TRACTION ÉLECTRIQUE

Les Locomotives E BB 101 à 180 et le trafic qu'elles assurent sur le réseau de la C^{ie} du Chemin de fer du Paris-Orléans

par P. BELLASI

Les caractéristiques essentielles des locomotives E BB 101 à 180 sont les suivantes :

Effort de traction Vitesse Puissance à la
à la jante en kg en km/h jante en ch

10500
8400

46
48,5

1800
1500

Puissance unifilaire
Puissance continue

à 1350 volts
avec
moteurs
ventilés

Poids de la partie mécanique	44500 kg.
Ensemble des parties suspendues	55370 kg.
Poids de la caisse seule	36289 kg.
Poids du bogie complet	20335 kg.
Poids de la partie suspendue du bogie.	9540 kg.
Poids de la partie non suspendue du bogie	10695 kg.

La première de ces locomotives avait été livrée à la Compagnie du Paris-Orléans, le 1^{er} mai 1923 et, à l'heure actuelle environ 40 machines, soit la moitié du nombre total dont la

Fig. 1. Train express en gare de Paris-Austerlitz.

Effort de traction maximum au démarrage	21600 kg.
Rapport d'engrenage	1:3,47
Vitesse maximum.	100 km/h
Longueur totale hors tampons	12580 mm
Distance entre pivots	5940 mm
Empattement total	8740 mm
Diamètre des roues (à l'état neuf)	1350 mm
Poids de la locomotive entière.	76760 kg.
Poids de la partie électrique (y compris les engrenages pignons et carters)	32260 kg.

Compagnie du Paris-Orléans avait passé commande en juillet 1922 au Groupement Oerlikon-Batignolles, circulent sur le réseau électrifié de la Compagnie d'Orléans et plus particulièrement sur les lignes Paris-Brétigny-Dourdan et Paris-Brétigny-Étampes-Orléans-Vierzon, assurant le trafic des trains à marchandises, de ceux de denrées, celui des trains de voyageurs et, en grande partie aussi, le trafic des trains directs et express. Pour ces derniers, les locomotives E BB 101 à 180 remplacent actuelle-

ment les locomotives électriques à grande vitesse dont la Compagnie ne possède, pour le moment, que quelques unités d'essai.

Rappelons brièvement en quoi consistent ces différents trafics :

a) Trains à marchandises

Tonnage moyen remorqué 800 à 1200 tonnes
Vitesse nominale 30 à 40 km/h
Vitesse maximum pratique 45 à 50 km/h.

b) Trains de denrées

Tonnage moyen remorqué 350 à 500 tonnes
Vitesse nominale 65 km/h
Vitesse maximum pratique 90 km/h.

c) Trains de voyageurs ordinaires

Tonnage moyen remorqué 250 à 350 tonnes
Vitesse nominale 65 km/h
Vitesse maximum pratique 90 km/h.

d) Trains directs et express

Tonnage moyen remorqué 300 à 500 tonnes
Vitesse nominale 75 km/h
Vitesse maximum pratique 90 km/h.

Nous noterons ici que la vitesse nominale est une vitesse fictive qui sert à caractériser la marche du train ; elle diffère plus ou moins de la vitesse réelle de marche du train supposé circuler dans l'horaire correspondant suivant le profil des différentes parties du trajet parcouru.

Si on analyse les différents trafics assurés par ce type de machines, on se rend compte immédiatement qu'elles doivent avoir, d'une part un couple très élevé pour permettre le démarrage et la remorque des trains les plus lourds, et que d'autre part leur puissance doit être suffisamment grande pour pouvoir effectuer sans défaillance la remorque des trains express sur de longs parcours, celui, par exemple, de la ligne Paris-Vierzon qui dépasse 200 km entraînant un parcours journalier de ces machines de 600 à plus de 700 km/train suivant le roulement dans lequel elles sont inscrites.

Dans cet ordre d'idées, les essais de démarrage effectués par la Compagnie d'Orléans avec un train de 578 tonnes (poids de la locomotive non compris) composé de 58 wagons vides à marchandises et en maintenant à 250 amp. à tous les couplages, l'intensité absorbée par chaque moteur et sans avoir recours aux crans intermédiaires de shuntage, ont donné des résultats tout à fait concluants. Ces résultats sont relevés par les deux courbes de démarrage des fig 4 et 5 qui ont été exécutées avec un ampèremètre enregistreur : ces courbes donnent donc la variation d'intensité et par suite la variation des efforts de traction entre les différents crans de démarrage, la tension moyenne étant de 1230-1250 volts.

L'analyse de ces courbes atteste, comme on devait d'ailleurs s'y attendre, que la plus forte variation d'intensité et par conséquent de l'effort de traction, a pu être constatée au couplage parallèle champ 100% des moteurs. Cette variation d'effort de traction est d'ailleurs dans des limites tout à fait normales : elle n'est en effet en moyenne à ce couplage que de 950 kg au total ce qui correspond à une variation de l'intensité de 22 ampères environ par moteur ; la variation maximum d'effort de traction a été relevée de 1500 kg environ au total correspondant à une variation de l'intensité de 35 ampères par moteur. A noter la durée de démarrage qui a été de 4'20" la vitesse finale étant

de 42 km/h pour le démarrage en rampe de 8‰ et de 3' la vitesse finale étant de 37,5 km/h pour le démarrage en rampe de 7‰.

Le tableau ci-dessous donne par ailleurs quelques points caractéristiques de marche relevés lors de ces essais (tonnage remorqué 578 tonnes) :

	Vitesse km/h	Courant par moteur amp.	Effort de traction total kg
Série champ 100% palier	20	50	1300
Série champ 100% rampe 6‰	12	160	5200
Série champ 100% rampe 8‰	12	190	6300
Série-parallèle champ 100% palier	36	65	1650
Série-parallèle champ 100% rampe 6‰	25	175	5800
Série-parallèle champ 100% rampe 8‰	24	205	7000

Fig. 2. Cabine de manœuvre de la locomotive. — Contrôleur de manœuvre ouvert pour l'inspection.

L'accélération de ces machines doit être assez élevée pour permettre des démarrages rapides, tant pour la remorque des trains directs et express que, en particulier, pour la remorque des trains de voyageurs ordinaires où, étant donné le grand nombre d'arrêts, il est de première importance, tant au point de vue de la consommation de courant qu'à celui de la tenue de l'horaire, qu'on puisse démarrer très vite. Avec un train de 290 tonnes on trouve une accélération au démarrage égale à :

0 m 20 par sec^2 en rampe de 1,2‰ pour un courant moyen de démarrage de l'ordre de 250 ampères par moteur.
0 m 38 par sec^2 en palier pour un courant moyen de démarrage de l'ordre de 350 ampères par moteur.

Ces qualités spéciales qui découlent en particulier des caractéristiques de l'équipement électrique de ces locomotives, ont été complétées par une construction adéquate de la partie mécanique, qui a dû être étudiée tout spécialement en vue de répondre parfaitement aux différents services que les locomotives étaient aptes à effectuer du fait de l'équipement électrique.

Nous notons ici en particulier que la tenue sur la voie de ces locomotives, qui ont été prévues pour effectuer normalement

des trains de marchandises, n'est certainement pas étrangère aux brillants résultats obtenus en exploitation, ces machines possédant même en grande vitesse, une tenue sur la voie, tant en alignement droit qu'en courbe, qui, d'après les relevés com-

sur le parcours Paris-Étampes et retour. L'appareil avait été placé successivement dans la cabine avant de la locomotive circulant haut-le-pied et dans le troisième compartiment d'une voiture de première classe à deux bogies, type AT8, qui a été

Fig. 3. Cabine centrale. Panneaux ouverts pour l'inspection de l'appareillage haute tension.

paratifs effectués par les Ingénieurs de la Compagnie d'Orléans, s'approche de celle des locomotives électriques à grande vitesse les plus modernes.

Ces relevés ont été faits avec l'appareil enregistreur Hallade

prise comme base de comparaison. En comparant sur un même espace franchi à la même vitesse, V étant les déplacements verticaux et T les déplacements transversaux, les rapports des amplitudes maxima sont les suivants :

Fig. 4. Essai de démarrage, à 250 ampères, en rampe de 7‰.

Relevé de la bande de l'ampèremètre enregistreur. 1 division = $14 \frac{2}{5}$ sec. — Tonnage remorqué 578 t. Durée 3 minutes. Distance 1 km. Consommation d'énergie 41 kW-heures. Tension moyenne de service 1230 volts. Vitesse à la fin de l'essai 37,5 km/h.

Fig. 5. Essai de démarrage, à 250 ampères, en rampe de 8‰.

Relevé de la bande de l'ampèremètre enregistreur. 1 division $14 \frac{2}{5}$ sec. Tonnage remorqué 578 t. Durée 4 min. 20 sec. Distance 1,650 km. Consommation d'énergie 70 kW-heures. Tension moyenne de service 1250 volts. Vitesse à la fin de l'essai 42 km/h. Les deux derniers crans ont été effectués dans le palier d'Arpajon.

Vitesse	Voiture AT 8	Locomotive E BB 103	
km/h	TV	T	V
102	1	1,58	1,59
98	1	1,38*)	2,14*)
100	1	2,34	1,30
98	1	3,82*)	2,78*)

Chronométrage du parcours Les Aubrais-Etampes 1 h 52' (63,1 km)
 Chronométrage du parcours Etampes-Brétigny 53' 30" (24,5 km)
 Consommation de courant relevée au compteur 945 kWh

b) Train à marchandises MW Paris-Les Aubrais avec arrêts à Brétigny et Etampes.

Tonnage remorqué 960 tonnes (69 voitures)
 Vitesse nominale 30 km/h Vitesse maximum admise 45 km/h
 Chronométrage du parcours Paris-Brétigny 1 h 09' (31,3 km)
 Chronométrage du parcours Brétigny-Etampes 12' (24,5 km)
 Chronométrage du parcours Etampes-Les Aubrais 1 h 37' (63,1 km)
 Consommation de courant relevée au compteur 1334 kWh

c) Train à voyageurs semi-direct Paris-Etampes avec arrêts à Juvisy et Brétigny.

Tonnage remorqué 660 tonnes (18 voitures)
 Vitesse nominale 70 km/h Vitesse maximum admise 90 km/h
 Chronométrage du parcours Paris-Juvisy 17' 19 km)
 Chronométrage du parcours Juvisy-Brétigny 13' (12,3 km)
 Chronométrage du parcours Brétigny-Etampes 20' (24,5 km)
 Consommation de courant relevée au compteur 790 kWh

C'est parmi tant d'autres, un des résultats les plus encourageants qui placent ces machines au tout premier rang de la construction moderne et qui en font un des types de locomotives à courant continu haute tension le plus souple qui soit, et apte à assurer les trafics les plus disparates d'un grand réseau de chemins de fer.

La reproduction d'une bande d'enregistreur de vitesse obtenue sur un train express Paris-Les Aubrais que ces locomotives effectuent régulièrement, donnera quelques précisions quant à la vitesse que ces machines peuvent soutenir (fig. 6 et 7).

Notons en outre que la consommation de courant relevée sur la machine est très réduite, celle-ci résultant (services auxiliaires déduits) à une moyenne de :

.. Pointage pour signal fermé.

Fig. 6. Reproduction d'une bande d'enregistreur de vitesse sur le parcours Paris-Les Aubrais
 Tonnage remorqué 379 tonnes (Sud-Express).

Fig. 7. Profil simplifié de la ligne Paris-Vierzon.

12 Wh/tkm au couplage série-parallèle des moteurs (marche normale) pour un tonnage remorqué de 578 tonnes (39 voitures à marchandises), une vitesse maximum de 45 km/h environ et une tension moyenne de service de 1400 volts environ.

Les relevés des essais de la résistance au roulement de la locomotive sont donnés d'autre part par la courbe N° 1 de la fig. 8, la courbe N° 2 donnant la résistance au roulement théorique d'après la formule

$$\text{Rkg/tonne} = 1,5 \times \left(2,5 + \frac{V^2}{2500} \right).$$

Nous voulons compléter ces relevés par quelques chiffres pris sur les machines de cette série en exploitation normale.

a) Train à marchandises MW Les Aubrais-Brétigny avec arrêt à Etampes.

Tonnage remorqué 1135 tonnes (70 voitures)
 Vitesse nominale 30 km/h Vitesse maximum admise 45 km/h

(*) Les écarts qui semblent anormaux s'expliquent par le fait que les relevés, aux différentes vitesses, n'ont pas été pris sur la même section de la voie.

Même train au retour Etampes-Paris.

Chronométrage du parcours Etampes-Brétigny 21' (24,5 km)
 Chronométrage du parcours Brétigny-Juvisy 11' (12,3 km)
 Chronométrage du parcours Juvisy-Paris 17' (19 km)
 Consommation de courant relevée au compteur 696 kWh

d) Train à voyageurs direct Paris-Les Aubrais.

Tonnage remorqué 400 tonnes (10 voitures)
 Vitesse nominale 70 km/h Vitesse maximum admise 90 km/h
 Chronométrage du parcours 1 h 30' (119 km)
 Consommation de courant relevée au compteur 1015 kWh

Même train au retour Les Aubrais-Paris.

Chronométrage du parcours 1 h 28' (119 km)
 Consommation de courant relevée au compteur 695 kWh

Il ne sera pas sans intérêt de relater ici quelques points ayant trait d'abord aux moteurs de traction, dont les caractéristiques obtenues aux essais ont été relevées en plateforme, suivant fig. 9. Nous dirons en outre quelques mots sur les contacteurs principaux à commande électropneumatique qui, tout en permettant d'effectuer les différents couplages, assurent la pro-

tection parfaitement efficace de l'équipement électrique en général et des moteurs de traction en particulier.

La puissance unihoraire des moteurs de traction que la Société Oerlikon avait garantie était de 430 ch à la jante, ce qui constitue un record dans la construction des moteurs à suspension par le nez pour une largeur normale de la voie; elle a été largement respectée, tant au point de vue électrique qu'au point de vue mécanique, alors que la puissance continue de 330 ch imposée par le cahier des charges, a été largement dépassée aux essais; il a été en effet possible, grâce à une ventilation forcée particulièrement bien conçue de porter la puissance continue de ces machines à 375 ch.

Il s'agit, comme nous l'avons déjà dit, de moteurs à suspension par le nez à ventilation forcée, à 2 lignes de balais seulement et dont la réduction du champ est obtenue simplement par élimination appropriée de spires inductrices. Rappelons en outre que les paliers d'induits sont à graissage à bagues, avec coussinets en bronze régulé, alors que les paliers d'essieux sont à graissage à bourrage de laine, avec coussinets en acier coulé régulé.

Ces moteurs montrent, par le résultat acquis en service,

Résistance en kg par tonne

Fig. 8. Courbes de résistance au roulement.

1. Résultats d'essais.

2. Courbe donnée par la formule.

que la formule adoptée est celle qui semble être susceptible de donner les meilleurs résultats dans l'état actuel de la technique.

Nous ne reviendrons pas sur les avantages de l'emploi des 2 lignes de balais seulement pour les moteurs de traction à suspension par le nez, dont l'entretien est de ce fait particulièrement facilité.

On pouvait craindre en effet que, pour les vitesses de 90 km/h auxquelles ces moteurs ont été appelés à fonctionner de façon normale en service lors de la remorque de trains express et de denrées, l'emploi de 2 porte-balais seulement aurait pu être de nature à provoquer des perturbations dans le fonctionnement de ces machines, en particulier par suite des à-coups de la voie; l'expérience nous montre par contre que l'emploi judicieux de 2 lignes de balais est susceptible de donner entière satisfaction même pour des vitesses si élevées.

En ce qui concerne la solution adoptée pour les paliers d'induits et pour les paliers d'essieux, celle-ci semble être la plus élégante et la plus sûre et au point de vue de l'entretien, la moins chère

que l'on puisse réaliser de nos jours lorsqu'il s'agit de moteurs d'une puissance semblable. A titre de documentation, nous relaterons ici que, depuis leur mise en service jusqu'à ce jour, il n'y a eu à constater qu'un seul chauffage de paliers, et encore s'agissait-il d'un chauffage dû à un graissage insuffisant par suite de la perte intempestive d'un tuyau de trop-plein.

Au même titre, nous ajouterons que, sur plusieurs locomotives, ceci en vue d'essais, l'huile de lubrification de ces paliers n'a été rechangée qu'après plus de 50.000 km. de parcours, sans que, de ce fait, en soit résulté le moindre inconvénient ni une usure prématurée des organes.

Malgré le service très dur auquel ces moteurs sont actuellement soumis, et malgré que plusieurs locomotives aient déjà effectué des parcours dépassant 75.000 km/train, aucune usure pratique des paliers n'a pu être constatée.

Si on ajoute que la consommation de lubrifiant est des plus réduites puisqu'on peut dépasser normalement plusieurs milliers de kilomètres de parcours sans ajouter de lubrifiant, en parti-

Fig. 9. Caractéristiques des moteurs de traction type TM3301.

η = Rendement, en %

n = Nombre de tours par minute Champ 100 %

V = Vitesse, en km/heure Tension 1350 volts

F = Effort de traction, en kg. Rapport d'engrenage 1:3,47

P = Puissance, en ch

culier dans les paliers d'induits, on peut se faire une idée de la sûreté de marche ainsi que de la réduction des frais d'entretien, que ces locomotives permettent de réaliser.

Le système d'entraînement adopté pour ces moteurs sur toutes les locomotives de la série est celui à un seul train d'engrenages, sans entraînement élastique. Cependant, nous noterons que la première locomotive de cette série a été livrée avec des moteurs à double train d'engrenages avec entraînement élastique.

Les quelques indications ainsi que les chiffres indiqués ci-dessus se rapportent indifféremment aux 2 types de machines qui donnent, en service, des résultats pratiques tout à fait comparables.

Par ailleurs, nous pouvons dire que l'usure des engrenages est très réduite dans les deux cas, puisque, à l'heure actuelle, soit après plus de 3 ans de service, il n'a pas été possible de constater une usure appréciable de ces organes.

L'expérience semble pourtant démontrer que, dans certains cas spéciaux, on pourrait, le cas échéant, envisager avec quelque préférence, le double train d'engrenages à entraînement élastique, qui réduit le poids non suspendu et par là rend la machine plus apte aux grandes vitesses et d'autre part assure un démarrage particulièrement doux de la locomotive.

Pour ce qui regarde les contacteurs principaux à commande électro-pneumatique, nous dirons qu'appliqués la première fois par les Ateliers de Construction Oerlikon sur les locomotives —101 à 180 de la Compagnie d'Orléans, ils ont été adoptés par la suite comme équipement standard pour toutes les locomotives à courant continu 1500 volts de construction Oerlikon;

Fig. 11. Contacteur.

nous les retrouvons sur la locomotive type 2 BB 2 à grande vitesse livrée par le groupement Oerlikon-Batignolles à la Compagnie des Chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, ainsi que sur les 22 locomotives du type CC dont les Ateliers de Construction Oerlikon ont dernièrement enregistré la commande pour les Chemins de fer du Nord de l'Espagne (Compañía de Los Caminos de Hierro del Norte de España).

Cela montre immédiatement que ces appareils ont donné toute satisfaction. Leurs avantages peuvent se résumer en quelques mots : construction très solide, parfait isolement de la

masse, très grande vitesse, et, par suite, grande capacité de rupture, bonne accessibilité et remarquable facilité d'entretien et de révision.

Les photographies que nous donnons permettent de se rendre compte d'une partie de ces avantages.

En particulier en ce qui concerne la capacité de rupture, nous enregistrons que celle-ci avait été garantie à 1000 ampères sous 1500 volts; des essais multiples effectués à la sous-station de Saint-Michel s/O. de la Compagnie du Paris-Orléans, ont cependant permis d'interrompre à plusieurs reprises un courant de 3500 ampères environ sous 1500 volts. Avec 2 contacteurs en série, l'intensité de coupure a dépassé 6000 ampères sous 1500 volts.

Grâce à cette remarquable capacité de rupture et à un agencement convenable de tout le train control, il a été possible de faire totalement abstraction sur les locomotives E 101 à 180 d'un disjoncteur extra-rapide, ces contacteurs remplaçant cet appareil avec certains avantages pratiques, en particulier au point de vue de l'interchangeabilité et de la simplicité de construction et d'entretien.

Pour se rendre compte de l'efficacité de protection garantie avec ces appareils, la Compagnie du Paris-Orléans a procédé à des essais de court-circuit sur l'équipement monté de la locomotive. Pour ces essais, on s'était placé dans l'hypothèse d'une mise à la masse d'un des moteurs de traction et l'on avait limité la puissance de court-circuit à 6000 ampères sous 1500 volts, puissance que les conditions d'essais à la sous-station ne permettaient pas de dépasser.

Plusieurs essais consécutifs ont donné des résultats tout à fait probants, la coupure s'étant effectuée de façon absolument sûre. Des relevés oscillographiques ont donné une rapidité de coupure totale de l'ordre de 4/10 de seconde, cette coupure étant réalisée par le train control en deux temps, savoir : Premier temps, intercalation des résistances de démarrage par les contacteurs de résistance et réduction du courant de court-circuit : Second temps, coupure totale par les contacteurs de ligne.

Nous ne voulons pas entrer dans les détails des autres éléments de l'équipement électrique des locomotives; les quelques renseignements que nous donnons sur les parties essentielles, soit sur les moteurs et sur les contacteurs principaux, se passent de tout commentaire et caractérisent les directives qui ont présidé à l'étude et à la réalisation de ces équipements.

Fig. 10. Moteur de traction type TM3301