

505 LM 3A/3

2310

(1944)

V. D. 2002 : Construction d'une voiture  
- superallégée prototype

A  
Etude Générale sur l'allègement des voitures  
à voyageurs

Note et Lettre S.N.C.F. au M.T.P. 31. 1.44

2310

SOCIETE NATIONALE DES CHEMINS DE FER FRANCAIS  
-----

Le Président  
du Conseil d'Administration

-----  
D. 24216/3

Paris, le 31 janvier 1944

Monsieur le Ministre,

Par dépêche MR 15-10 du 11 novembre 1943, vous avez bien voulu, en approuvant le projet de construction d'une voiture prototype super-allégée et carénée qui vous a été présenté le 2 août 1943, me faire part de quelques observations que j'ai l'honneur de reprendre ci-après

1°) Vous demandez qu'il vous soit rendu compte du résultat des essais préalables que nécessitera la mise au point - en ce qui concerne sa résistance - du type de voiture super-allégée dont il s'agit et vous nous invitez à justifier, en temps utile, les dispositions qui seront prises à cet égard lors de la construction de telles voitures, en série

Nous avons pris note de votre désir : en vous soumettant, le cas échéant, un projet de réalisation d'une série de voitures de ce type, nous l'accompagnerons de tous les renseignements et justifications techniques utiles, démontrant que la sécurité des voyageurs sera convenablement assurée.

Vous nous avez, en même temps, indiqué que ce nouveau type de véhicules "devrait, autant que possible, offrir un plus grand confort que les voitures de même classe actuellement en service".

Permettez-moi de rappeler que la recherche du confort maximum pour les voyageurs est, et a toujours été, un des objectifs essentiels de nos Services d'Etudes. Tout sera mis en oeuvre, dans la conception de la voiture super-allégée, pour réaliser cet objectif, mais il importe cependant d'avoir égard au prix de revient et aux taxes payées. Sous cette réserve, il est bien entendu que les voitures allégées, qui seront construites en série dès après la guerre, - ainsi que la voiture super-allégée, faisant l'objet de votre D.M. 15-10 du 11 novembre 1943, - présenteront des dispositions aussi satisfaisantes à cet égard que les voitures actuelles. Nous essaierons même, - comme nous y conduit notre souci habituel de progrès, - de faire encore mieux, - mais nous ne pouvons assurer que nous améliorerons sensiblement une situation qui, au surplus, - pensons-nous, - n'a jamais fait l'objet, de la part de notre clientèle, de critiques fondées.

2°) Vous nous demandez, d'autre part, - afin de permettre à vos Services de disposer de tous les éléments de la question, lors de l'examen de nos projets de construction du matériel allégé à entreprendre dès la fin des hostilités, - de vous fournir un bilan financier de l'allègement des voitures tenant compte des frais de traction à escompter et des dépenses d'acquisition et d'entretien du matériel pour les diverses solutions susceptibles d'être envisagées.

Monsieur le Ministre Secrétaire d'Etat à la  
Production Industrielle et aux Communications.-

## L'ALLEGEMENT DU MATERIEL A VOYAGEURS

Les nombreuses études sur l'allègement des voitures à voyageurs - auxquelles il a été procédé, tant en FRANCE qu'à l'étranger, - reviennent toujours à la recherche de la réponse à donner à deux questions, qui ont d'ailleurs, l'une sur l'autre, une incidence réciproque :

Pourquoi alléger ?

Comment alléger ?

Nous considérerons uniquement ici le cas des voitures de grandes lignes - négligeant, pour simplifier, celui des voitures de banlieue et d'embranchements pour lesquelles le problème se pose d'ailleurs d'une façon tout à fait analogue - et nous chercherons tout d'abord à répondre à la première question, en analysant succinctement les paramètres favorables et ceux défavorables à l'allègement. Disons tout de suite que certains d'entre eux sont chiffrables du moins théoriquement, mais que d'autres ne le sont pas, ou le sont difficilement, si bien que la recherche de la précision mathématique dans un bilan d'allègement est illusoire.

Puis, répondant à la deuxième question : "Comment alléger ?" pour le cas des voitures allégées à construire en série après les hostilités, nous indiquerons les moyens employés pour réduire - grosso modo de 40 T. à 34 T. - la tare de nos voitures de grandes lignes, cette réduction de 6 T. représentant le gain escompté pour la voiture de grande ligne courante, qui sera construite dès la fin des hostilités, par rapport aux dernières constructions ayant précédé la guerre - et nous chercherons à nous rendre compte, nous inspirant de l'analyse précédente des paramètres intervenant dans les bilans d'allègement, des avantages devant découler de l'emploi de nos futures voitures allégées.

Enfin, nous dirons comment nous envisageons, moyennant d'importantes modifications techniques, de pousser davantage encore l'allègement acquis dans les voitures de 34 T., un bilan comparé du matériel super-allégé et du matériel allégé étant impossible, tant que l'expérimentation du prototype superallégé n'aura pas été faite.

Notre note D 24216/3 du 2 août 1945 au sujet de la construction de la voiture superallégée prototype a déjà donné à l'Administration Supérieure divers renseignements à ce sujet.

### I - Analyse des paramètres entrant en ligne de compte dans un bilan d'allègement des voitures métalliques de grandes lignes -

Les avantages à retirer de l'allègement du matériel dérivent de

deux causes :

1°) Une diminution du tonnage des matières premières entrant dans la construction des voitures, ce qui peut être spécialement intéressant dans une période de pénurie, comme celle qui suivra vraisemblablement la fin des hostilités ;

2°) Une réduction de la puissance nécessaire pour remorquer un train de capacité donnée, d'où résultent, à capacité constante, des économies de traction, et, à puissance constante de la machine, des possibilités d'augmentation de la composition des trains.

Ce résultat particulièrement important peut se traduire pratiquement sous différentes formes :

- a - la remorque de trains de composition donnée par une machine déterminée peut être assurée avec une dépense moindre de combustible et d'entretien de la locomotive;
- b - Cette remorque peut éventuellement être assurée par des machines moins puissantes, donc moins coûteuses et fatiguant moins la voie ; on peut même éviter l'acquisition de machines nouvelles;
- c - La composition des trains peut être augmentée à vitesse égale sans augmentation de la puissance des machines, ce qui peut être très intéressant en période de pointe en évitant la mise en marche de trains supplémentaires;
- d - La vitesse moyenne des trains, notamment sur lignes accidentées, peut être accrue sans augmentation de la puissance des machines grâce à la réduction des efforts de traction en rampe et au démarrage.

En résumé, il est possible, grâce à l'allègement du matériel, de tirer un meilleur parti du parc de locomotives existant et de réduire le nombre de nouvelles machines puissantes que pourrait nécessiter l'augmentation de la vitesse et de la capacité des trains de voyageurs.

En regard de ces avantages, l'allègement qui peut avoir, à mode de construction inchangé, une influence défavorable sur le confort et la sécurité, risque d'entraîner des frais de construction plus élevés et des dépenses d'entretien accrues.

En ce qui concerne le confort, le souci de réduire la tare oblige à supprimer ou réduire certains aménagements commodes ou agréables aux voyageurs. D'autre part, la bonne tenue sur voie de véhicules légers risque d'être moins satisfaisante que s'il s'agit de véhicules plus lourds.

En ce qui concerne la sécurité, l'allègement risque de diminuer la résistance des zones offertes aux chocs. Ce risque est évidemment plus à

craindre pour des véhicules devant circuler attelés que pour des véhicules appelés à circuler isolément (autorails ou automotrices).

Pour maintenir, malgré l'allègement, le confort et la sécurité, on est conduit à ces conceptions recourant à des matières plus coûteuses d'achat et de mise en oeuvre :

C'est ainsi que les profilés ordinaires du commerce trop lourds et de résistance spécifique insuffisante, sont à rejeter. La tôle mince en acier spécial demi dur soudable, les alliages légers d'aluminium ou de magnésium d'un prix élevé, la recherche, dans la fabrication des appareils spéciaux et accessoires (appareillages de chauffage, d'éclairage de frein, de robinetterie, de garnitures diverses intérieures et extérieures) de forme ou de matériaux donnant lieu à un poids minimum, entraînent une augmentation des dépenses de construction qui risquent de compenser, du point de vue du prix de revient de la construction, la diminution du tonnage des matières premières à inscrire à l'actif de l'allègement.

La mise en oeuvre de ces matériaux plus coûteux nécessite aussi, pour réaliser l'utilisation optimum de la matière, des procédés de fabrication (notamment emboutissage, soudure) plus délicats, plus difficiles et au total plus coûteux.

Si, n'appliquant pas seulement à la caisse les efforts d'allègement, nous cherchons également - comme il est hautement désirable - à les faire porter sur les boggies, sur les organes de roulement et de suspension, nous sommes conduits à l'adoption de dispositifs plus ou moins délicats, entraînant également un accroissement des frais de construction : essieux creux, carcasses de boggie en acier spécial, amortisseurs hydrauliques, etc...

Enfin, la diminution d'inertie des caisses et des boggies corrélative à tous ces allègements, risque de ne pas permettre d'absorber, dans la masse même de la construction, les mouvements oscillatoires propres de lacots des essieux libres et ces derniers doivent être asservis par des dispositifs spéciaux.

Ce n'est pas seulement à un accroissement des frais d'établissement que risquent de conduire les constructions ~~allégées~~ légères, mais encore à une augmentation des frais d'entretien. La construction en tôle mince requiert une recrudescence de précautions contre la corrosion : protection des parois internes des charpentes offertes à l'humidité des caissonnements, peinture minutieuse des parois extérieures et des accessoires en tôle mince.

En déduction viendra, toutefois, une certaine économie d'entretien des organes de roulement (coussinets, rouleaux, bandages) dus à l'allègement des voitures et une réduction de la fatigue de la voie.

Les avaries en cas d'accidents, tout comme les petites avaries courantes en service, risquent d'être plus importantes et d'entraîner ainsi

des réparations plus coûteuses.

Si nous examinons les divers facteurs énumérés dans la présente analyse, nous constatons qu'à la rigueur, certains de ceux favorables à l'allègement sont chiffrables, mais que, surtout dans les circonstances actuelles, l'accroissement des dépenses de construction et d'entretien, entraîné par l'allègement, est bien difficile à évaluer. Une comparaison de quelque rigueur ne pourrait guère se concevoir qu'entre deux matériels de tare différente et d'âge contemporain, comparaison établie dans le passé, à la même époque, dans des conditions d'exploitation analogues, et en tablant sur leurs frais réels respectifs de construction et d'entretien. Encore ce rapprochement ne serait-il pas sans donner lieu à des difficultés pratiques sur lesquelles il est superflu d'insister.

On conçoit également que les paramètres favorables qui, lorsqu'il s'agissait d'alléger les lourdes voitures métalliques d'il y a vingt ans, l'emportaient évidemment, peuvent - ou plus exactement pourront - au fur et à mesure des progrès réalisés dans l'allègement, être peu à peu contrebalancés par les paramètres défavorables.

Mais il n'en est pas encore ainsi et en construisant, après la guerre, des voitures allégées, nous espérons réaliser, comme nous l'indiquons au chapitre suivant, un progrès appréciable.

Et c'est aussi parce que nous ne croyons pas impossible un nouveau progrès sur ces futures voitures allégées, que nous envisageons la construction du matériel superallégé, ayant fait l'objet de la note D 24216/3 du 2 août 1943 à l'Administration Supérieure et sur lequel reviendra le dernier chapitre de la présente note.

## II - Comparaison technique entre le matériel construit avant les hostilités et le matériel allégé à construire en série après la guerre (1) - Evaluation des avantages de ce dernier -

Le passage des voitures de 40 T., construites peu avant les hostilités, à la voiture de 34 T., a nécessité un effort d'étude important.

Cette diminution de tare de 6 T. a été obtenue en gagnant à peu près 3 T. sur la charpente et les boggies; 3 T. sur les aménagements.

---

(1) Une description détaillée du matériel à construire en série dès après la guerre figurera dans le projet qui sera prochainement soumis à l'Administration Supérieure, en vue de demander l'autorisation administrative nécessaire à la passation des commandes "de démarrage" de voitures.

Rappelons que la charpente du châssis-caisse ne représentait déjà pour les voitures d'avant-guerre, que 25 à 27 % de leur poids total sur rails ; l'effort exercé en vue de leur allègement ne pouvait donc porter que pour une part relativement faible sur la constitution métallique de l'armature.

Néanmoins, le poids de cette dernière a pu être réduit de près de 1.500 kg, grâce à un emploi plus étendu des aciers demi-durs et à un développement extrêmement poussé de la formule de construction tubulaire dont tous les éléments ont été réétudiés, pour y introduire et y généraliser des cellules de résistance en corps creux à parois minces mais à très grande section, c'est-à-dire à très grand moment d'inertie.

Un autre allègement de l'ordre de 1.500 kg a été obtenu par une nouvelle étude du boggie PENNSYLVANIA dont la lourde charpente en acier moulé a été remplacée par une ossature en tôle d'acier demi-dur soudé - dont les essieux ont été prévus creux et dont, enfin, les organes de suspension et de roulement ont été amenuisés, - ce que rendait possible la diminution générale de la tare.

Un allègement d'environ 3 T. a été obtenu d'autre part, moyennant une révision complète de tous les aménagements intérieurs et extérieurs, notamment des cloisonnements, des garnissages, des sièges, etc ..., ainsi que moyennant un emploi étendu de matériaux légers (alliages d'aluminium bois contreplaqués). Toutes ces solutions nouvelles utilisent des matières bien adaptées à l'emploi auquel elles sont destinées sans altérer en aucune manière le confort.

La tare de 34 T. se décompose finalement à peu près comme il suit :

Boggies .....	10.400 kg
Charpente .....	9.500 kg
Tamponnement et traction .....	1.500 kg
Cloisonnements, freinage, éclairage, portes et fenêtres, accessoires .....	12.600 kg
	<hr/>
	34.000 kg



Comment évaluer les avantages du nouveau matériel par rapport aux voitures d'avant-guerre ?

Le prix de revient kilométrique de la traction d'un train comporte, grosso modo, les postes suivants :

- 1 - Combustible
- 2 - Conduite
- 3 - Dépenses diverses afférentes à la locomotive
- 4 - Entretien de la locomotive et du tender
- 5 - Entretien des voitures
- 6 - Amortissement de la locomotive et du tender
- 7 - Amortissement des voitures.

L'allègement des voitures ne peut avoir, d'après l'analyse faisant l'objet du chapitre précédent, qu'une incidence favorable en ce qui concerne les postes 1, 3, 4, 6, le poste 2 étant indépendant de cet allègement.

Seuls les postes 5 et 7 peuvent être influencés défavorablement.

Or, il ne paraît pas téméraire d'espérer que le nouveau matériel ne sera pas d'une construction plus coûteuse que les voitures d'avant-guerre. La diminution de 6 T. des matières à mettre en oeuvre abaissera les frais d'acquisition de ces matières, nonobstant le prix un peu plus élevé de certaines d'entre elles, et compensera l'accroissement éventuel des dépenses de main d'oeuvre.

Quant aux frais d'entretien, soulignons qu'une caractéristique importante de la nouvelle construction réside dans une rigoureuse conservation, sinon même dans une amélioration des conditions de robustesse mécanique et de résistance à la corrosion.

On peut estimer que pour un train de 15 voitures, tarant 34 T. au lieu de 40 T., la diminution corrélative de 90 T. du poids mort de la rame allègera les frais de traction d'environ 6 %. Une évaluation, au taux actuel, évaluation qui ne peut être que grossière, du prix de revient kilométrique de la traction d'un train composé de voitures ainsi allégées, train pesant au total à peu près 590 T., avec le fourgon et les voyageurs (3 T. par voiture) donne la décomposition approximative suivante entre les 7 postes indiqués plus haut :

1 - Combustible .....	9 fr
2 - Conduite .....	5 fr
3 - Dépenses diverses afférentes à la locomotive ....	3 fr
4 - Entretien de la locomotive et du tender .....	6 fr
5 - Entretien des voitures .....	10 fr
6 - Amortissement de la locomotive et du tender .....	7 fr 50
7 - Amortissement des voitures .....	32 fr

soit ..... 72 fr 50

Le moins qu'on puisse dire, c'est que le prix de revient d'un train de 15 voitures de 40 T. d'avant-guerre est plutôt supérieur, sans rechercher une évaluation d'une précision illusoire, et restent ainsi à l'actif de l'allègement tous les paramètres non chiffrables évalués au chapitre précédent.

### III - Modifications techniques permettant de passer de la voiture de 34 à la voiture superallégée -

La voiture de 34 T. nous rapprochera du seuil des amenuisements admissibles au regard de la résistance et de la durée d'un matériel des types actuels, c'est pourquoi, sans abandonner l'espoir de l'améliorer encore, nous avons étudié une voiture superallégée qui procèdera dans l'utilisation de la matière, dans les dispositions mécaniques de roulement et de suspension, de conceptions plus audacieuses.

L'entraînement acquis par l'industrie dans la mise en oeuvre du matériel léger nous permettra de faire fond sur des possibilités nouvelles d'emploi de tôles très minces soudées entre elles. Nous comptons aussi réaliser des boggies sur un principe entièrement nouveau; en particulier, les dispositifs d'asservissement des essieux et l'emploi d'amortisseurs de suspension corrigeront les perturbations inhérentes à la diminution de l'empattement et à l'emploi de suspensions légères, très flexibles, à haut travail élastique.

Il serait toutefois imprudent d'adopter ces dispositions nouvelles sur un matériel de série, sans une expérimentation préalable.

Quel bénéfice pouvons-nous en escompter ?

A cet égard aussi, c'est l'expérience seule qui nous éclairera.

En examinant le prix de revient, figurant au chapitre précédent, d'un train de 15 voitures de 34 T., on voit quelle est la part importante de l'amortissement (en 40 ans) du matériel remorqué.

Une économie de 2 T par exemple par voiture, soit 30 T. pour le train représente, compte tenu du poids propre de la machine, de la résistance du mécanisme et de la résistance de l'air, une réduction de l'effort de traction inférieure en moyenne à 4 %, si bien que le gain sur les dépenses de combustible et d'entretien de la locomotive ne peut guère dépasser 1 fr ou 1 fr 50 par km/train, alors que le supplément des dépenses d'entretien et d'amortissement de voitures superallégées risque d'être supérieur à ce chiffre; mais ce supplément serait aussi compensé tout au moins en partie, par des gains sur la voie et le capital locomotives.

En outre, ainsi que nous l'avons souligné plus haut, même si le bilan chiffrable n'était pas nettement favorable, resteraient encore les avantages non chiffrables de l'allègement qui, à eux seuls, justifieraient les études que nous poursuivons.

L'expérience seule permettra de trancher, et elle doit être tentée au surplus, le développement des études et les progrès techniques à escompter dans la conception des matériels et de leur mise en oeuvre, peuvent encore ménager d'heureuses surprises, comme elles l'ont fait dans le passé; au début des voitures métalliques personne n'eût pensé pouvoir réduire leur tare à 34 T. sans rien sacrifier sur le prix, l'entretien, le confort ou la sécurité/.