



5, Avenue de Friedland — PARIS-8*
Tél. : ELYSÉES 45-04

FONDÉE EN 1927

Président d'honneur Fondateur
M. A. RATEAU, Membre de l'Institut.

Présidents d'honneur
MM. Charles FAROUX,
Léon GUILLET, Membre de l'Institut.

Membres d'honneur
Fédération Nationale de l'Automobile, du Cycle,
de l'Aéronautique et des Industries connexes.
Chambre Syndicale Patronale des Fabricants
d'Accessoires et Pièces détachées d'Automobiles,
de Cycles et d'Appareils Aériens.
Michellin et Cie. — Chambre Syndicale des
Carrossiers de Paris et des départements.
Eugène Mathieu, Président fondateur.

Conseil d'Administration :
Président : M. J. H. LABOURDETTE.
Vice-Présidents
MM. Pierre PREVOST, Colonel ROUYER.
Secrétaire Général : M. Emile PETIT.
Trésorier : M. Xavier MORAND.

SOMMAIRE

— Le problème de la voiture économique légère, par M. Andreau.	61
— Possibilité d'adaptation des moteurs à explosion aux variations d'indice d'octane, par M. Serruys.	69
— Bibliothèque.	79
— Lutte contre la corrosion, par M. Cressonnier.	80
— Activité des sections techniques de la S.I.A.	85
— La S. I. A. au Salon de l'Automobile 1946	90

Le Journal décline toute responsabilité quant aux opinions émises dans ses colonnes, tout article étant publié sous la responsabilité de son auteur.

Tous droits de reproduction réservés

JOURNAL DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS DE L'AUTOMOBILE

20^e Année — Tome XIX

N° 3 - MAI-JUIN 1946

Le Problème de la Voiture Économique Légère

par M. J. ANDREAU, Ingénieur-Conseil (1)

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Comment se présentait le problème à l'origine : en 1940 ?

A) Carburant. — Dans la première hypothèse, la question du carburant se présentait extrêmement mal car, à admettre qu'il y en ait eu, ce n'aurait été que des quantités infimes.

Dans la deuxième hypothèse, celle qui s'est heureusement réalisée, il apparaissait cependant que les approvisionnements seraient restreints, soit du fait des producteurs, soit du fait des acheteurs.

Dans tous les cas, il importait évidemment de tirer le maximum de services d'une quantité donnée. Les producteurs, en effet, ont pu mesurer le fleuve de carburant que nécessite une guerre moderne et, jusqu'à preuve du contraire, il peut être supposé que leurs propres besoins étant satisfaits, ils ne soient pas tellement désireux qu'on pourrait le croire de nous livrer des quantités illimitées.

Les consommateurs, dont nous sommes, sont obligés, en échange de ce carburant, de fournir des produits ou de l'argent et, de toutes façons, du travail, qui vient en déduction de nos autres besoins élémentaires.

De sorte qu'il est sage de prévoir, pendant malheureusement un temps assez long, que nous ne disposerons que de quantités limitées.

Je vous rappelle qu'entre le charbon et le carburant, nous avons dépensé entre les deux guerres 100 milliards d'achats à l'étranger (valeur d'avant-guerre).

On peut maintenant se dire que si la majeure partie de cette somme avait été transformée en armements, cela nous eut peut-être évité quelques ennuis.

B) Charbon. — Le charbon est en connexion avec le problème constructif. Pour l'acier, il faut du charbon : une tonne et demie pour une voiture acier de 1 200 kg.

Il fallait donc se diriger vers des solutions nécessitant une quantité minimum de charbon — car il vaut mieux employer celui-ci pour les usages

dans lesquels il est irremplaçable — et utilisant autant que possible des éléments disponibles chez nous.

Alors nous avons envisagé le bois contreplaqué moulé sous faible pression. **Avantages :** la résistance mécanique est intéressante — la densité aussi — la réparation est facile — la matière peut être facilement trouvée dans les bois indigènes ou dans les bois coloniaux — ils sont insonores.

Inconvénients : La fabrication n'avait pas encore été envisagée sous forme de série — la main-d'œuvre est élevée — il entre quand même un certain pourcentage de charbon dans la fabrication des colles.

Nous avons donc réalisé nos premières coques en bois moulé avec des résultats d'ensemble relativement satisfaisants.

Mais il s'est produit à la longue une transformation qu'il était impossible de prévoir à priori. Quelques chocs un peu brutaux ont provoqué des dégâts totalement hors de proportion avec leur intensité. Nous nous sommes aperçu que les colles continuent à se modifier avec le temps et se transforment en une poussière ne fournissant — bien entendu — qu'une liaison précaire entre les éléments du bois.

Malheureusement, il a fallu, pour s'apercevoir de cette difficulté rhéobitoire, plus d'un an et demi.

Entre temps, nous avions déjà décidé de poursuivre également la solution par l'emploi des métaux légers.

Pour ces métaux, en effet, il faut de l'électricité seulement. Nous en avons et en aurons de plus en plus (la sécheresse actuelle n'est qu'un incident). Nos ressources hydrauliques sont en développement accéléré. Nos ressources éoliennes, qui représentent au moins autant de kWh possibles, peuvent être mises en œuvre à l'heure actuelle par des solutions modernes qui en feront une réalité prochaine.

Était-il à craindre un prix de revient plus élevé ? L'« Aluminium Français », auprès duquel nous avons trouvé l'appui le plus chaleureux, a apaisé en partie la crainte précédente. Il s'agit ici du prix catalogue.

(1) Conférence prononcée à la S. I. A. le 18 décembre 1945.

On sait que ce prix ne joue que la moitié du rôle dans le nombre de voitures en circulation car le coût d'entretien s'applique à l'autre moitié. Or le coût d'entretien, diminué, en carburant, usure de pneus, usure générale, et aussi le coût national également diminué, réduisent ce facteur de telle sorte que l'équilibre est largement rétabli.

D'ailleurs, il suffirait d'une légère retouche au traitement fiscal sur le prix catalogue, pour rétablir éventuellement la situation sur le premier facteur ; et ce serait certainement le procédé le plus efficace.

Bref, du point de vue de l'économie de charbon, la chose se montre entièrement favorable dans le sens général.

Le résultat atteint actuellement est la réalisation d'une voiture avec seulement 128 kg de métaux ferreux, c'est-à-dire la possibilité de produire environ 6 voitures au lieu d'une avec la même quantité de charbon.

Quel modèle adopter ?

1° En tenant compte des événements. — Il apparaissait déjà que, quelle que soit l'issue, nous ne pourrions prévoir de longtemps la pléthore antérieure. Il semblait donc nécessaire d'alléger et de simplifier le problème en prenant une capacité de charge un peu moindre que le standard précédant, mais cependant capable de faire face à la très grande majorité des besoins. Il ne fallait pas diminuer les gabarits habitables sous peine de faire fausse route. Donc large capacité unitaire avec une charge totale légèrement diminuée.

2° En tenant compte des statistiques de roulage. — Il est connu que dans 80 % des cas, les voitures sont utilisées par une seule personne, avec charge utilitaire ou non, et dans 90 % des cas, avec une ou deux personnes dans les mêmes conditions.

Et ceci n'est justement pas du tourisme, bien que les services officiels persistent, sans doute dans de noirs desseins, à maintenir cette appellation qui est donc fautive dans 90 % des cas au moins — pourquoi ne pas dire voiture, comme nous disons entre nous, tout simplement ; comme « Car » dans les pays saxons ? On les amuserait bien en appelant leurs voitures « Touristic Cars ». Donc la très grande majorité des cas peut théoriquement être satisfaite par une voiture deux places, et c'est ce point de vue qui avait guidé M. Goudard lors du concours de la voiture S.I.A. Cependant, la proposition eût été un peu trop étroite, surtout en venant des quatre places antérieures.

De sorte qu'après réflexion, il est apparu qu'une solution serait la plus généralement adaptée si elle permettait trois très vastes places — au lieu de quatre serrées — et 40 kg de

bagages ; ou bien deux personnes et 100 à 110 kg de charge supplémentaire possible (260 kg de charge utile).

D'ailleurs la disposition résultante à l'intérieur de la voiture projetée, était ainsi entièrement homogène à celle-ci et présentait par là même un tout équilibré satisfaisant.

SOLUTIONS APPORTEES

Recherche de l'économie

Ainsi que je l'ai déjà développé devant vous, il y a quelques années — et je ne crains pas de me redire puisque ces vérités n'ont pas l'air d'être encore bien comprises partout — il convient de s'attaquer directement aux trois facteurs principaux qui conditionnent la consommation :

Dans l'ordre :

- A. La résistance de roulement.
- B. La résistance de l'air.
- C. L'adaptation du moteur.

A. Résistance de roulement.

Elle est conditionnée en premier lieu par le poids, qui se relie aussi directement à la performance et au prix. Le poids a donc là une triple connexion capitale.

1° La Caisse : monobloc complet avec utilisation de caissonnages inférieurs, antérieurs, supérieurs et latéraux. La limitation de poids est, en quelques endroits, conditionnée par les épaisseurs minima de tôle pour le formage, qui sont encore nettement trop épaisses si l'on ne considère que leur travail, dans la rigidité même de la caisse, flexion ou torsion.

2° Le mode d'attache des pièces subissant des efforts élevés, et la position des liaisons, aussi proches que possible des passagers, ont été établis de façon à réduire la longueur de la poutre intéressée par les gros efforts (assemblage principal sur le tablier pour le train avant, et juste derrière le troisième passager pour le train arrière).

Pour éviter les contraintes locales élevées, les pièces principales répartissent leurs efforts sur de grandes surfaces. L'expérience a largement justifié ces dispositions, dont d'ailleurs le principe provient d'assemblages dans la Marine, où les mêmes problèmes se sont posés.

Ces dispositions qui pourraient sans doute être regardées comme un alourdissement inutile, provoquent au contraire un allègement substantiel en évitant par la suite de rajouter les fameuses tôles pliées, cornières, et autres renforcements, qui finissent par handicaper une conception initiale saine de principe, par l'augmentation de poids qu'ils apportent.

En fait, non seulement il ne nous a fallu rien ajouter pour assurer la résistance aux efforts, mais encore il a été possible d'alléger le premier dessin après les essais statiques.

Ceux-ci, qui faisaient partie du programme constructif, à cause de la difficulté d'assigner des valeurs correspondantes aux tensions, pour des formes aussi compliquées qu'une caisse de voiture, ont montré qu'on obtenait avec 1 200 kg de charge (6,5 fois la charge maximum de 265 kg), une flèche élastique maximum de 2,8 mm.

La ligne élastique a été mesurée au cours de ces essais et a permis de constater d'assez grandes différences entre les moments d'inertie réels aux différents points. Il a été alors possible de réduire les plus forts et ainsi de gagner du poids.

Bref, l'étude théorique et expérimentale de la caisse, tout en assurant un coefficient de sécurité élevé, a permis d'obtenir un poids pratique déjà très réduit et qu'il sera possible, sans doute, de diminuer encore. La partie travaillante ne pèse que 48 kg. L'ensemble tôlerie complète en blanc pèse 78 kg à l'heure actuelle.

3° Le Groupement des organes. — Le groupement des organes est un autre moyen d'alléger. Il permet en effet d'éviter les multiples fixations qui correspondent aux efforts sur chaque élément en particulier, en utilisant les points de fixation des ensembles pour transmettre ces efforts.

Par exemple, en prenant un bloc sur lequel sont montés tous les accessoires, la direction et la suspension, les efforts qui auraient été engendrés par ces éléments séparés, sont tous pour ainsi dire canalisés et concentrés sur le bloc, qui, lui, les transmet une fois pour toutes par son point d'attache principal, établi en conséquence (fig. 1).

4° La diminution du nombre des pièces. — Il est évident que tout ce que l'on peut supprimer ne figure plus ni au poids ni au prix. En prenant trois roues au lieu de quatre, on supprime une suspension et un amortisseur, un bras ou un essieu, un frein et sa commande, une roue, une jante, un pneu et sa chambre, mais aussi les tôleries des ailes et des crânes de liaison arrière qui seraient nécessaires pour les deux roues arrière, si l'on employait quatre roues, avec une voiture convenablement carénée.

Lorsqu'on compare les projets ainsi faits, on constate, rien que sur le poids, une augmentation en 4 roues de 25 à 30 %, suivant les solutions, par rapport à une 3 roues de même charge utile — et encore, sans tenir compte de l'augmentation de puissance (donc de poids nécessaire à l'obtention de la même vitesse maximum, compte tenu aussi de la variation du Cx).

5° La pression de gonflement. — Ainsi que vous le savez, la pression de gonflement joue un rôle très important puisque la résistance de roulement est à peu près inversement

proportionnelle au carré de ce facteur et à une puissance élevée de la vitesse. Au lieu de demander aux pneus, en utilisant des coussins à 1 kg d'assurer à eux seuls la plus grande partie du confort, nous avons admis des pressions plus élevées de l'ordre de 2 kg avec comme but de réduire ainsi le coefficient de roulement.

Il a fallu alors reprendre le problème complet de la suspension, à la fois pour le confort et la tenue de route. Problème dont la difficulté était encore accrue du fait de la grande légèreté et, par conséquent, de la variation relative de charge qui est considérable. En somme, à une autre échelle, le problème du camion en charge et à vide, mais un camion qui devait rester confortable dans tous les cas. Ce problème a donc été traité très soigneusement et a vu plusieurs réalisations, ainsi qu'il sera expliqué plus loin.

6° La chasse au poids.

a) dans le tracé des pièces ;

b) par l'emploi de métaux légers au maximum, partout où il est possible de le faire avec avantage ;

c) dans le fait qu'il peut être parfois avantageux de prévoir certaines opérations d'usinage supplémentaires qui, bien qu'elles semblent coûter à priori, ont au total une répercussion heureuse sur l'ensemble, en permettant de limiter soit la puissance totale, soit la cylindrée à des chiffres inférieurs à ceux qui auraient été nécessaires.

Par voie indirecte, on peut donc réaliser un ensemble moins onéreux. C'est d'ailleurs, semble-t-il, la tendance américaine dans la réalisation des voitures prochaines, où l'on n'a pas hésité à incorporer les procédés d'usinage d'aviation, qui paraissent chers à priori par rapport à ceux de l'automobile avec toutefois un résultat total plus avantageux.

En somme, mettre la bonne matière, adaptée copieusement là où il faut, mais là où il faut seulement. Naturellement ceci suppose une étude très attentive de chacune des pièces. Celles-ci sont en effet travaillées, on peut le dire, gramme par gramme car c'est bien en retranchant des grammes que l'on supprime des kilos.

C'est ainsi qu'entre le premier prototype qui avait déjà pourtant été sérieusement étudié dans ce sens, et le troisième, nous sommes passés de 460 à 380 kg.

Cette recherche nous a amenés à revoir bien des points dans leur conception même, par exemple les roues (technique de l'« Aluminium Français »), qui incorporent en une seule pièce le voile, le tambour de frein et sa garniture fonte incorporée dans le moule, en évitant par là les doubles emplois de matière — un poids important a été gagné ainsi.

De même, dans la traction avant, les assemblages de disposition revus à différentes reprises, ont amenés des simplifications substantielles. Les suspensions ont elles-mêmes été simplifiées et allégées. Tous les accessoires, mécanique et carrosserie ont

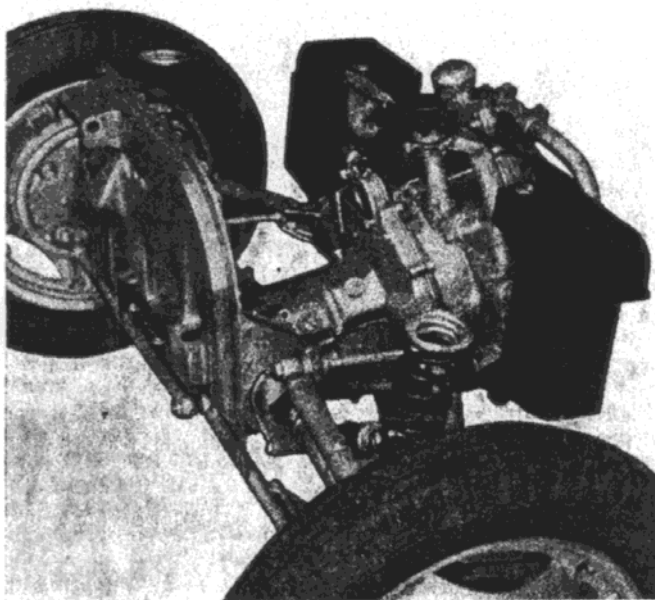


Fig. 1. — Bloc comprenant : moteur, accessoires, etc.

été refaits dans le même but et sur l'ensemble du standard de poids minimum d'avant-guerre, plus de trente kilos ont été gagnés. Tout y est passé : distributeur, carburateur, dynamo, démarreur, accus, câblage et connexions, freins, serrures, charnières, glaces, feux de position, tableau, sièges, etc., etc..

Bref, sur le poids, gros travail de conception légère et de réalisation qui s'est poursuivi et se poursuit encore sans égard pour quoi que ce soit, sauf pour le service correct et la fonction à assurer.

B. Résistance de l'air.

C'est le deuxième facteur important d'absorption d'énergie. En vue de sa réduction au minimum possible, la voiture a été carénée avec grand soin. La disposition 3 roues est, sur

ce point, nettement plus avantageuse que les autres.

Dans une 4 roues bien carénée l'ensemble des roues avec les ailes et les carènes de liaison parfaitement étudiées et sans décollements, double la résistance unitaire de la carène.

Avec une 3 roues, toutes choses égales, la résistance n'est augmentée que de 20 à 30 % de celle de la carène qui devient alors le facteur prépondérant.

Les tracés de cette voiture ont donc mis en jeu les principes fondamentaux que j'ai indiqués ici même.

Un corps de base, de profil longitudinal ellipse ogive ou parabole, en section verticale et horizontale, est placé convenablement dans le vent et englobe l'infrastructure de la voiture. Sur ce corps est raccordé un habitacle, de telle façon que toutes les courbes utilisées présentent des raccordements avec tangence du second ordre des éléments entre eux.

Il s'est présenté ici une difficulté particulière.

Le pare-brise a été fait plat, en dièdre et incliné car il était impossible d'envisager des glaces à simple ou à double courbure pour l'avant. Il a donc fallu établir des raccordements avec des glaces planes évitant des décollements locaux ou tout au moins des amorces de tourbillons venant réagir sur le décollement arrière. Pour obtenir ce résultat les courbes de raccordement ont comme rayons de courbure ceux du corps principal et aboutissent aux glaces par des points d'inflexion. Des courbes du cinquième degré permettent d'obtenir des résultats.

L'ensemble de la carène ainsi déterminé est placé au voisinage de l'incidence de portance nulle, de façon à assurer le coefficient minimum de résistance, compte tenu de l'interaction du sol.

La corde de carène est donc inclinée vers l'avant, d'un angle négatif qui dépend du rapport flèche sur corde, comme ce serait le cas pour une aile d'avion. Cet angle est augmenté d'une petite quantité qui atténue en partie l'interaction du sol.

Mais, comme vous le savez, l'aspect de la voiture seul sur la route est incomplet pour se faire une représentation de la résistance de l'air, il faut envisager deux voitures disposées en image et considérer le plan médian qui, à peu de choses près, représente alors la route par raison de symétrie.

On se rend compte alors que, pour que l'écoulement se fasse autour de la carène de la voiture avec la contrainte minimum, il faut que le fond de la voiture et son image représentent sensiblement un convergent divergent plan parallèle. En d'autres termes, le sol, malgré sa vitesse égale à celle du vent à l'infini, constitue un

obstacle à la circulation. Il faut alors assurer en dessous de la voiture le débit maximum possible afin de réduire la contrainte d'écoulement extérieur.

L'interaction est aussi sous la dépendance de la hauteur relative de la voiture au-dessus du sol et varie très rapidement au carré et à la quatrième puissance de ce terme à mesure qu'il augmente. Il faut donc se maintenir aussi haut que possible au-dessus de la route. Mais là existe une limite imposée par la stabilité en virage et le problème est assez étroitement circonscrit.

Etant donné qu'il faut avoir des flexibilités très grandes à cause de la légèreté de la voiture, nous avons en effet constaté une variation nette du Cx entre la charge minimum et la charge maximum due à cette cause d'une part et aussi au fait que l'incidence de portance nulle est plus près de la charge minimum. Autrement dit, le Cx augmente dans une certaine proportion à mesure que la charge de la voiture augmente, c'est pour cela que nous nous référons au Cx en charge moyenne avec deux passagers aux places avant.

1° Interruptions de la carène. — Il est peu opportun de caréner le braquage, ce qui revient à un alourdissement et à une augmentation du maître couple. Les roues avant ont donc été laissées apparentes. Mais les profils d'aile autour des roues ont été établis de telle façon que le vent décolle franchement sur les bords de fuite amont, alors qu'il vient s'enrouler aux bords d'attaque aval, sur de larges congés aménagés à cet effet. C'est un saute-vent. L'essai montre que l'air parcourt un trajet qui serait celui de la carène si elle avait été continue et ainsi le coefficient de résistance n'est sensiblement pas affecté. Toutes les ouvertures sont traitées de cette façon.

2° Les ailes avant. — Elles sont définies par un corps symétrique de faible résistance, coupé en deux, dont chaque moitié est enroulée de part et d'autre du corps de base avec des congés de raccordement avant et arrière. Leur résistance, compte tenu de leur propre interaction avec le sol, s'ajoute à celle de la carène.

3° Les roues. — Elles sont munies de flasques de chaque côté, de façon à atténuer un peu les discontinuités de leurs profils et pour supprimer aussi le brassage de l'air par les rayons.

C. Adaptation du moteur.

On est ainsi arrivé à utiliser le moins d'énergie possible pour une vitesse donnée. Il faut maintenant obtenir cette énergie au meilleur prix en carburant. Quand on considère les courbes d'iso-consommation d'un moteur en fonction du nombre de tours,

on constate qu'une certaine région est favorisée à proximité de la courbe pleins gaz. Si l'on s'écarte de cette région, les consommations augmentent. Il est donc indiqué de faire passer la courbe d'utilisation de la voiture au voisinage de cette région. C'est ce qui a été fait et ceci, compte tenu des accélérations, montées de côtes et rapports de démultiplication, fournit une valeur de la cylindrée dont on ne peut s'écarter beaucoup si l'on veut de très faibles consommations.

Ainsi donc sont accordés les trois points principaux :

- poids.
- résistance de l'air.
- adaptation du moteur.

Le Cx.

Le Cx global ainsi obtenu est $C_x = 0,22$

Ce résultat concorde très nettement avec le calcul, avec les essais de maquettes en images, et avec les essais de résistance à la fois de roulement et à l'air effectués sur des pentes connues à différentes charges.

La carène étant cependant très courte, il n'a pas été possible d'éviter un léger décollement sur 5 à 6 dm², à hauteur de la lunette arrière. Une voiture d'allongement plus grand verrait ce décollement disparaître et son Cx serait alors de l'ordre de 0,18. Il semble très difficile d'obtenir des chiffres plus faibles.

La valeur de ces chiffres extrêmement réduite, en venant de Cx de l'ordre de 0,7 à 0,6 explique en partie les performances de cette voiture, tenues pour impossibles a priori par certains.

Puissances absorbées.

Celles-ci, comptées à la jante en ch au poids de 570 kg et avec une pression de gonflement de 2,25 kg/cm², sont les suivantes :

Vitesse Km/h	10	60	80	100
Puissance air	0,492	1,67	3,94	7,75
Puissance roulement	1,125	1,75	2,25	3,6
Puissance totale	1,617	3,42	6,2	11,38

On voit les valeurs très faibles de ces puissances et il est facile d'en déduire que le moteur sera de cylindrée réduite.

PROBLEMES PARTICULIERS

1° Stabilité aérodynamique. — Une stabilité suffisante est assurée dans cette voiture sans qu'il ait été nécessaire d'ajouter une dérive. Les profils en effet se terminent par une arête verticale partant de la lunette arrière, et le dépassement de la roue arrière constitue aussi un élément de dérive, imparfait il est vrai. Les vitesses par ailleurs ne sont pas suffisantes pour donner lieu à un moment perturbateur horizontal élevé, eu égard au moment d'adhérence.

La polaire n'a pas été relevée. En pratique, la voiture fuit un peu sous une rafale transverse, mais cependant moins qu'une voiture normale. Une dérive ne serait réellement nécessaire qu'au delà de 140 à 150 km à l'heure, vitesses supérieures à celles qu'on peut atteindre, même en surmultiplication.

2° La suspension. — Des solutions approximatives de la suspension ont causé l'échec de bien des réalisations de voitures légères dans le passé.

Il a fallu ici un effort particulier car il n'était pas question de revenir en arrière sur ce point, mais au contraire de le résoudre parfaitement malgré sa difficulté accrue.

Les principes suivants ont été adoptés :

a) suspension isochrone, c'est-à-dire à fréquence propre constante de la pleine charge à la charge minimum quelle que soit la masse suspendue.

b) mouvement apériodique de roues par rapport à la caisse dans tous les cas de charge.

c) frottement local optimum pour toutes les charges.

3° Isochronisme. — La fréquence propre dans un système élastique est fournie par la formule suivante, dans laquelle N = nombre d'oscillations par seconde, c = rigidité et I = masse :

$$N = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{I}}$$

On voit donc que si la rigidité augmente comme la masse, on obtient une fréquence constante. Donc il faut réaliser $C = mI$. Seulement il faut passer par la flèche ou le chemin parcouru pour obtenir ce résultat.

On démontre facilement qu'il faut alors que la charge soit une exponentielle de la flèche de la forme $P = ae^{mf}$.

Ce résultat est atteint de façon

très simple en comprimant un ressort cylindrique par l'intermédiaire d'une came en spirale logarithmique, liée par exemple au déplacement angulaire d'un bras. Il est alors loisible, en conformité avec l'espace disponible ou le poids que l'on admet, de choisir une fréquence propre ultra-confortable de l'ordre de 1 par exemple, c'est-à-dire qui s'apparente aux meilleures suspensions de grosses voitures. C'est ce qui a été fait.

4° Amortissement. — L'expérience portant sur de nombreuses suspensions et beaucoup d'années a montré que le frottement était optimum lorsqu'il permettait un décrétement de l'ordre de 4/5° à 5/6° sur l'oscillation propre d'amplitude moyenne.

C'est en partant de là et en réalisant des amortisseurs coulissants, à section de passage variable comme pour les récupérateurs de recul par exemple, qu'il a été possible d'obtenir ce résultat. (Fig. 2 et 3).

5° **Apériodicité des roues.** — Connaissant alors la masse non suspendue et les rigidités locales, il fallait en outre que le frottement déterminé dans le cas précédent soit suffisant, même à faible charge, pour rendre le mouvement des roues apériodique par rapport à la caisse.

Ceci a une grande importance pour la tenue de route. Supposons qu'il n'y ait pas de frottement. La roue tombe dans un trou. La percussion qu'elle reçoit se transmet par la suspension, aboutit à la caisse, point quasi-fixe, se réfléchit et revient à la roue, changée de signe. Elle soulève donc la roue, et lui fait quitter le sol un instant, ce qui suffit à compromettre la tenue de route. Ici le mouvement étant apériodique, cela veut dire que le frottement est tel qu'il absorbe l'énergie des percussions entre l'aller et le retour et qu'ainsi les roues ne quittent pas le sol, et cela, sans la brutalité des réactions que produisent les amortisseurs serrés qu'on monte sur les voitures de course.

Grâce à la rigidité variable, il est possible de lui donner des valeurs courantes qui ont fait leurs preuves et qui sont entrées dans les habitudes des passagers et dans les réflexes des conducteurs.

7° **L'équilibre et la stabilité de route.** — Ce sont des facteurs capitaux dans une 3 roues comme dans toute autre voiture.

Les charges relatives des roues et les positions du centre de gravité le long des trois axes doivent répondre à plusieurs conditions.

1° Le dérapage à la limite d'adhérence doit précéder le retournement.

trouver en avant de l'axe avant pour que le centre de gravité le plus reculé soit encore dans la zone précédente.

On constate également qu'il est important de laisser dans tous les cas son maximum d'adhérence à la roue arrière, c'est-à-dire de ne pas lui affecter de couple, ou moteur ou de freinage et par conséquent d'adopter la traction avant. Celle-ci, d'ailleurs, constitue dans cette conception un ensemble si homogène et si séduisant qu'il s'impose par ailleurs.

Il est évident que si, au jour des règles énoncées, en ce qui concerne la suspension et l'équilibre, on ana-

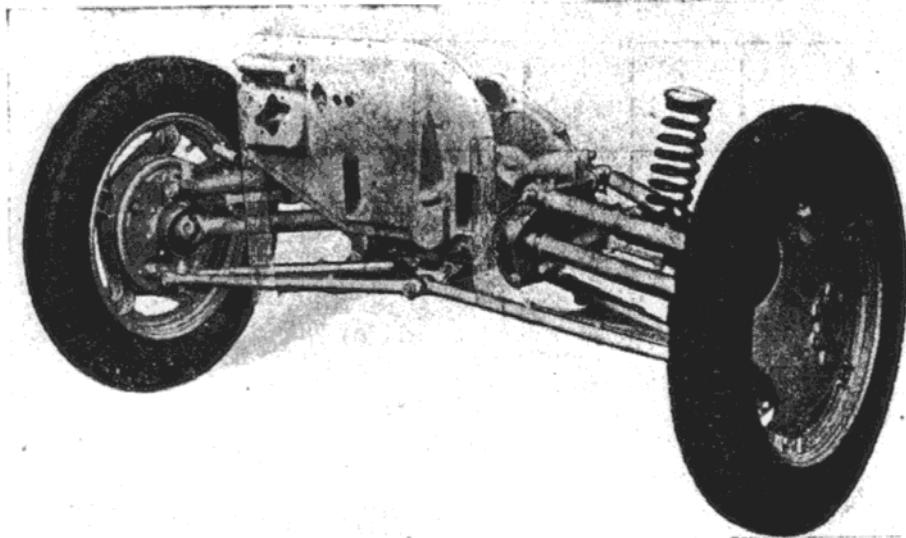


Fig. 2 et 3. — Vue des amortisseurs AV.

6° **Dévers en virage.** — Sur une voiture 3 roues le dévers en virage est une fois et demie celui d'une voiture 4 roues, à masse et fréquence propres égales.

Nous avons donc placé un stabilisateur sur la première voiture exécutée. Cet engin s'est montré trop brutal et a introduit un roulis de fréquence élevée inadmissible. En outre, la voiture tournait verticale comme un fil à plomb. Il a été constaté qu'il aurait pu être dangereux d'avoir une voiture ne prévenant pas le conducteur qu'il s'approchait de la limite d'adhérence au cours d'un virage. Nous avons donc été amenés à rétablir le dévers dans une certaine me-

2° Le freinage au maximum d'adhérence ne doit pas mettre la voiture en pylone.

3° Le freinage au maximum d'adhérence sur une seule roue avant, l'autre étant libre, ne doit pas amorcer un dérapage.

Les conditions précédentes étant traduites dans les équations d'équilibre, fournissent un triangle de sustentation de forme non arbitraire et une zone dans laquelle doivent se trouver les centres de gravité dans les différentes hypothèses de charge. C'est aussi une indication sur la structure même de la voiture qui, de ce fait, n'est pas arbitraire non plus.

La mécanique, par exemple, doit se

lyse les précédentes conceptions de 3 roues connues, on voit sans peine les raisons qui les ont tenues éloignées du public, et on peut mesurer là la cause justifiée d'une certaine méfiance envers ces engins.

Cependant, les règles du jeu étant respectées, on peut dire qu'on aboutit à des véhicules absolument corrects en tous points, entièrement comparables aux véhicules ordinaires pour la sécurité et le confort, et qui présentent par surcroît des avantages marqués de poids, de résistance à l'air, de performance et de consommation. L'expérience faite maintenant sur plus de 50 000 km, avec différents conducteurs et différentes solutions, est là pour le confirmer. Nous n'avons encore jamais rencontré une hésitation ou une faute des véhicules eux-mêmes au cours des multiples épreuves que nous leur avons fait subir jusqu'à présent.

8° **La direction.** — La grande flexibilité, indispensable au confort pour une voiture si légère, oblige à des débattements importants ; ceci vient interférer avec les braquages élevés nécessaires à une bonne maniabilité.

Sur la première voiture, nous

avons établi l'épure de direction et de débattement des roues avec les approximations usuelles, sans nous méfier suffisamment des écarts secondaires.

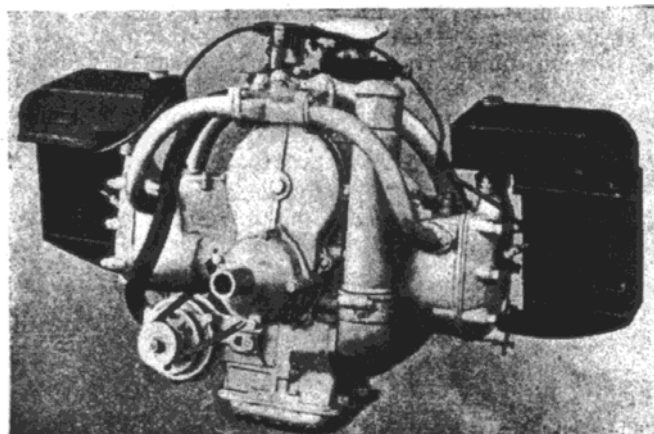


Fig. 4. — Le bloc-moteur.

L'expérience s'est chargée de nous montrer assez rapidement qu'il fallait reprendre le problème de beaucoup plus près car ces facteurs, secondaires dans le problème orthodoxe, devenaient prépondérants dans le nôtre.

C'est ce qui a été fait avec un très bon résultat actuellement, le seul inconvénient ayant été de compliquer encore un peu notre tâche.

Les principes d'établissement de cette voiture qui, par sa définition même incorpore sans nul doute le maximum de difficultés de conception et de réalisation pour une automobile, ayant été énoncés, les dispositions résultantes deviennent claires et se comprennent aisément.

DESCRIPTION DE LA VOITURE

Elle se compose de trois éléments :

- 1° Le bloc moteur avec tous ses accessoires suspension et direction.
- 2° La caisse avec la pièce de fixation du bloc avant.
- 3° La roue porteuse arrière avec sa suspension.

1° Bloc moteur (Fig. 4).

Il comprend dans l'ordre : le moteur, l'embrayage, la boîte et le démultiplicateur avant.

Le moteur. C'est un flat-twin deux cylindres 700 cm³, alésage et course 75 × 80 mm. Les cylindres sont coaxiaux de façon à annuler le lacet d'inertie usuel. Ce résultat est obtenu au moyen d'un vilebrequin trois coudes avec une bielle d'un côté et deux bielles de l'autre. Cette disposition, due à M. Raymond Georges et utilisée avec succès sur des moteurs de motoplaneurs, s'est montrée efficace à l'usage et permet de réaliser un moteur presque rigoureusement équilibré.

Les soupapes sont latérales. L'arbre à cames comporte deux cames seulement, et est actionné par une denture celoron à jet d'engrènement, le tout est dans l'huile. Les cylindres

à chemise fonte noyée, les culasses alu sont refroidis par eau. Les radiateurs, un par cylindre, sont montés sur la culasse directement par plans de joint. La circulation est à thermo-siphon.

Cette disposition a comme effet, en portant le moment d'inertie du moteur autour de son axe à un maximum, de diminuer l'amplitude d'oscillation polaire du bloc, sous l'influence du moment moteur, et de réduire ainsi la transmission des réactions dues à ce facteur.

Le moteur en effet, dans un but de durée et de service, ne tourne au maximum qu'à 3 300 tours et développe seulement 15 ch à 3 000 tours. Par

Afin d'éviter l'emploi de ventilateurs et de faire ainsi l'économie de la puissance nécessaire à leur fonctionnement, le refroidissement est de conception particulière.

Une entrée d'air est aménagée au centre, en face du bloc moteur qui est ainsi directement refroidi. D'autant mieux qu'il est entièrement en aluminium. On sait que ceci diminue le nombre de calories à évacuer par l'agent de refroidissement, de 15 à 20 %. Devant chaque radiateur, une entrée d'air est ménagée, placée également sur la ligne neutre, c'est-à-dire au maximum de pression.

Les sorties supérieures et inférieures sont placées dans les zones de dépression maxima qui ont été déterminées au laboratoire sur les maquettes.

La vitesse d'air à laquelle on a droit dans ces conditions, est environ une fois et demie la vitesse de la voiture. Dans la disposition orthodoxe on n'a droit en général qu'à la moitié de cette vitesse et le ventilateur la ramène alors au voisinage de la vitesse à l'infini. Leur remultiplication est donc largement satisfaite.

Il a été vérifié, par la mesure des Cx, que les ouvertures ainsi réalisées n'augmentent pas sensiblement

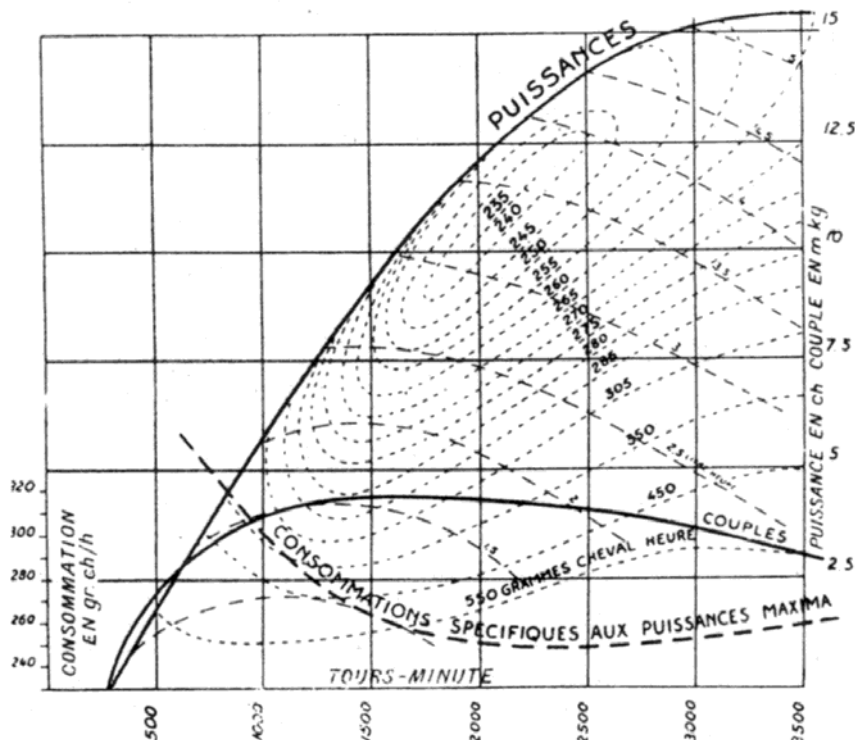


Fig. 5. — Courbes des puissances, des couples, des consommations spécifiques aux puissances maxima et des iso-consommations en fonction du nombre de tours du moteur.

contre, son étude est faite pour assurer un couple élevé à la reprise. Sa consommation avec une essence à 65 octane, est au minimum de 230 g.ch/h. La courbe d'utilisation passe près de ce point. (Fig. 5).

la résistance de la voiture.

Il eut été facile de faire un moteur à régime plus élevé. On y aurait gagné sur le poids et l'encombrement, mais il a semblé préférable, au point de vue consommation et endurance,

d'accepter dans ce cas la différence de poids en vue d'augmenter la durée sans révision et de simplifier le service.

Embrayage. — Du type classique

Cette solution est plus simple, plus légère et moins onéreuse que la précédente.

Elle permet en outre, tout en élargissant la base d'appui sur la voiture,

2° Le moment moteur est transmis à la caisse par les tourillons arrière et la souplesse peut être réglée par celle du caoutchouc et par sa surface. C'est une sorte de floating, mais toutefois très atténué.

3° Montage et démontage de la mécanique avec le minimum de temps pour permettre une meilleure organisation du service, des échanges standard et de la réparation.

On peut en effet, par exemple, prévoir des blocs de service loués pendant la durée d'une réparation. Ceci aurait l'avantage de permettre une organisation rationnelle de la réparation en n'immobilisant les voitures qu'un temps très court.

La pièce de fixation dans le tablier est une pièce en alliage léger coulée et usinée, qui porte le boîtier de direction, le pédalier et le relai de passage des vitesses.

L'avantage d'un assemblage mécanique de ces éléments est évident. Cette unité vient se monter sur la caisse et y intéresse une grande surface de contact. (Fig. 6 et 7).

2° La carrosserie.

Elle est du type monolithe construite sur une embase constituée par des caissons légers. Sur ceux-ci viennent se raccorder des membrures caissonnées de liaison pour les panneaux latéraux, le pare-brise et le pavillon. Ces éléments concourent à la résistance globale et annulent les voiles locaux qui se produiraient sous les efforts. D'une façon générale les éléments résistants convergent vers le tablier, centre des efforts principaux, et s'épanouissent de là pour intéresser la caisse entière et venir se raccorder à nouveau à l'attache de la suspension arrière.

à disque unique. Il est de grand diamètre, dans le même but que plus haut.

Boîte. — A 4 vitesses. Elle est classique et incorpore les solutions modernes silencieuses avec syncromesh pour la 2^e et 3^e vitesse, la 4^e est en prise. Taille droite rectifiée.

Démultiplicateur. — Classique à taille Gleason. Les joints de cardan, de sortie de boîte et de braquage sont des joints Glaenger à aiguilles. Les freins Lockheed hydrauliques de 10 pouces assurent le service normal de circulation.

Sur le démultiplicateur et la boîte s'insèrent par des articulations des bras d'attache des roues. Ces bras sont des tubes en acier chrome-molibdène largement établis pour supporter les efforts de flexion et de torsion auxquels ils sont appelés à faire face.

Dans une de nos dispositions de suspension, les bras sont réunis par une plaque nervurée au droit des brancards avant et sur ces plaques reposent les ressorts de suspension par l'intermédiaire de plaques en caoutchouc. Les amortisseurs se relient à ces plaques et au carter. Les ressorts sont tronconiques et établis de façon que leurs spires les plus larges se posent progressivement sur leur point d'appui. Leur longueur libre varie donc d'une façon continue. On peut ainsi réaliser une loi définie de la rigidité en fonction de la flèche et en particulier, l'isochronisme.

de demander à l'inertie du bloc moteur une meilleure répartition entre l'effet dû au moment moteur et celui dû aux réactions des roues. On introduit ainsi une variable supplémentaire favorable.

Fixation du bloc. — De part et d'autre du démultiplicateur et entourant les joints de cardan de sortie des boîtes, sont venus avec le carter deux tourillons de gros diamètre servant à la tenue du bloc côté caisse.

Ces tourillons sont entourés de bagues de caoutchouc dont l'épaisseur est de l'ordre du centimètre et pris dans des coussinets solidaires de la plaque de liaison du tablier. La partie inférieure de ces tourillons se démonte au moyen de 4 vis et libère entièrement le bloc avec tous ses organes et accessoires.

Le nez avant du bloc est tenu par un autre bloc de caoutchouc sur le mentonnet avant.

Les conséquences de ce mode de fixation sont les suivantes :

1° Concentration des efforts principaux par le bloc sur la pièce de liaison ;

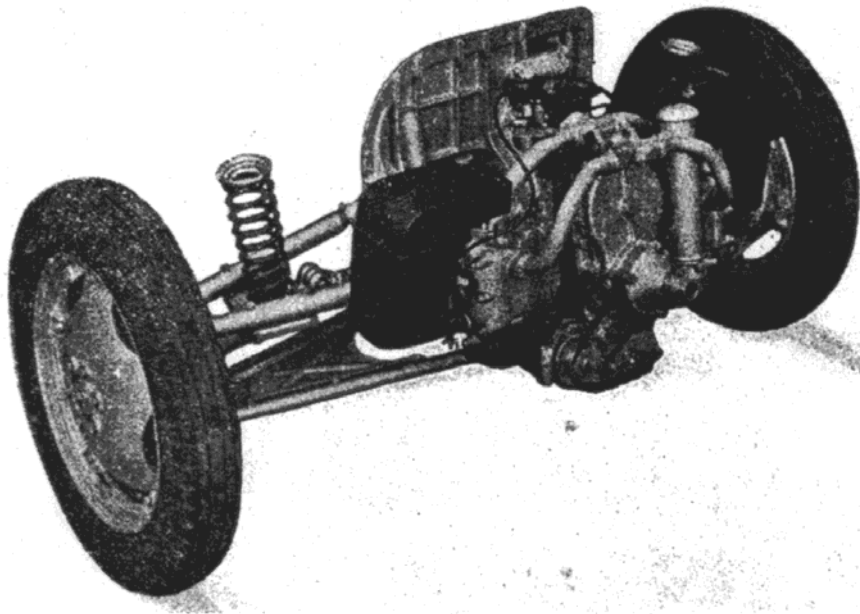


Fig. 6. — Ensemble bloc-moteur et tablier.

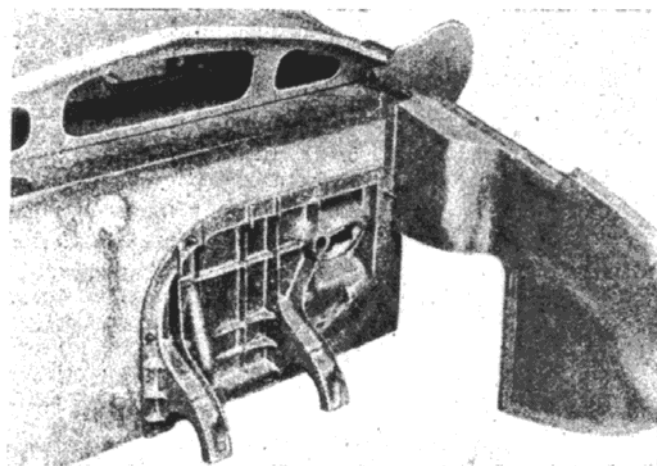


Fig. 7. — Montage sur l'avant de la plaque fondue supportant le bloc-moteur.

Tous les éléments comportent de légers galbes, de façon à proscrire les surfaces planes dans le but d'augmenter la rigidité en vue du silence et de diminuer les résonances possi-

bles dont les parois planes sont affligées.

La visibilité est considérable (Fig. 8) et en particulier le pare-



Fig. 8. — La visibilité.

brise permet la vue à la verticale en se penchant un peu. La visibilité arrière, déjà bonne par la lunette arrière, est augmentée de celle que procure l'obliquité des parois par les baies de custode.

Les pièces et le découpage sont étudiés pour un emboutissage facile. Leur jonction se fait par points électriques. Des caisses en circulation depuis deux ans n'ont pas bougé. Il n'y manque encore aucun point et les qualités d'origine sont restées inchangées, silence compris.

La carrosserie est aménagée en trois vastes places en trèfle face à la route, avec l'espace nécessaire à 40 kg de bagages de chaque côté de la place arrière et dans des coffres sous les sièges avant (Fig. 9).

3° La roue arrière.

Elle est maintenue par un simple bras articulé sur l'axe transversal, dont les attaches se font également par grandes surfaces sur la partie arrière des caissons inférieurs.

L'ensemble suspension, bras, moyeu, frein et roue constitue une unité séparée (Fig. 10).

En soulevant l'arrière de la caisse, la roue dégage presque entièrement et l'échange du pneu se fait du côté droit sans aucune difficulté.

Dimensions de la voiture (1) :

Longueur : 3,40 m.
Largeur : 1,74 m.
Hauteur en charge : 1,425 m.
Voie : 1,5 m.
Empattement : 2,3 m.

LES RESULTATS OBTENUS (au réglage normal)

Consommation sur base (juillet 1942: officiel)

Au poids total de 612 kg. vent léger de côté, palier :

Vitesse moyenne, km/h	40	50	60	70
Litres aux 100 km h	1,95	2,08	2,3	2,45

peut être, au fond, sanctionnée que par la production et l'accueil des usagers, un grand pas a quand même été accompli dans la solution économique du problème capital de la circulation des personnes.

Si, en effet, ces voitures étaient actuellement disponibles, nous aurions, avec notre importation présente de carburant, avoir autant de voitures en circulation qu'avant la guerre — et ceci ne serait pas sans influencer sérieusement la reprise tellement attendue.

Il faut observer aussi que l'entreprise de ce travail, commencé dès 1940, était un bel acte de foi pratique dans l'avenir de notre pays.

Malgré les immenses difficultés et

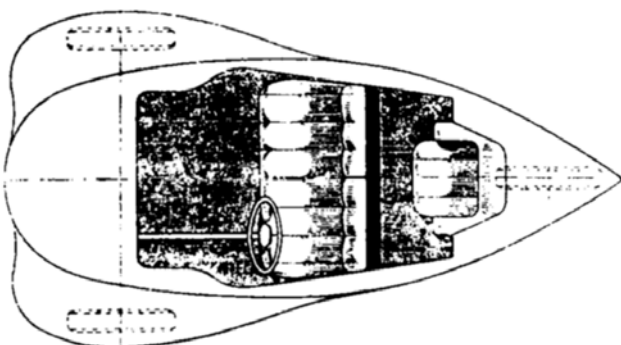


Fig. 9.
(ci-contre)

Vue en plan de la voiture montrant la disposition des sièges et la place des bagages.

(Ce croquis montre bien la forme de la carène et les raccordements des enveloppes des roues.

Consommation dans Paris :

(mars 1945)

Poids total : 537 kg.

Parcours 55 km. Vitesse maximum: 50 km/h.

Consommation : 3,7 litres aux 100 km.

Vitesse et consommation sur route :

Parcours de 300 km

Poids total : 625 kg

Vitesse maximum palier: 105 km/h.

Vitesse moyenne : 65 km/h.

Consommation : 3,47 litres aux 100 km.

Accélération :

En surmultipliée, 0,5 m/s:

En 3^e, 0,82 m/s

La 3^e permet de démarrer et d'atteindre 90 km/h en palier.

En surmultipliée, sur déclivité de 5 % sans vent, la vitesse dépasse 120 km/h.

A charge totale, il est possible en conduisant normalement d'atteindre des moyennes de 70 à 75 km/h sur routes nationales ordinaires avec des consommations hors tout inférieures à 4 litres aux 100 km.

CONCLUSIONS

Bien que nous ne soyons pas encore arrivés au bout de la question, qui ne

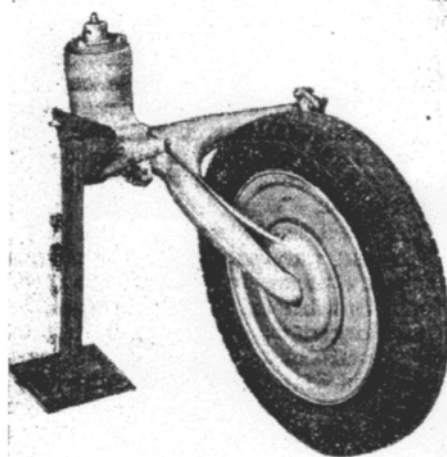


Fig. 10. — La roue AR.

traverses de tous ordres que nous avons rencontrées, il s'est quand même trouvé quelques hommes qui n'ont pas reculé, qui n'ont marchandé ni leur travail, ni leur patience, ni leur croyance en des jours meilleurs. Je tiens à leur rendre hommage à tous, qu'ils aient travaillé de près ou de loin et quel que soit le sort ultérieur réservé à nos réalisations actuelles.

(1) La vue d'ensemble de la voiture a été publiée dans le n° de janvier-février 1946, p. 8.