Chemins de fer de l'Etat italien sur le trajet Pianoro-Florence du train régulier n° R 27, le 25 octobre 1936. Ce diagramme a été pour la reproduction réduit au $^1/_8$ de sa dimension originale.

Au-dessus du diagramme a été reporté le profil en long de la voie. Il s'agit de la partie la plus intéressante de la nouvelle ligne « Direttissima » Bologne-Florence [2] empruntant le deuxième et plus récent tunnel transapennin (fig. 6).

La locomotive (fig. 7) était une des nouvelles grandes locomotives à courant continu des FF. SS. italiens, série

[1] Les appareils enregistreurs avec leurs shunts et câbles étalonnés ont été livrés par la maison Trüb, Täuber & Cie, A.-G., Zurich, qui a fourni également les délicates boîtes-raccords aux deux extrémités du wagon. Les compteurs de kWh à courant continu d'exécution spéciale pour chemins de fer et leurs câbles étalonnés sortent de la maison Siemens et Halske, de Berlin. Enfin le tableau des instruments et tous les travaux d'installation électrique ont été confiés au Tecnomasio Italiano Brown, Boveri à Milan.

[2] Décrite dans : *Schweizerische Bauzeitung*, 12 mai 1934, pages 217-221, « Der grosse Apennin-Tunnel der " Direttissima " Bologna-Firenze », et *Engineering*, 13 juillet 1934, pages 29-31, avec planche II hors texte, « The Bologna-Florence-Direttissima ».

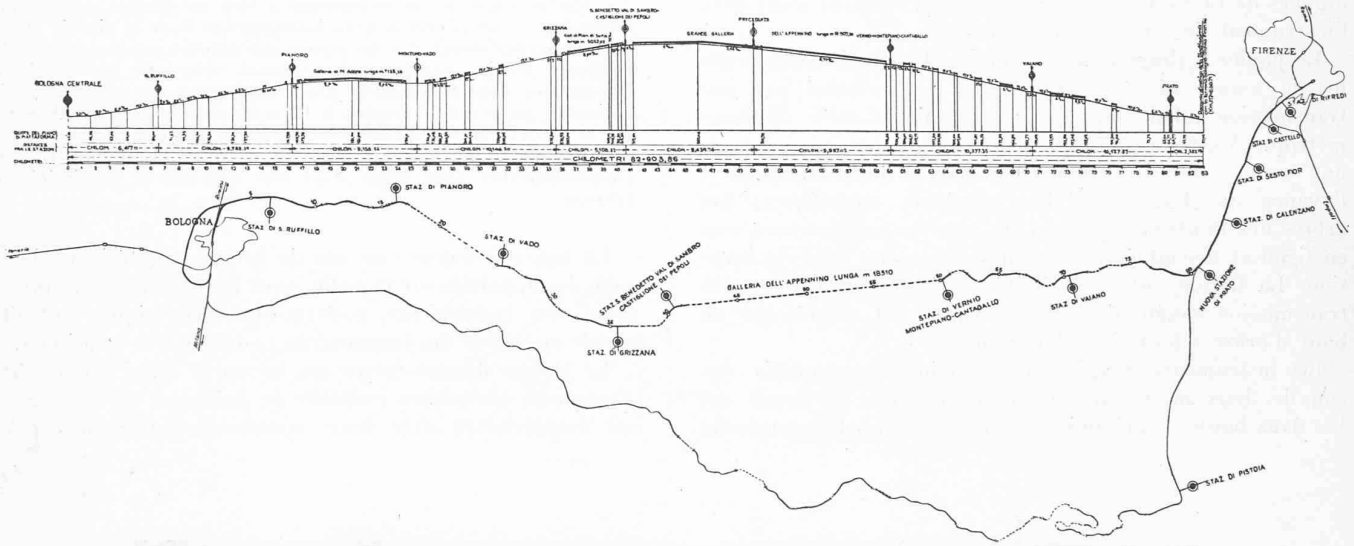

Fig. 6. — Carte de la « Direttissima » Bologne-Florence.

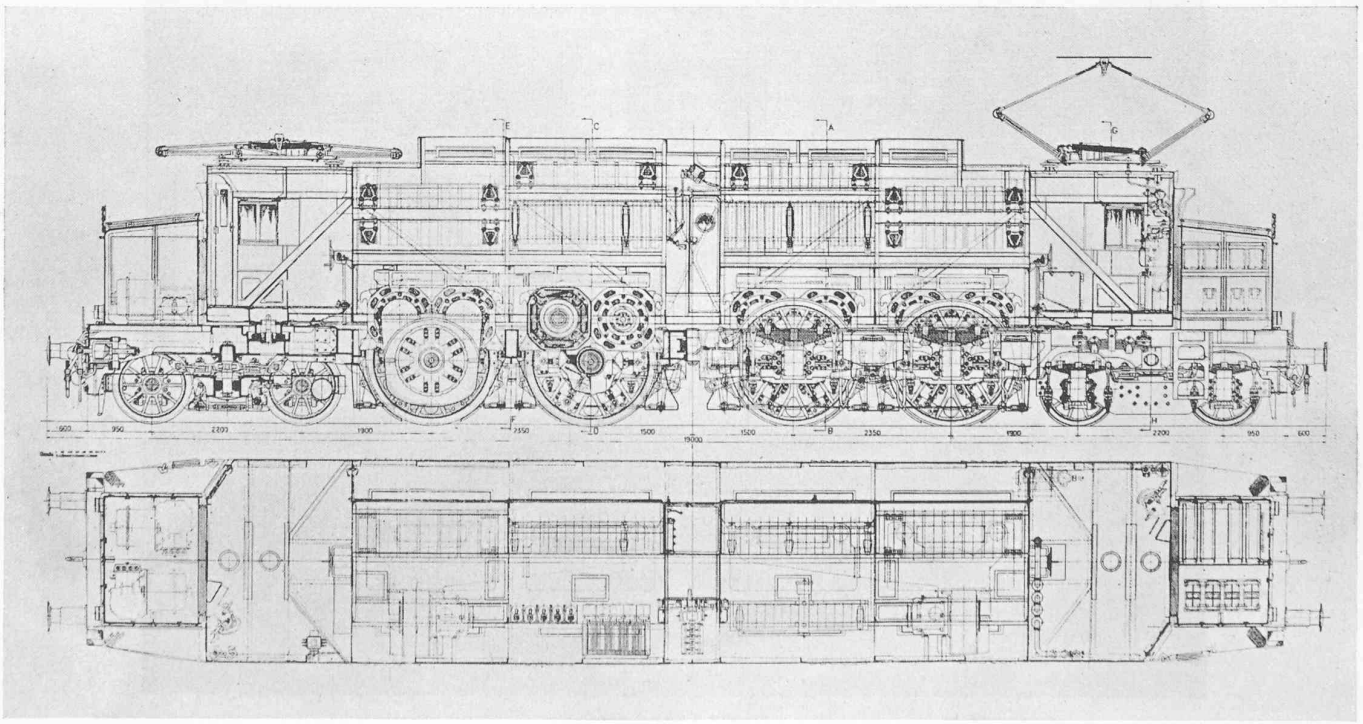

Fig. 7. — Locomotive à courant continu E 428 (type 2B + B2) des Chemins de fer de l'Etat italien. Echelle 1 : 100.

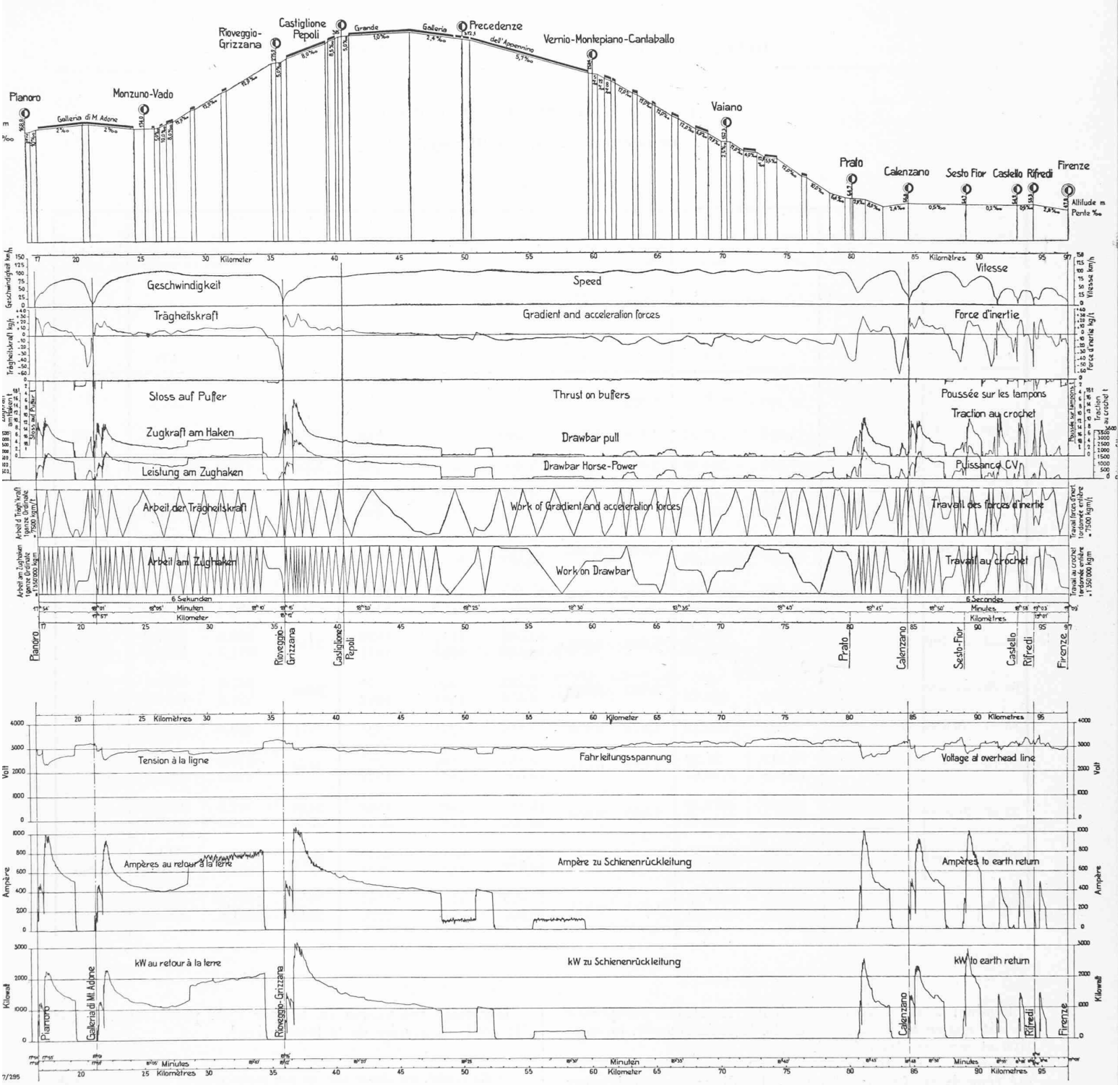

Fig. 8. — Diagrammes du train N° R 27 (27 octobre 1936) ; locomotive E 428, 130 t ; train 260 t, 26 essieux. (Réduits au $^1/_8$)
Wagon dyn. des Chemins de fer de l'Etat italien.

E 428[1] à deux trucks indépendants, comprenant chacun deux essieux moteurs internes et un bogie externe à deux essieux. Elle est donc du type 2B + B2[2]. Chaque essieu moteur est à deux moteurs jumelés dans carcasse commune, à commande directe par engrenages.

Les caractéristiques de cette locomotive sont :

Poids total en service	130 tonnes
Longueur totale sur tampons	19 000 mm
Diamètre des roues motrices	1 880 mm
Diamètre des roues portantes	1 100 mm
Puissance totale continue des moteurs .	2 520 kW
Puissance totale unihoraire des moteurs .	2 800 kW

[1] Pour la description de cette locomotive, voir : *Rivista Tecnica delle Ferrovie Italiane*, Vol. 45, n 4, 15 avril 1934, pages 187-203 et planche XII, et n° 5, 15 mai 1934, pages 256-329 et planche XIII, « L'unification des locomotives électriques à courant continu à 3000 volts », par G. Bianchi, ingénieur au Service matériel et traction des FF. SS. — *Rivista Tecnica delle Ferrovie Italiane*, Vol. 47, n 5, 15 mai 1935, pages 255-279 et planche XVII, « La locomotive à courant continu à 3000 volts, série E 428 », par G. Bianchi. Le cliché de la figure 7 est emprunté à cette dernière publication.

La composition du train était la suivante :

Nombre	Désignation	Tare	Essieux
1	wagon dynamomètre	48 t	4
1	wagon de 1re/2e classe	36 t	4
2	wagons de 2e classe . .	2 × 36 = 72 t	2 × 4 = 8
1	wagon-lits, 1re/2e classe	38 t	4
1	wagon-restaurant	47 t	4
1	fourgon postal	19 t	2
7	wagons	260 t	26

[2] Selon la notation allemande, en usage également en Suisse.

Locomotive 2B+B2 (Ch de F. italiens)

Démarrage en gare de Rioveggio.

TABLEAU I.

1 Temps sec.	2 Chemin km	3 Vitesse km/h	4 Indication Inertiomètre kg/t	5 Traction au crochet t	6 Puissance au crochet C.V.	7 Force d'inertie de la loco. = (4) kg/t × × 130 t t	8 Résistance à l'avancet de la loco. = ordonnée fig. 9 kg/t × × 130 t t	9 Effort aux jantes de la loco. = (5) + (7) + + (8) t	10 Puissance aux jantes de la loco. = 3,7 × (3) × × (9) C.V.	11 Puissance aux jantes de la loco. = (10) / 1,36 kW	12 Tension ligne de contact V	13 Intensité retour terre des moteurs A	14 Puissance abs. par les moteurs kW	15 Rendement instantané de la loco. = (11) / (14)
0	35,900	0	14,79	0 21,570	0	0 1,922	0	0 23,490	0	0	3245 3242	0 144,7	0 469,6	0
7,00	35,917	5,5	18,54	14,640	297,92	2,410	0,343	17,390	353,9	260	3246	159,1	516,4	0,503
14,00	35,934	11,0	22,30	7,710	313,80	2,898	0,348	9,960	405,4	298	3250	173,5	563,9	0,528
21,98	35,950	16,4	26,06	3,710 5,350	225,00 324,52	3,387	0,355	7,450 9,090	455 555	336 410	3253	188,0 215,3	611,6 700,5	0,549 0,581
31,45	36,000	21,6	24,33	0 18,911	0 1322,26	3,162	0,366	2,879 22,439	229 1785	168 1313	3259	120,0 508,0	391,0 1655,0	0,431 0,793
39,05	36,050	25,75	27,91	11,772 12,497	1165,07 1236,83	3,529	0,366	15,667 16,392	1491 1560	1097 1148	3277 3176	438,7 468,7	1437,8 1488,8	0,763 0,771
45,52	36,100	29,9	31,48	8,284 9,649	916,46 1067,47	4,092	0,387	12,763 14,128	1412 1563	1039 1151	3144	438,0 474,7	1377,2 1492,6	0,754 0,771
65,38	36,300	41,9	24,13	0 6,010	0 931,73	3,137	0,432	2,232 9,579	346 1485	770 1092	3160	347,3 454,0	1097,4 1434,6	0,700 0,762
85,34	36,550	47,55	12,87	4,986	876,29	1,672	0,458	7,116	1251	920	3141	400,0	1256,5	0,733
89,10	36,600	48,2	12,95	0,119 12,508	21,22 2230,67	1,683	0,461	2,263 14,652	400 2613	294 1923	3136	177,3 720,7	556,0 2260,1	0,524 0,851
92,81	36,650	48,85	13,02	12,279 18,448	2218,57 3333,18	1,690	0,464	14,433 20,602	2606 3720	1918 2737	3138 3264	717,7 934,7	2252,6 3050,9	0,851 0,897
96,47	36,700	49,5	13,10	15,929 18,758	2917,39 3435,53	1,703	0,467	18,099 20,928	3315 3833	2439 2821	2976	928,0 1052,0	2761,7 3130,7	0,883 0,905
100 08	36,750	50,15	15,11	18,006 17,564	3341,01 3259,00	1,965	0,471	20,442 20,000	3793 3711	2791 2730	2979 2901	1041,4 1041,0	3102,0 3021,5	0,899 0,897

Pendant cette course le freinage électrique récupératif n'était *pas* en action ; en revanche le train *complet*, locomotive et wagons, était freiné.

Au-dessous du diagramme des grandeurs mécaniques ont été reproduits, également au $^1/_8$, les diagrammes originaux des appareils enregistreurs électriques, soit : la tension à la ligne de contact et l'intensité et la puissance (kW) transitant des moteurs au retour par la terre. Ces diagrammes, répétés tels quels des bandes des enregistreurs, ont été complétés par une série de diagrammes de démarrage, figures 10, 11, 12, dérivés des enregistrements immédiats par calcul selon schéma ci-après.

Des grandeurs mesurées au crochet de traction, telles que les donne le wagon dynamomètre, ont tout d'abord été déduites les grandeurs rapportées à la jante des roues motrices de la locomotive. Les grandeurs à la jante sont supérieures à celles au crochet, d'une part de l'effort dynamique pour vaincre l'inertie de la masse propre de la locomotive, et d'autre part de la résistance à l'avancement de cette dernière.

L'effort pour vaincre l'inertie de la masse propre de la locomotive s'obtient (voir page 234 ci-dessus et *Bulletin technique* du 16 février 1924, pages 38 et 39) en multipliant l'indication de l'inertiomètre de Doyen, enregistré dans le diagramme mécanique en kg par t de poids roulant, par le poids en service de la locomotive [1].

[1] En réalité, les choses sont un peu moins simples. La force inhérente au déplacement purement dynamique d'un véhicule — dans le cas particulier la locomotive — se compose de la somme algébrique de la force nécessaire pour accélérer, respectivement décélérer, le véhicule et de la force pour le soulever ou le faire descendre en rampe (autrement dit de la composante de la gravité terrestre suivant la déclivité). La masse accélérée consiste elle-même en la masse translatoire proprement dite du véhicule M, augmentée de la masse de l'ensemble des organes rotatifs — roues, essieux, engrenages et rotors des moteurs — réduite à la jante des roues motrices,

$$m_r = \sum \frac{r_k^2}{r_i^2}, \quad \frac{J_p}{r^2},$$

(J_p = moment d'inertie polaire, r_i, r_k = rayons d'engrenages, r = rayon des roues motrices), soit au total $M + m_r$. Pour une locomotive électrique, la masse virtuelle m_r des organes rotatifs est loin d'être négligeable, voir par exemple l'article de M. Thormann dans la *Schweizerische Bauzeitung* du 8 juillet 1919, page 10. Or, en rampe, la masse totale apparente $M + m_r$ participe à l'accélération linéaire, tandis que seule la masse translatoire M est soumise à la composante de la pesanteur.

En palier, le calcul est simple ; il suffit de majorer la masse translatoire d'un certain pourcentage, tenant compte des masses rotatives et de multiplier en bloc la masse corrigée par l'indication d'inertiomètre. En rampe, par contre, il faut calculer séparément le produit de la masse apparente totale $M + m_r$ par l'accélération linéaire (déduite de la courbe de vitesse)

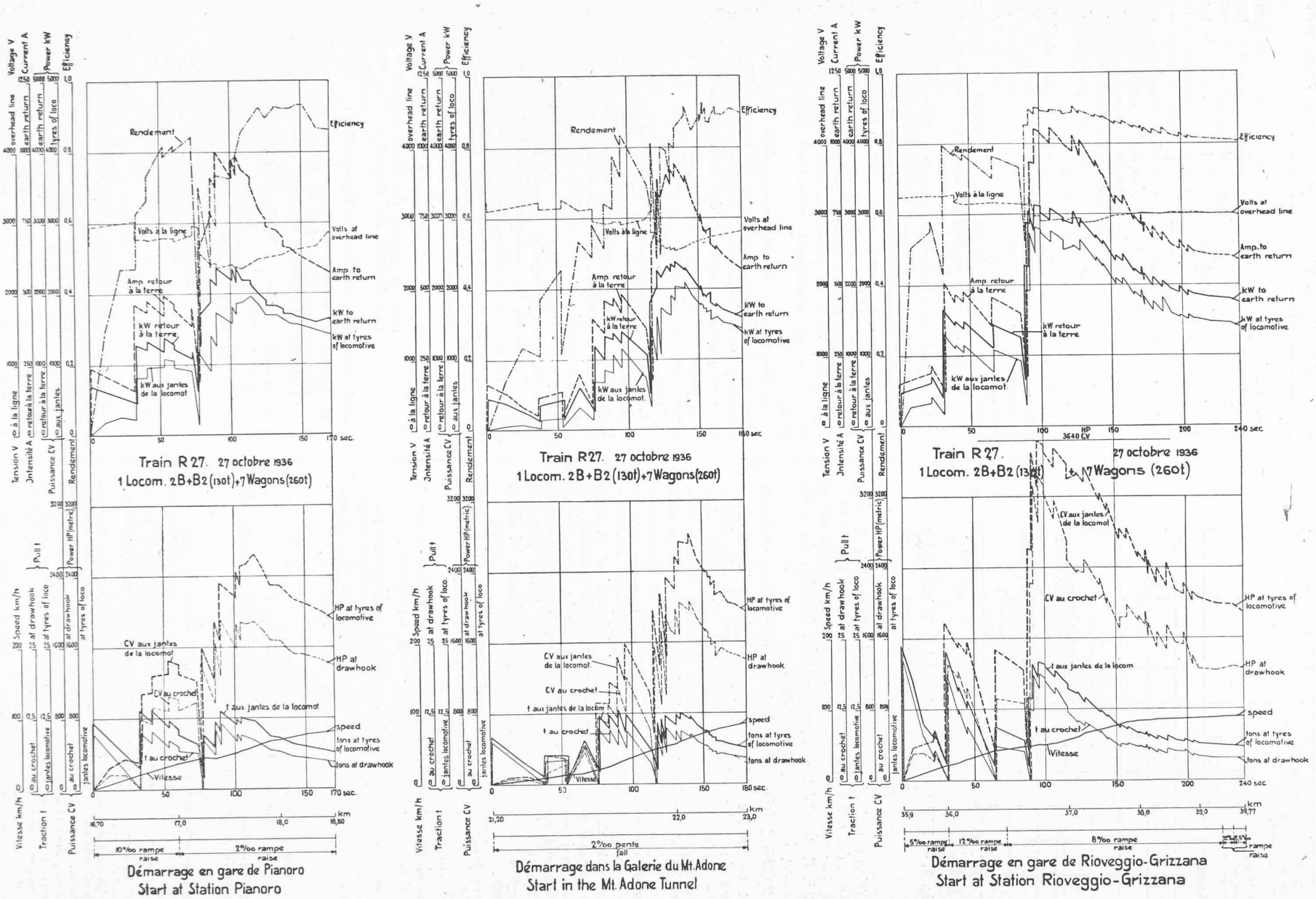

Fig. 10, 11 et 12. — Diagrammes de démarrage. Wagon dynamomètre des chemins de fer de l'Etat italien.

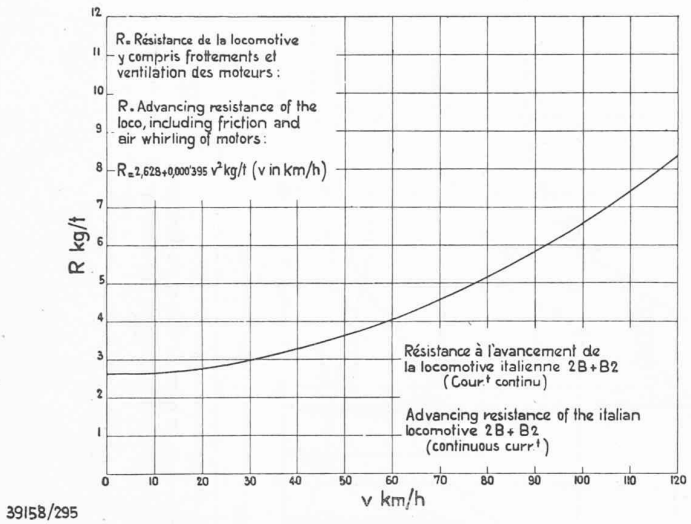

Fig. 9. — Résistance à l'avancement de la locomotive 2B + B2 des FF.SS.

La résistance à l'avancement (souvent appelée à tort « résistance de roulement ») de la locomotive est représentée pour la locomotive italienne E 428 par la courbe de la figure 9 [1]. Cette résistance, exprimée en fonction du poids de la locomotive en t par la formule

$$R = 2{,}6280 + 0{,}000395\ v^2 \text{ kg/t}, \qquad v = \text{vitesse en km/h}$$

contient toutes les résistances passives de la locomotive : résistance de roulement des bandages sur les rails, frottement des fusées d'essieux et d'arbres du mécanisme, résistance des engrenages, frottement du collecteur et des paliers des moteurs, résistance de ventilation des moteurs, et enfin résistance aérodynamique de la caisse de la locomotive. Les valeurs de la formule multipliées par le poids en t de la locomotive définissent la résistance physique d'avancement de cette dernière. La résistance ci-dessus est la résistance à l'avancement en ligne droite. Dans les courbes, elle doit être majorée de la *résistance en courbe*, inversement proportionnelle au rayon des arcs. Les trois diagrammes de démarrage (fig. 10, 11, 12) se rapportant à des parcours droits, cette dernière résistance n'a pas eu besoin ici d'être considérée.

L'effort tractif total développé par la locomotive à la jante de ses roues motrices a ainsi été établi par addition des trois constituants :

Effort au crochet (wagon dyn.) + force d'inertie + résistance à l'avancement de la locomotive.

La puissance effective de la locomotive à la jante des roues motrices a ensuite été obtenue en partant de l'effort tractif aux jantes et de la vitesse. ($CV_{jantes} = 3{,}7 \times \text{effort}_{jantes}$ (t) $\times$ vitesse (km/h) ou encore $CV_{jantes} = CV_{crochet} \times \dfrac{\text{effort}_{jantes}}{\text{effort}_{crochet}}$).

Enfin le rendement *instantané* global de la locomotive est donné par le quotient :

Puissance convertie en kW à la jante des roues motrices/ puissance en kW au retour à la terre.

Le rendement obtenu de cette façon n'est pas entièrement correct, car il laisse de côté la puissance absorbée par les services auxiliaires, fournie également par la ligne de contact. Mais dans les locomotives à courant continu, où la mesure de la puissance transitante se fait exclusivement au retour au rail des moteurs, il n'est guère possible de tenir compte de la puissance instantanée des services auxiliaires, ceux-ci n'étant, pour des raisons de simplicité, équipés que d'un seul compteur de kWh. En revanche, l'énergie absorbée par les services auxiliaires sera incorporée dans le rendement *moyen* : prise de courant/jantes sur un parcours donné, comme on verra un peu plus loin.

La figure 10 représente un démarrage en gare de Pianoro à la transition d'un palier de station à une rampe de 10 ‰, la figure 11 un démarrage dans la galerie du Mont Adone presque en palier (faible déclivité de 2 ‰), enfin la figure 12 un démarrage en gare de Rioveggio-Grizzana sur forte rampe (5 à 12 ‰). Tous ces diagrammes sont tracés en fonction du temps en secondes [2].

En regard de ce dernier diagramme, nous avons reproduit (tableau 1) les valeurs numériques relatives au début de ce démarrage. Ce tableau montre clairement le détail des valeurs, soit enregistrées directement, soit déduites par calcul ci-dessus des chiffres originaires, et permet de se rendre compte facilement du mode d'établissement des valeurs de déduction (effort et puissance aux jantes motrices de la locomotive et rendement instantané jantes/énergie introduite).

Ces diagrammes de démarrage, dont l'aspect caractéristique est familier aux spécialistes des locomotives électriques, laissent aisément reconnaître le passage de l'un à l'autre des trois groupements successifs des moteurs de traction (série, série-parallèle, parallèle) et la désinsertion progressive des résistances de démarrage en circuit avec les groupes de moteurs.

Les valeurs instantanées données par les diagrammes de démarrage intéressent en premier lieu les constructeurs de locomotives. Pour les ingénieurs des chemins de fer, en revanche, l'intérêt se porte spécialement sur la consommation d'énergie électrique et le rendement global : jantes/ligne de contact des locomotives en valeur *moyenne sur un parcours déterminé*. Nous indiquons ci-après à titre d'exemple, avec détail du calcul, les consommations d'énergie et les rendements moyens pour deux parcours caractéristiques, l'un à faible rampe, l'autre à rampe plus prononcée. Ces parcours sont précisément ceux débutant par les diagrammes de démarrage reproduits en figures 10 et 11.

Parcours : Pianoro — Début du freinage avant l'arrêt dans la galerie du Mont Adone. (km 16,700 - km 19,600) :

Energie mécanique produite par la locomotive :

a) Travail au crochet du wagon dynamomètre (zigzags et fractions de zigzags de l'intégrateur Amsler de travail au crochet)		18 630 000 kgm
b) Travail des forces d'inertie de la masse de la locomotive [3] :		
Zigzags et fractions positifs de l'ergomètre Amsler	+ 38 226 kgm/t	
» » négatifs	—	
	+ 38 226 kgm/t	
	× 130 t (locom.)	4 969 380 kgm

et lui additionner le produit du poids de la locomotive par la pente.

Dans la pratique courante, on renonce souvent à cette détermination très laborieuse, et on se contente de multiplier l'indication $\frac{dv}{dt} + g \sin \alpha$ du pendule de Doyen soit par la masse translatoire pure et simple, soit par une masse idéale corrigée.

Dans l'évaluation ci-dessus, étant donné qu'il s'agit d'une ligne de montagne à profil très accidenté où c'est tantôt l'un tantôt l'autre des deux cas précédents qui entre en jeu et où l'influence de la pesanteur est fréquemment prépondérante, nous nous sommes contentés de la détermination approchée *sans* correction pour masses rotatives. Cette simplification se justifie ici d'autant plus que notre but est avant tout de donner un aperçu clair de l'interprétation des diagrammes obtenus.

[1] Obligeamment mise à la disposition de l'auteur par la Section Matériel et Traction des Chemins de fer italiens.

[2] Dans le cas particulier du train R 27 du 27 octobre 1936, les diagrammes de démarrage ont dû, à défaut de mieux, être redessinés sur l'abscisse temps en partant des graphiques originaux sur abscisse espace. Mais, dans la règle, pour les essais spéciaux de démarrage, les graphiques sont relevés directement sur abscisse temps, ici plus caractéristique, au moyen du déroulement au temps des bandes de la table dynamométrique et des enregistreurs électriques solidaires de cette dernière. On utilise de préférence une des grandes vitesses d'avance du papier (5 ou 30 mm/sec. pour la table Amsler).

[3] *Sans* majoration pour les masses rotatives.

c) Travail de la résistance à l'avancement de la locomotive [1] (par intégration graphique de forces de la colonne 8 du tableau 1)	1 663 795 kgm
Au total : travail effectif à la jante des roues motrices	25 263 175 kgm
Energie électrique fournie à la locomotive :	
d) Aux moteurs de traction (différences des lectures du compteur de kWh des moteurs)	83,753 kWh
e) Aux services auxiliaires (différence des lectures du compteur de kWh des services auxiliaires)	0,825 kWh
Au total : énergie électrique fournie . .	84,578 kWh
Energie électrique fournie convertie en kgm [2]) = 84,578 kWh × 367 200 kgm/kWh . . . . . =	31 057 042 kgm

Rendement électrique *moyen* de la locomotive sur le parcours km 16,700 - km 19,600 :

$$\eta = \frac{25\,263\,175 \text{ kgm}}{31\,057\,042 \text{ kgm}} = \underline{0{,}8134}\ ^{4)}.$$

Parcours : Arrêt dans la galerie du Mont Adone — Début du freinage en gare de Rioveggio. (km 21,200 - km 34,500) :

Les chiffres correspondants sont, tous calculs faits :

a)	58 932 000 kgm
b)	15 661 035 kgm [3])
c)	105 37 950 kgm
Au total : travail effectif à la jante des roues motrices, *a*) + *b*) + *c*) . =	85 130 985 kgm
d)	258,614 kWh
e)	2,400 kWh
Au total : énergie électrique fournie, *d*)+*e*)	261,014 kWh = 95 844 341 kgm [2])

Rendement électrique *moyen* de la locomotive sur le parcours km 21,200 - km 34,500 :

$$\eta = \frac{85\,130\,985 \text{ kgm}}{95\,844\,341 \text{ kgm}} = \underline{0{,}8822}\ ^{4)}.$$

L'amélioration du rendement moyen sur le parcours à forte rampe et pleine charge Arrêt du Mont Adone - Rioveggio par rapport au parcours presque en palier Pianoro - Arrêt du Mont Adone, où la locomotive ne travaillait qu'à charge réduite, est évidente.

(A suivre.)

BIBLIOGRAPHIE

Mémoires de l'Association internationale des ponts et charpentes, publiés par le Secrétariat général, à Zurich. Septième volume, 1943-1944.

La préface de ce volume est signée par les secrétaires généraux de l'Association, MM. les professeurs M. Ritter et F. Stüssi, de l'Ecole polytechnique fédérale, qui, pour la seconde fois depuis le début de la guerre, sont parvenus à publier les « Mémoires » de l'A. I. P. C.

Ce volume de près de 400 pages contient dix-huit études, dont douze en allemand, cinq en français et une en anglais. Nous en donnons ici une énumération et un très bref commentaire que nous empruntons à l'ouvrage lui-même, qui comporte en fin de chaque exposé un résumé en trois langues.

Un rapport inconnu de Navier. Remarques préliminaires de M. le professeur Dr *Stüssi.*

Il s'agit de la publication intégrale d'une expertise, retrouvée récemment et restée inconnue, que L. Navier (1785-1836) a présentée le 20 mai 1826 sur un projet de G.-H. Dufour (général de l'armée suisse dans la guerre de « Sonderbund ») pour le Grand Pont à Fribourg. Cette expertise est remarquable par l'aperçu caractéristique qu'elle nous donne de la conception technique et constructive de Navier, conception à laquelle nous devons la création d'une « statique des constructions » proprement dite, telle qu'elle fut établie par Navier dans ses deux œuvres principales : *Rapport et mémoire sur les ponts suspendus*, 1823 et *Résumé des leçons sur l'application de la mécanique*, 1826.

Sur le calcul des ponts suspendus pour des charges verticales et horizontales, par M. le Dr *A. Aas-Jakobsen*, Oslo (texte en allemand).

Ce mémoire contient des tables et des formules explicites, se rapportant aux poutres raidisseuses des ponts suspendus à une et trois ouvertures ; elles mettent en évidence le moment de flexion et les efforts tranchants maxima, de même que les déviations angulaires et les forces horizontales correspondantes dues à des charges verticales. Le déplacement horizontal des câbles est également pris en considération. Les corrections à apporter aux moments de flexion, dues aux déplacements horizontaux des câbles, sont indiquées, de même que les déplacements du sommet de la tour et les corrections correspondantes des moments de flexion de la poutre raidisseuse. Il est démontré ensuite que sous l'effet latéral du vent, le moment maximum prend une forme simple.

La sécurité au flambage des membrures comprimées de ponts ouverts, par M. le professeur Dr *Z. Bazant*, Prague (texte en allemand).

La stabilité de la membrure comprimée d'un pont métallique peut être vérifiée (d'après M. Keelhoff) en choisissant la déviation de la membrure dans le plan horizontal et en calculant d'abord les moments fléchissants dus à cette déviation et au degré de sécurité choisi, et ensuite la ligne élastique de la membrure. Par un calcul répété, on obtient la charge critique (le degré de sécurité) pour laquelle la ligne élastique choisie et celle qui a été calculée sont identiques.

Décomposition des coefficients d'influence dans les problèmes de vibration et de flambage, par *F. Buckens*, docteur ès sciences, Louvain (texte en français).

Il est question de surmonter, en la divisant, la difficulté que présentent certains problèmes de vibration et de stabilité de systèmes à structures élastiques complexes. On montre à cet effet qu'une définition de systèmes partiels par décomposition des coefficients d'influence permet de déterminer une valeur approchée par défaut de la fréquence fondamentale ou de la charge critique, suivant une formule de décomposition quadratique des périodes, respectivement de décomposition linéaire des inverses des charges critiques.

La méthode combinée des forces et des déformations, par le Dr *A. Efsen*, Copenhague (texte en allemand).

Pour calculer les systèmes hyperstatiques, deux méthodes essentiellement différentes sont à disposition.

La « méthode des forces » est basée sur l'introduction dans le système donné d'un certain nombre de nouveaux états de mobilité (équations d'élasticité des forces).

La « méthode de déformation » par contre supprime certains états de mobilité par l'adjonction au système donné de certaines barres (équations d'élasticité des déformations).

Ces deux méthodes ont été étudiées jusque dans leurs moindres détails.

Par contre, une étude théorique générale des systèmes hyperstatiques, basée sur l'adjonction et la suppression de certains états de mobilité, n'a, au savoir de l'auteur, pas été publiée jusqu'ici. C'est précisément le but de ce mémoire.

Le calcul des plaques obliques par la méthode des équations aux différences, par *H. Favre*, professeur à l'Ecole polytechnique, Zurich (texte en français).

[1] En l'absence de résistance de courbe (parcours droits). Si la résistance à l'avancement est donnée, comme c'est le cas ici, par une formule parabolique binome $R = a + bv^2$, la détermination du travail de la résistance $T = \int_o^x R \,.\, dx = a \,.\, \int_o^x dx + b \int_o^x v^2\, dx$ peut être réalisé mécaniquement de manière particulièrement simple : le premier terme est le produit du coefficient a par le chemin parcouru en m, le second le produit du coefficient b par le double (à échelle convenable) du moment statique par rapport à l'axe des x de la courbe des vitesses, moment évaluable au moyen d'un intégrateur Amsler.

[2] 1 kWh = 1,36 CV × 75 kgm/sec/CV × 3600 sec/h × 1 h = 367 200 kgm.

[3] Sans majoration pour les masses rotatives.

[4] Ces deux chiffres sont manifestement un peu trop forts. Leur excès réside dans l'indication légèrement inexacte *en moins* du wattmètre et des compteurs de kWh, qui n'étaient pas encore parfaitement ajustés lors des essais de réception, ainsi qu'il fut constaté à leur réglage définitif au moyen des instruments de contrôle après les courses d'essai. Cette anomalie est sans importance pour le but du présent article.