

LA TRAÎNÉE AÉRODYNAMIQUE DE L'HÉLICA

Version du 14/09/2015

Ce texte comporte des facilités de navigation interne.
Pour cette raison, et si vous ne lisez pas en pdf, il gagnera à être ouvert dans Word.

Pour naviguer agréablement dans ce fichier Word, vérifiez que les deux flèches orientées vers la gauche et la droite ("Précédent" et "Suivant") figurent bien dans votre barre d'outil. Si ce n'est le cas, installez ces flèches par : Affichage, Barres d'outils, Personnaliser, Catégorie : Web.
Sinon, les raccourcis clavier Alt+flèche gauche ou Alt+flèche droite produisent les mêmes résultats (retour à l'emplacement précédent ou suivant), ceci dans Word, et, nous semble-t-il, dans beaucoup de visionneuses de pdf.

L'adresse où ce texte est téléchargeable dans sa dernière version Word est :
http://perso.numericable.fr/gomars2/aero/trainee_helica.doc

On se souvient des Hélica, les véhicules à propulsion par hélice de Marcel Leyat dont voici l'un des modèles (une conduite intérieure) :

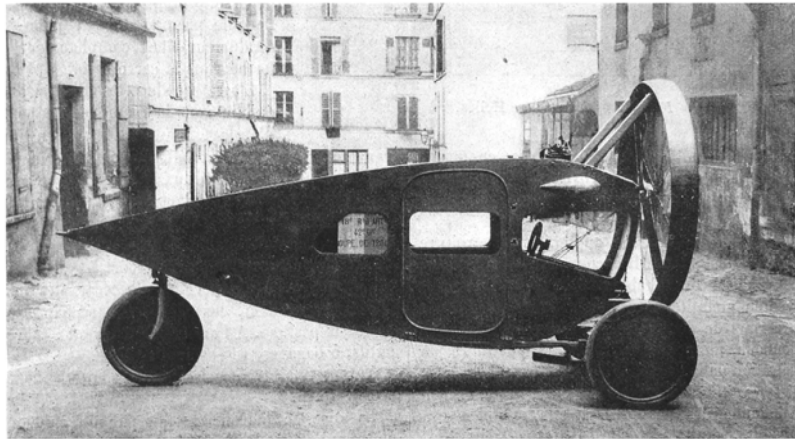


Fig. 1. — Première voiture Helica établie en 1914.

Source : La Nature, Juin 1920



Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Source Gallica

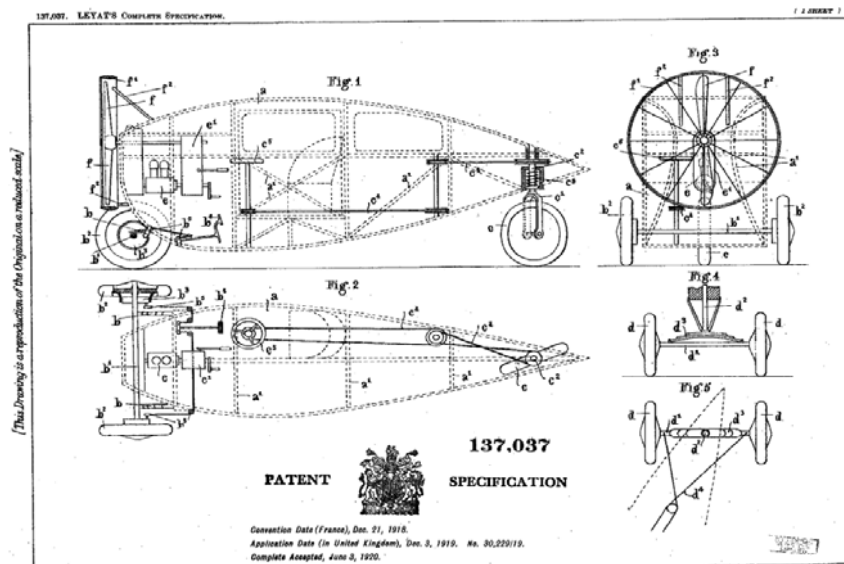


Image du Brevet : <http://patent.ipexl.com/GB/137037-a.html> , ainsi que :

<http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?FT=D&date=19200312&DB=&locale=&CC=FR&NR=500436A&KC=A&ND=1>

Dans ces années 1910 à 1930, l'idée de la propulsion par hélice aérienne était *dans l'air* (en imitation de la propulsion des avions). On relève par exemple, dans le « [Manuel du cycliste et motocycliste : bicyclettes, motocyclettes, tricycles, side-cars et cyclecars](#) » (numérisé par le CNAM) :

« Actuellement, le rendement d'une hélice aérienne bien construite atteint 80 % ; or le rendement mécanique d'une transmission automobile ne dépasse pas, sur route 60 %. L'hélice aérienne serait donc le propulseur idéal pour un véhicule rapide dont le principal ennemi est la résistance de l'air. [...] »

« Celui à qui revient le mérite d'avoir créé le cyclecar à traction aérienne est M. Leyat dont plusieurs voitures circulent déjà à Paris et à l'étranger. »

La revue [La Nature](#) de juin 1920 indique, quant à elle :

« Le rendement d'une voiture à roues motrices, au moment de la marche en prise directe ¹, atteint au plus 54 pour 100. Sur un véhicule rapide l'hélice permet d'arriver facilement à 70 pour 100. »

L'image ci-dessous, illustrant le même article de la revue [La Nature](#) de Juin 1920, montre bien que cette idée de la propulsion de tous les véhicules par hélice(s) était partagée par beaucoup d'ingénieurs :

¹ ...c'est-à-dire avec le rendement de boîte de vitesse le plus favorable.

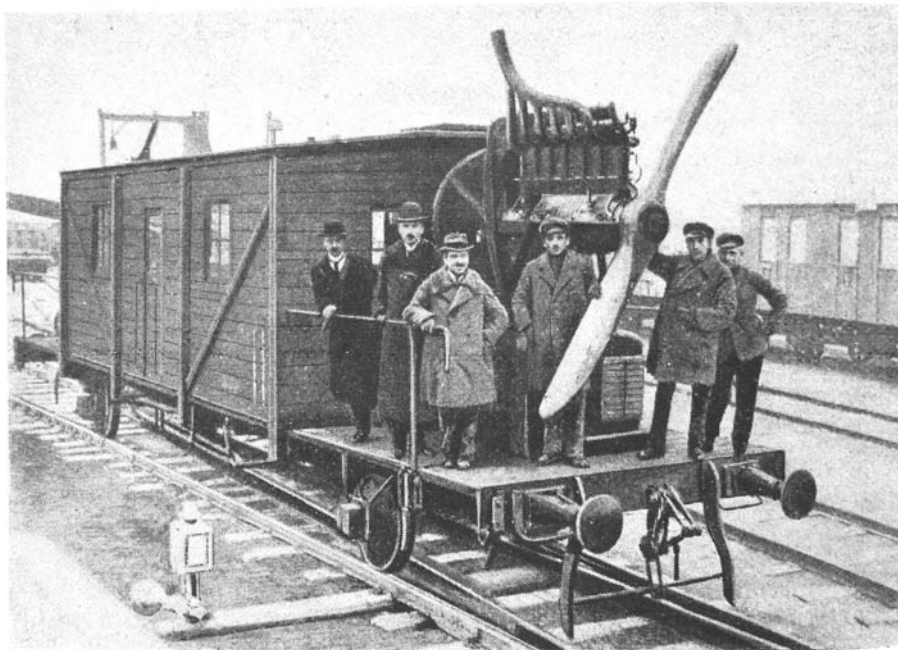


Fig. 4 — Wagon allemand mû par 2 moteurs d'avion de 200 HP chacun, l'un à l'avant, l'autre à l'arrière.

Source : La Nature, Juin 1920

Ce wagon à hélice surprend évidemment par son absence de profilage².

Dans ce même domaine du profilage, l'une des questions que l'on peut se poser à propos d'un engin tel que l'Hélica de Marcel Leyat est celle-ci :

Même si l'habitacle de l'Hélica adopte la forme générale du corps de moindre Traînée (ou *corps d'Eiffel*)³, ce qui promet une Traînée aérodynamique très faible, le fait que cet habitacle (et d'ailleurs le reste de l'engin) soit placé dans le flux de l'hélice tractrice ne diminue-t-il pas les bénéfices de ses formes *peu traînantes* ?

Pour répondre à cette question, nous allons évaluer la vitesse du souffle d'air créé par l'hélice et calculer la Traînée aérodynamique de l'Hélica (habitacle et autres composants tels que roues et essieux, etc.), l'ensemble de ces éléments étant supposés placés tout entiers dans ce souffle.

Signalons cependant auparavant qu'exista en Allemagne un autorail propulsé par hélice aérienne, le *Schienenzeppelin*⁴, qui porta en 1931 le record de vitesse sur rails à **230,2 km/h** (cette vitesse ne sera surpassée qu'en 1954) :

² Pour tout dire, il s'agissait aussi, au sortir de la première guerre mondiale, de trouver un usage aux moteurs d'avion non utilisés lors du conflit...

³ Voir à ce sujet [notre grand texte](#).

⁴ Cet engin fut conçu par l'ingénieur Franz Kruckenberg.



Source : <http://en.wikipedia.org/wiki/Schienezzeppelin>



Source : <http://en.wikipedia.org/wiki/Schienezzeppelin>

On peut apprécier le très beau profilage de cet engin.

Mais revenons à l'Hélica :



Source Wikipédia (L'Hélica aux Musée des Arts et Métiers)

Évaluation de la vitesse du souffle de l'hélice de l'hélice :

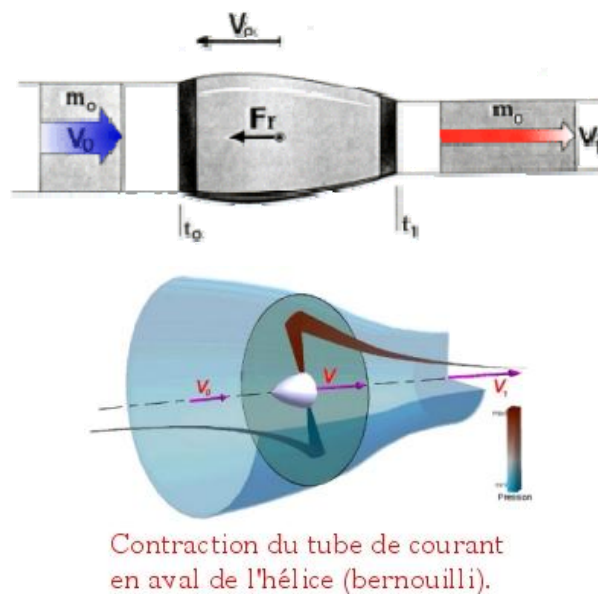
Pour évaluer la vitesse de ce souffle, nous utiliserons les formules de la Théorie de l'hélice énoncées par Inter Action au lien :

<http://inter.action.free.fr/publications/helices/helice.html>

Les auteurs d'Inter Action écrivent :

« Soit un système propulsif **Q** (**Q** pour "Quelconque" : réacteur simple ou double flux, propfans, hélice carénée ou non, moteur-fusée, ... etc.). **Q** se déplace à une vitesse V_0 et est traversé par un flux d'air [...]. Le flux d'air ressort du système **Q** à la vitesse V_1 [...]. »

Ils proposent les schémas suivant :



Sur le schéma supérieur, on remarque bien la vitesse V_0 qui anime vers la gauche le réacteur (vitesse par rapport au sol) ; c'est cette vitesse V_0 d'avancement du réacteur qui crée la vitesse relative V_0 (vitesse par rapport au réacteur) du flux d'air entrant dans le réacteur (flèche bleue).

La vitesse V_1 de l'air sortant du réacteur est également relative à ce réacteur.

Sur le schéma inférieur, seule les vitesses relatives V_0 et V_1 vers la droite sont indiquées (ce sont les vitesses de l'air par rapport au disque de l'hélice)⁵.

Dans la suite du texte d'Inter Action la force de propulsion de l'hélice est démontrée, par utilisation de la première loi de Newton⁶, comme valant :

$$F_h = m^{\circ}(V_1 - V_0)$$

⁵ En bleu et en bistre est représentée l'évolution axiale de la pression de l'air : on note le saut de pression au passage du disque de l'hélice.

⁶ « Toute masse soumise à une force (ou *action*) oppose à celle-ci une force qui lui est égale et de sens opposé (encore appelée *réaction*). »

...équation où :

→ \dot{m}^o est le débit massique passant dans le disque de l'hélice,

→ V_1 est la vitesse du souffle créé par l'hélice par rapport au disque de l'hélice (donc par rapport au véhicule : on pourrait nommer ce souffle « souffle relatif »),

→ et V_0 la vitesse relative de l'air par rapport au disque de l'hélice lorsque cet air rentre dans la zone d'action de l'hélice.

Inter Action écrit fort justement :

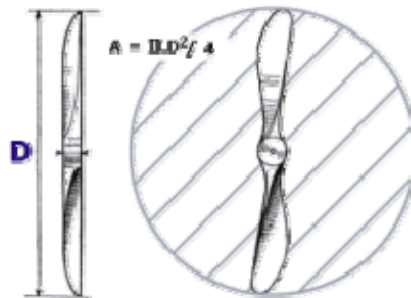
« Cette relation met en relief le fait que **toute génération de force propulsive consiste à communiquer un supplément de vitesse à un débit massique de fluide.** »

Inter Action signale également que cette équation devient $F = \dot{m}^o V_1$ dans le cas du moteur-fusée (« $V_0 = 0$. Le flux d'air n'étant pas prélevé dans l'environnement, sa vitesse d'entrée par rapport [au système propulsif] est nulle. »)

Cette remarque n'est pas si aisée à comprendre sauf si l'on s'intéresse à la poussée d'un moteur fusée fixe (au banc d'essais, donc), auquel cas on peut concevoir plus facilement que la vitesse d'entrée des ergols dans le système propulsif est nulle.

Inter Action écrit encore :

« On démontre que l'augmentation de vitesse à travers l'hélice se fait pour moitié devant le disque hélice, d'aire $A = P \cdot D^2/4$:



...et pour moitié derrière ce disque.

La vitesse d'entrée de l'air dans [le disque de] l'hélice est donc de :

$$V = (V_0 + V_1)/2$$

Inter Action tire alors de ce dernier constat le « débit massique \dot{m}^o à travers l'hélice » :

$$\dot{m}^o = \rho A V = \rho A (V_0 + V_1)/2$$

La formule de la force de traction de l'hélice (de réaction) :

$$F_h = \dot{m}^o (V_1 - V_0)$$

...devient :

$$F_h = \frac{1}{2} \rho A (V_0 + V_1) (V_1 - V_0)$$

[soit aussi :]

$$F_h = \frac{1}{2} \rho A (V_1^2 - V_0^2) \gg$$

Nous tenons donc en F_h l'évaluation de la force de traction de l'hélice que nous cherchions.

Dans notre exemple de l'Hélica, cette force de traction de l'hélice F_h s'oppose à la Traînée aérodynamique du véhicule ($\frac{1}{2} \rho S C_x V_1^2$) ainsi qu'à sa traînée de roulement R .

À la vitesse stabilisée V_0 ⁷ par rapport au sol on peut donc décrire l'équilibre des forces de la façon suivante :

$$F_h = \frac{1}{2} \rho A (V_1^2 - V_0^2) = \frac{1}{2} \rho S C_x V_1^2 + R$$

(nous utilisons ici la surface de Traînée équivalente $S C_x$ totale de l'Hélica et considérons que l'ensemble du véhicule est baigné dans le même courant d'air de vitesse V_1 , courant d'air nécessaire à l'obtention d'une vitesse /sol V_0).

On peut donc écrire :

$$\frac{1}{2} \rho A V_1^2 - \frac{1}{2} \rho A V_0^2 - \frac{1}{2} \rho S C_x V_1^2 = R$$

...et encore :

$$\frac{1}{2} \rho V_1^2 (A - S C_x) = \frac{1}{2} \rho A V_0^2 + R$$

Dans cette équation, A , la surface du disque de l'hélice, $S C_x$ la surface équivalente de Traînée du véhicule et R la traînée de roulement des pneus sont connus.

Il nous est donc loisible d'en retirer V_1 , la vitesse (par rapport au véhicule ou au disque de l'hélice) du courant d'air nécessaire pour porter l'Hélica à la vitesse /sol de V_0 :

$$V_1 = \sqrt{\frac{\rho A V_0^2 + 2R}{\rho (A - S C_x)}}$$

...libellé où :

→ V_1 est la vitesse (par rapport au véhicule) du courant d'air créé par l'hélice,

→ V_0 est la vitesse (par rapport au véhicule) de l'air entrant dans la zone d'action de l'hélice (c'est aussi évidemment la vitesse /sol du véhicule),

→ A est la surface du disque d'hélice,

→ R la force de roulement,

→ et $S C_x$ la surface équivalente de Traînée de l'Hélica,

→ ρ étant la Masse volumique de l'air ambiant.

⁷ Dans tous nos calculs nous ne nous intéresserons qu'à la propulsion de l'Hélica à une certaine vitesse stabilisée (à accélération nulle, donc).

On peut remarquer ici que si la surface équivalente de Traînée SC_x du véhicule est plus forte, le dénominateur de la fraction sous la racine est plus faible et V_1 en ressort plus fort, ce qui signifie qu'il faut plus de souffle d'hélice pour entraîner un véhicule plus traînant, ce qui est logique...

De même, on peut remarquer que si SC_x vaut A , V_1 la vitesse/véhicule du souffle nécessaire à porter ce véhicule à V_0 tendra vers l'infini :

La signification physique de cette annulation du dénominateur sous la racine est assez difficile à préciser, même s'il semble qu'elle donne une représentation de la poussée d'une hélice conforme à la première loi de Newton (égalité de l'action et de la réaction).

Cette conformité avec la première loi de Newton est évidemment déjà implicite dans l'équation que nous avons écrite [plus haut](#), du moins si l'on rend négligeable la Traînée de roulement R , car on peut alors écrire :

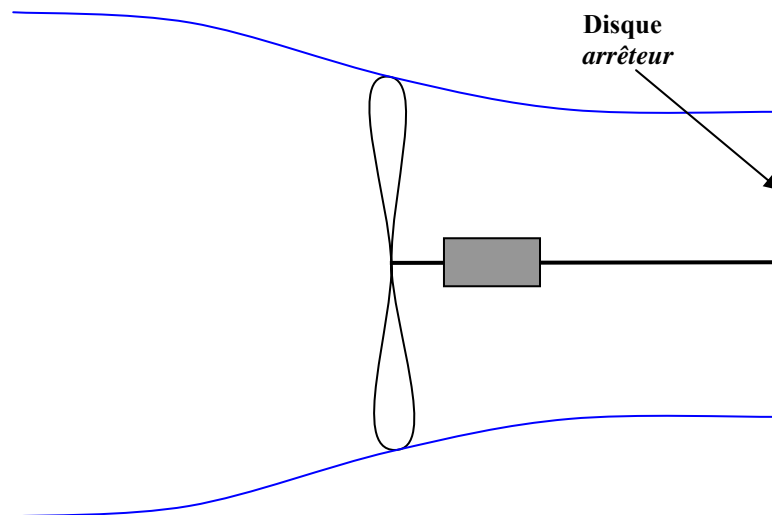
$$\frac{1}{2} \rho A (V_1^2 - V_0^2) = \frac{1}{2} \rho S C_x V_1^2$$

Et si $SC_x = A$, cette équation conduit à :

$$\frac{1}{2} \rho A V_0^2 = 0$$

...soit $V_0 = 0$, ce qui signifie que le véhicule n'avance pas.

Autant dire qu'il existe un disque *arrêteur* d'une certaine surface équivalente de Traînée $SC_x = A$ qui, s'il est placé dans le flux de l'hélice, annule toute propulsion :



Dans les implications de l'existence de ce disque *arrêteur*, il faut d'ailleurs être prudent car si la surface équivalente de Traînée SC_x de ce disque *arrêteur* est bien définie quantitativement, l'aire de ce disque *arrêteur* ne peut en être déduite par les moyens usuels puisqu'un tel disque *arrêteur* ne peut être considéré comme plongé dans un écoulement uniforme (il n'est attaqué par le flux d'air que d'un seul côté et le flux de l'hélice est d'une dimension du même ordre que ce disque), contrairement aux disques placés dans un écoulement uniforme de grande dimension, disque dont on évalue le C_x à **1,11**.

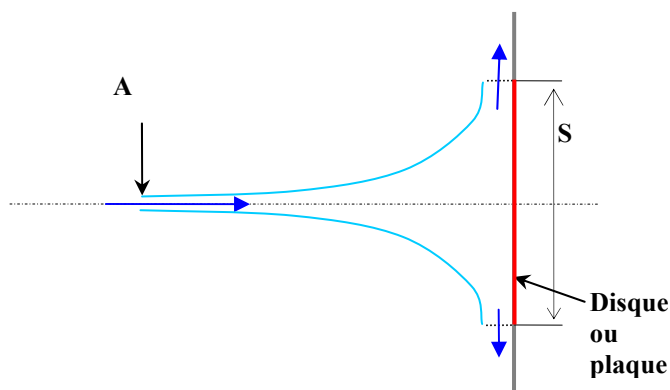
On peut simplement faire le constat que le disque *arrêteur* transforme toutes les Quantités de Mouvement horizontal créées par l'hélice en Quantité de Mouvement radiales, ce qui annihile de fait toute possibilité de mouvement de l'ensemble dessiné en noir ci-dessus.

Nous avons donc dessiné ce *disque arrêteur* d'un certain diamètre, mais nous avons guère de renseignements sur ce diamètre ; la loi de conservation des Quantités de Mouvement impose cependant qu'aucune particule d'air soufflée par l'hélice ne puisse contourner le disque, c.-à-d. en franchir la circonférence en ayant conservé une partie de sa Quantité de Mouvement axiale (c.-à-d. une vitesse vers la droite dans nos schémas).

Une certaine analogie existe entre cette expérience mentale de notre *disque arrêteur* et l'expérience bien connue du jet de la lance de pompier sur la plaque plane (expérience qui démontre clairement la conservation des Quantités de Mouvement).

On pourra trouver quelques réflexions sur cette dernière expérience dans notre texte [PRESSION DYNAMIQUE AU POINT D'ARRÊT ET CONSERVATION DES QUANTITÉS DE MOUVEMENT](#) et, à notre sens, ces réflexions pourraient être utiles à la détermination de la taille minimale du ci-dessus *disque arrêteur*.

En effet, le flux d'air en provenance de l'hélice se comporte, à notre sens, comme un jet et les réflexions présentées dans le texte évoqué à l'instant donnent des possibilités de calcul de la surface (minimale) du *disque arrêteur* :



Nous nous devons néanmoins d'ajouter que l'existence de ce disque *arrêteur* est d'un intérêt assez limité puisque la grande généralité des hélices ne sont pas conçues pour délivrer une traction au point fixe (point fixe où il serait assez facile de déterminer par l'expérience la dimension du disque *arrêteur*) mais plutôt pour délivrer une traction en régime de croisière...

Les courbes produites par Marcel Leyat :

La revue [La Nature](#) de juin 1920 publie ces deux graphes, qu'on doit forcément attribuer au créateur de l'Hélica :

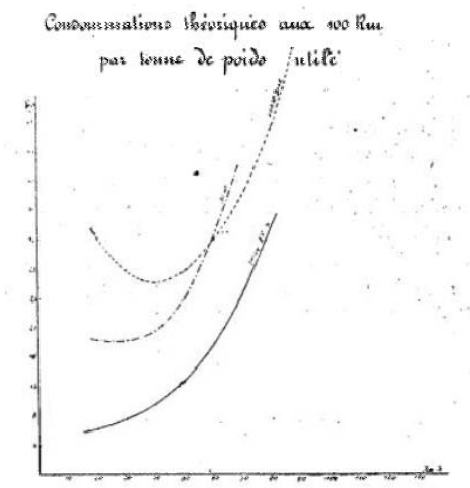


Fig. 5. — Courbes montrant les consommations théoriques aux 100 km. par tonne de poids utile d'une voiture Helica, d'une voiture Benz 100 HP, d'une voiture 30 HP.

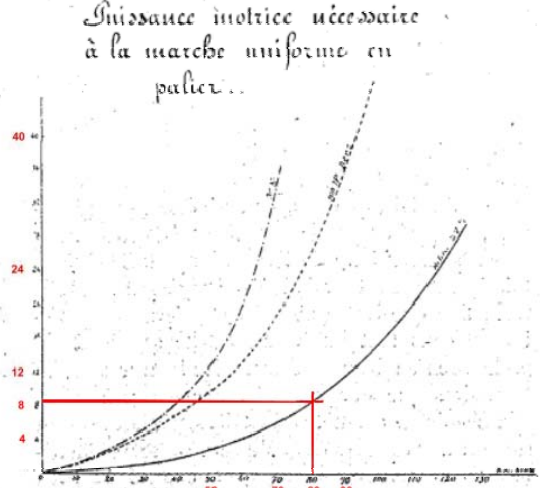


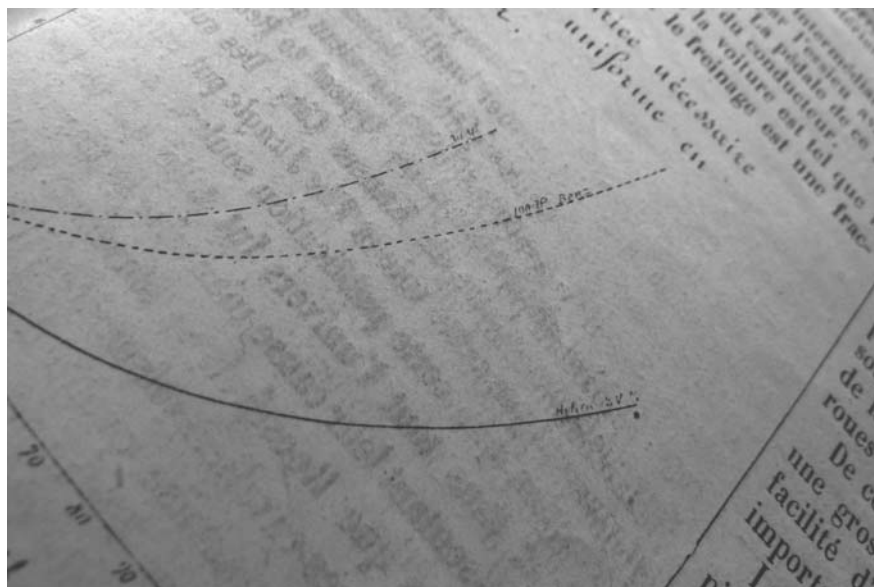
Fig. 6. — Courbe montrant la puissance motrice nécessaire à la marche uniforme en palier pour les 3 voitures ci-dessus.

La Nature. Revue des sciences et de leurs applications aux arts et à l'industrie. Journal hebdomadaire illustré. Suivi de : Bulletin météorologique de La Nature, Boîte aux lettres, Nouvelles scientifiques
 1920 : Quarante-huitième année, premier semestre : n. 2388-2412 Paris : Masson et Cie, 1920

cnam.cnam.fr/CGI/fpage.cgi?4KY28.98/309/110/586/0/0

Droits réservés - CNAM

La numérisation réalisée par la CNAM ne rend pas aisée la lecture de ces graphes. Mais, comme bien on pense, les courbes les plus basses sont celles relatives à l'Hélica ; voici un gros plan capté par nous même sur un exemplaire papier de La Nature :



Sur le graphe de droite, présenté [plus haut](#), notre construction rouge indique ainsi que la vitesse de **80 km/h** est atteinte avec une puissance de **8 ch.** (ou **5900 W**), ce qui ressort également du texte accompagnant ces graphes :

« Malgré la faible puissance du moteur, qui n'est que de 8 chevaux, on peut, grâce à la légèreté et à la forme rationnelle de la voiture, à l'absence de force perdue en transmissions mécaniques ⁸, arriver à une vitesse de plus de 80 km à l'heure, tout en ne consommant que 4 litres environ aux 100 km. »

⁸ La Nature veut dire la boîte de vitesse, le pont, ainsi que les pertes dues au glissement des roues motrices sur le sol...

Ces chiffres sont repris (ou à peu près) dans le même article de [La Nature](#) :

10. VOITURE AUTOMOBILE à traction par hélice de Marcel Leyat. (fig. 24).

Don de M. Courau.

M. Leyat a le premier songé à munir d'une hélice un véhicule routier; ses essais remontent à 1913 et sa première voiture date de 1920.

Ce véhicule comporte une carrosserie de forme ovoïde présentant le profil de moindre résistance à l'avancement; construite en s'inspirant des méthodes appliquées à l'aviation elle allie la légèreté à la solidité. Elle contient deux sièges repliables disposés en tandem, les coffres à bagages, à outils, les réservoirs d'essence et d'huile.

Sur la carrosserie vient se fixer à l'avant toute la partie mécanique du véhicule simplifiée à l'extrême puisqu'elle ne comporte que le moteur en prise directe avec l'hélice tractive. Le moteur comportant deux cylindres en V a une cylindrée un peu supérieure à 1 litre, et une puissance de 8 CV. Le vent de l'hélice est suffisant pour assurer le refroidissement des cylindres qui sont munis d'ailettes.

— 89 —

cnum.cnam.fr/CGI/fpage.cgi?M6118/92/120/116/0/0

Conservatoire national des arts et métiers (France)
Catalogue du musée, Section DA, Transports sur route
Paris : Conservatoire national des arts et métiers, 1953
1 vol. (111 p.) : ill. ; 21 cm

Le freinage s'exerce sur les roues avant par le dispositif habituel à tambour et à segments extensibles.

En ordre de marche, cette voiture pèse environ 250 kg, son moteur consomme 5 à 6 litres aux 100 km et lui donne en palier une vitesse de 70 à 80 km/h.

16.863. — E. 193

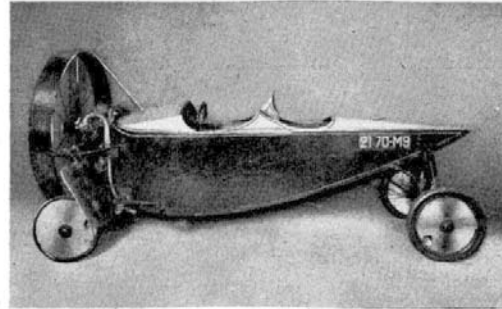


Fig. 24. — Voiture automobile à traction par hélice de Marcel Leyat (16.863)

Droits réservés - CNAM

<http://cnum.cnam.fr/CGI/sresrech.cgi?M6118/93>

Mais une autre caractéristique de la courbe de puissance de l'Hélica (courbe de droite montrée [plus haut](#)) va nous intéresser également. C'est sa pente à l'origine (pour les vitesses nulles à faibles) :

En effet, pour de telles vitesses la Traînée aérodynamique devient négligeable et ne subsiste alors, comme force résistante, que la résistance au roulement.

Si une force **F**, appliquée à un mobile, communique à celui-ci une vitesse **V**, on sait que la puissance **P** dissipée dans ce mouvement est **P = FV**.

Comme on le voit sur notre construction verte ci-dessous, la courbe de puissance de l'Hélica admet près de l'origine une tangente de pente ~ **2 ch.** pour **100 km/h**.

Consommations théoriques aux 100 km par tonne de poids utile

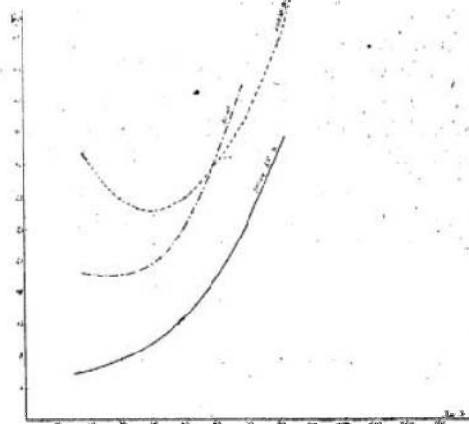


Fig. 5. — Courbes montrant les consommations théoriques aux 100 km. par tonne de poids utile d'une voiture Helica, d'une voiture Benz 100 HP, d'une voiture 30 HP.

Puissance motrice nécessaire à la marche uniforme en palier..

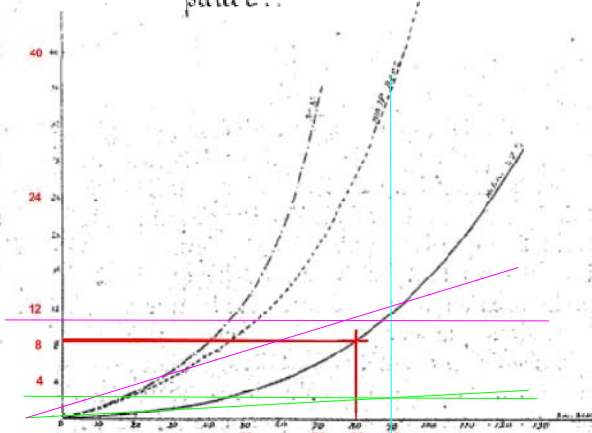


Fig. 6. — Courbe montrant la puissance motrice nécessaire à la marche uniforme en palier pour les 3 voitures ci-dessus.

La Nature. Revue des sciences et de leurs applications aux arts et à l'industrie. Journal hebdomadaire illustré. Suivi de : Bulletin météorologique de La Nature, Boîte aux lettres, Nouvelles scientifiques

1920 : Quarante-huitième année, premier semestre : n. 2388-2412

Paris : Masson et Cie, 1920

cnum.cnam.fr/CGI/fpage.cgi?4KY28.98/309/110/586/0/0

Droits réservés - CNAM

La traduction de cette pente en unité scientifique est **53 W/(m/s)**⁹.

Or, pour ces vitesses faibles, la pente $\Delta P/\Delta V$ n'est autre que **F**, la force de résistance au roulement.

On a donc **F = 53 W/(m/s) = 53 N**

Référencer par quotient cette résistance au roulement **F** au poids de l'Hélica (**325 kg 9,81 m/s²**) nous donne la valeur du Coefficient adimensionnel de résistance au roulement : **0,017**¹⁰.

Nous utiliseront ce coefficient plus bas dans nos calculs numériques...

Au passage prenons acte également que, sur ce même graphe de droite, la construction fuchsia menée sur la voiture Benz 100 HP, dessine une pente **~5,5** plus forte : cette forte pente doit être imputable au poids beaucoup plus fort de ce dernier véhicule, par exemple **5,5** fois plus fort si l'on s'en tient au même Coefficient de résistance au roulement **C_{rr}** ; cela présage une masse, pour la voiture Benz de **325 Kg*5,5 = 1790 Kg**.

Application numérique de ces relations à l'Hélica :

Nous nous baserons sur les données numériques suivantes :

Diamètre de l'hélice : **1,40 m**

Vitesse/sol de l'Hélica : **80 km/h** (ou **22,22 m/s**)

Masse totale de l'Hélica : **325 Kg**

Coefficient de résistance au roulement (quotient du poids du véhicule par la force de résistance au roulement) : **0,017**¹¹

Section frontale de l'habitacle (ou fuselage) de l'Hélica¹² : **1,40 m²**

C_x frontal de l'habitacle : le **C_x** frontal d'un corps profilé de section carrée est un tout petit peu plus fort¹³ que celui d'un corps profilé de révolution ; mais la présence du sol doit augmenter ce **C_x** de **25 %**¹⁴ ; compte tenu de la présence des cylindres du moteur, nous avons donc pris un **C_x** très moyen de **0,15**¹⁵.

⁹ Un cheval vapeur équivaut à 735, 49 W.

¹⁰ Le Coefficient adimensionnel de résistance au roulement est défini comme le quotient de la résistance au roulement par le poids du véhicule : **C_{rr} = F/(Mg)**.

¹¹ C'est ce Coefficient de résistance au roulement que nous trouvons en mesurant la pente de la courbe présentée par M. Leyat dans La Nature en juin 1920 et en nous basant sur une masse totale de **250 + 75 = 325Kg**.

¹² Nous englobons dans cette section frontale la section frontale des cylindres et de l'échappement du moteur, ainsi que la section frontale de l'anneau de protection de l'hélice.

¹³ ...disons 0,6 (voir à ce sujet notre texte [L'AÉRODYNAMIQUE DES CORPS DE MOINDRE TRAÎNÉE, OU "CORPS D'EIFFEL"](#)).

¹⁴ Voir à ce sujet le passage de notre texte (cité ci-dessus) qui cite le SAE paper 920349 de 1992.

¹⁵ Cette valeur est évidemment sujette à caution...

Section frontale d'une roue : **0,1 m²**

D'où section frontale du véhicule hormis le fuselage : **0,4 m²**¹⁶ (dans nos calculs nous considérerons que toute la section frontale du véhicule est dans le souffle de l'hélice, ce qui entraîne la prise en compte d'une Traînée plus forte qu'elle n'est dans la réalité).

C_x frontal des roues (donné par Hoerner, p 279 de [Drag](#), en référence au produit du diamètre par la largeur du pneu) : **0,3**

La sommation des différents SC_x donne **0,33 m²**, ce qui fait un C_x total, pour tout le véhicule (supposé baigné entièrement dans le flux de l'hélice), de **0,183**.¹⁷

En utilisant la formule énoncée [plus haut](#), à savoir :

$$V_1 = \sqrt{\frac{\rho A V_0^2 + 2R}{\rho (A - SC_x)}}$$

...on dégage alors pour V_1 , la vitesse/véhicule du souffle de l'hélice de l'Hélica, la valeur **95,4 km/h** ou **26,5 m/s**, ce qui est assez faible par rapport aux **80 km/h** ou **22,22 m/s** de la vitesse/sol de l'engin (autrement dit, l'air passant dans le disque de l'hélice n'est qu'assez peu accéléré par celle-ci : de **15,4 km/h** soit **4,28 m/s**).

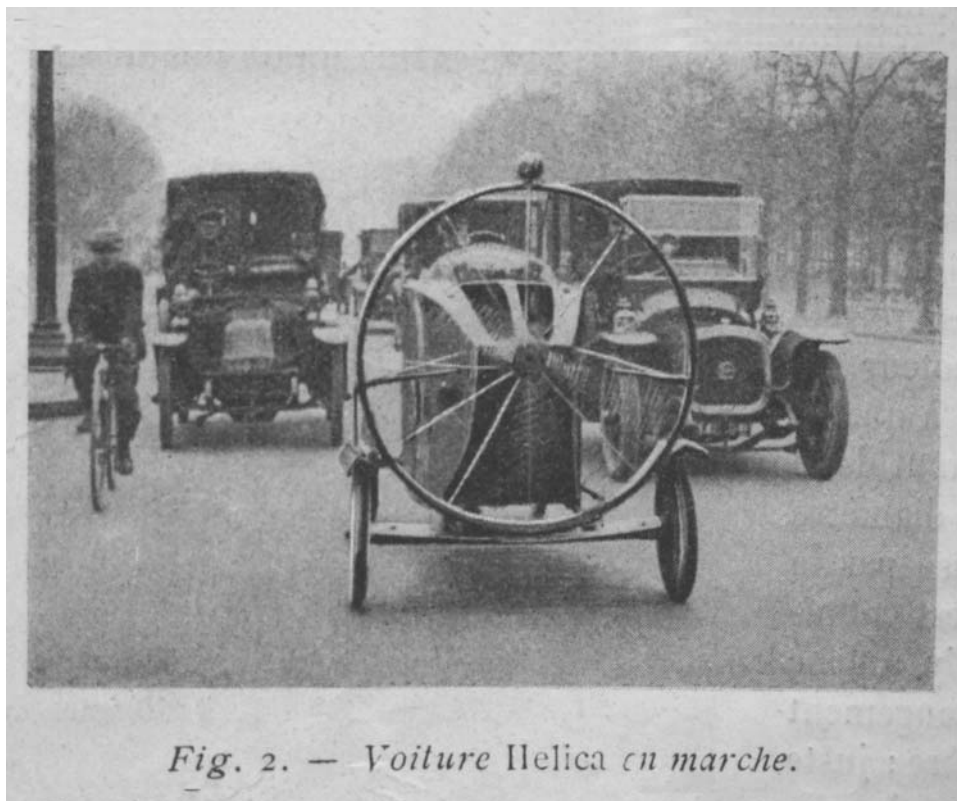
À titre de comparaison, citons la revue [La Nature](#) qui apprécie ainsi, en juin 1920, le souffle de l'hélice :

« En marche normale, il n'y a pas de vent produit. Au démarrage le vent est insensible pour celui qui est en dehors de la voie du véhicule. En arrière¹⁸, à pleine puissance la vitesse du vent n'arrive pas à 30 km à l'heure et encore cela n'a lieu qu'aux démarrages difficiles. »

¹⁶ Compte tenu des éléments de suspension dépassant du fuselage : essieux, fourche, ressorts, beaucoup de ceux-ci ayant d'ailleurs été profilés par Marcel Leyat.

¹⁷ Ce C_x total est le quotient du SC_x par la surface frontale totale de l'Hélica. C'est donc le C_x à prendre dès lors qu'on se réfère à la surface frontale totale de l'Hélica, le véhicule étant supposé baigné entièrement dans le flux de l'hélice.

¹⁸ L'expression « en arrière » prête à confusion. Ici, elle ne signifie cependant rien d'autre que « lorsque l'on se tient à l'arrière de la voiture » puisque l'Hélica, comme les avions, ne disposait pas de marche arrière.



Nous avons trouvé par nos calculs un souffle relatif d'hélice de $\sim 15 \text{ km/h}$, soit la moitié des 30 km/h (prétendument non atteints) : nous sommes donc dans l'ordre de grandeur, d'autant plus que le souffle réel de l'hélice est plus fort que celui calculé par nous puisque :

→ l'hélice accélère un peu plus l'air en donnant à ses particules des vitesses non strictement axiales (donc radiales), ce qui crée un souffle souvent dépeint comme hélicoïdal, ces vitesses radiales ne participant pas à la création de propulsion ;

→ il y a une augmentation de la vitesse du souffle au droit du maître-couple de l'habitacle, du fait que cet habitacle impose son contournement au souffle de l'hélice ¹⁹.

Ajoutons à propos de cette question de la valeur du souffle de l'hélice, que Pierre Rousselot écrit [dans l'un de ses textes](#), à propos de l'augmentation de Traînée des parties d'un avion située dans le souffle relatif de l'hélice :

« Le plus petit $\Delta V/V$ ²⁰ est à la [vitesse maximale], de l'ordre de 0,1.

Remarquons que $\Delta q/q$ [q étant la pression dynamique de l'écoulement] est alors de 0,2 ²¹, et qu'il augmente de 20 % le C_{x0} des surfaces soufflées, 50 à 60% de celles de l'avion. »

On peut donc admettre qu'avec une accélération de l'air au passage de l'hélice de $15,4 \text{ km/h}$ à une vitesse/sol de l'Hélica de 80 km/h (soit 19 %) nous sommes dans le même ordre de grandeur.

Cette constatation de Pierre Rousselot nous renseigne également au passage sur un fait important : le C_x à prendre pour un corps placé dans le flux d'une hélice

¹⁹ Nous ne trouvons cependant que 10 % pour cette augmentation de vitesse au maître-couple de l'Hélica en reprenant la distribution des pressions relevée sur un corps d'élanement 4 baigné dans un écoulement uniforme.

²⁰ ΔV est ici la vitesse du souffle, V la vitesse de l'avion.

²¹ Le carré de $(1+0,1)$ est très proche de $(1+0,2)$. D'une façon plus générale, $(1+\epsilon)^2 \approx 1+2\epsilon$.

n'est pas différent de celui du même corps dans un écoulement général (un écoulement de beaucoup plus grande section que lui).

Si nous considèrerons que c'est l'ensemble du véhicule qui est soumis au souffle relatif de **95,4 km/h** ou **26,5 m/s**, sa Traînée est donc de $\frac{1}{2} \rho (26,5 \text{ m/s})^2 \cdot 0,33 \text{ m}^2$, soit **141,8 N** (à la vitesse/sol de **22,22 m/s** qui est atteinte, on l'a vu, avec une accélération de l'air de seulement **4,28 m/s**).

La résistance de roulement n'étant que de **325 Kg*9,81*0,017 = 54,2 N**, la Résistance totale à l'avancement de l'Hélica est de **141,8 + 54,2 = 196 N**.

On peut évidemment vérifier par le calcul que cette résistance à l'avancement est bien égale et opposée à la force de propulsion naissant de l'hélice, à savoir $F_h = \frac{1}{2} \rho A (V_1^2 - V_0^2)$.

Il est d'ailleurs instructif de constater que la résistance au roulement **R** n'intervient que peu dans la détermination de la vitesse V_1 : si on prend **R = 0**, on dégage $V_1 = 25,1 \text{ m/s}$ (au lieu de **26,5**). Et si l'on double cette résistance au roulement on trouve $V_1 = 27,8 \text{ m/s}$.

Autre constat : avec cette force de traction de l'hélice de **196 N** et la vitesse de **80 Km/h** (ou **22,22 m/s**) à laquelle on l'a calculée, on peut déterminer la puissance de l'engin :

C'est **196 N*22,22 m/s**, soit **4356 W** ou **5,92 ch.** .

Cette puissance est évidemment à pondérer par l'inverse du rendement propulsif de l'hélice (peut-être **1,25** à **1,33**)²²...

On est alors assez près des **8 ch.** annoncé dans la revue La Nature.

C_x apparent de l'Hélica :

Souvenons-nous que nous avons rédigé ce texte pour répondre à la question : « Le fait que l'habitacle de l'Hélica (et d'ailleurs le reste de l'engin) soit placé dans le flux de l'hélice tractrice ne diminue-t-il pas les bénéfices de ses formes *peu traînantes* ? »

Pour répondre précisément à cette question, il faut calculer le *C_x apparent* de l'Hélica.

Pour bien comprendre cette notion de *C_x apparent*, il faut songer que la Traînée aérodynamique de l'Hélica soufflée²³ par son hélice est plus forte que celle que connaîtrait ce véhicule, à la même vitesse, si, d'aventure, il perdrait son hélice.

Une mesure de cette Traînée *non soufflée* pourrait d'ailleurs être effectuée, au peson, par remorquage de l'Hélica.

²² Le rendement propulsif de l'hélice pouvant tourner autour de **0,75** ou **0,80**.

²³ On ne sait si Hélica est du genre masculin ou féminin. Mais D'après Claude Guéniffey, Président des Amis de l'Hélica, Marcel Leyat parlait souvent *d'hélicocycle*, qui est un mot plutôt masculin".

Nonobstant cette vérification pratique, il nous est facile de déterminer le C_x *apparent* de l'Hélica ; nous définissons ce C_x *apparent* comme le quotient de la force de Traînée aérodynamique agissant réellement sur le véhicule ²⁴ par la surface frontale du véhicule et la pression dynamique de l'écoulement loin du corps.

Dans la pratique, cela revient à pondérer le C_x de l'engin *soufflé* par le carré du quotient de la vitesse du souffle relatif (par rapport au véhicule) par la vitesse /sol, comme ci-dessous :

$$0,183 * \left[\frac{26,5 \text{ m/s}}{22,22 \text{ m/s}} \right]^2 = 0,26$$

...(0,183 étant le C_x total de l'Hélica supposée soufflée toute entière par le flux de l'hélice) tel que nous l'avons déterminé plus haut)

Ce C_x *apparent* de **0,26** reste donc très faible par rapport à celui des véhicules de l'époque (qui était de l'ordre de **0,8**), et ceci (l'avons-nous assez dit ?) bien que l'Hélica soit soufflée dans sa presque totalité par l'hélice...

Il ne faut pas oublier également que, en sus, la section frontale de l'Hélica était beaucoup plus faible que celle des véhicules de l'époque (ceux-ci pouvant cependant emporter beaucoup plus de passagers)...

La traînée de roulement (liée au poids très faible de l'engin) était de même très modeste de par le faible poids de l'Hélica.

Curieusement, si l'on désire une vitesse stabilisée (/sol) plus forte, ce même C_x *apparent* est plus faible (par exemple **0,245** à **120 km/h /sol**), ce que l'analyse de nos calculs démontre facilement. [Pierre Rousselot](#) prévoit cette évolution lorsqu'il écrit :

« plus la vitesse [de l'avion] baisse, plus le souffle relatif est fort »

...phrase que l'on gagne à inverser ainsi : « plus la vitesse [de l'engin] augmente, moins le souffle relatif est fort. »

Cette dernière particularité possède évidemment une réciproque : Si l'on désire une vitesse stabilisée (/sol) de **30 km/h**, par exemple, le C_x *apparent* atteint **0,47**. C'est d'ailleurs anecdotique car la puissance dissipée alors dans la propulsion de l'engin reste faible (**1 ch.**).

En fait, et dans le cas de l'Hélica, l'observation de nos formules montre que cette variation (assez faible) du C_x *apparent* est due à la présence de la résistance au roulement développée par les pneus : si l'on annule numériquement le Coefficient adimensionnel de résistance au roulement, le C_x *apparent* de l'Hélica reste constant à toutes les vitesses stabilisées et égal (compte tenu des autres données numériques adoptées par nous plus haut) à **0,233** ²⁵.

²⁴ ...résultante des forces de pression et de friction de l'air sur le véhicule. Si on ajoute à cette résultante aérodynamique la résistance au roulement de l'Hélica, on obtient la traction de l'hélice.

²⁵ Cette constance du C_x *apparent* venant naturellement à l'intuition.

Tous ces facteurs nous semblent expliquer assez bien le bon rendement des différents modèles d'Hélica :

Automobilisme

Les voitures à hélice Leyat. — Nous avons déjà signalé et décrit dans *La Nature* la voiture à hélice (n° 409) et nous en avons exposé les avantages. Cette voiture était alors en période de mise au point; aujourd'hui, les modèles définitifs sont construits.

Au lieu d'avoir un moteur de 8 HP à deux cylindres horizontaux, alimenté par deux carburateurs, la voiture nouvelle comporte un moteur de 10 HP à trois cylindres en étoile. Le refroidissement se fait toujours par ailettes, en raison de son efficacité et de sa simplicité. Dans le cas présent, d'ailleurs, le moteur n'est plus renfermé, il est complètement à l'air libre, les organes sont donc ainsi parfaitement accessibles et le démontage ne demande que le déplacement de six boulons.

Pour obtenir la vitesse maxima on emploie une hélice à quatre pales, quand on veut l'économie, on prend six pales.

Le centre de l'hélice a été abaissé de manière à donner à l'ensemble une meilleure tenue sur la route, ce


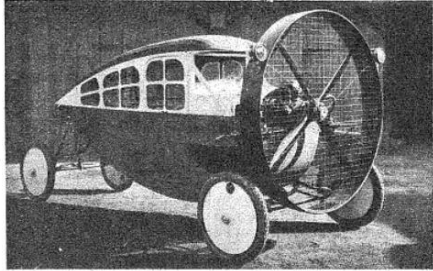
qui était nécessaire en raison des vitesses obtenues, qui sont voisines de 100 km à l'heure; on obtient également une ligne plus harmonieuse de la voiture et la carrosserie qui conserve toujours sa forme de pénétration dans l'air, est réalisée avec des arêtes moins saillantes, suivant des lignes étudiées, aussi bien pour la satisfaction de l'œil que pour le rendement en vitesse.

2^e Rue Le Notre, près du Trocadéro, à Paris, pente de 14 à 15,8 pour 100, longueur de côte 150 m. environ. Démarrage au bas, Vitesse atteinte au sommet pilote seul, 22 km à l'heure.

Le problème des côtes est donc résolu pour la voiture à hélice.

On a pu voir, quelques instants avant le départ de la course de côte de Gaillon, la voiture Leyat pilotée par son inventeur, suivre à une allure de 45 km à l'heure le parcours de la course, et ceci avec un passager du poids respectable de 100 kg.

Source : La Nature

Finesse de l'Hélica :

Il nous reste à calculer la finesse de l'Hélica, quotient de son poids sur sa résistance totale à l'avancement (Traînée aérodynamique plus résistance au roulement, cette sommation correspondant à la traction de l'hélice).

Nous militons en effet depuis longtemps pour que cette notion de *finesse* (notion très aéronautique) soit étendue à l'ensemble des véhicules (aériens, routiers, ferroviaires et aquatiques) : la *finesse*, quotient du poids d'un véhicule par la résistance qu'il doit vaincre pour se déplacer, représente bien le rendement de ce véhicule.

Dans le cas de notre Hélica, ce quotient simple est :

(325 Kg*9,81 m/s²)/196 N. Ce qui donne une finesse très belle de **16,25**, ceci toujours à **80 km/h** de vitesse stabilisée ²⁶.

Tout au plus, et pour faire mieux que l'aéronautique, pourrait-on prendre comme numérateur du quotient définissant la finesse d'un véhicule non pas le poids du véhicule mais le poids utile transporté (celui des passagers et d'un éventuel chargement). C'est ce qu'avait commencé à faire, avec beaucoup de perspicacité, Marcel Leyat dans son graphe déjà montré où il analysait la « Consommation Théorique aux 100 km par tonne de poids utile » :

²⁶ Lorsque l'on souhaite un vitesse stabilisée plus faible, la finesse se fait minime (par exemple 36,7 à 30 km/h).

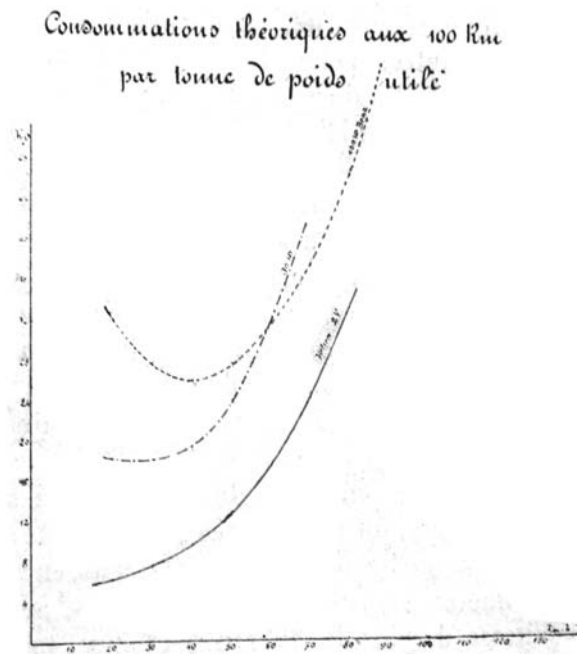
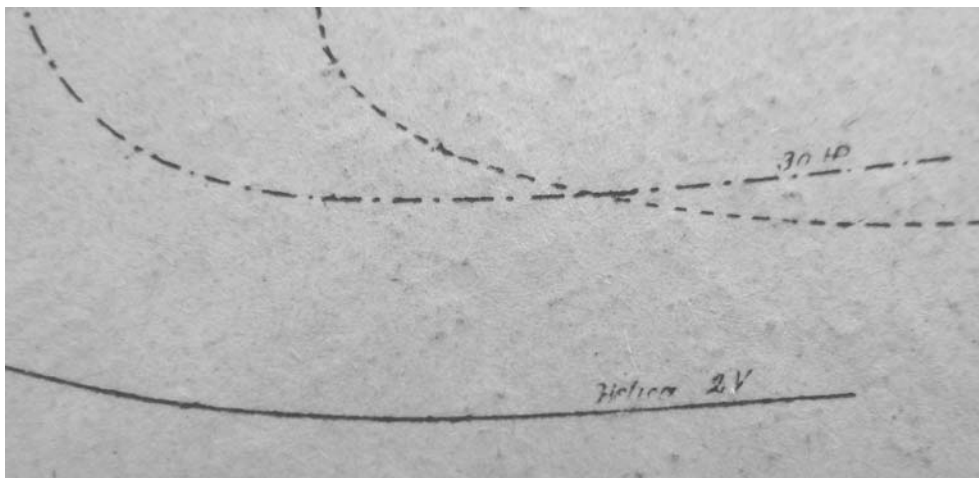


Fig. 5. — Courbes montrant les consommations théoriques aux 100 km. par tonne de poids utile d'une voiture Helica, d'une voiture Benz 100 HP,

Source : CNAM

La courbe relative à l'Hélica est ici la plus basse :



Source : CNAM

Abandonnons l'Hélica en rappelant au lecteur que ce problème du *soufflage* des corps par l'hélice qui les propulse est un problème assez général dans l'aviation à hélice ; ainsi, pour prendre un exemple, les carénages des blocs moteurs de ce Caudron G4 sont nécessairement soufflés par les hélices :



Image captée au Musée du Bourget

Nous avons indiqué plus haut comment [Pierre Rousselot](#) faisait justice de ce phénomène.

La dimension de ces carénages (relativement au diamètre de leur hélice ²⁷) est cependant plus faible que dans le cas de l'Hélica.

Bernard de [Go Mars !](#)
le 14/09/2015

Bibliographie et liens :

LES AUTOMOBILES À HÉLICE, LA VOITURE À HÉLICE LEYAT, de Gustave Courau, Éditions automobile Paul Couty, Clermont-Ferrand, France

Plusieurs numérisations de la revue La Nature, par le CNAM :

<http://cnum.cnam.fr/CGI/fpage.cgi?4KY28.98/309/110/586/0/0>

<http://cnum.cnam.fr/CGI/sresrech.cgi?4KY28.102/433>

CATALOGUE DU MUSÉE, CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS (France). Section DA, Transports sur route Paris : Conservatoire national des arts et métiers, 1953 :

<http://cnum.cnam.fr/CGI/sresrech.cgi?M6118/93>

« Manuel du cycliste et motocycliste : bicyclettes, motocyclettes, tricycles, side-cars et cyclecars », Librairie J.-B. Baillièrre et fils, 1924

<http://cnum.cnam.fr/CGI/fpage.cgi?12DE91/273/100/414/0/0>

ASSOCIATION DES AMIS DE L'HÉLICA DE MARCEL LEYAT :

<http://www.helica.info/asso.htm>

<http://www.helica.info/index.htm>

FLUID-DYNAMIC DRAG , S. F. HOERNER
HOERNER FLUID DYNAMICS , P.O. Box 21992 , Bakersfield, CA 93390
présenté souvent comme la bible de l'aérodynamique est disponible ici :

hoernerfdy@sbcglobal.net

<https://oscommerce.darcorp.com/>

²⁷ On aperçoit ces hélices sur l'image.

Une traduction française de cet ouvrage, "Résistance à l'avancement dans les fluides", a été réalisée :
S. F. Hoerner, Gauthier-Villars éditeurs Paris 1965:

Les textes essentiels de l'association INTER ACTION :

<http://inter.action.free.fr/> ,

et spécialement :

<http://inter.action.free.fr/publications/helices/helice.html>

ainsi que :

FACTEURS PRINCIPAUX INTERVENANT DANS L'ÉQUILIBRE LONGITUDINAL ET LA STABILITÉ STATIQUE D'UN AVION, par Pierre ROUSSELOT Ingénieur Arts & Métiers, ex rédacteur en chef de Modèle Réduit d'Avion (MRA). Auteur de "Avion Légers".
(ce document est disponible auprès d'Inter Action)

Les brevets de l'Hélica :

<http://patent.ipexl.com/GB/137037-a.html>

ainsi que :

<http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?FT=D&date=19200312&DB=&locale=&CC=FR&NR=500436A&KC=A&ND=1>

Les textes de notre page "Physique de la fusée" :

<http://perso.numericable.fr/fbouquetbe63/gomars/physique.htm>

dont, par exemple :

L'AÉRODYNAMIQUE DES CORPS DE MOINDRE TRAÎNÉE, OU "CORPS D'EIFFEL", ET LEUR ÉVOLUTION LAMINAIRE

http://perso.numericable.fr/gomars/aero_corps_d_eiffel.doc

ainsi que :

PRESSION DYNAMIQUE AU POINT D'ARRÊT ET CONSERVATION DES QUANTITÉS DE MOUVEMENT

http://perso.numericable.fr/gomars/pression_dynamique_et_quantites_de_mouvement.doc