

LA MICHELINE ÉLECTRIQUE

par M. TOURNEUR

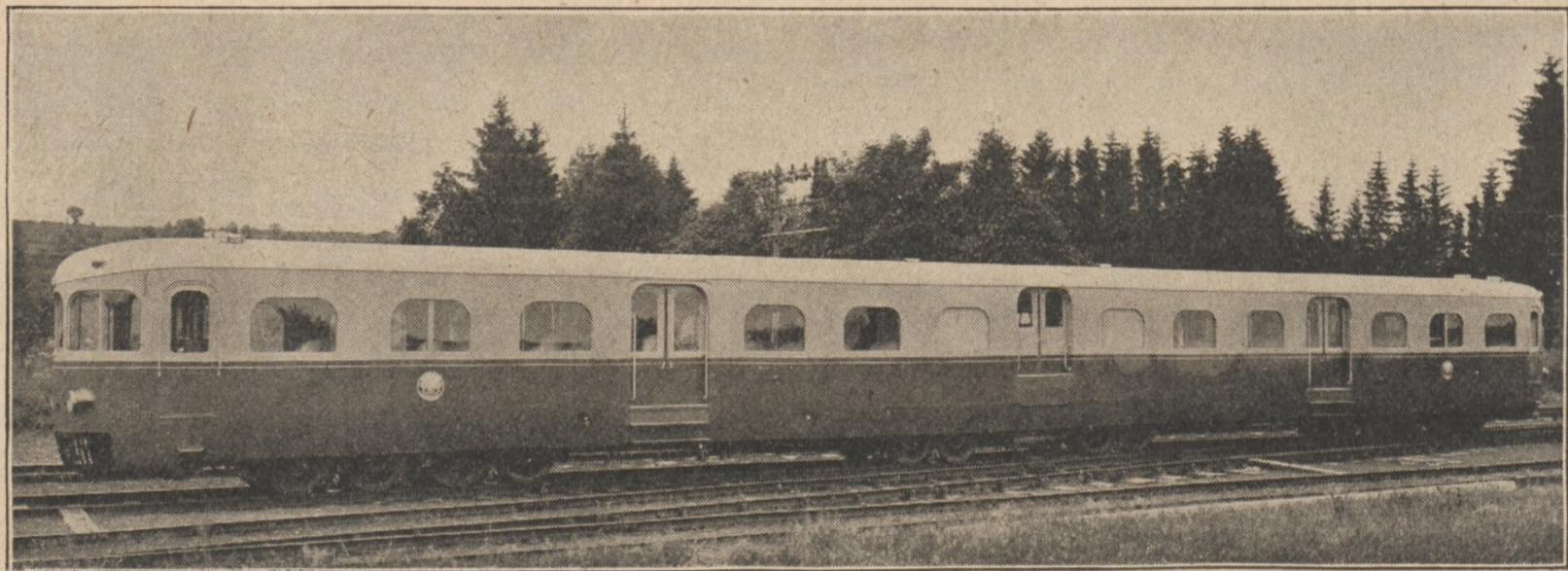
Ingénieur en Chef
Chef de la Division des Études d'Autorails
à la Société Nationale des Chemins de fer français

Depuis 1929, année de ses premiers essais d'un véhicule ferroviaire muni de pneumatiques spéciaux, la Société Michelin a apporté de nombreux perfectionnements au « pneu-rail », dont la charge admissible est passée, pour le type normal, de 800 à 1 200 kg.

Jusqu'à l'année dernière, l'emploi de ces pneumatiques avait été limité aux autorails, engins autonomes qui se prêtaient facilement à la mise au point d'un dispositif aussi nouveau. Sans compter les matériels livrés hors de France, une centaine de "Michelines" font actuellement partie du parc d'autorails de la S.N.C.F.,

Outre une amélioration très sensible du confort, due principalement à la réduction des bruits, le pneumatique permet de pousser au maximum l'allègement du matériel, et il procure de ce fait des avantages marqués dans tous les cas où le facteur poids joue un rôle prépondérant : circulation sur les lignes accidentées, et service avec arrêts très fréquents. Le pneumatique présente, en outre, un haut coefficient d'adhérence, sauf par temps de verglas, mais, en contrepartie, il donne naissance à des résistances passives importantes, qui viennent tempérer les éco-

Fig. 1. — La Micheline type 23 à un moteur de 400 ch.



dont 25 du type le plus récent (1) (Fig. 1), équipées avec un moteur Panhard de 400 ch à carburation, et dont les principales caractéristiques sont rappelées dans le tableau de la page 163.

(1) Voir R. G. C. F. du 1^{er} octobre 1937.

nomies de consommation d'énergie qu'on serait en droit d'attendre d'un matériel aussi léger.

L'utilisation de Michelines à moteurs à essence sur des lignes de montagne, telles Grenoble — Veynes, Clermont-Ferrand — Le Puy, Carmeaux — Rodez, a mis en évidence l'intérêt du véhicule léger sur les profils

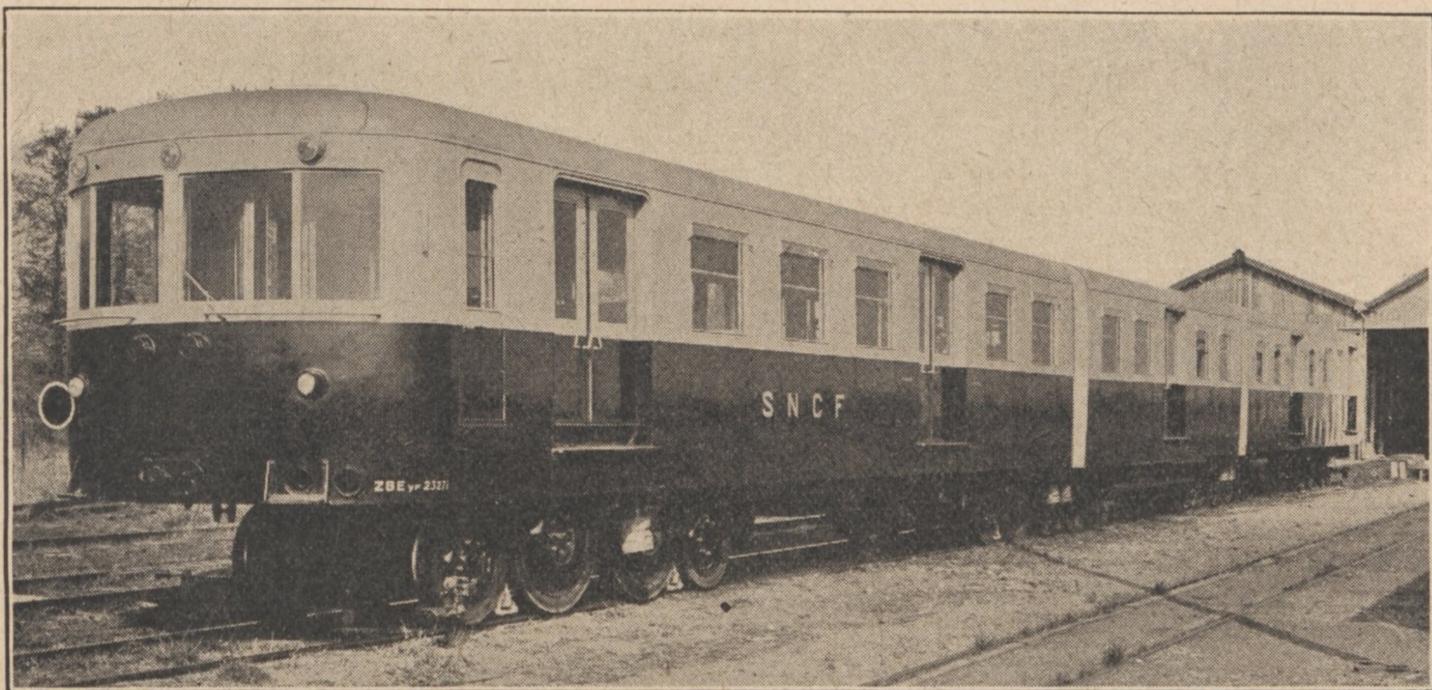
difficiles. Pour expérimenter celui-ci sur les lignes comportant de nombreux arrêts et étendre le champ d'action du matériel sur pneus, Michelin a réalisé une automotrice électrique d'essai, destinée aux lignes électrifiées de la banlieue Saint-Lazare, que la S.N.C.F. a mise en service régulier sur la ligne « Auteuil-

Partie Mécanique

La partie mécanique de l'automotrice présente beaucoup d'analogies avec celles des deux Michelin's triples livrées en 1936 au réseau de l'Etat.

Les charpentes de caisse, en acier PM 20, comportent

Fig. 2. — La Micheline électrique



Pont Cardinet » en août 1940, et qui a déjà fait l'objet, lors de sa livraison, d'une courte information dans la Revue Générale (1).

Nous nous proposons de donner la description de cette automotrice et d'exposer les premiers résultats obtenus en service.

La Micheline électrique est une automotrice articulée, à trois caisses reposant sur quatre bogies identiques (Fig. 2 et 3). Elle offre sensiblement la même capacité que les « éléments électriques Standard » en service

essentiellement deux poutres en tôles minces (0,7 à 3 mm) formant l'ossature des parois, reliées par les courbes de pavillon et les traverses du plancher; deux poutres longitudinales renforcent ce dernier et transmettent les efforts de choc et de traction. La figure 4 donne une vue de la charpente de la caisse médiane, dont le poids est seulement de 1 150 kg.

Les revêtements des faces sont en Plymax de 4 et 5 mm d'épaisseur, à double face aluminium, avec garnissage intérieur en Loreid.

Matériel	Longueur (m)	Places offertes				Surface utile du plancher (m ²)	Poids		
		Assises	Debout	Total	% de places debout		à vide (tonnes)	en charge (tonnes)	à vide, en kg par m ² de surface du plancher
Micheline type 23 à moteur thermique	31,460	80	16	96	17 %	65	22,5	32	346
Micheline électrique	39,080	136	120	256	47 %	85,3	32]	51	375
Élément électrique Standard.	39,320	130	167	297	56 %	90	97,5	119,5	1 080

sur la banlieue Saint-Lazare, constitués par une automotrice et une remorque, et sa longueur est la même, comme le montre le tableau ci-dessus.

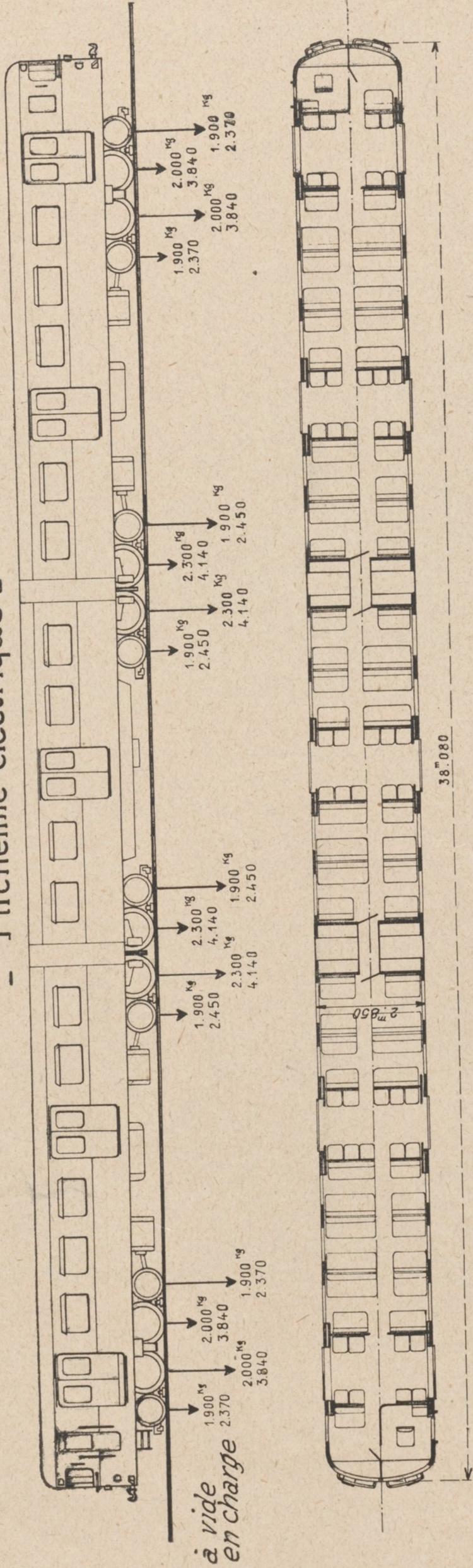
Les bogies (Fig. 5) avec châssis en tôles soudées en acier PM 20, sont à quatre essieux, ceux du milieu, à roues de grand diamètre et sans boudins, étant seuls moteurs.

Un système de leviers reporte la plus grande partie

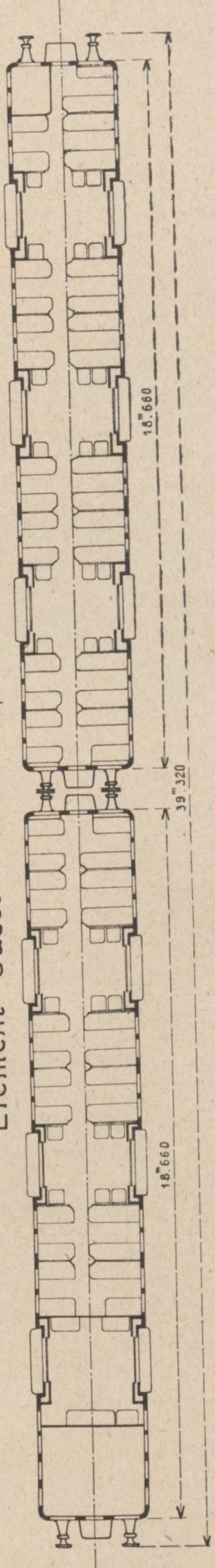
(1) Numéro du 1^{er} février 1939.

Fig. 3. — Diagrammes de la Micheline électrique et des éléments en service sur la banlieue Saint-Lazare.

— Micheline électrique —



Elément Ouest - 5^{ème} série (Banlieue S^t-Lazare)



de la charge utile sur les essieux moteurs milieu, de façon à ne pas surcharger les pneus-rails normaux des essieux extrêmes, dont la charge à vide doit être

de ressorts hélicoïdaux (Fig. 6). Les pivots, qui ne supportent aucune charge verticale, sont reliés aux châssis des bogies par deux blocs en caoutchouc collé,

Fig. 4. — Charpente de la caisse médiane

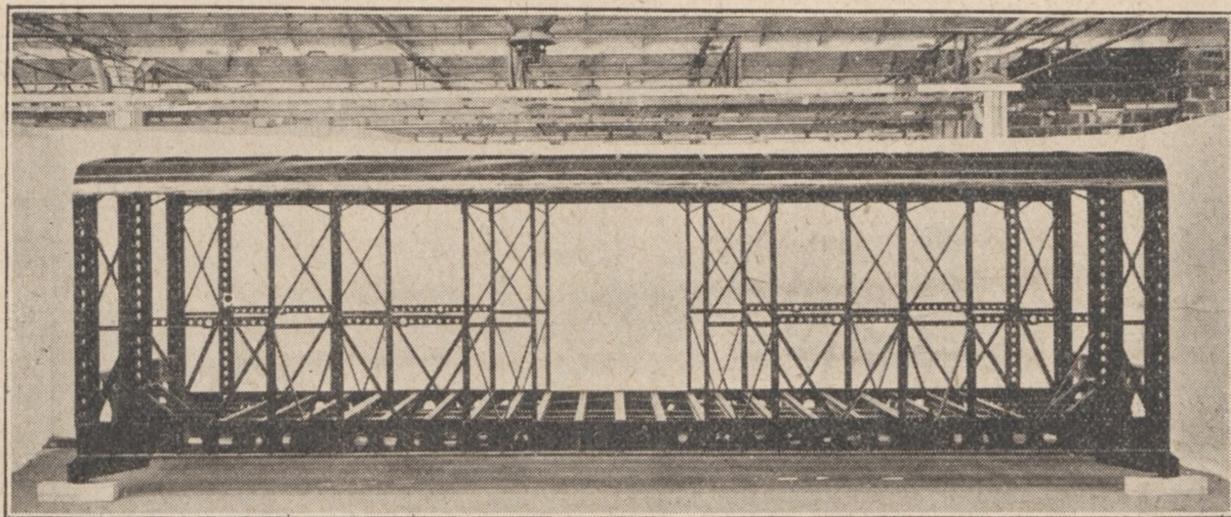
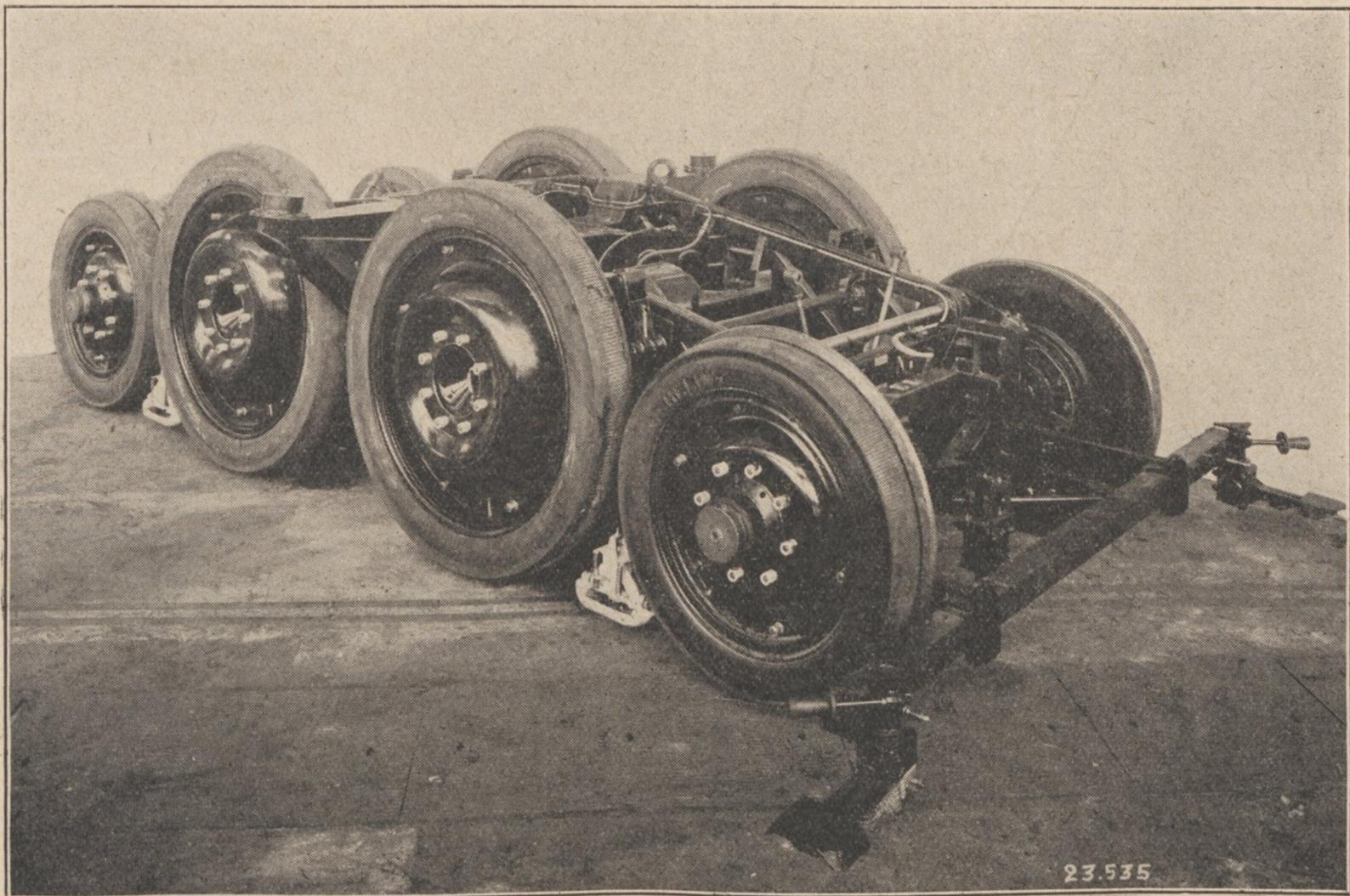


Fig. 5. — Bogie



néanmoins suffisante pour assurer un guidage correct des bogies.

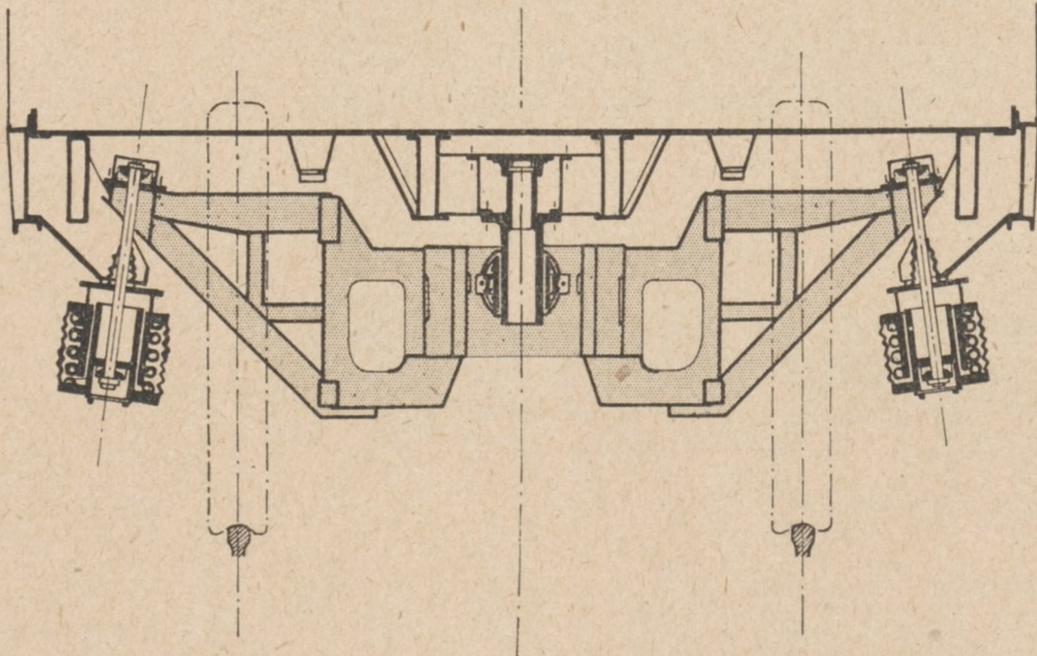
Les caisses sont suspendues aux bogies par des bielles inclinées munies de rotules, avec interposition

permettant aux caisses de prendre des déplacements transversaux, le rappel étant assuré par l'inclinaison des bielles et l'effort de cisaillement des blocs de caoutchouc.

Équipement électrique et freins

Les quatre moteurs électriques de traction à excitation série, type HGLM-0411 de la Compagnie Electromécanique, avec flasques en métal léger, sont fixés longitudinalement sous les caisses et attaquent par

Fig. 6. — Schéma de la liaison des caisses avec les bogies



un arbre à cardans les ponts moteurs des essieux, à démultiplication par vis (Fig. 7); un différentiel est interposé entre les deux ponts moteurs du bogie.

modifications apportées aux pièces mécaniques de l'appareillage, par l'emploi de résistances de démarrage en tôle d'acier inoxydable au lieu de fonte, et par l'utilisation de l'aluminium pour le câblage. Le gain de poids sur la partie électrique, moteurs exceptés, atteint 2 000 kg, soit près de 40 %.

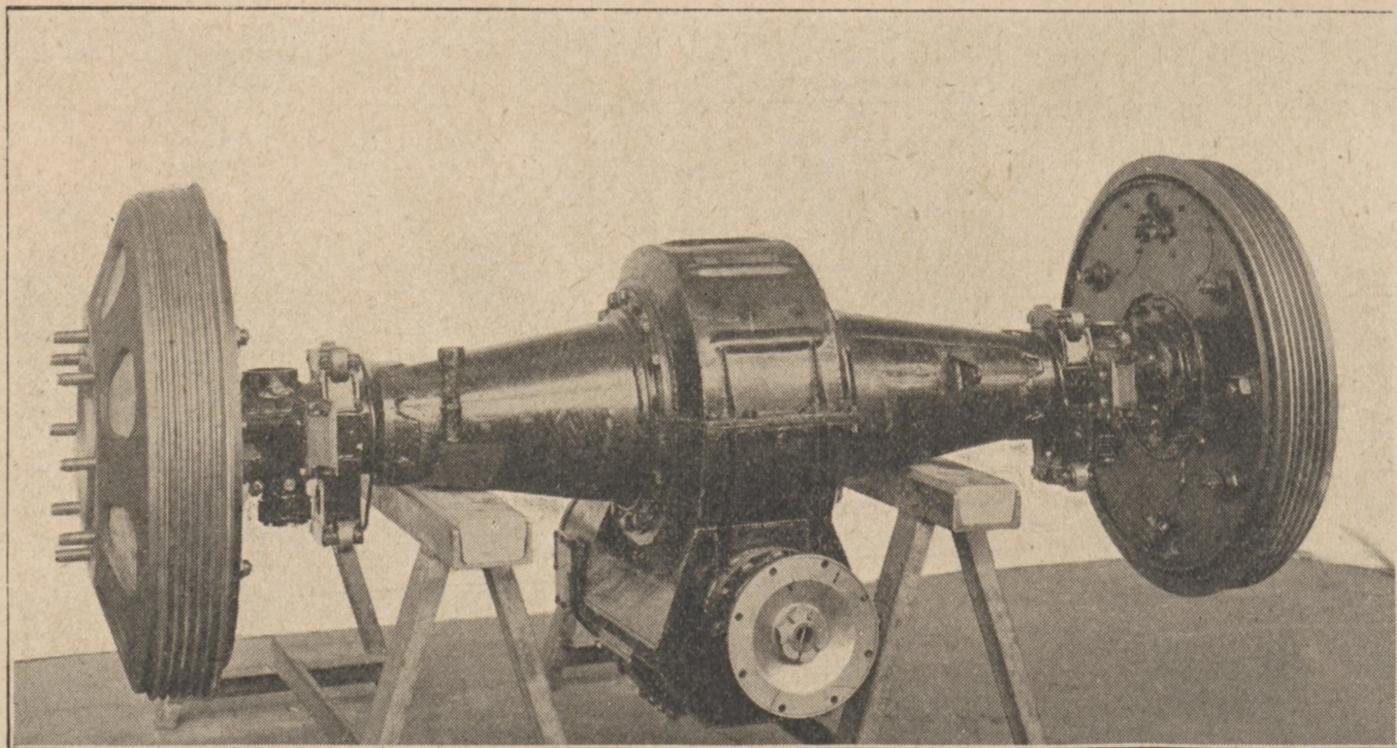
Les quatre moteurs de traction sont répartis en deux groupes de deux moteurs constamment couplés en parallèle, ces groupes pouvant être eux-mêmes, au cours du démarrage, couplés en série ou en parallèle.

L'équipement comporte deux crans de manœuvre, quatre crans de marche normale (couplage série parallèle à plein champ et à champ réduit, et couplage parallèle à plein champ et à champ réduit) et 23 crans de démarrage par élimination des résistances et variations de champ.

Les contacteurs électropneumatiques d'élimination des résistances sont commandés automatiquement par un combinateur CEM électropneumatique placé sous la dépendance des relais d'accélération.

En raison des variations importantes du poids de l'automotrice, qui peut passer de 32 à 51 t, il existe quatre relais de démarrage automatique,

Fig. 7. — Essieux moteurs



L'équipement électrique, construit par la Compagnie Electromécanique, est analogue à celui des automotrices 5^e série de la banlieue Saint-Lazare, mais un allègement notable des organes a été obtenu par des

correspondant respectivement à des intensités de reprise de 200, 275, 325 et 400 ampères par moteur, que le conducteur peut utiliser à son gré, suivant l'état de charge de l'automotrice.

Le manipulateur dont il dispose comporte à cet effet, outre le cran zéro et deux crans de manœuvre :

- cinq crans S de démarrage automatique en couplage série-parallèle, dont quatre à plein champ, correspondant respectivement aux intensités de reprise précitées, et un à champ réduit ;
- cinq crans P de démarrage automatique en couplage parallèle dont quatre à plein champ, correspondant respectivement aux intensités de reprise précitées, et un à champ réduit.

Si le conducteur passe directement du cran zéro à un des crans P, le démarrage s'effectue entièrement en couplage parallèle, sans utilisation du couplage série-parallèle. Ce mode opératoire doit être adopté, notamment, pour réaliser le démarrage le plus rapide avec les intensités de reprise de 325 et 400 ampères, lorsque l'automotrice est chargée ; par contre, le démarrage sur le couplage série-parallèle, avec intensités de reprise de 200 et 275 ampères, s'impose lorsque l'automotrice est vide ou peu chargée, afin d'éviter que l'accélération n'atteigne au départ des valeurs excessives. En opérant ainsi, l'accélération moyenne réalisée pendant le démarrage se trouve limitée en palier à $1,1 \text{ m/s}^2$ quelle que soit la charge, et peut être abaissée à $0,50 \text{ m/s}^2$ si les circonstances l'exigent.

Les circuits de contrôle sont alimentés sous 72 V par une batterie d'accumulateurs Saft de 40 Ah, chargée par la génératrice d'un groupe auxiliaire. Le moteur de ce groupe entraîne également un compresseur d'air accouplé par l'intermédiaire d'un embrayage commandé par le régulateur de pression. Un deuxième compresseur d'air, analogue au précédent, est actionné par la transmission d'un des moteurs de traction.

Les appareils avertisseurs de dégonflement des pneumatiques sont alimentés par une petite génératrice à 12 V entraînée par le moteur du groupe auxiliaire.

La captation du courant sur le troisième rail à prise par dessous, en usage sur la banlieue Ouest, est assurée par des frotteurs analogues à ceux du matériel ordinaire, mais allégés. Le retour du courant aux rails de roulement s'effectue par huit paires de frotteurs à lames multiples, disposés entre les roues des bogies et tout à fait analogues à ceux montés sur les Michelin's à moteurs thermiques pour actionner les circuits de signalisation.

Tous les essieux de la Michelin électrique comportent des freins à tambours à commande oléo-pneumatique Lockheed — Jourdain-Monneret.

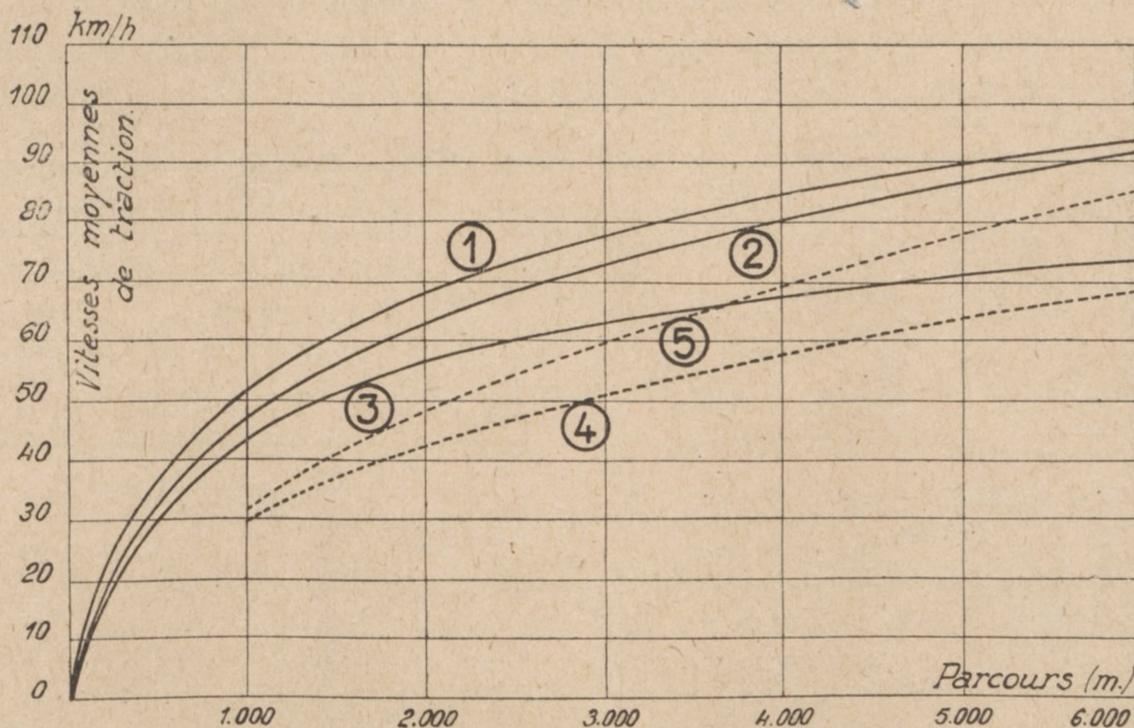
Performances

Avant d'être mise en service, la Michelin électrique a été essayée sur les lignes de Paris-St-Lazare à St-Germain et à Versailles-Rive droite.

Sur la rampe de 35 mm/m et de 1 200 m de longueur environ qui existe entre les gares du Pecq et de St-Germain, la vitesse de la Michelin se stabilise à 90 km/h environ à pleine charge, alors qu'on dépasse difficilement 40 km/h avec le matériel actuellement en service ; en partant de l'arrêt sur cette même rampe, la vitesse de 80 km/h est atteinte en moins de 40 secondes, après un parcours de 600 m. Ces chiffres font ressortir les possibilités de ce matériel léger sur les lignes à profil difficile.

Les qualités d'adhérence du pneumatique permettent de réaliser des décélérations très importantes en cas de freinage d'urgence : en partant d'une vitesse initiale de 104 km/h, l'arrêt a pu être obtenu sur 140 m en 9,6 secondes, soit une décélération moyenne de $3,05 \text{ m/s}^2$; des décélérations de l'ordre de 4 m/s^2

Fig. 8. — Performances de la Michelin électrique, des éléments de la banlieue Saint-Lazare et d'un élément moderne à bandages.



ont même été atteintes. De telles possibilités de freinage constituent, en cas de danger de collision, un élément de sécurité très appréciable. En service normal, les décélérations au freinage ressortent en général à $0,75 \text{ m/s}^2$ environ.

Les performances possibles de la Michelin électrique en service omnibus, sur une ligne en palier, apparaissent sur la courbe 1 de la figure 8, qui donne, en fonction de la distance entre gares, la vitesse moyenne

réalisable à demi-charge, mesurée entre le départ et l'arrêt. Ces vitesses correspondent à la marche la plus tendue, obtenue en amorçant le freinage (décélération moyenne de 0,75 m/s²) dès que le courant est coupé. A titre de comparaison, les courbes 2 et 3 donnent les vitesses moyennes réalisables dans les mêmes conditions avec le matériel en service, d'un type déjà ancien, puisqu'il remonte à 1924, et avec des éléments formés, comme les précédents, d'une motrice et d'une remorque, mais de plus grande longueur et de conception moderne, dont l'étude est actuellement en cours pour la desserte des lignes de la banlieue Sud-Est, qui doivent être électrifiées en même temps que l'artère Paris-Lyon. Pour illustrer ces résultats, précisons que, sur la ligne de Versailles (23 km), la Micheline effectue le parcours en 30,5 mn en s'arrêtant aux treize gares intermédiaires, c'est-à-dire dans le temps alloué actuellement aux trains semi-directs, qui ne s'arrêtent que cinq fois.

En ce qui concerne la consommation d'énergie, des essais comparatifs ont été exécutés sur la ligne de Versailles. Les économies obtenues avec la Micheline, exprimées en pourcentage de la consommation du matériel en service, sont données par le tableau ci-après, pour les horaires normaux et pour les horaires les plus tendus réalisables avec le matériel en service.

le matériel moderne. Les courbes 4 et 5 de la figure 8 donnent ainsi, en fonction de la distance entre gares, les vitesses moyennes pour lesquelles les consommations en palier, **par mètre carré de surface utile de plancher** et par kilomètre, sont égales, pour la Micheline et les éléments en service d'une part, pour la Micheline et un matériel moderne similaire à bandages métalliques, d'autre part. On voit, par exemple, que, pour une vitesse moyenne de 50 km/h, l'égalité des consommations entre la Micheline et le matériel moderne considéré est atteinte lorsque la distance entre gares est de 2 150 m.

Pour chacune des deux vitesses moyennes de 50 et 60 km/h, les courbes de la figure 9 montrent comment la consommation augmente, pour chacun des trois types de matériel envisagés, lorsque la distance entre gares diminue. On voit que si la Micheline est moins avantageuse pour les grandes distances entre gares, elle devient très rapidement plus économique quand ces distances diminuent.

Nous avons indiqué plus haut que la résistance au roulement des Michelin est assez élevée, en raison des frottements importants des pneus et des frotteurs de prise et de retour de courant : aux très faibles vitesses, elle atteint 11 kg par tonne environ dans le cas de la Micheline électrique, compte tenu des résis-

Nature des trains	Distance moyenne entre gares (m)	Horaires normaux		Horaires tendus	
		Vitesse moyenne réalisée (1) (km/h)	Economie d'énergie par élément (%)	Vitesse moyenne réalisée (km/h)	Economie d'énergie par élément (%)
Omnibus Paris-Versailles	1 635	45	17	51	35
Omnibus 1 ^{re} zone	1 420	40	14	49	30
Omnibus 2 ^e zone (direct en 1 ^{re} zone) ..	2 370	47	6	54	27
Omnibus 3 ^e zone (direct en 1 ^{re} et 2 ^e zones)	3 820	51	3	57	20
Direct Paris-Versailles	22 900	59	-10	65	11

Ces résultats confirment les avantages procurés par la légèreté du matériel sur pneumatiques, en ce qui concerne la consommation, **lorsque la distance entre gares est faible et la vitesse moyenne élevée.**

Il convient toutefois de noter que les automotrices en service sur les lignes considérées sont, comme nous l'indiquons plus haut, d'un type déjà ancien, et les économies procurées par la Micheline s'avèrent relativement moindres si l'on établit la comparaison avec

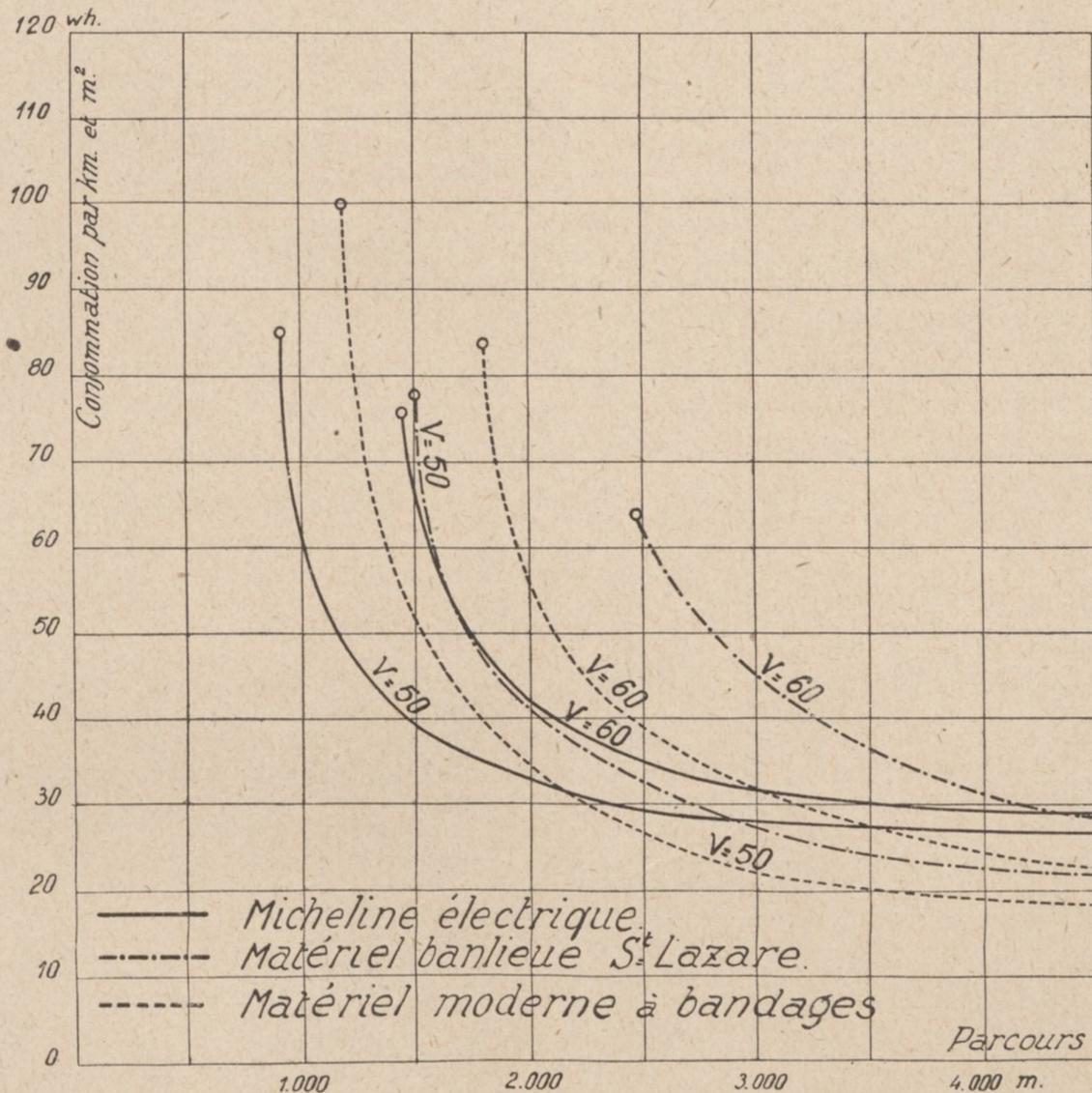
tances diverses de la transmission. Les conséquences de cette particularité sont mises en évidence par les figures 10, 11 et 12, qui se rapportent aux parcours en palier à demi-charge de la Micheline électrique et de l'élément ordinaire moderne déjà considéré, sur une distance de 2 150 m, à la même vitesse moyenne de

(1) Vitesse moyenne entre gares, sans tenir compte de la durée des arrêts.

50 km/h, les consommations étant ainsi égales (68 Wh par mètre carré de plancher). Les deux courbes de la figure 10 donnent les vitesses en fonction du temps, tandis que celles des figures 11 et 12 représentent

la marche sur l'erre, et rapportée au mètre carré de plancher (mesurée par les aires hachurées), n'est, avec la Michelin, que 93 % de celle de l'élément ordinaire,

Fig. 9. — Variations de la consommation avec les distances entre gares.



respectivement, en fonction du temps et **toujours rapportées au mètre carré de surface utile de plancher** :

MNPQ — la puissance électrique absorbée par l'automotrice,

ORST — la puissance mécanique développée sur les induits des moteurs,

OABC — la puissance absorbée par la résistance à l'avancement, y compris la résistance de l'air et les pertes mécaniques dans les moteurs et la transmission,

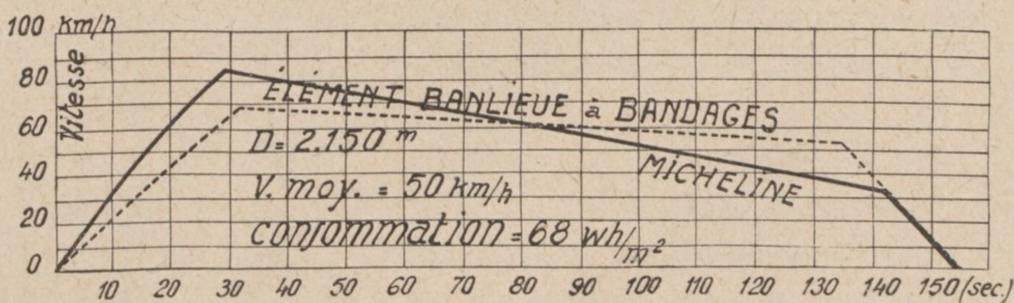
BDC — la puissance absorbée dans les freins.

Ces courbes montrent notamment :

— que l'énergie cinétique à pleine charge au début de

— que, du fait de la résistance à l'avancement relativement grande de la Michelin, la vitesse décroît rapidement pendant la marche sur l'erre. Pour l'ensemble du parcours, la quantité d'énergie absorbée par la résistance à l'avancement atteint, dans le cas

Fig. 10. — Courbes vitesses-temps de la Michelin et d'un élément moderne à bandages.

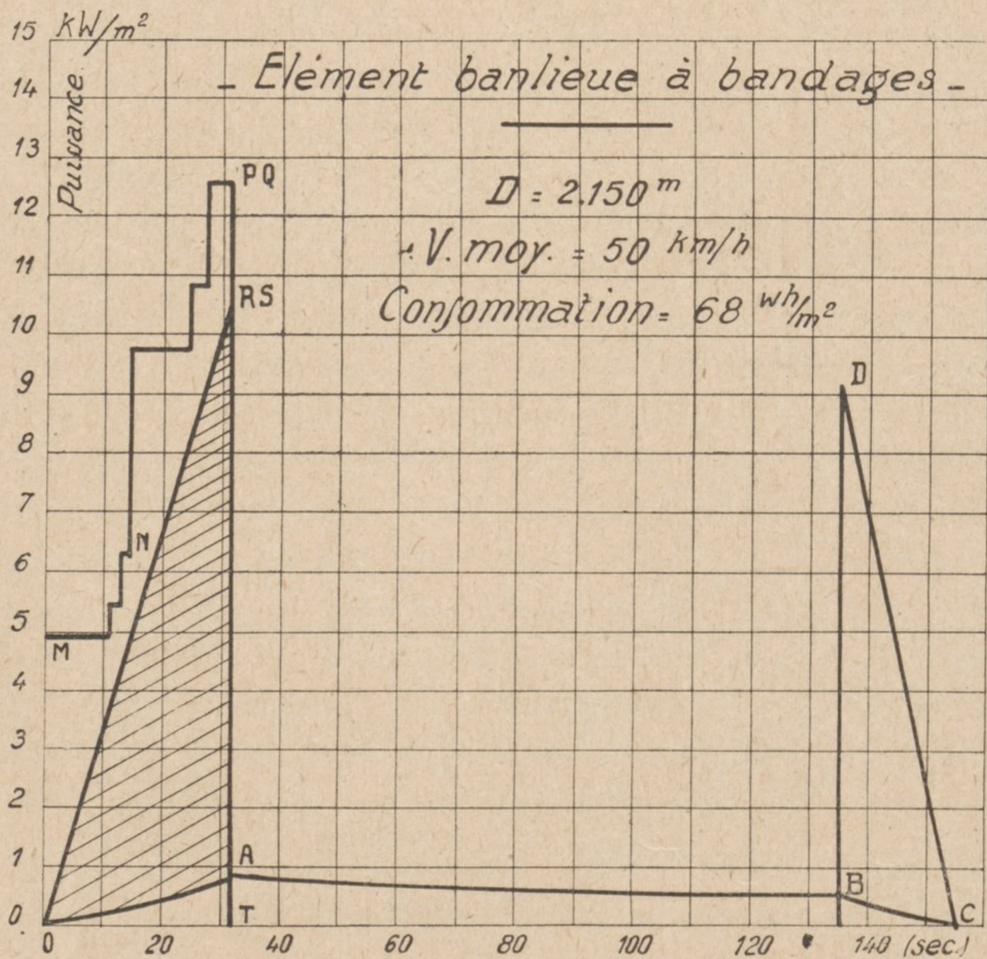


de la Michelin, 50% de l'énergie électrique consommée, et 25% seulement avec l'automotrice ordinaire,

— que, par contre, la quantité d'énergie absorbée par les freins n'est, avec la Michelin, que 7 % de l'énergie électrique consommée, tandis qu'elle

certaines heures de la journée, relativement élevées pour le matériel ordinaire (42 km/h), l'économie sur la consommation d'énergie atteint, en moyenne, 1 100 Wh par kilomètre, soit 24 % de la consommation des éléments à bandages métalliques.

Fig. 11 et 12. — Diagramme des puissances pour un parcours de 2 150 m à 50 km/h, pour la Michelin électrique et un élément moderne à bandages.



atteint 38 % avec l'automotrice ordinaire. Dans ces conditions, la fatigue des freins à tambours de la Michelin est relativement réduite, alors qu'il est bien connu que le freinage du matériel ordinaire constitue, dans le cas des services de banlieue à vitesse commerciale élevée, un problème difficile.

Résultats en service

Depuis son affectation à la ligne du Pont Cardinet à Auteuil, qui comporte de fréquents arrêts (1 065 m entre gares), la Michelin électrique a assuré un service régulier, et son parcours au 1^{er} mars atteignait 50 000 km.

L'absence presque complète de bruit est vivement appréciée des voyageurs et des riverains, et comme les vitesses moyennes réalisées entre arrêts sont, à

La tenue des divers organes mécaniques et électriques s'avère, jusqu'à présent, satisfaisante, mais l'expérience acquise est évidemment insuffisante pour pouvoir apprécier les divers éléments du prix de revient, notamment en ce qui concerne les pneumatiques.

Si, comme on peut l'espérer, ces derniers supportent avec succès l'épreuve très dure à laquelle ils sont soumis, un nouveau champ d'action s'ouvrira aux Michelines, grâce aux persévérants efforts de leur constructeur.

