

A. DESALEUX



COURS D'AVIATION

DESTINÉ AUX

ÉLÈVES-PILOTES & MÉCANICIENS

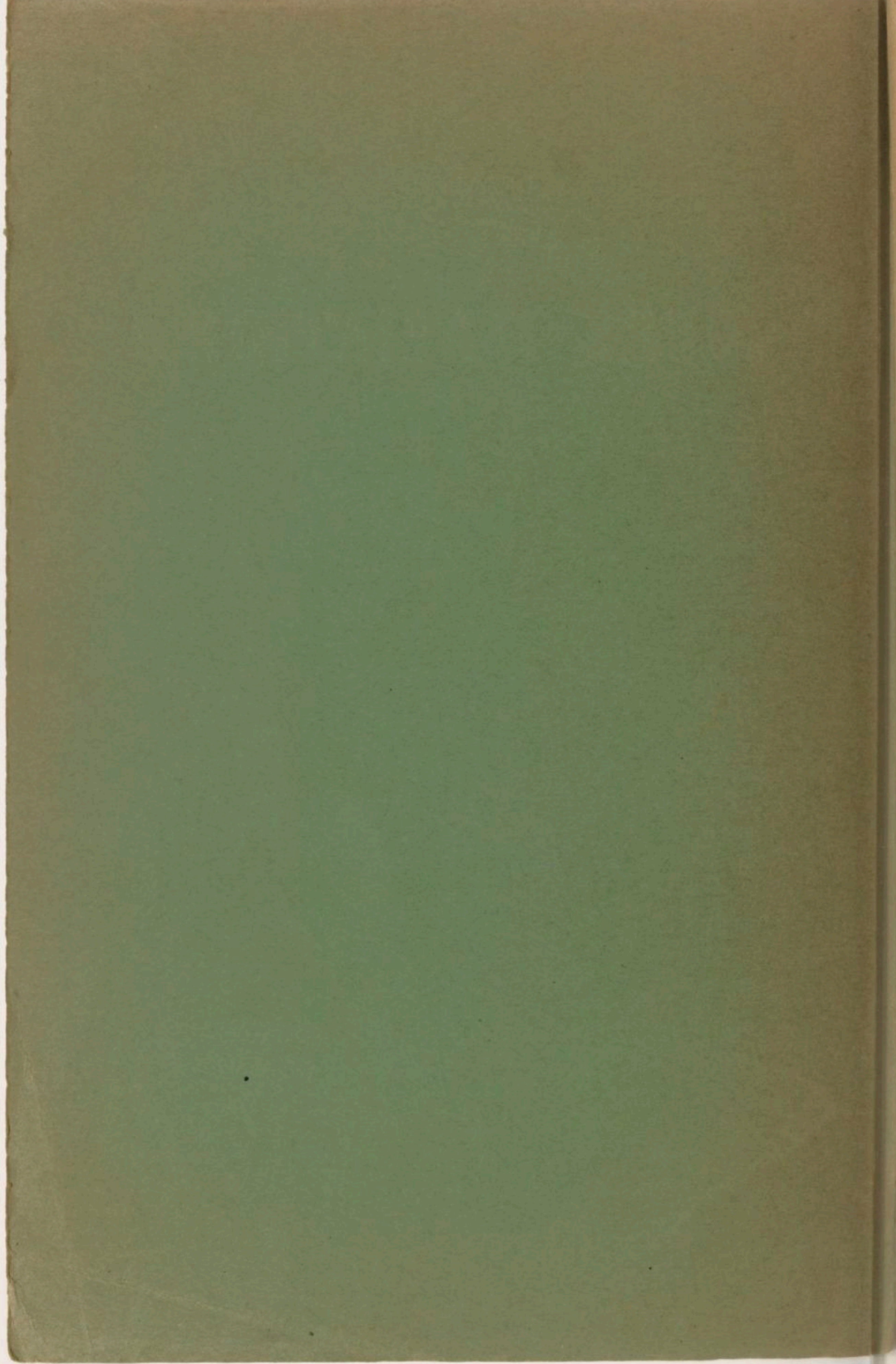
Avions - Moteurs

Cartes - Météorologie



GAUTHIER-VILLARS & C^{ie}, IMPRIMEURS-ÉDITEURS
PARIS (6^e) — 55, Quai des Grands-Augustins — (6^e) PARIS

—
1925



COURS D'AVIATION

DESTINÉ AUX

ÉLÈVES-PILOTES & MÉCANICIENS

OUVRAGES CONSULTÉS

BRUNET (A.). — *Théorie élémentaire de l'avion* (Librairie Aéronautique, 40, rue de Seine, Paris).

GAUTIER (Capitaine), et AGNAT (Lieutenant de vaisseau). — *Cours pratique d'aviation* (Delagrave).

LAINÉ (A.). — *Dictionnaire de l'Aviation* (Charles Lavauzelle, 124, boulevard Saint-Germain).

— *Ce que tout aviateur doit savoir* (Gauthier-Villars et Cie, 55, quai des Grands-Augustins).

MARTINOT-LAGARDE (Capitaine). — *Le moteur à explosions*.

— *Les moteurs d'aviation* (Berger-Levrault, 57, rue des Beaux-Arts).

REMY (Lieutenant). — *Précis de Météorologie pratique* (Librairie Aéronautique, 40, rue de Seine).

A. DESALEUX



COURS D'AVIATION

DESTINÉ AUX

ÉLÈVES-PILOTES & MÉCANICIENS

Avions - Moteurs

Cartes - Météorologie



GAUTHIER-VILLARS & C^{ie}, IMPRIMEURS-ÉDITEURS
PARIS (6^e) — 55, Quai des Grands-Augustins — (6^e) PARIS

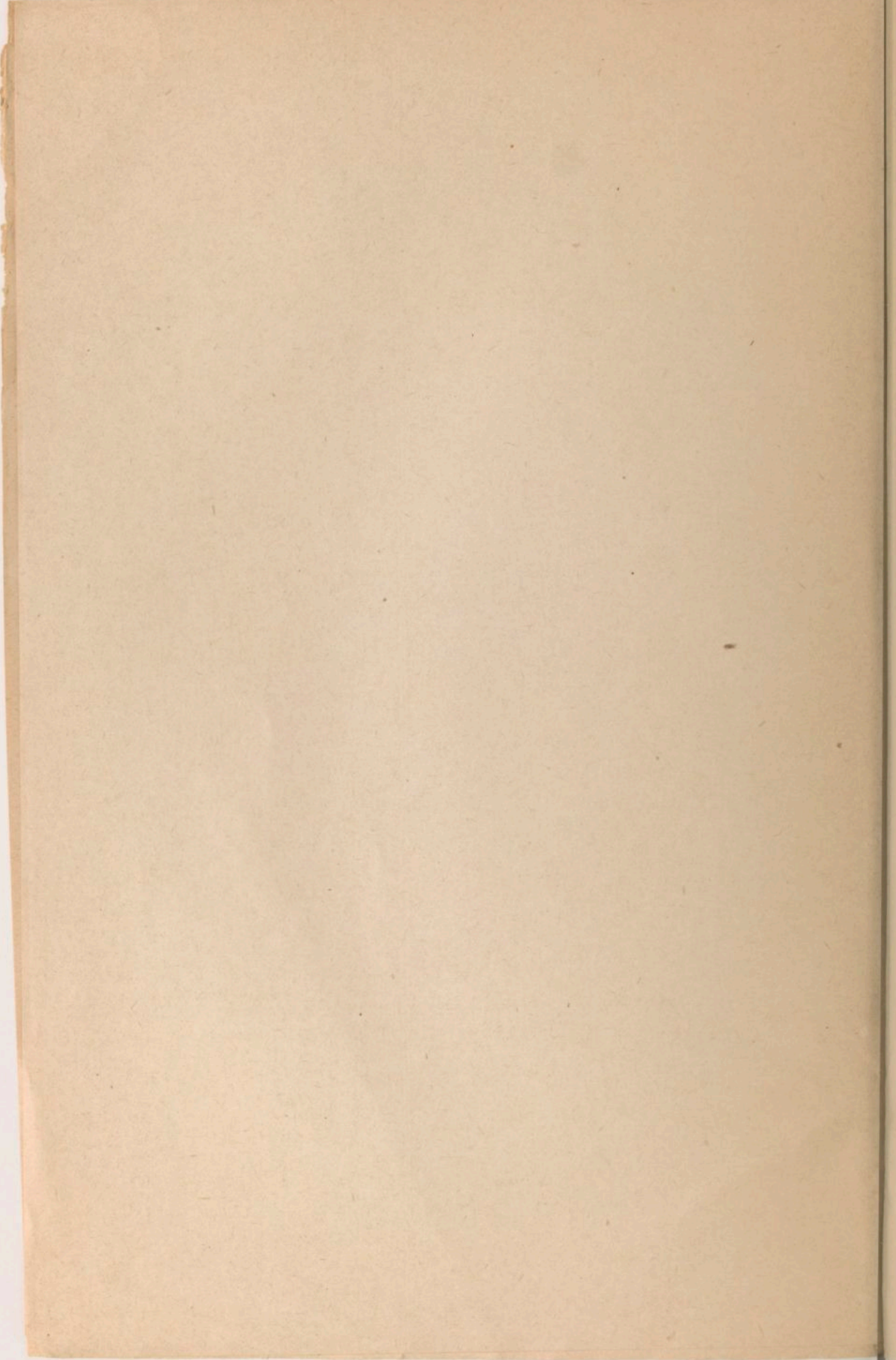
Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation
réservés pour tous pays.

AVANT-PROPOS.

J'espère que ce Cours pourra rendre service aux jeunes gens désireux de connaître l'aviation et de participer à son développement, indispensable et certain.

En le publiant, je tiens à remercier particulièrement M. Vernisse, ingénieur du Service des Fabrications de l'Aéronautique, des nombreux conseils qu'il m'a donnés, en me faisant profiter de ses connaissances techniques si étendues, et aussi M. Lucien Coupet dont la trop grande modestie ne saurait m'empêcher de dire que sa compétence en matière d'aviation fut pour moi d'un si précieux secours.

A. DESALEUX.



PRÉFACE.

Enseigner n'est pas seulement un métier : c'est un art difficile. Un petit livre d'enseignement est tout autre chose que le résultat d'un travail consciencieux, et la compilation ordonnée d'un ensemble de connaissances.

C'est en même temps, et surtout, une œuvre de sentiment, et pour la réaliser il faut posséder cette qualité peu commune qui s'appelle *le don de l'enseignement*.

Le don de l'enseignement est une sorte d'instinct qui permet, en faisant abstraction pour un temps de sa personnalité, de se créer entièrement celle de son élève, pour éprouver, dans le même moment que lui, ses désirs, ses inquiétudes, son avidité de savoir et même son aversion d'apprendre, pour amasser lentement un à un, en tenant compte d'un équilibre difficile et particulier à chacun, les matériaux qui constitueront peu à peu son petit édifice.

Ce serait une erreur de croire que ce dédoublement pourrait être une création du raisonnement ou même du travail et de l'expérience. Il faut ajouter, à ces éléments nécessaires, une certaine *intuition*, qui constitue véritablement la force magique de l'homme qui a mission d'enseigner.

Je félicite M. Desaleux, qui a créé ce petit « Cours d'aviation pour la jeunesse », d'avoir aussi bien compris son rôle de professeur. Il a certes fourni un effort tenace pour rassembler en un Manuel clair et complet les notions élémentaires de l'Aéronautique. Mais son travail sera surtout fécond parce qu'il est le fruit d'une longue expérience d'instructeur, acquise sur les aérodromes, au contact

d'élèves qu'il a su étudier et deviner. Et son petit livre si limpide, indispensable aux futurs pilotes et mécaniciens, sera précieux également aux jeunes gens de toutes les écoles, professionnelles ou non, qui ne doivent plus aujourd'hui ignorer l'aviation.

Ils le liront et l'apprendront sans peine et même sans mérite. Cela tout simplement parce que son auteur a la fortune de posséder ce « don heureux d'enseignement », qu'il tient peut-être d'une famille où l'activité fut féconde.

COMMANDANT BROCARD,

ancien chef du groupe des Cigognes et du 2^e régiment de chasse.

COURS D'AVIATION

DESTINÉ AUX ÉLÈVES PILOTES

AVIONS — MOTEURS — CARTES — MÉTÉOROLOGIE

AVIONS.

Pour quitter le sol, on peut utiliser des appareils de deux caractéristiques bien différentes :

- A. Appareils plus légers que l'air;
- B. Appareils plus lourds que l'air.

APPAREILS PLUS LÉGERS QUE L'AIR. — Ce sont ceux qui utilisent, pour leur sustentation, la légèreté d'un gaz contenu dans une enveloppe (gaz d'éclairage, hydrogène ou hélium). Ils sont de deux sortes : ballons libres, ballons dirigeables.

APPAREILS PLUS LOURDS QUE L'AIR. — Ils sont de trois types très distincts :

1^o *Hélicoptères*. — Ils utilisent la force de sustentation d'hélices tournant dans des plans horizontaux;

2^o *Ornithoptères*. — Ce sont des appareils à « ailes battantes », imitant les oiseaux;

3^o *Aéroplanes ou avions*. — Ils utilisent la traction donnée par des hélices tournant dans des plans verticaux. Cette traction produit un déplacement horizontal de l'appareil, qui provoque sur des surfaces une certaine résistance de l'air servant à la sustentation. Ce sont simplement les avions que nous aurons à étudier dans ce

Cours, les deux autres types d'appareils plus lourds que l'air n'étant pas entrés dans le domaine de la pratique.

Dans ce Cours, nous aurons à voir successivement six parties principales :

- 1^o Aérodynamique;
- 2^o Application de l'aérodynamique aux avions;
- 3^o Action du vent sur l'avion;
- 4^o Hélice;
- 5^o Construction des avions;
- 6^o Instruments de bord.

I. — AÉRODYNAMIQUE.

C'est la science qui s'occupe de rechercher l'effet produit par le déplacement des corps dans l'air ou par le déplacement de l'air autour de corps immobiles. L'expérience montre que les résultats sont les mêmes dans les deux cas. Dans tout ce qui suivra, nous ne considérerons donc que le déplacement, l'un par rapport à l'autre, du corps et de l'air. Ce déplacement sera effectué avec une certaine vitesse, qu'on nomme *vitesse relative*.

Avant de commencer l'aérodynamique proprement dite, nous allons voir un certain nombre de questions indispensables à connaître.

Inertie. — *C'est la propriété qu'ont les corps de persister dans un état de repos ou de mouvement tant qu'une cause étrangère n'agit pas sur eux. La force d'inertie est d'autant plus grande que le poids du corps est plus grand, et s'il est en mouvement, que sa vitesse est plus grande.*

C'est un fait évident qu'un objet placé sur une table, par exemple, ne changera pas de place de lui-même. De même, un cycliste animé d'une certaine vitesse sera obligé d'exercer une certaine pression sur les pédales, ou de se servir d'un frein pour s'arrêter. Dans les deux cas, l'inertie intervient et tend à maintenir le corps dans son état de repos ou de mouvement. Dans le cas où un cycliste et une voiture avancent à la même vitesse, on sait par expérience que la voiture, qui est lourde, aura beaucoup plus de difficulté à s'arrêter

que le cycliste. De deux voitures de même poids roulant à des vitesses différentes, la première arrêtée sera celle qui était animée de la plus faible vitesse.

Force. — *C'est toute cause capable de produire ou de modifier l'état de repos ou de mouvement d'un corps.*

L'unité de force est le *kilogramme*.

Dans les exemples précédents, il fallait une certaine *force* pour déplacer l'objet de la table (la force a mis l'objet qui était au repos en mouvement : elle a modifié son état de repos) ou pour arrêter le cycliste (c'était la force produite par le frottement du frein sur la roue : le cycliste est passé de l'état de mouvement à l'état de repos).

Quelle que soit la force, elle est toujours caractérisée :

- 1^o Par son point d'application;
- 2^o Par son intensité;
- 3^o Par sa direction;
- 4^o Par son sens.

Le *point d'application*, c'est le point du corps où s'exerce la force.

L'*intensité*, c'est le nombre de kilogrammes que représente la force.

La *direction*, c'est la ligne *indéfinie*, sur laquelle le corps tend à se déplacer sous l'influence de la force.

Le *sens* indique de quel côté la force se déplace sur sa direction, par rapport au point d'application.

Pour la commodité des problèmes sur les forces, on convient de représenter celles-ci graphiquement. On prendra, par convention, une longueur, absolument quelconque (3^{cm} par exemple), pour représenter l'unité de force : le kilogramme.

Soit OA cette force (*fig. 1*). Son *point d'application*, c'est le point O;

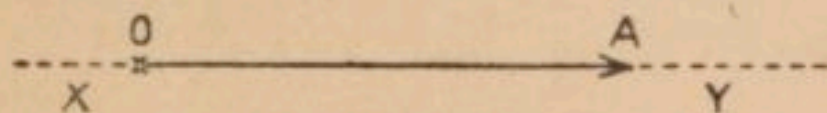


Fig. 1.

son *intensité*, c'est la longueur $OA = 1$ par convention; sa *direction*, c'est la ligne XY, et son *sens*, c'est le sens de O vers A qui est indiqué

en A par une flèche. Pour *comparer* deux forces, il suffit de voir combien chacune d'elles contient de fois l'unité (donner des exemples).

Composition des forces. — On peut remplacer plusieurs forces, dans tous les cas que nous allons voir, par une seule qu'on appelle la *résultante*.

Comme son nom l'indique, cette force unique produira sur le corps auquel étaient appliquées les forces en question, exactement le même *résultat*.

On applique, pour trouver la résultante, la règle dite *règle du parallélogramme des forces*.

Premier cas. — Soient deux forces F_1 et F_2 ayant le même point d'application O, la même direction et le même sens (*fig. 2*). Supposons

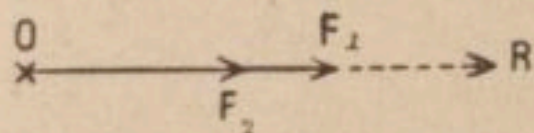


Fig. 2.

que $F_1 = 4^{\text{kg}}$ et $F_2 = 3^{\text{kg}}$. La résultante OR sera alors égale à 7^{kg} , aura même direction et même sens. C'est évident. En effet, lorsque deux chevaux sont attelés l'un devant l'autre à une charrette, l'effort de traction produit sur la charrette vaut la somme des deux tractions produites par les deux chevaux. On pourrait remplacer les deux chevaux par un seul produisant une traction égale à cette somme.

Deuxième cas. — Si les deux forces F_1 et F_2 sont de sens contraire, elles se retranchent. La résultante a le sens de la plus grande et vaut la différence entre F_1 et F_2 . En attelant à une charrette deux chevaux tirant dans le sens normal avec une force de 40^{kg} chacun, soit 80^{kg} en tout, et un cheval tirant en sens contraire avec une force de 35^{kg} , il est évident que la charrette se déplacerait comme si l'on avait produit simplement une traction de $80 - 35 = 45^{\text{kg}}$ dans le sens normal.

Troisième cas. — Soient deux forces F_1 et F_2 ayant même point d'application, mais deux directions différentes. *Ce sont deux forces concourantes.*

Supposons $F_1 = 5\text{kg}$ et $F_2 = 3\text{kg}$ (fig. 3). Menons par F_1 une parallèle à F_2 et par F_2 une parallèle à F_1 . Ces deux droites se coupent

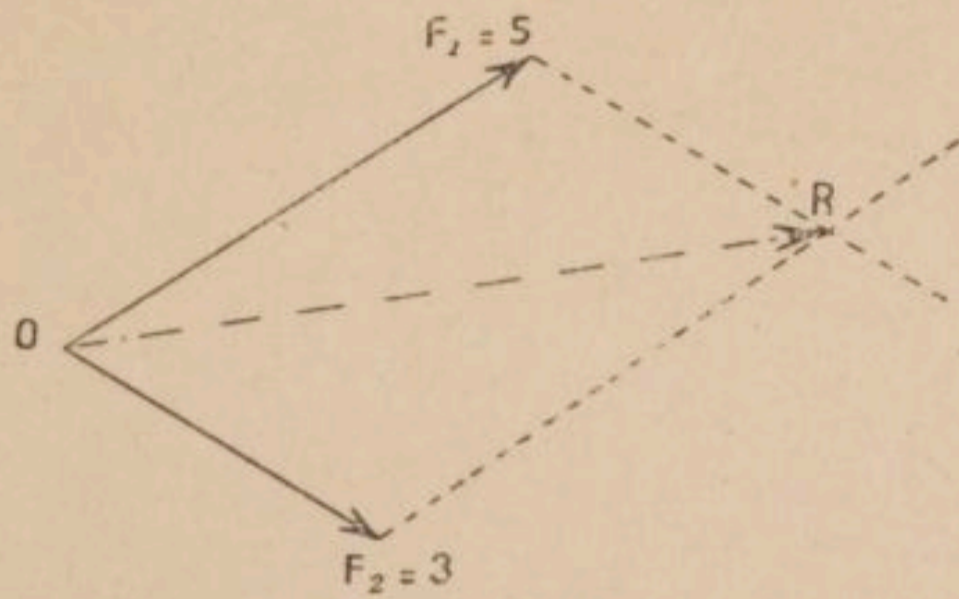


Fig. 3.

en un point R. La droite OR représente la *résultante* de F_1 et F_2 . Elle ne sera pas égale à $5 + 3$, mais plus petite que 8. Le parallélogramme OF_1RF_2 est le *parallélogramme des forces*.

Quatrième cas. — Soient trois forces concourantes F_1, F_2, F_3 (fig. 4).

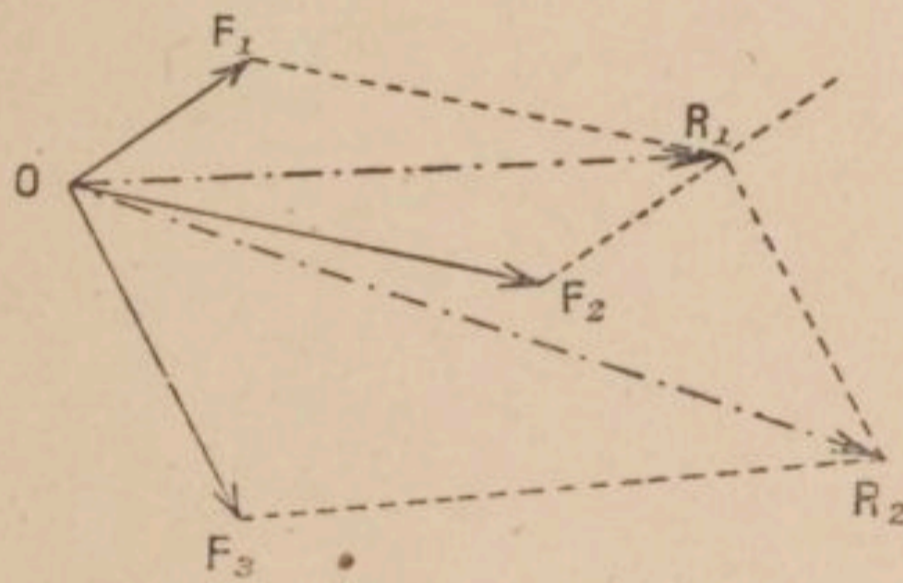


Fig. 4.

Pour trouver leur résultante, on applique la même règle pour F_1 et F_2 , ce qui donne une résultante R_1 . Puis, on effectue encore la même

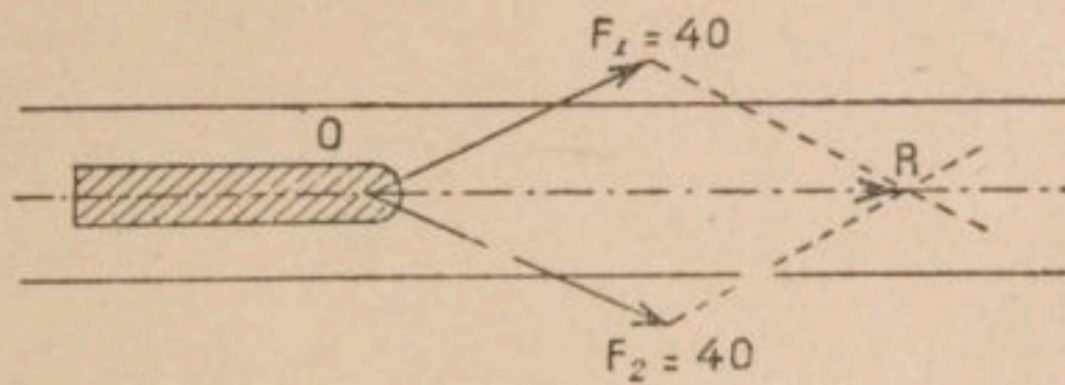


Fig. 5.

opération pour R_1 et F_3 , ce qui donne une résultante R_2 qui est la résultante de F_1, F_2, F_3 .

Pour expliquer ces résultats, considérons une péniche traînée dans un canal par deux chevaux, de part et d'autre du canal (*fig. 5*). Un cheval effectue un effort $F_1 = 40^{\text{kg}}$, l'autre un effort $F_2 = 40^{\text{kg}}$ également. La péniche avancera comme si elle était traînée par une force unique R obtenue en faisant le parallélogramme des forces et dirigée suivant l'axe de la péniche.

Cinquième cas. — Soient deux forces F_1 et F_2 dont les directions se coupent et qui n'ont pas même point d'application (*fig. 6*). Pour trouver leur résultante, on les fait glisser chacune sur sa direction jusqu'au point O de rencontre et l'on applique alors la règle du parallélogramme. On obtient la résultante R .

Sixième cas. — On peut se proposer le problème inverse : « Étant données une force R et deux directions quelconques XY et VZ , trouver deux forces F_1 et F_2 remplaçant R et parallèles aux deux directions (*fig. 7*). On mène alors par O et par R des droites parallèles aux directions données. On obtient ainsi deux points d'intersection F_1 et F_2 . En joignant ces deux points au point O d'application, on a les deux forces F_1 et F_2 qui prennent le nom de *composantes*.

Exemple. — Supposons qu'un cheval donnant une traction $R =$ par exemple 50^{kg} soit attelé à une voiture au point O (*fig. 8*). Pour produire le même *résultat*, on pourrait atteler à la voiture, au point O , deux autres chevaux tirant l'un dans la direction OF_1 avec une force $F_1 = 40^{\text{kg}}$ par exemple, et l'autre dans la direction OF_2 avec une force $F_2 = 25^{\text{kg}}$; la voiture se déplacerait dans la direction OR comme si elle était traînée par $R = 50^{\text{kg}}$ environ. Lorsque le point d'application serait arrivé en O , les deux forces seraient, par exemple, en F'_1 et F'_2 .

Travail d'une force. — Le travail d'une force, dont le point d'application se déplace suivant la direction de la force, est le produit du nombre qui mesure la valeur de la force en kilogrammes par le nombre qui mesure la longueur du déplacement du point d'application en mètres. L'unité de travail est alors le *kilogrammètre*.

Premier exemple. — Soit une force $F = 20^{\text{kg}}$ (*fig. 9*). Supposons

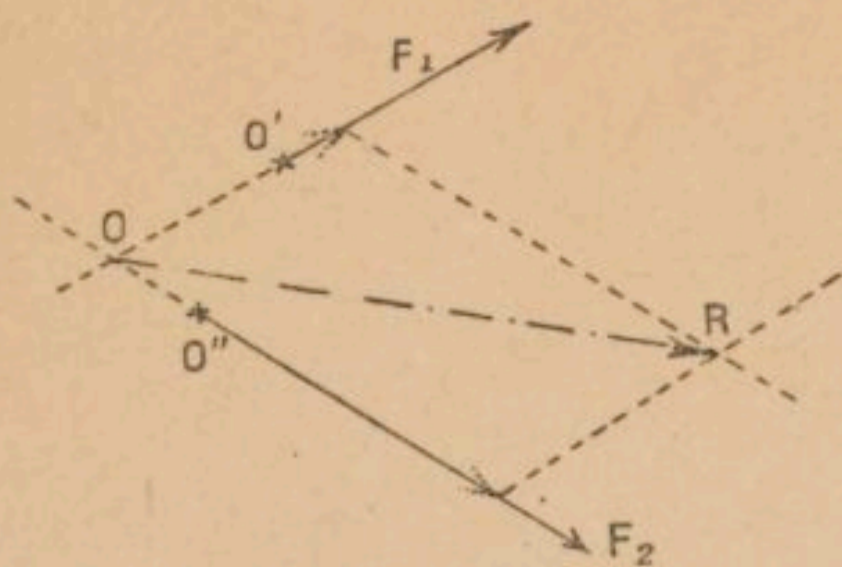


Fig. 6.

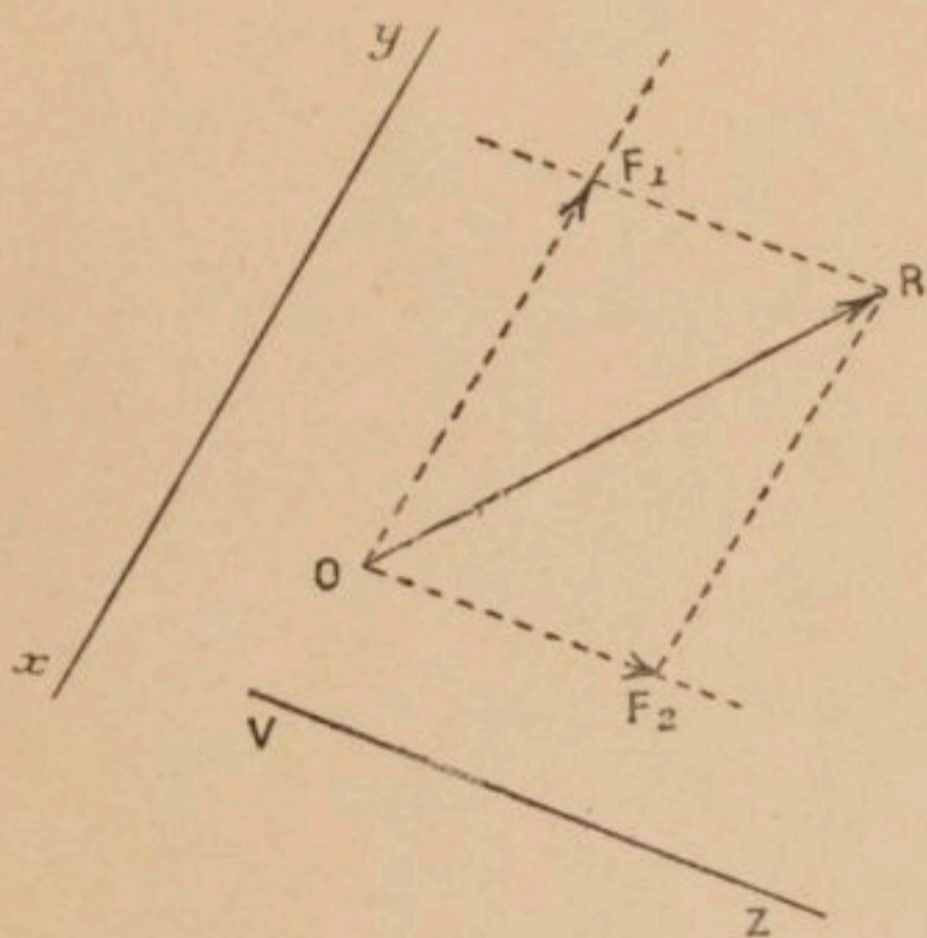


Fig. 7.

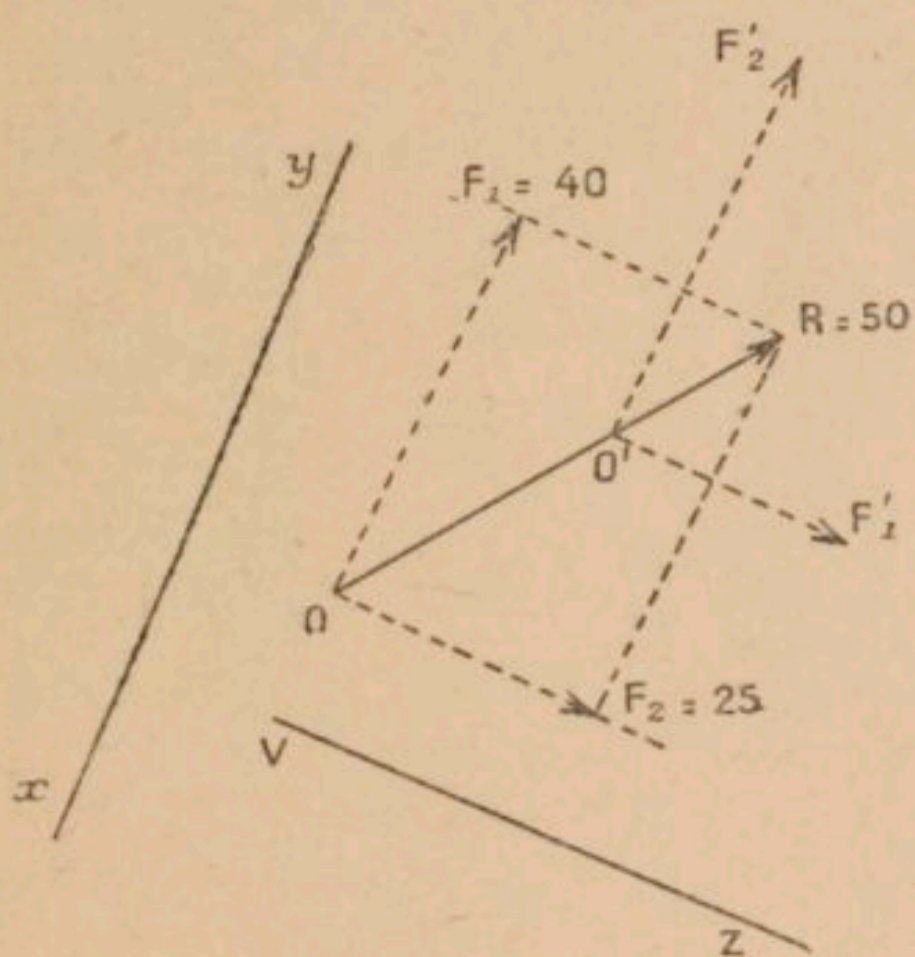


Fig. 8.

que le point d'application O vienne en O' . Soit $OO' = 5^m$. On a alors

$$T = 20 \times 5 = 100 \text{ kilogrammètres.}$$

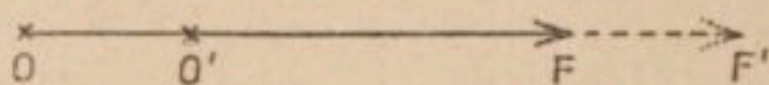


Fig. 9.

Deuxième exemple. — Soit un poids $P = 100^{\text{kg}}$ (fig. 10) suspendu au bout d'une corde passant sur une poulie. Pour soulever ce poids, il faudra exercer un effort égal à 100^{kg} .

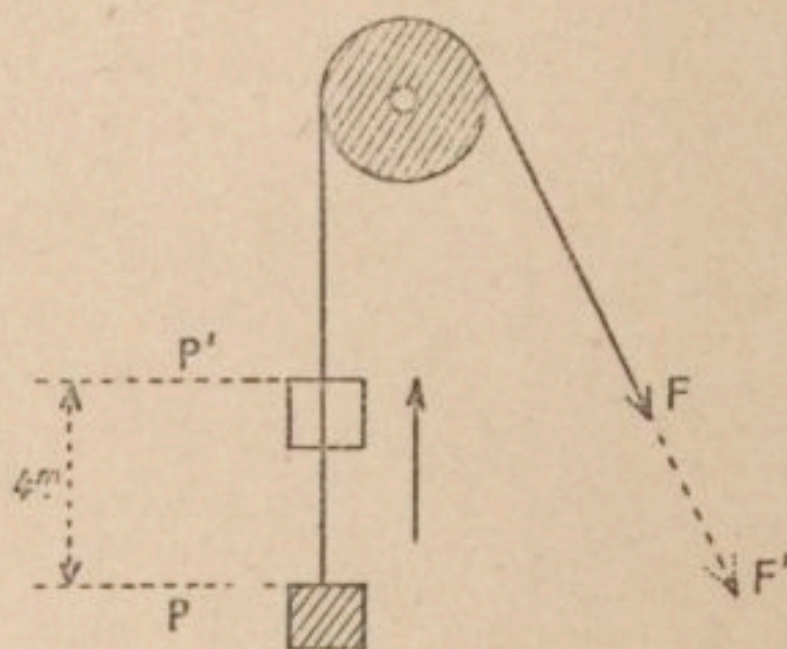


Fig. 10.

Supposons qu'on ait fait monter le poids de 4^m . Le travail effectué par F sera

$$100 \times 4 = 400 \text{ kilogrammètres.}$$

Quand le point d'application ne se déplace pas suivant la direction de la force, le travail est égal soit

1° *Au produit de la projection de la force sur la direction du chemin parcouru, par le chemin parcouru;*

soit

2° *Au produit de la projection du chemin parcouru sur la direction de la force, par la force.*

Exemple. — Considérons une voie de chemin de fer et un wagon sur cette voie (fig. 11). Attelons un cheval pour tirer le wagon. Soient O le point d'application et $F = 80^{\text{kg}}$ la traction donnée

par le cheval. Supposons le wagon arrivé en O' . A ce moment, la traction s'opère en F' et le wagon a avancé de OO' .

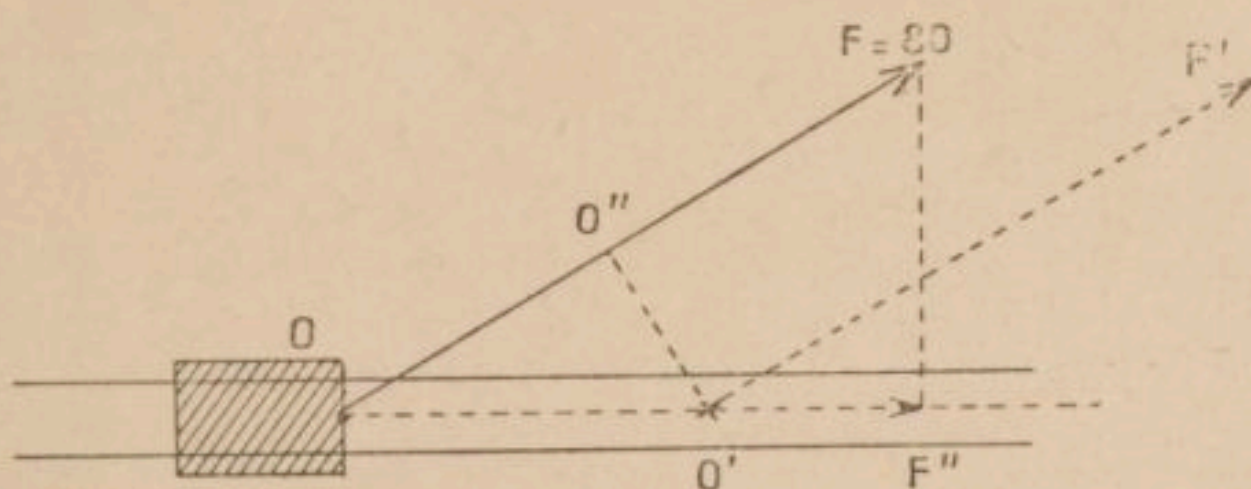


Fig. 11.

Supposons $OO' = 10^m$. Nous n'aurons pas $T = 80 \times 10$.

Projetons OO' sur OF et OF sur la direction OO' . Nous aurons alors :

- 1^o $T = OF'' \times OO'$;
- 2^o $T = OO'' \times F$.

En effet, considérons de nouveau le point d'application O et la force F de traction (fig. 12). On peut la décomposer en deux autres ;

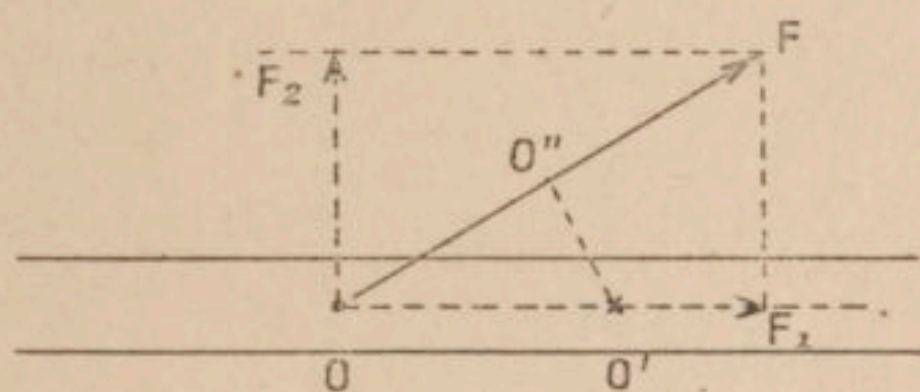


Fig. 12.

l'une sera parallèle à la voie, ce sera OF_1 ; l'autre sera perpendiculaire, ce sera OF_2 . Cette dernière force ne tendra qu'à appliquer le wagon sur les rails, mais n'interviendra en aucune façon dans le déplacement sur la voie. Donc, nous serons bien réduits en réalité à la seule force F_1 . Si nous considérons maintenant les deux triangles OFF_1 et $OO'O''$, ils sont semblables. En effet, ils sont rectangles en O'' et en F_1 , et ils ont l'angle O commun.

Donc, on peut écrire :

$$\frac{OF_1}{OO''} = \frac{OF}{OO'}$$

On a donc aussi, en faisant le produit des extrêmes par les moyens :

$$OF_1 \times OO' = OF \times OO''.$$

Ces deux produits donnent donc bien la valeur du travail effectué par F.

Puissance. — La puissance représente le travail produit ou absorbé pendant l'unité de temps.

On l'exprime donc par la formule

$$P = \frac{F \times d}{s},$$

où F représente la force agissante, d le déplacement du point d'application (donc $F \times d$ représente le travail fourni) et s le temps.

Quand on exprime F en kilogrammes, d en mètres, s en secondes, on a la puissance en *kilogrammètres-seconde*. L'unité de puissance généralement employée est le *cheval-vapeur* qu'on désigne soit par CV, soit par HP (HP, initiales de Horse-Power, mot anglais qui veut dire « cheval-puissance »). Le cheval-vapeur vaut 75 *kilogrammètres-seconde*. C'est-à-dire que c'est la puissance nécessaire pour élever, par exemple, 75^{kg} à 1^m en 1 seconde.

On pourrait aussi considérer que c'est la puissance nécessaire pour élever 1^{kg} à 75^m en 1 seconde, ou encore 1^{kg} à 1^m en $\frac{1}{75}$ de seconde, etc.

Dans tous les cas, on aura bien :

$$P = \frac{F \times d}{s},$$

soit

$$\frac{75 \times 1}{1} = 75 \text{ kgm/sec} = 1 \text{ HP},$$

soit

$$\frac{1 \times 75}{1} = 75 \text{ kgm/sec} = 1 \text{ HP},$$

soit

$$\frac{1 \times 1}{1/75} = 75 \text{ kgm/sec} = 1 \text{ HP}.$$

Exemple. — Soit un cheval tirant une voiture avec une force de 40^{kg}. Supposons que le cheval ait parcouru 20^m en 5 secondes.

Il a donc développé une puissance de

$$\frac{40 \times 20}{5} = 160 \text{ kgm/sec.}$$

Pour avoir la puissance en HP, il suffit de diviser par 75 :

$$160 : 75 = 2,133 \text{ HP.}$$

Moment d'une force par rapport à un point. — C'est le produit du nombre qui mesure l'intensité de la force, en kilogrammes, par le nombre qui mesure la longueur de la distance du point à la droite, en mètres.

Cette longueur est ce qu'on nomme le *bras de levier*.

Soient un corps *e*, et un point O de ce corps, quelconque (fig. 13).

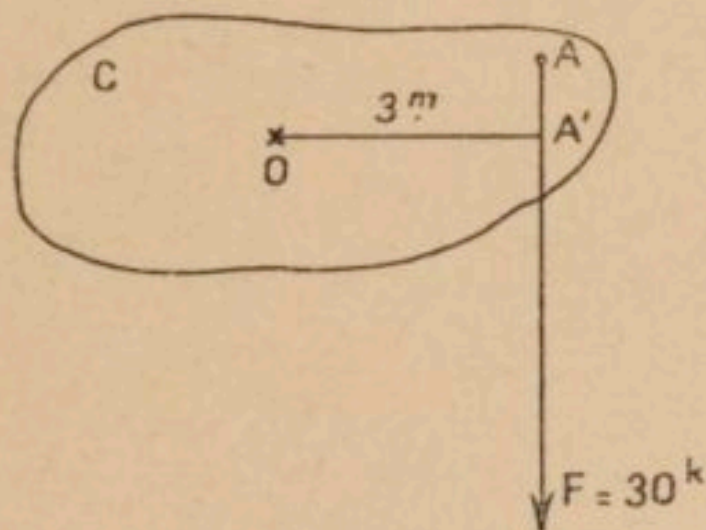


Fig. 13.

Soit une force $F = 30^{\text{kg}}$ appliquée en A. Supposons que la longueur OA' (perpendiculaire abaissée de O sur la force) soit égale à 3^m (c'est le bras de levier).

On aura :

$$\begin{aligned} \text{Moment de } F \text{ par rapport à } O \text{ (ce qui s'écrit : } M_O F) \\ = 30 \times 3 = 90 \text{ kilogrammètres.} \end{aligned}$$

Pour ne pas confondre ces kilogrammètres avec ceux désignant le travail, on leur donne quelquefois le nom de *mètres-kilogrammes*.

Remarque. — Pour avoir des kilogrammètres (travail), il faut un déplacement de O.

Pour avoir des kilogrammes-mètres (moment), il n'y a pas besoin de mouvement.

Une force peut donc être très petite et avoir un grand moment si son bras de levier est très grand.

Couple. — C'est l'ensemble de deux forces égales, parallèles, non directement opposées, et de sens contraire.

Un couple ne peut pas avoir de résultante.

En effet, il est impossible d'appliquer le parallélogramme des forces.

Soit $F_1 = F_2 = 20^{\text{kg}}$ (fig. 14).

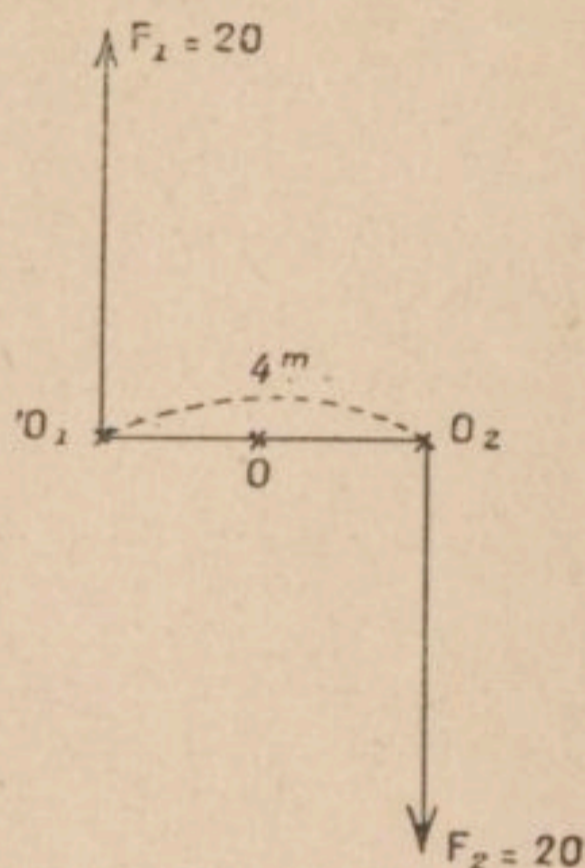


Fig. 14.

O_1 et O_2 sont les deux points d'application. La longueur O_1O_2 (perpendiculaire commune aux deux forces) s'appelle *bras de levier*.

Soit $O_1O_2 = 4^{\text{m}}$. On remarque que l'effet d'un couple est de faire tourner le corps auquel il s'applique autour du milieu O du bras de levier. *Il n'y a pas besoin de mettre un axe de rotation en O pour que le couple fasse tourner le corps autour de O , contrairement à ce qui se produirait avec une force unique appliquée comme F_1 , par exemple.*

Exemple. — Un manège de chevaux de bois tournant par l'effort de deux chevaux attelés aux deux extrémités d'une barre de bois fixée en son milieu sur un axe (parce que les deux chevaux ne tirent pas toujours rigoureusement ensemble ni avec la même force) donne un exemple du couple.

MOMENT D'UN COUPLE. — C'est le produit du bras de levier par une des forces, ou le produit de la somme des deux forces par la moitié du bras de levier. En effet, il est évident (figure précédente)

que le moment du couple $F_1 F_2$ est le double du moment de F_1 (par exemple) par rapport à O .

On aura donc

$$M(F_1 F_2) = 20 \times 4 = 80 \text{ mètres-kilogrammes.}$$

TRAVAIL D'UN COUPLE. — Supposons que le couple précédent ait fait tourner le corps de trois tours. Le chemin parcouru par le point d'application O_1 en un tour sera

$$2\pi R = 2\pi \times 2 = 4\pi.$$

En trois tours, on aura :

$$\text{Chemin parcouru} = 12\pi.$$

La force à prendre sera 2×20 puisqu'il y a deux forces. Donc, le travail en trois tours sera

$$T = F \times d = 40 \times 12\pi = 40 \times 12 \times 3,14 = 1507,2 \text{ kilogrammètres.}$$

PUISSANCE D'UN COUPLE. — Il suffit d'appliquer la même formule que plus haut. On aura donc, si les trois tours ont été effectués en 2 secondes :

$$P = \frac{F \times d}{2} = \frac{1507,2}{2} = 753,6 \text{ kilogrammètres-seconde,}$$

qu'on peut convertir en HP.

Cas particulier. — Soit un couple $F_1 F_2$ dans lequel les deux forces

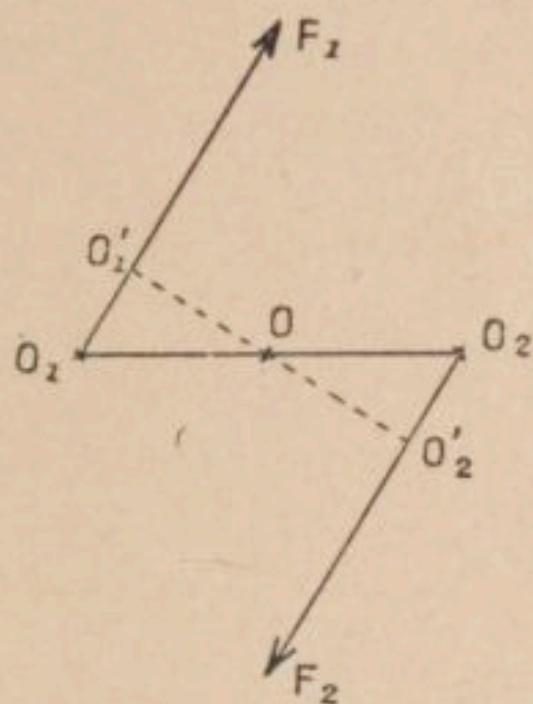


Fig. 15.

ne sont pas perpendiculaires à la droite $O_1 O_2$ joignant les deux points d'application (fig. 15).

Le bras de levier sera alors la droite $O_1 O_2$ obtenue en menant par le milieu O de $O_1 O_2$ une perpendiculaire commune aux deux forces.

Centre de gravité d'un corps. — *C'est le point de ce corps par lequel passe la résultante des actions de la pesanteur sur les différents points de ce corps, quelle que soit la position du corps dans l'espace.*

Par exemple, le centre de gravité d'une sphère parfaitement homogène est son centre. Si l'on pouvait suspendre la sphère par ce point, et la mettre dans une position quelconque, elle y resterait. Un corps suspendu par son centre de gravité est donc en équilibre indifférent.

Pression. — L'effet produit par des forces agissant sur une surface se nomme *pression*. Une pression se mesure généralement en *kilogrammes par centimètre carré de surface*.

PRESSION ATMOSPHÉRIQUE. — C'est la pression exercée par la couche d'air qui entoure la terre sur tous les corps.

La pression moyenne atmosphérique, au niveau de la mer, est égale à $1^{\text{kg}}, 033$ par centimètre carré.

Elle a été mesurée de la façon suivante, pour la première fois, par Torricelli en 1643. C'est l'expérience du *baromètre à mercure*.

On prend un tube de verre fermé à une extrémité, et d'environ 1^{m} de longueur et de 1^{cm^2} de section autant que possible. On le remplit complètement de mercure et l'on bouche l'extrémité avec le pouce, puis on retourne le tube sur une cuve contenant du mercure et l'on retire le pouce quand l'extrémité du tube plonge dans le mercure (*fig. 16*). On voit alors le mercure descendre dans le tube jusqu'à une certaine hauteur. Au niveau de la mer, cette hauteur égale en moyenne 76^{cm} entre le niveau de mercure dans le tube et le niveau de la cuve. Or, par suite de la baisse du mercure dans le tube, il y a le vide à la partie supérieure (cette partie est la *chambre barométrique*).

Au point A, situé dans le tube au même niveau que le mercure de la cuve, s'exerce de bas en haut la pression atmosphérique puisqu'elle agit dans tous les sens et se transmet également dans un liquide dans tous les sens. La pression atmosphérique est donc

équilibrée par la colonne de mercure de 76^{cm}. Le poids de cette colonne représente donc la pression atmosphérique par centimètre carré.

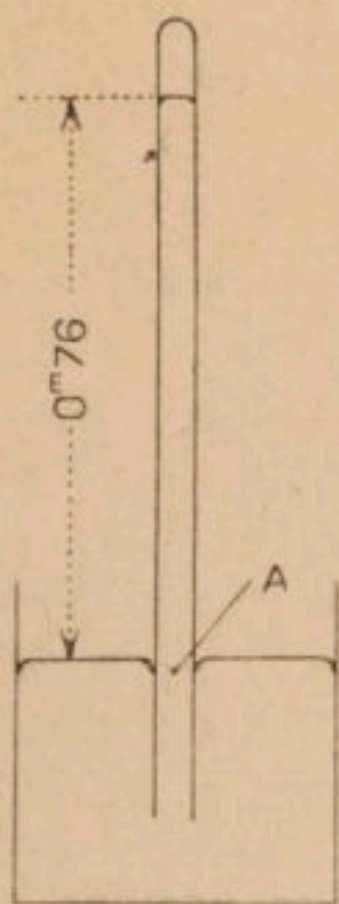


Fig. 16.

La section étant 1^{cm}², et la hauteur 76^{cm}, le volume de mercure est de 76^{cm}³. La densité du mercure étant 13,6, le poids de la colonne de mercure est de

$$76 \times 13,6 = 1033.$$

REMARQUES. — a. Il n'est pas nécessaire de prendre un tube de 1^{cm}² de section. Quelle que soit la section, le mercure doit monter à 76^{cm}.

b. Il n'est pas nécessaire de faire l'expérience avec du mercure. En particulier, si l'on veut faire l'expérience avec de l'eau, celle-ci ayant une densité 13,6 fois plus petite que celle du mercure, monterait 13,6 fois plus haut dans le tube. Avec un grand tube, on verrait ainsi l'eau monter à

$$76 \times 13,6 = 1033^{\text{cm}} \text{ ou } 10^{\text{m}}, 33.$$

On aurait une colonne d'eau pesant :

$$1033 \times 1 = 1033^{\text{kg}}.$$

c. La pression atmosphérique normale (76^{cm} de mercure) s'appelle souvent *atmosphère*. Dans la pratique, on commet souvent une petite erreur en appelant par exemple une pression de 6^{kg} par centimètre carré une pression de 6 atmosphères.

La pression atmosphérique varie constamment en un même lieu. Elle varie également avec l'altitude. A mesure que l'on s'élève, elle diminue progressivement, puisque l'épaisseur de la couche d'air diminue également. On l'exprime en général soit en centimètres, soit en millimètres. On dira : une pression de 760^{mm} ou une pression de 73^{cm}, etc.

d. Une table de 1^{m2} de surface subit donc sur le dessus une pression de

$$1033 \times 10000\text{cm}^2 = 10330^{\text{kg}}.$$

Elle ne s'écrase pas par suite de la pression égale et de sens contraire qui s'exerce en dessous. De même, le corps humain résiste à la pression atmosphérique parce que les fluides intérieurs (air des poumons, sang, etc.) équilibrent les pressions extérieures.

Résistance de l'air. — Les notions précédentes vont nous permettre de comprendre facilement ce qui suit.

Nous savons que si nous essayons de déplacer dans l'eau un corps de forme quelconque, nous éprouvons une certaine *résistance* qui provient du déplacement des molécules d'eau et de leur frottement sur le corps. De même, si l'on essaye de déplacer rapidement un corps dans l'air, on éprouve également une certaine résistance provoquée par le déplacement des molécules d'air et de leur frottement sur le corps. C'est cette résistance que nous allons étudier. Nous diviserons cette étude en quatre parties :

1^o *Résistance à l'avancement d'une surface plane perpendiculaire au courant d'air ;*

2^o *Résistance à l'avancement d'une surface plane oblique au courant d'air ;*

3^o *Résistance à l'avancement d'une surface courbe oblique au courant d'air ;*

4^o *Résistance des corps quelconques à l'avancement.*

1^o **Résistance d'une surface plane perpendiculaire au courant d'air.** — Soit une surface plane AB située dans un courant d'air perpendiculaire à son plan (nous considérons la plaque immobile, dans l'air animé d'une certaine vitesse; on pourrait prendre l'inverse) (*fig. 17*).

Supposons l'air venant de la gauche et allant vers la droite.

En rendant l'air *visible* au moyen de fumées, on met en évidence l'existence de ce qu'on nomme un *spectre aérodynamique*.

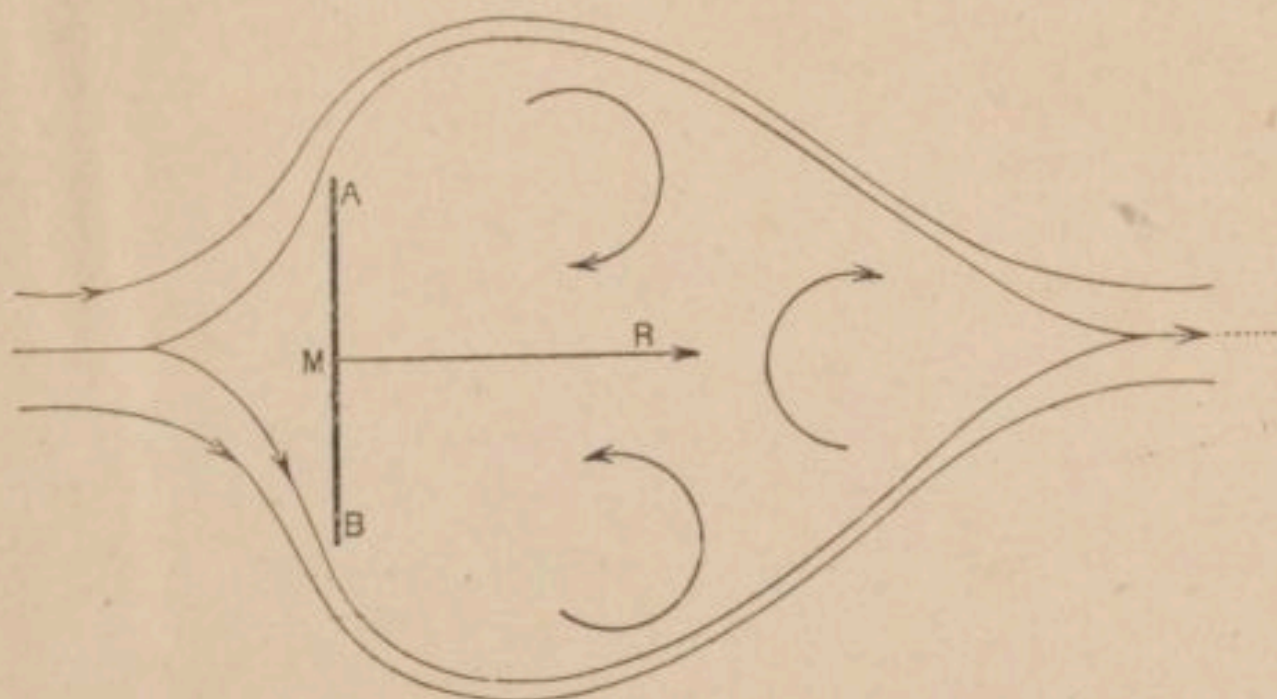


Fig. 17.

A l'*A* de la surface, il se forme une sorte de matelas d'air. Les molécules viennent frapper la surface. Ne pouvant la traverser, elles sont comprimées et refoulées. Leur compression augmente la densité dans cette zone et conduit à une *pression* supérieure à la pression atmosphérique. Les filets d'air qui arrivent sur les bords sont déviés et ont une tendance à revenir à l'*R*. Ils ne reprennent leur direction normale qu'à une certaine distance de la plaque. On conçoit donc qu'il existe derrière cette plaque une zone troublée, zone de remous et de pression inférieure à la pression atmosphérique, c'est-à-dire *zone de dépression*.

La compression à l'*A* et la dépression à l'*R* s'ajoutent et donnent lieu à une force unique *R*, qui sera leur résultante. Elle est donc dirigée parallèlement au courant et a une certaine intensité. Pour retenir le plan, il faudra donc exercer en *M* un effort égal et de sens contraire:

Il est évident que si la plaque AB est de forme géométrique (carrée, rectangulaire, circulaire, etc.), le point M sera situé au centre de AB. Ce point s'appelle le centre de poussée.

La valeur de la résultante *R* en kilogrammes est donnée par la formule générale

$$R = K_{90} S V^2.$$

Dans cette formule, K_{90} est un *coefficient* (c'est-à-dire un certain nombre) qui dépend :

a. *De la forme de la surface.* — Le coefficient n'est pas le même si

la plaque est carrée, ronde, rectangulaire, etc. D'une façon générale, si la plaque est rectangulaire, il est d'autant plus grand que le rapport de la longueur du plan à sa largeur, c'est-à-dire *l'allongement* est plus grand. Le nombre des angles vifs augmente la résistance.

b. De la nature de la surface. — Le coefficient n'est pas le même si la plaque est en carton, en tôle, en bois, en bois verni, etc. Il sera d'autant plus faible que le frottement des molécules d'air sur le plan sera plus faible. Par exemple, le coefficient sera moindre pour du bois verni que pour du carton.

c. De la densité de l'air. — Il est plus grand lorsque la densité de l'air est plus grande. *Il est proportionnel à cette densité.* Si la résistance d'un plan est de 15^{kg} dans certaines conditions de vitesse, et que la densité de l'air devienne double, la résistance deviendra 30^{kg}. Un même plan recevra donc moins d'effort à même vitesse aux grandes altitudes que près du sol.

L'indice 90 placé à côté de la lettre K indique que le coefficient K_{90} a rapport au plan perpendiculaire au courant d'air (angle 90°).

Pour les surfaces employées en aviation, on prend généralement dans les conditions normales de pression :

$$K_{90} = 0,08.$$

Si l'on considère un plan de 1^{m2} de surface se déplaçant à une vitesse de 1 mètre-seconde, la résistance sur le plan est de 0^{kg},08, c'est-à-dire 80^g. *C'est la résistance unitaire.*

S représente la surface du plan en mètres carrés ;

V représente la vitesse *relative* en mètres-seconde.

On voit donc que la résistance du plan est :

1° Proportionnelle au coefficient K_{90} ;

2° Proportionnelle à la surface, c'est-à-dire que si la surface triple, la résistance triple ;

3° Proportionnelle au carré de la vitesse, c'est-à-dire que si la vitesse double, la résistance devient 4 fois plus grande, si la vitesse triple, la résistance devient 9 fois plus grande.

D'une façon générale, cette dernière considération peut s'exprimer par la proportion

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{V_1^2}{V_2^2},$$

où R_1 représente la résistance du plan à la vitesse V_1 , et R_2 à la vitesse V_2 .

Exemple. — Soit un plan ayant 8m^2 et se déplaçant à une vitesse de 54km à l'heure, perpendiculairement au courant d'air :

$$54\text{km à l'heure} = 15\text{m à la seconde.}$$

On a donc :

$$S = 8,$$

$$V = 15.$$

Si l'on prend $K = 0,08$, on aura

$$R = 0,08 \times 8 \times 15^2,$$

soit

$$R = 0,08 \times 8 \times 225 = 144\text{kg}.$$

Supposons que la vitesse devienne 72km à l'heure, soit 20m par seconde, on aura

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{V_2^2}{V_1^2}.$$

En remplaçant les lettres par leurs valeurs, on obtient

$$\frac{R_2}{144} = \frac{400}{225} \quad \text{ou} \quad R_2 = \frac{400 \times 144}{225} = 256\text{kg}.$$

Remarque. — *a.* Cette loi $R = KSV^2$ est généralement considérée comme exacte jusqu'aux environs de 100m par seconde; au delà, la résistance est proportionnelle au cube de la vitesse.

b. Dans la vie courante, il est facile de se rendre compte de l'existence de la dépression existant dans le spectre. Lorsqu'une automobile couverte, ouverte à l'arrière, mais fermée à l'avant par le pare-brise marche à grande allure, la poussière soulevée sur la route revient vers l'intérieur de la voiture, dans le sens du déplacement. C'est donc qu'elle est aspirée. Si l'on supprime le pare-brise, il n'y a plus de dépression.

2° Résistance d'une surface plane oblique au courant d'air. — Soit une surface plane AB inclinée par rapport à la direction du courant d'air d'un certain angle i (*fig. 18*). Cet angle s'appelle l'*incidence de AB*.

Dans ce cas, nous avons formation d'un spectre aérodynamique qui diffère du précédent en ce que la déviation des filets d'air n'est

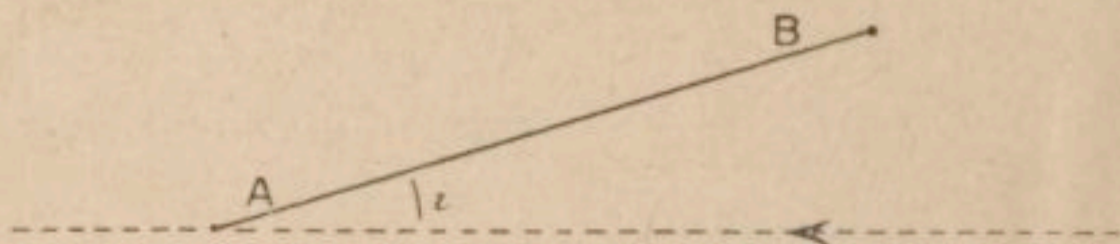


Fig. 18.

plus symétrique (fig. 19). On observe encore au-dessous de la plaque une pression et au-dessus une dépression, accompagnée de remous.



Fig. 19.

Mais on remarque que la valeur de la *dépression est plus forte que celle de la pression*, aux petits angles d'incidence. De plus, les dépressions les plus grandes se trouvent un peu en *R* du bord d'attaque.

Si l'on fait la somme des pressions et dépressions, on obtient une résultante *R* qui est inclinée de façon variable avec l'angle *i*, mais en général à peu près *perpendiculaire au plan* (fig. 20). La valeur

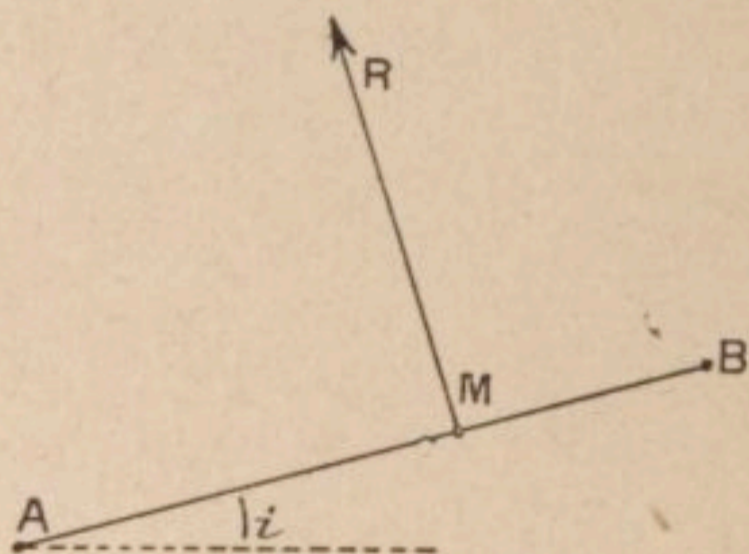


Fig. 20.

de cette résultante est donnée par une formule analogue à la première et l'on a encore

$$R = K_i S V^2.$$

K_i est encore un coefficient unitaire. Ce n'est plus le même que précédemment.

Il dépend toujours :

- a. De la forme de la surface;
- b. De la nature de la surface;
- c. De la densité de l'air;

d. En plus de ces éléments, il varie avec l'angle d'incidence i , mais sans loi précise. Il n'est pas proportionnel à cet angle, et suit une variation irrégulière lorsqu'on fait varier l'angle i . Mais, dans les angles d'incidence employés en aviation, le coefficient K_i ne cesse de croître quand l'angle augmente. Si l'on fait passer l'angle i de 0 à 90° , le coefficient K_i partira de 0 et se rapprochera de plus en plus de $0,08$, valeur qu'il atteindra quand le plan sera perpendiculaire au courant d'air. Nous allons voir ce que devient le centre de poussée M quand l'angle i varie.

Variation de la position du centre de poussée. — Supposons que nous ayons une surface plane OA susceptible de tourner autour du point O (fig. 21). Plaçons cette surface perpendiculairement au

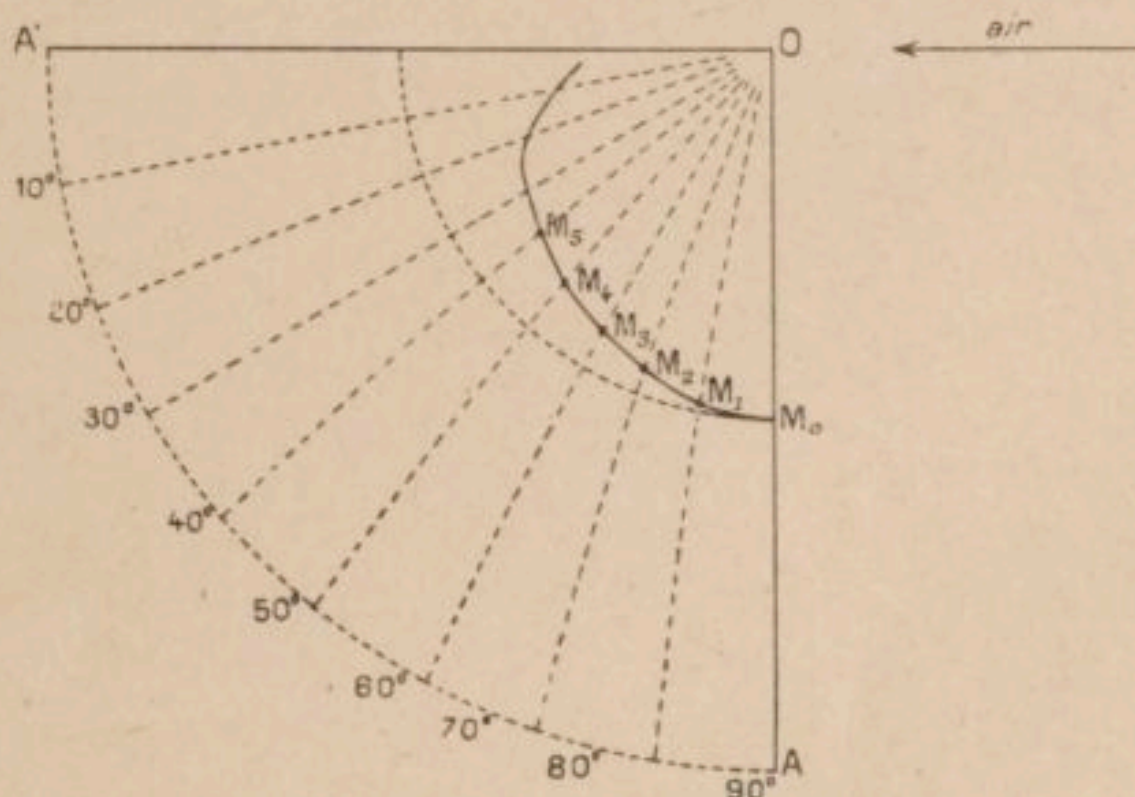


Fig. 21.

courant d'air arrivant comme la flèche. Nous avons vu que le centre de poussée M était alors au milieu de la plaque en M_0 . Faisons tourner le plan autour de O de façon à diminuer progressivement l'angle d'incidence i . Nous remarquons alors que le centre de poussée M se trouve successivement en M_1, M_2, M_3, \dots , c'est-à-dire qu'il se rapproche progressivement du bord N . Lorsque l'angle devient voisin de 0° , le centre de poussée est voisin du quart N du plan.

Décomposition de la résultante R. — Soit un plan OA incliné d'un angle i par rapport à l'air (fig. 22). Nous pouvons décomposer la

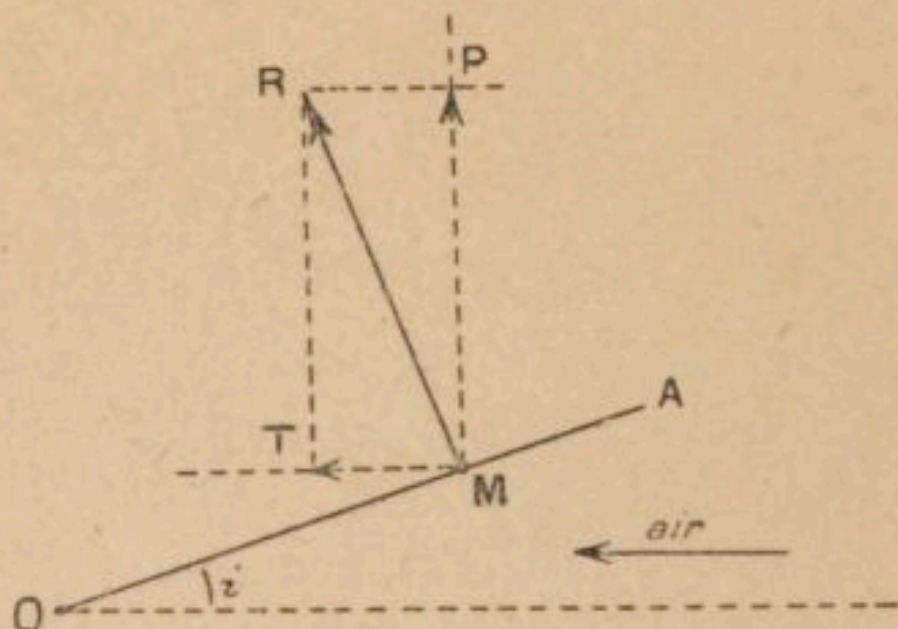


Fig. 22.

résultante R des forces de pression et de dépression en deux forces : l'une parallèle au courant d'air, l'autre perpendiculaire.

La première, MT ou simplement T, s'appelle *la traînée* ; l'autre, MP ou simplement P, s'appelle *la poussée*. On voit que T est une force qui tend à entraîner le plan dans le sens du courant. P est une force qui tend à soulever le plan. En aviation, ce sera cette force P qui produira *la sustentation en s'opposant au poids de l'appareil. Donc P est utile.*

Le déplacement horizontal des surfaces de l'avion, servant à la sustentation, est obtenu grâce à la traction de l'hélice. Cette traction produit donc une certaine vitesse de translation par rapport à l'air. Pour obtenir une résultante R suffisante pour soutenir l'appareil, il sera donc nécessaire d'avoir une vitesse de translation ayant une valeur minimum. En dessous de cette valeur minimum (pour certains avions : 100^{km} à l'heure), la sustentation est impossible ; l'avion est dit en *perte de vitesse*. Il cherche alors à tomber pour reprendre sa sustentation.

La force T, contrairement à P, s'opposera à l'avancement du plan, donc s'opposera à la traction de l'hélice. *Donc T est nuisible.*

On voit qu'on a, par conséquent, intérêt à avoir le rapport $\frac{T}{P}$ le plus petit possible. Ce rapport est ce qu'on nomme *la finesse*. En langage ordinaire, on dit souvent que l'on cherche à obtenir *une grande finesse*, ce qui signifie un rapport $\frac{T}{P}$ très petit.

Lorsqu'on examine les variations de T et de P quand l'angle

varie, on constate que la poussée est très grande et la traînée très petite *aux petits angles d'incidence*. La finesse est la meilleure pour des angles compris entre 0 et 15°. *Ce seront donc ces angles-là qui seront utilisés en aviation. Plus particulièrement, ce seront surtout*

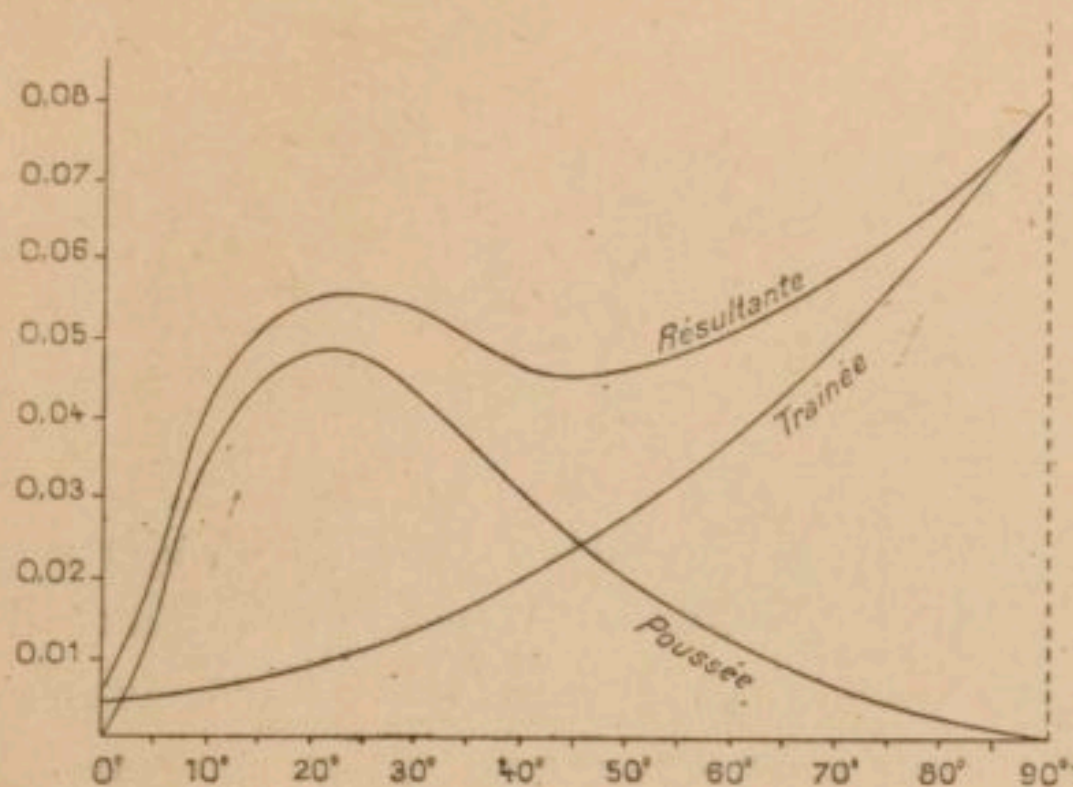


Fig. 23.

les angles compris entre 0 et 6°. Si l'on construit les courbes de variations de R, T, et P avec l'angle i , on obtient le tableau général ci-dessus (fig. 23).

Coefficients de traînée et de poussée. — Si nous considérons la résultante unitaire K_i , c'est-à-dire celle produite par l'unité de surface se déplaçant avec l'unité de vitesse, nous pouvons la décomposer en traînée et en poussée. Nous obtiendrons alors l'unité de traînée ou coefficient K_x (fig. 24), et l'unité de poussée ou coefficient K_y .

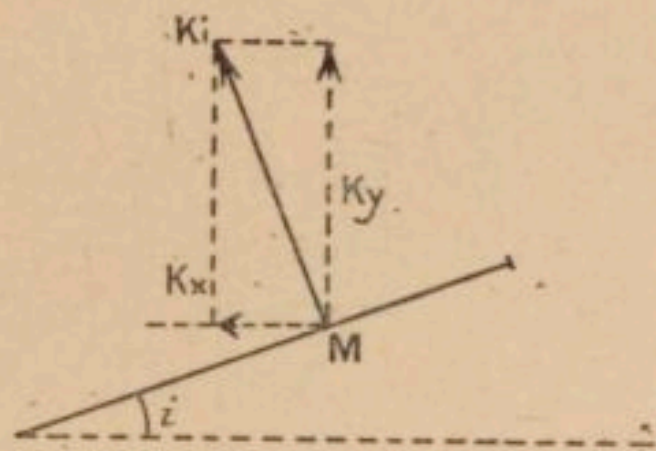


Fig. 24.

Le rapport $\frac{K_x}{K_y}$ du coefficient de traînée au coefficient de poussée est donc égal à la finesse ou $\frac{T}{P}$.

Le triangle $K_i M K_x$ étant rectangle, nous pouvons écrire

$$K_i^2 = K_x^2 + K_y^2.$$

De même que nous avons écrit

$$R = K_i SV^2,$$

nous pouvons évaluer la traînée et la poussée d'un plan par les formules

$$T = K_x SV^2$$

et

$$P = K_y SV^2.$$

Les coefficients K_x et K_y varieront avec l'angle d'incidence. On constate que la finesse augmente lorsqu'on emploie un plan dont l'allongement est plus grand. En effet, soit deux plans ABCD, A'B'C'D' de même surface dans un même courant d'air, et sous le même angle d'incidence (fig. 25). On constate que sur les deux

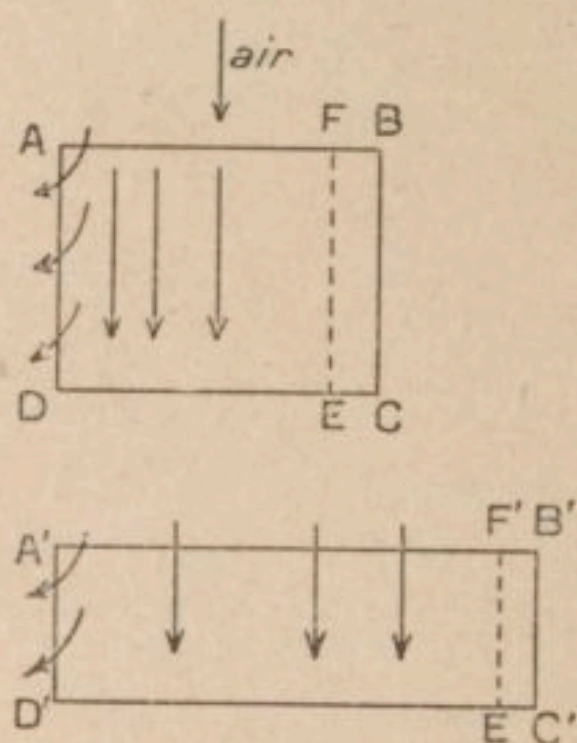


Fig. 25.

extrémités du premier, par exemple, les filets d'air glissent (voir les flèches) sur les côtés sans provoquer de sustentation. Ce sont les *pertes marginales*. Elles se produisent, par exemple, sur une surface égale à FBCE à chaque extrémité. Sur A'B'C'D', elles auront la même largeur, mais seront plus faibles puisqu'elles se produiront seulement sur la profondeur B'C'. La perte de sustentation sera donc plus faible pour A'B'C'D'. De plus, les extrémités produisent des remous qui augmentent la traînée. On a donc intérêt à augmenter l'allongement.

3° Résistance d'une surface courbe oblique au courant d'air.
— Soit une surface courbe AF faisant un angle i d'incidence

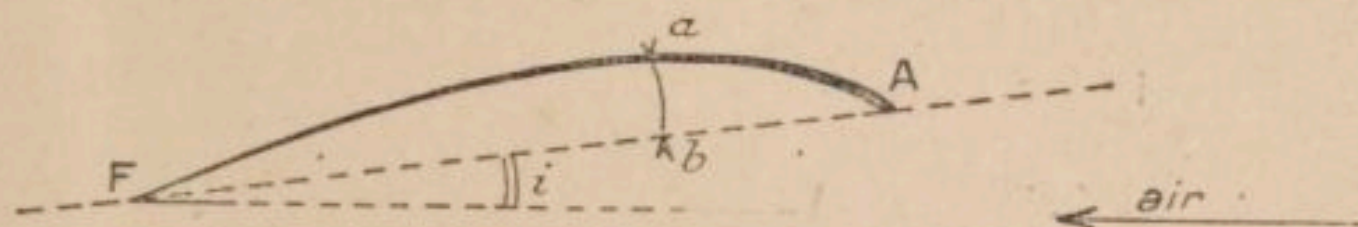


Fig. 26.

avec la direction du courant d'air (fig. 26). Pour définir cet angle i , il est nécessaire de donner les définitions suivantes :

Bord d'attaque. — C'est le bord A de la surface qui se trouve vers l'N dans le sens de marche.

Bord de fuite. — C'est le bord F qui se trouve vers l'R.

Corde de l'aile. — C'est la ligne imaginaire qui joint le bord d'attaque et le bord de fuite.

Angle d'incidence. — C'est alors l'angle entre la direction du courant d'air et la corde de l'aile.

L'aile étant courbe, on voit qu'il se trouve un certain espace entre la corde de l'aile et la face inférieure ou *face ventrale*.

La longueur de la plus grande perpendiculaire qu'on peut abaisser de la face ventrale sur la corde se nomme *la flèche* (c'est ab).

Lorsqu'une surface courbe fait ainsi un certain angle i avec un courant d'air, on constate l'existence d'un spectre aérodynamique à peu près semblable à celui de la surface plane précédente. Mais on remarque que *les pressions ventrales et les dépressions dorsales surtout sont beaucoup plus accentuées*. En moyenne, les dépressions sont trois fois plus importantes que les pressions.

On a, comme précédemment aussi, une certaine résultante R dont la position est variable avec i , mais qui, en général, est à peu près perpendiculaire à la corde de l'aile.

La valeur de cette résultante est encore donnée par la formule

$$R = K_i S V^2.$$

K_i est encore un coefficient unitaire. Ce n'est plus le même que précédemment. Il est plus considérable.

Il dépend comme précédemment :

- a. De la forme de la surface;
- b. De la nature de la surface;
- c. De la densité de l'air;
- d. De l'angle d'incidence.

Il varie, de plus, avec le type de la courbure de l'aile et avec la flèche. Comme précédemment, il augmente avec l'angle d'incidence. Mais, contrairement à ce qui se passe pour les surfaces planes, le coefficient K_i , dans ce cas, ne part pas de 0 quand l'angle i est nul. Avec une surface courbe, l'air provoque sur cette surface une certaine résistance, même avec $i = 0^\circ$.

Nous allons voir ce que devient le centre de poussée M quand i varie.

Variation de la position du centre de poussée. — Supposons que notre surface, comme précédemment, puisse osciller autour de O , l'air venant dans le sens de la flèche (fig. 27). Plaçons-la perpendi-

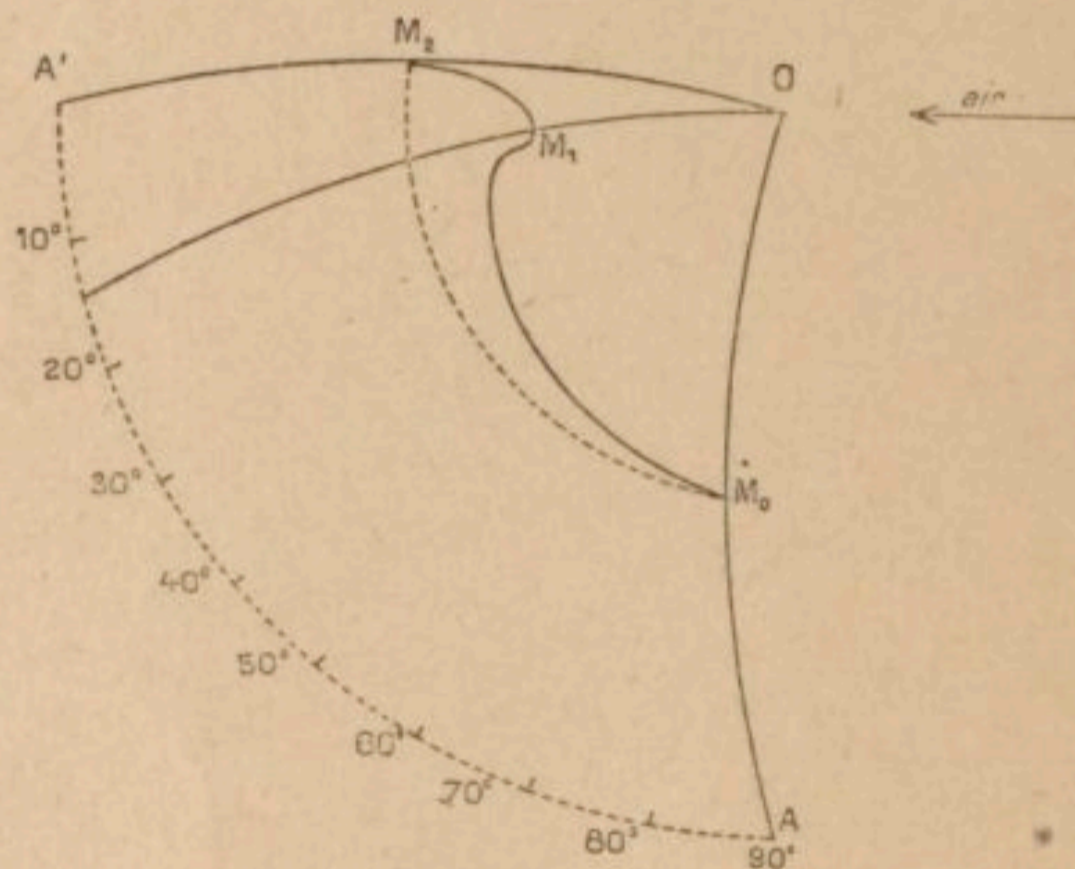


Fig. 27.

culairement au courant. Le centre de poussée sera sensiblement au milieu, en M_0 . Diminuons progressivement l'angle d'incidence. Le point M_0 va se déplacer et se rapprocher du bord d'attaque, et cela jusque vers un angle de 15° . Puis, brusquement, si nous continuons le mouvement, le point M reviendra en A et finalement se trouvera sensiblement au milieu de l'aile, en M_2 quand l'angle sera 0° .

Nous avons vu qu'en aviation on cherchait à obtenir une finesse la meilleure possible. Or, on remarque que la finesse d'une aile

courbe est bien meilleure que celle d'une aile plane. La finesse sera encore la meilleure aux petits angles d'incidence et, en particulier, aux angles compris entre 0 et 6°.

Ceci nous montre qu'en ce qui concerne les angles employés, le déplacement du centre de poussée est inverse avec les deux sortes d'ailes.

a. Avec une aile plane, il se rapproche du quart N quand l'angle passe de 6° à 0°;

b. Avec une aile courbe, il se rapproche du milieu quand l'angle passe de 6° à 0°.

En règle générale, pour les ailes courbes, le centre de poussée est situé aux environs du tiers N aux angles employés couramment.

Dans les bonnes ailes, on arrive à un rapport $\frac{K_x}{K_y} = 0,06$, c'est-à-dire que pour 6^{kg} de traînée on a 100^{kg} de poussée.

Ce rapport caractérise la qualité d'une aile. Il varie avec le type de courbure employé et la forme générale de l'aile. Comme pour les plans, on a intérêt à augmenter l'allongement.

L'angle d'attaque de l'aile qui donne la meilleure finesse s'appelle *angle optimum*.

Remarque. — Une surface courbe peut donner une poussée même avec une *incidence négative*.



Fig. 28.

Dans le cas de la figure 28, l'aile se présente avec une incidence négative. Si nous considérons le spectre aérodynamique d'une aile

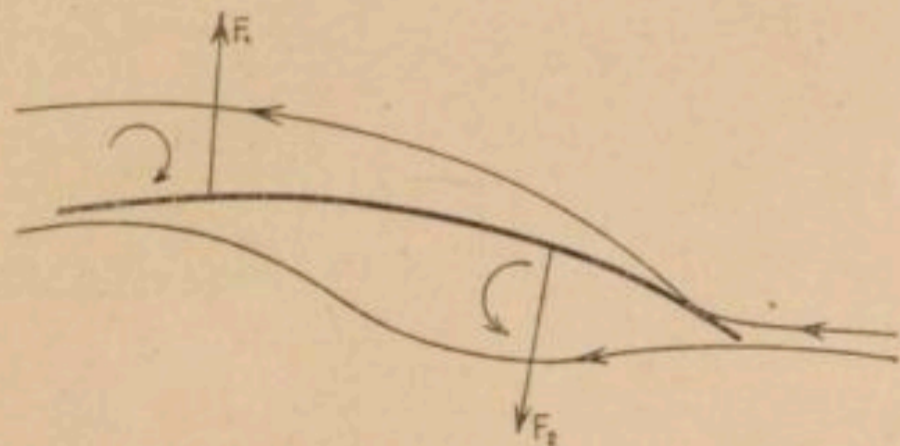


Fig. 29.

à incidence négative, nous remarquons qu'il se produit toujours au-dessus une dépression (fig. 29). En effet, les filets d'air, se servant

du bord d'attaque comme d'une sorte de tremplin, sont déviés vers le haut malgré l'angle négatif. Au-dessous, il se produit également une dépression. Soient F_1 la dépression dorsale et F_2 la dépression ventrale. Il est évident que tant que F_1 sera plus grand que F_2 , il y aura une poussée de bas en haut.

4° **Résistance des corps quelconques à l'avancement.** —
a. Considérons une sphère située dans un courant d'air (fig. 30).

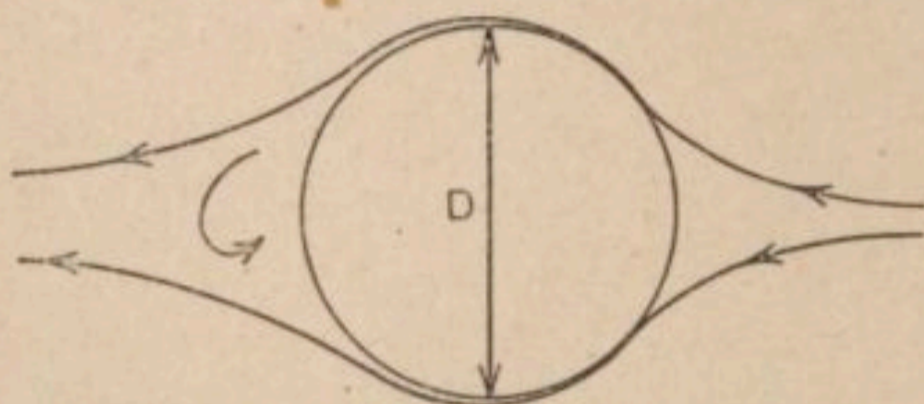


Fig. 30.

Soit D son diamètre. On constate que cette sphère offre 6 fois moins de résistance qu'un cercle de diamètre D normal au courant. Ce résultat provient de ce que la sphère bouche une partie de la dépression qui se produit avec le simple cercle plat. L'aspiration est donc moins violente. A l' N , la résistance devient moins grande également, l'air étant dévié plus régulièrement.

b. De même un cylindre se déplaçant parallèlement à son axe offrira moins de résistance qu'un cercle de base seul. L'allongement du cylindre fait varier la résistance.

Si l'on termine les deux extrémités du cylindre par deux demi-sphères (fig. 31), la résistance diminue encore sensiblement. C'est

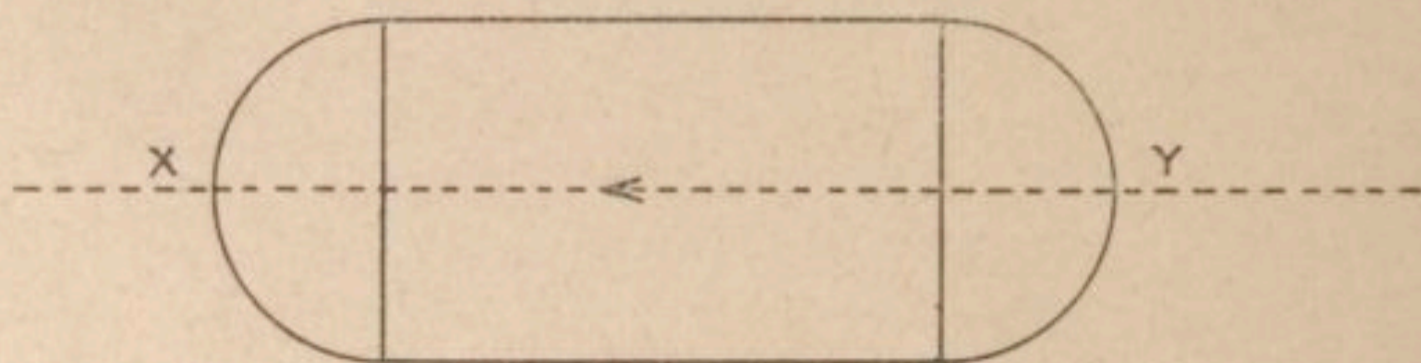


Fig. 31.

toujours par suite de la diminution de la dépression R et de la meilleure pénétration de l' N .

c. Considérons maintenant un corps constitué par une demi-

sphère et un cône. *C'est un corps sphéro-conique.* Plaçons-le dans un courant d'air allant dans le sens de la flèche (fig. 32 et 33). Nous consta-

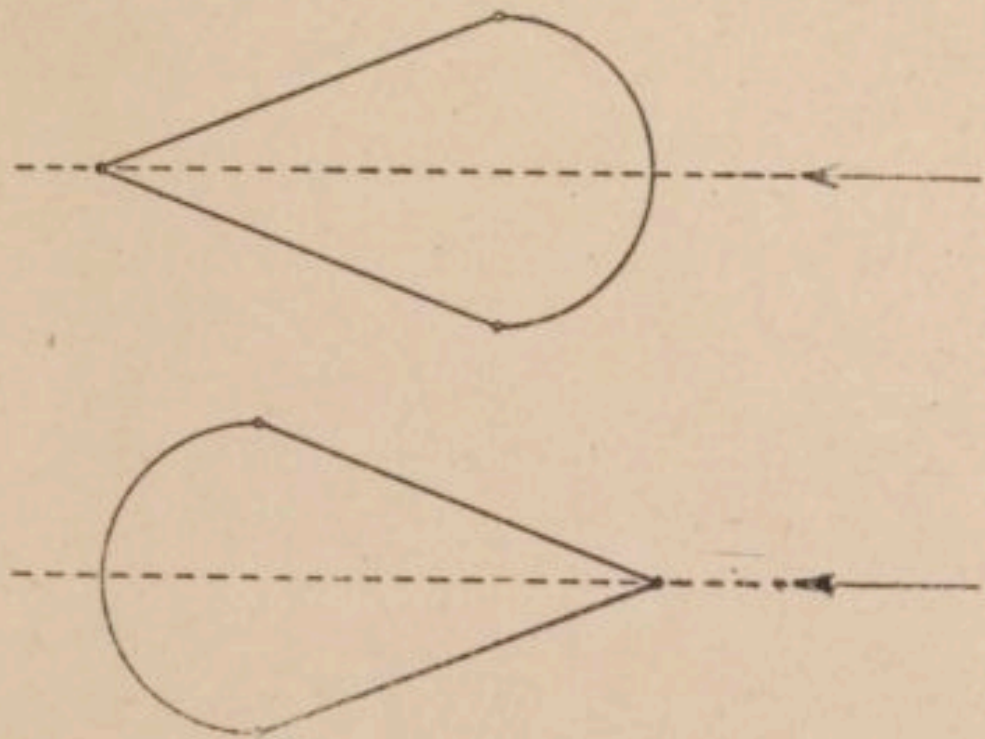


Fig. 32 et 33.

terons que *la résistance offerte par le corps sera double dans le cas où le cône sera vers l'N (fig. 33) de celle produite dans le cas où le cône sera vers l'R (fig. 32).* Dans ce dernier cas, *la résistance est 12 fois plus petite que celle du disque plat de même diamètre.*

On remarque, par conséquent, en comparant la sphère et le corps sphéro-conique dans la position de la figure 32, que :

- 1° La sphère donne 6 fois moins de résistance que le disque plat de même diamètre;
- 2° Le corps sphéro-conique donne 12 fois moins de résistance que le disque plat de même diamètre.

On voit qu'on a tout intérêt, pour obtenir la moindre résistance à l'avancement des corps, à les allonger *et surtout vers l'R.*

On arrive, par expérience, à déterminer alors la meilleure forme pour la pénétration des corps dans l'air. Cette forme est celle dite *forme fuselée.*

Corps fuselés. — Avec un corps dit « fuselé », les filets d'air, à l'N, produisent un choc plus atténué par suite de la forme arrondie comme sur la figure 34. A l'R, le fait d'allonger le corps *produit la suppression de la dépression* et permet aux filets d'air de se rejoindre sans chocs et sans remous. On remarque, en résumé, que l'R du corps est beaucoup plus allongé que l'N. Les expériences montrent, d'autre part, *que la forme de l'N a beaucoup moins d'importance*

que celle de l'*R*. Si l'*N* se termine par une partie plate, par exemple, il se forme à l'*N* une sorte de tampon d'air élastique qui accom-

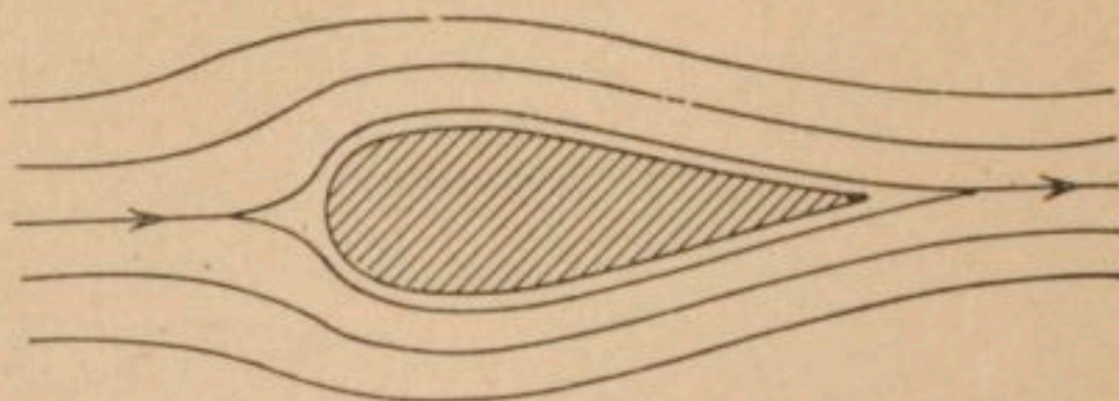


Fig. 34.

pagne le corps et qui joue un peu le rôle de la demi-sphère du corps sphéro-conique (fig. 35).

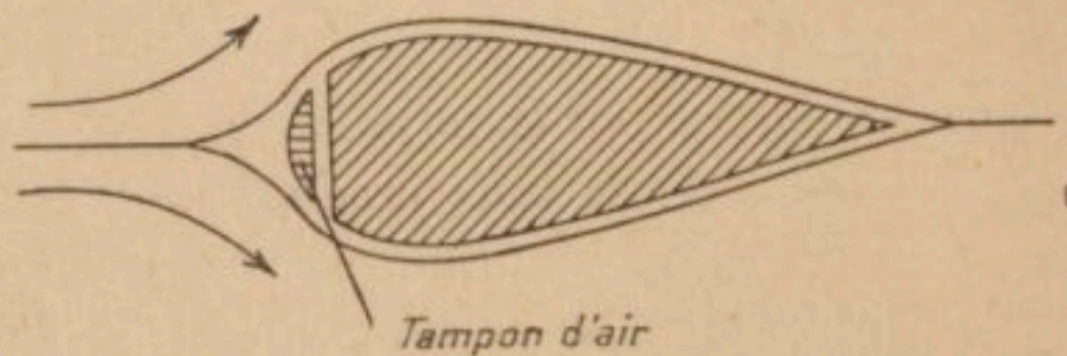


Fig. 35.

La section de plus grand diamètre du corps fuselé se nomme *maître-couple*. Les proportions les meilleures pour les vitesses normales actuelles sont les suivantes (fig. 36) :

$$\text{maître-couple } AB = \frac{1}{5} \text{ à } \frac{1}{3} \text{ de } CD,$$

$$CO = \frac{1}{3} CD.$$

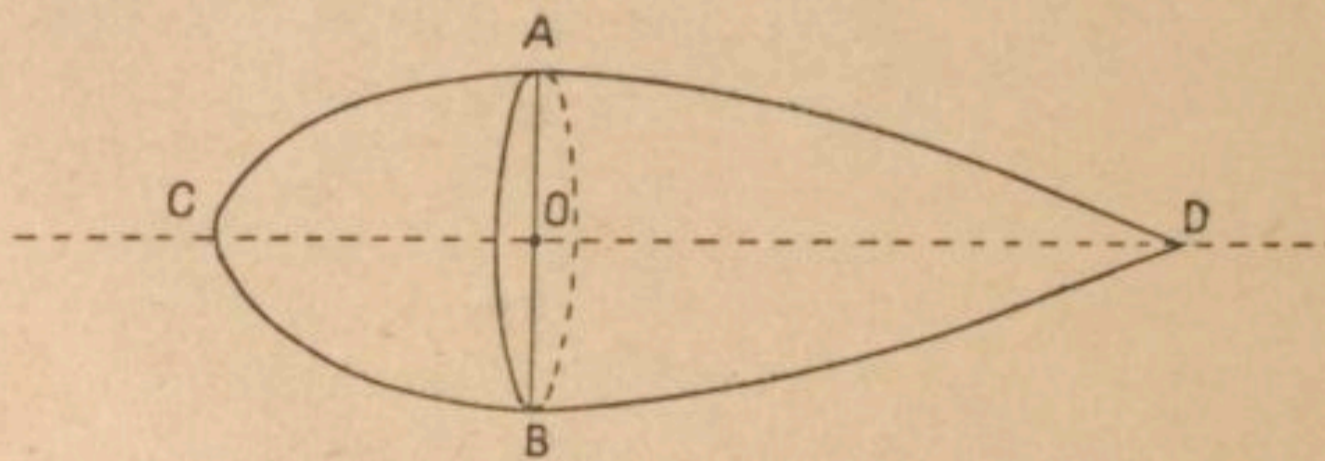


Fig. 36.

Un morceau de savon plongé dans un courant d'eau prend de lui-même une forme qui est sensiblement la forme fuselée.

Si l'on diminue l'allongement de l' \mathcal{R} , on laisse de nouveau se former une dépression (*fig. 37*), on augmente donc la résistance.

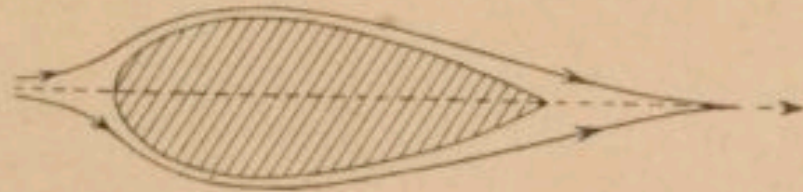


Fig. 37.

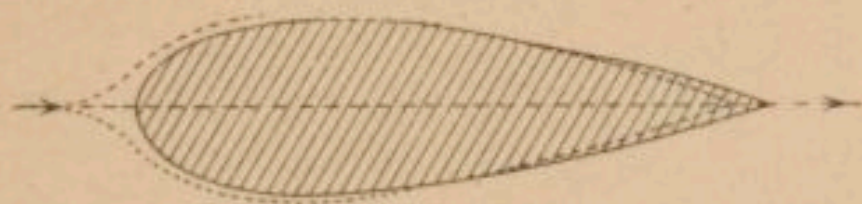


Fig. 38.

Si l'on allonge, au contraire, l' \mathcal{R} plus que la normale (*fig. 38*), on augmente également la résistance, car il se produit un frottement des filets d'air sur l' \mathcal{R} qui est retardateur. Ce frottement produit d'ailleurs également une poussée vers l' \mathcal{A} , mais celle-ci est plus faible que la force de frottement dirigée vers l' \mathcal{R} . On voit, sur la figure 38, que les filets d'air ont tendance à suivre le pointillé et par conséquent provoquent un frottement sur le corps.

Pour évaluer la résistance sur les corps quelconques, on se sert d'une formule du même genre que les précédentes.

On a encore

$$R = KSV^2.$$

Pour S , on prend la surface du maître-couple. Le coefficient K varie avec la forme. Par exemple, pour une sphère, on prendra

$$K = 0,011;$$

Pour un cylindre de hauteur = 4 rayons,

$$K = 0,05;$$

Pour un corps sphéro-conique, sphère en avant,

$$K = 0,005, \dots$$

d. La résistance des fils et des câbles par mètre courant est donnée par une formule de même forme que les précédentes :

$$R = K dV^2;$$

d représente le diamètre du fil. K est voisin de 0,06.

A propos des fils, il faut penser que leur résistance augmente beaucoup lorsqu'ils vibrent par suite de l'espace (en pointillé) qu'ils « balayent » (fig. 39) et des remous qu'ils créent. Il faut donc

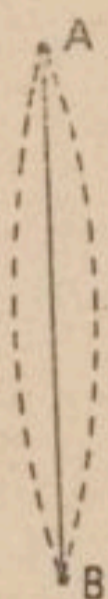


Fig. 39.

supprimer, autant que possible, les vibrations pour améliorer la vitesse.

En résumé, pour diminuer la résistance des corps à l'avancement, il faut rapprocher leur forme de celle du corps fuselé et diminuer le plus possible le nombre des angles vifs et des parties où l'air pourrait « s'accrocher ».

Finesse d'un avion. — Elle s'exprime par la même formule que la finesse d'une aile.

Nous aurons donc

$$F_{av} = \frac{T}{P}.$$

Comme pour l'aile seule, nous aurons intérêt à obtenir ce rapport aussi petit que possible. On remarque alors que *la finesse d'un avion est forcément moins bonne que celle d'une aile*. En effet, lorsqu'une aile est portée par un avion, elle offre à l'avancement une certaine résistance qui est sa *traînée propre*.

Cette traînée provient donc d'une *surface utile* : l'aile. Nous l'appellerons T_u . A cette traînée de la surface utile s'ajouteront toutes les traînées des autres parties de l'avion : train d'atterrissage, fuselage, commandes, radiateur, pare-brise, etc. La somme de ces traînées formera ce que nous appellerons la *traînée des surfaces nuisibles* : T_n . La traînée totale de l'avion sera donc égale à la somme $T_u + T_n$. On peut admettre, d'autre part, que certaines parties de l'avion,

telles que le fuselage, par exemple, peuvent donner une poussée supplémentaire. Mais cette poussée étant toujours faible par rapport aux traînées supplémentaires T_n , il en résulte que la finesse de l'avion $\frac{T_u + T_n}{P}$ sera beaucoup moins bonne que celle de l'aile seule $\frac{T_u}{P}$. L'angle d'attaque qui donnera à l'avion sa meilleure finesse s'appellera, comme pour l'aile, *angle optimum*.

On arrive normalement à un rapport

$$\frac{T_u + T_n}{P} = 0,13 \text{ à } 0,12.$$

Dans les très bons avions, on peut abaisser ce rapport à 0,11 ou même 0,10 dans certains cas. On voit que les formes d'un avion interviennent autant que l'aile dans la finesse puisqu'on a vu qu'une aile pouvait donner un rapport

$$\frac{T}{P} = 0,06 \text{ environ.}$$

Nous reparlerons de cette question plus loin.

Équilibre d'un avion en vol. — Ce Chapitre concerne l'étude de toutes les forces agissant en vol sur un avion, et des conditions à réaliser pour que l'avion soit en *position d'équilibre, c'est-à-dire que son mouvement soit uniforme*.

Avant de commencer cette étude, donnons deux définitions essentielles à connaître.

Considérons un avion sur le sol, au moment où il commence à rouler pour le départ. Il se trouve dans la position de la figure 40.

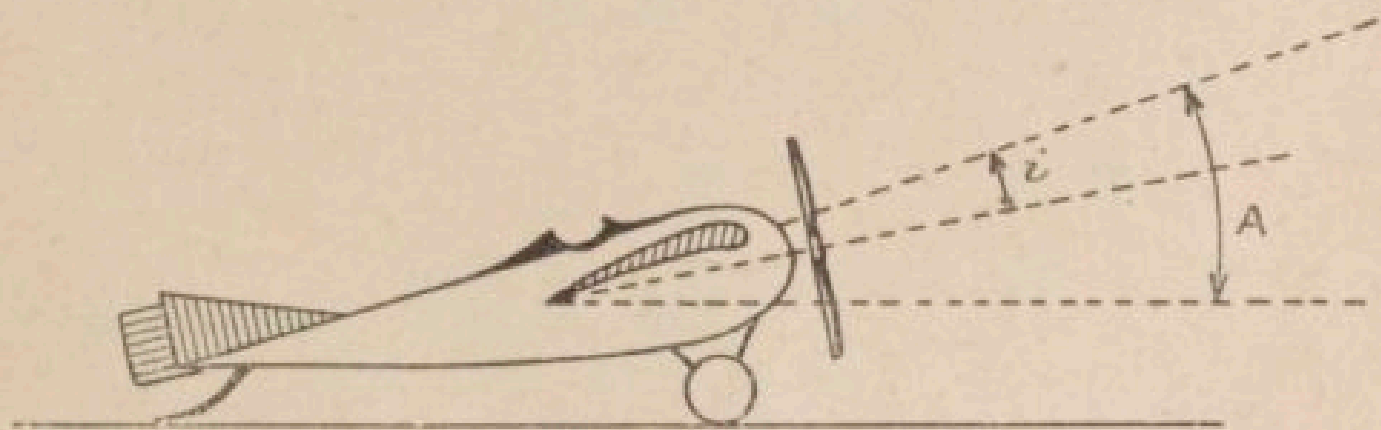


Fig. 40.

Prolongeons l'axe du moteur et la corde de l'aile. Menons, d'autre part, une droite parallèle au sol.

Angle d'incidence. — C'est l'angle formé par la corde de l'aile et l'axe du moteur, soit i .

Angle d'attaque. — C'est l'angle formé par la corde de l'aile et la direction des filets d'air, soit A .

Dans le cas de la figure, cette direction est la parallèle au sol.

On remarque donc que *l'angle d'incidence est invariable et l'angle d'attaque varie constamment.*

En effet, lorsque l'avion roulera, la queue levée, l'angle d'attaque pourra devenir nul. Dans le langage courant, on emploie souvent *incidence pour attaque.*

L'étude de l'équilibre de l'avion en vol comportera trois parties :

- 1^o Équilibre en vol horizontal;
- 2^o Équilibre en vol, montée;
- 3^o Équilibre en vol, descente.

Nous verrons ensuite différents cas pouvant se présenter en vol.

1^o *Équilibre en vol horizontal.* — Considérons un avion en vol horizontal (*fig. 41*). La première force à considérer qui agit sur l'avion,

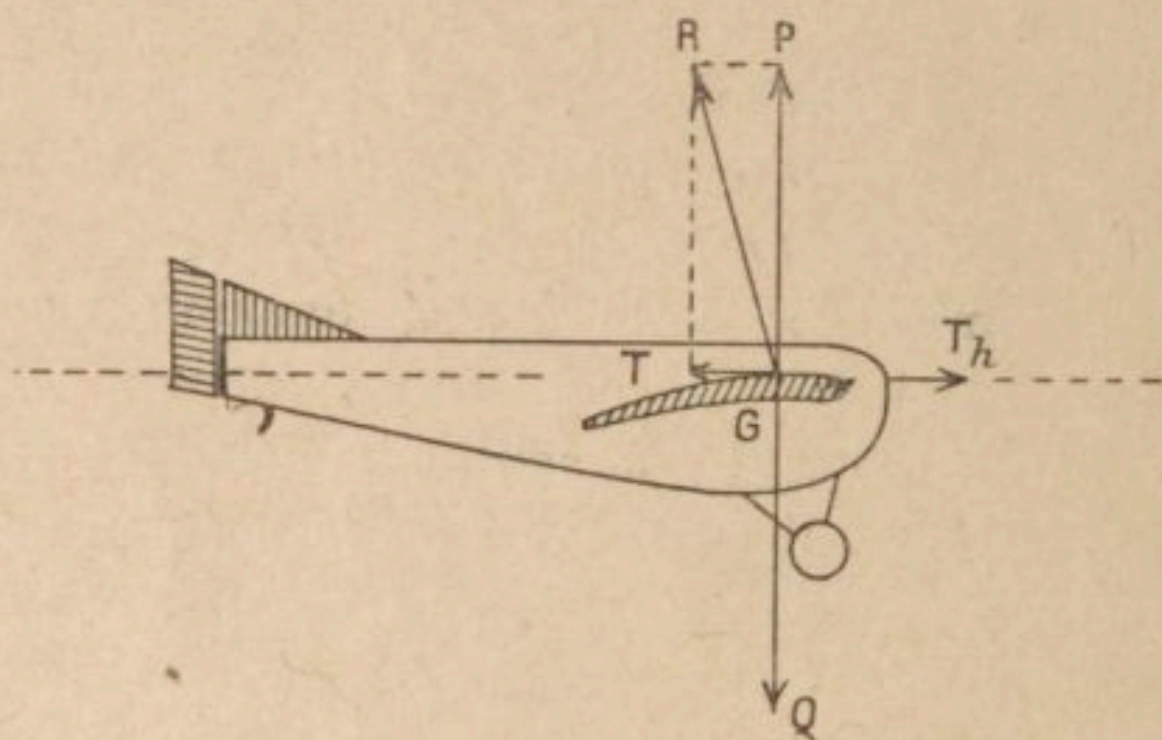


Fig. 41.

même au repos, est la pesanteur, égale au poids de l'avion, et dirigée verticalement de haut en bas. Elle s'applique au centre de gravité de l'avion : **G**.

Sur l'avion agissent en vol un ensemble de pressions et de dépressions que nous représenterons par une force unique **R** ayant son point d'application aux environs du tiers AV de l'aile. Nous pouvons

la décomposer en deux forces : l'une parallèle aux filets d'air (ou à la trajectoire), ce sera la traînée totale T ; l'autre perpendiculaire aux filets d'air, ce sera la poussée totale P . Nous avons enfin une dernière force : la traction de l'hélice T_h qui est opposée à la traînée. Nous admettrons que les forces R , T_h et Q passent toutes par G , centre de gravité de l'avion.

Pour que l'avion soit en équilibre, il faut que les quatre forces : traînée, traction, poussée, pesanteur, s'équilibrent deux à deux.

On doit donc avoir :

$$T_h = T,$$

$$P = Q.$$

Supposons que la traction diminue; alors, l'équilibre sera rompu, et T étant supérieure à T_h , l'avion ralentira. En même temps, la vitesse diminuant, la poussée diminuera, et deviendra inférieure à Q ; l'avion descendra si le pilote ne manœuvre pas d'une façon spéciale, que nous verrons plus loin.

Par conséquent, en vol horizontal à vitesse uniforme, la traction de l'hélice n'est pas plus grande que la traînée. Elle lui est égale. De même, la poussée est égale au poids, mais ne lui est pas supérieure.

2° Équilibre en montée. — Soit un avion en montée (fig. 42).

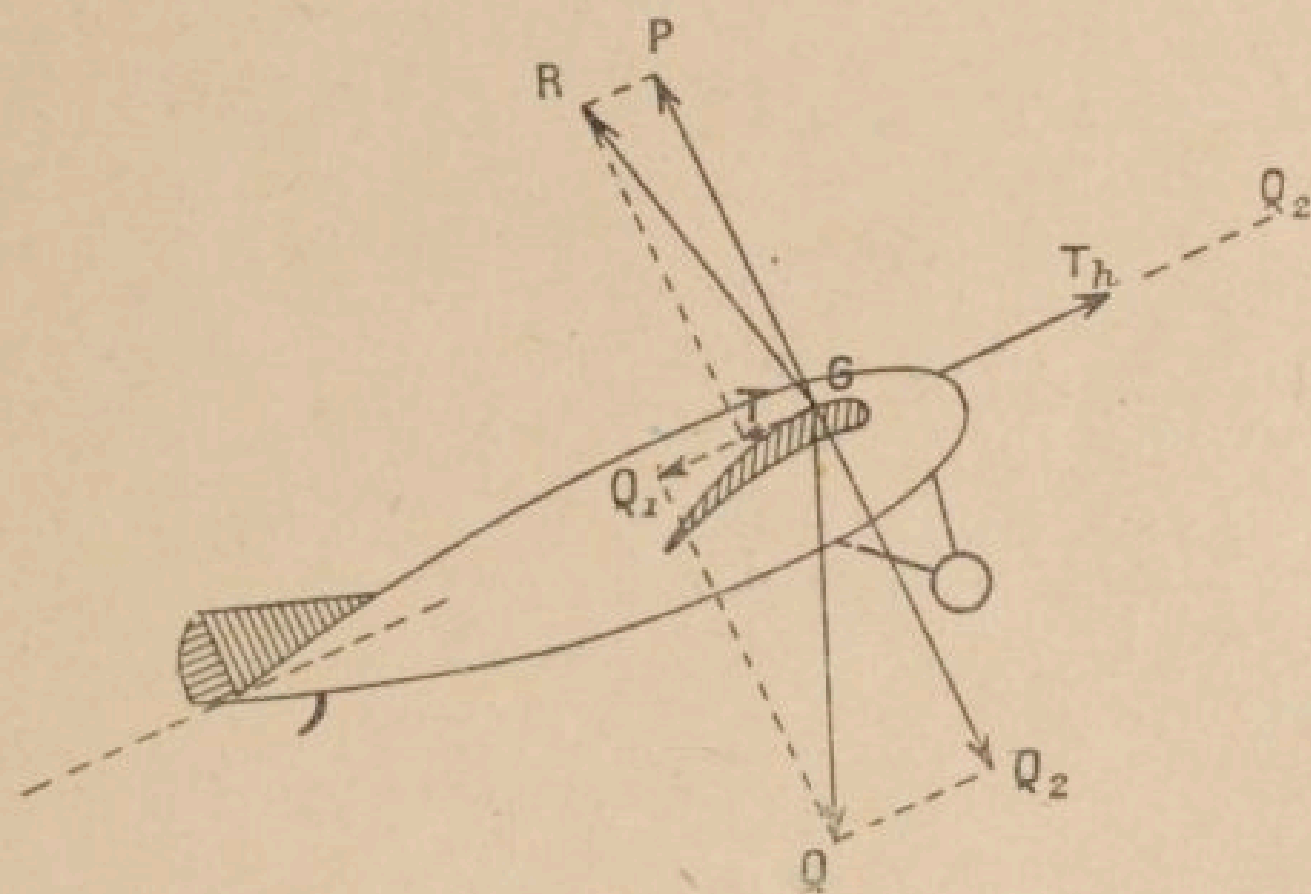


Fig. 42.

Nous décomposons encore R en deux forces : T et P , respectivement parallèle et perpendiculaire à la trajectoire. Nous pouvons aussi décomposer le poids Q en deux forces : l'une Q_1 parallèle à la

trajectoire, l'autre Q_2 perpendiculaire à la trajectoire. La composante Q_1 est donc dirigée dans le même sens que T et Q_2 dans le sens opposé à P . Nous avons toujours la traction T_h . Pour que l'équilibre ait lieu, c'est-à-dire pour que l'avion tienne normalement sur sa trajectoire, il faut que l'on ait :

$$P = Q_2,$$

$$T_h = T + Q_1.$$

On remarque qu'à la traînée T s'ajoute donc la composante Q_1 de la pesanteur. Plus l'inclinaison de l'avion est grande, plus cette force est considérable et retient l'avion.

Si nous considérons un avion représenté par son centre de gravité G (fig. 43), l'avion étant en montée. Au bout d'un certain temps, le

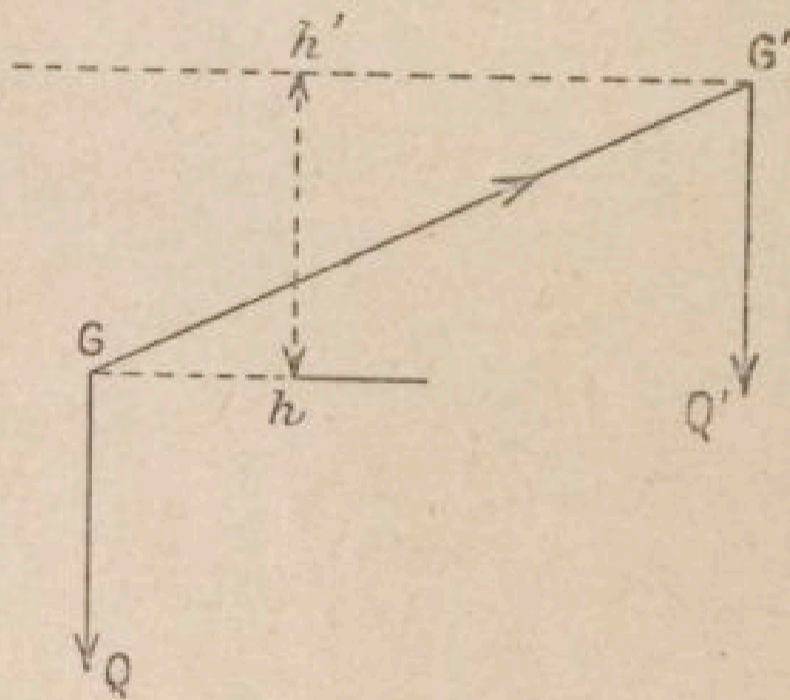


Fig. 43.

point G sera en G' . La force Q , représentant le poids, aura donc été déplacée verticalement de la différence des niveaux hh' . Il y aura donc eu un travail supplémentaire égal à $Q \times hh'$ kilogrammètres.

Dans le cas de l'avion en montée, on remarque que, lorsqu'il y a équilibre, la poussée est inférieure au poids de l'avion, puisqu'elle doit être égale à la composante Q_2 , plus petite que Q .

3° *Équilibre en descente.* — Soit un avion en descente (fig. 44). Nous avons encore R qu'on peut décomposer comme précédemment en T et P . Le poids Q peut aussi être décomposé en deux forces, l'une Q_1 , parallèle à la trajectoire, et dirigée dans le même sens que la marche; l'autre Q_2 , perpendiculaire à la trajectoire, et opposée par conséquent à P . Nous avons encore T_h . Pour que l'équilibre

ait lieu, il faut avoir :

$$\begin{aligned} P &= Q_2, \\ T &= T_h + Q_1, \end{aligned}$$

ou encore

$$\begin{aligned} P &= Q_2, \\ T_h &= T - Q_1. \end{aligned}$$

On remarque qu'à la traction T_h s'ajoute donc la composante Q_1 de la pesanteur. C'est ce qui explique la fatigue supportée par un

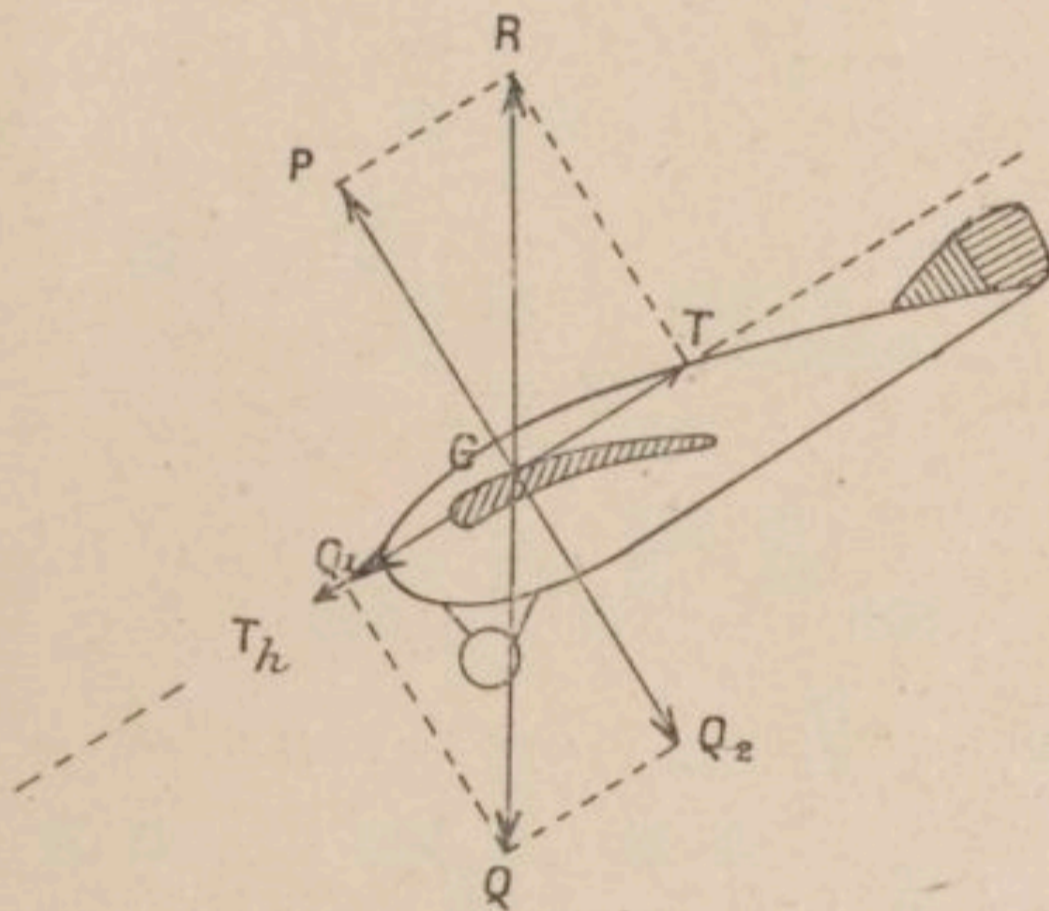


Fig. 44.

avion dans une descente avec moteur à pleine puissance. En effet, pour qu'il y ait équilibre, l'avion se mettant en position de descente avec le moteur en marche, il est nécessaire que la vitesse augmente dans de grandes proportions pour que T puisse augmenter. Et T augmentera jusqu'à ce qu'elle soit égale à $T_h + Q_1$.

Si l'avion a une inclinaison suffisante, la composante Q_1 peut devenir assez grande pour qu'on puisse supprimer la traction T_h de l'hélice. A ce moment, *on descendra en vol plané*. La descente pourra s'effectuer sous un *angle de planement* d'autant plus petit que l'avion sera plus « fin ».

DIFFÉRENTS CAS POUVANT SE PRÉSENTER. — 1^o *Avion en virage*. — Soit un avion en virage (fig. 45). Son poids Q est appliqué au centre de gravité suivant la verticale. Par suite de la force centrifuge, l'avion est soumis à la force C qui tend à le déporter vers l'extérieur du virage.

La composante V de la résultante R (V étant située dans un plan vertical) peut se décomposer en deux forces P_1 et P_2 , l'une P_1 opposée

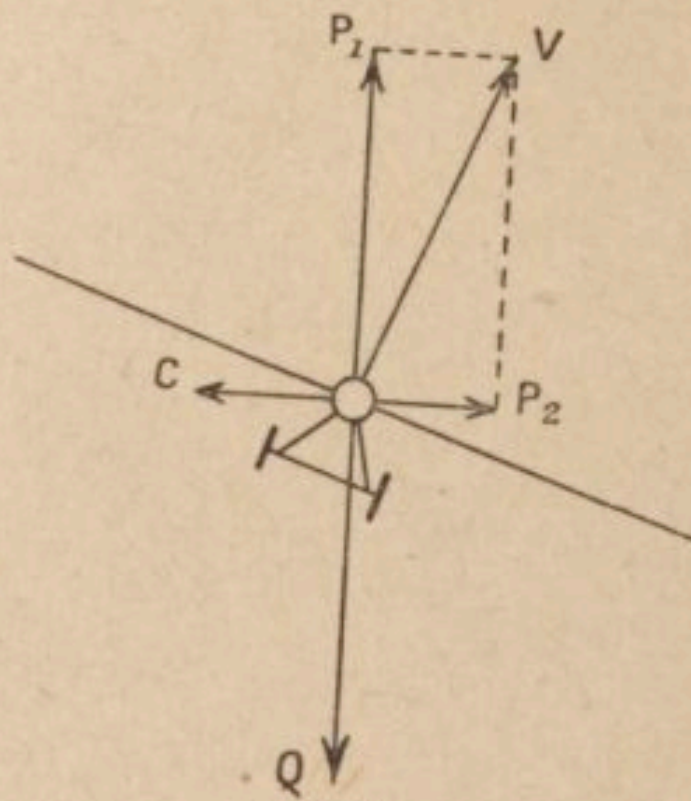


Fig. 45.

à Q et l'autre P_2 opposée à la force centrifuge C . Cette force P_2 empêche l'avion de « chasser » vers l'extérieur.

2° *Vol horizontal à différents régimes.* — Il est possible de voler suivant une trajectoire horizontale de différentes façons.

Si l'on appelle T_h la traction de l'hélice et d le déplacement de l'avion par seconde, la puissance nécessaire à l'avion sera

$$P = T_h \times d.$$

Mais d égale la vitesse V ; donc on a

$$P = T_h \times V.$$

La puissance sera donc minimum quand $T_h \times V$ sera minimum. Or, il existe un angle d'attaque qui correspond au minimum de puissance permettant la sustentation

Représentons graphiquement les variations de puissance et d'angle d'attaque (fig. 46). Soient deux axes rectangulaires OY , OX . Sur OY , appelé *axe des ordonnées*, portons les valeurs de la puissance au moyen d'une unité quelconque (par exemple 1^{cm} pour 20 chevaux) et sur OX , appelé *axe des abscisses*, portons les valeurs différentes que peut prendre l'angle d'attaque. Un certain angle i correspondra au *minimum de puissance*, représenté en M . Avec un angle plus petit ou plus grand, la puissance nécessaire augmentera.

Il est donc évident que puisque la puissance, en vol horizontal, peut redevenir ce qu'elle était quand i augmente : qu'à une même

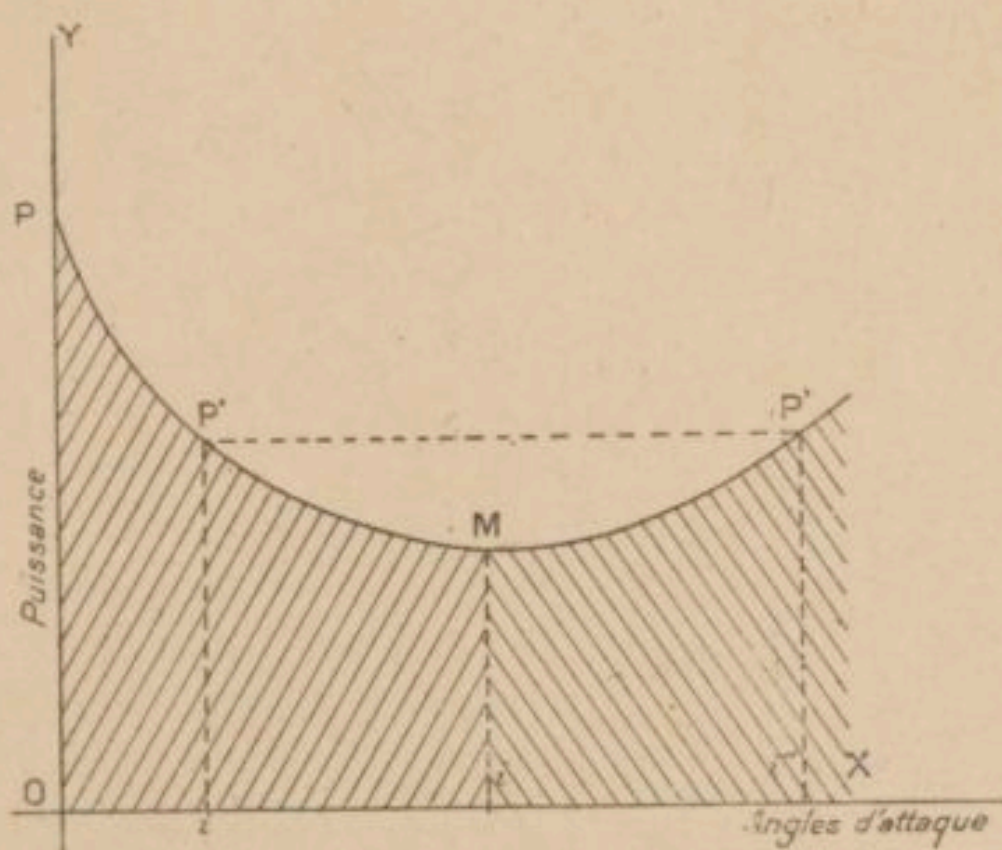


Fig. 46.

puissance P' correspondent deux angles d'attaque i' et i'' , donc deux

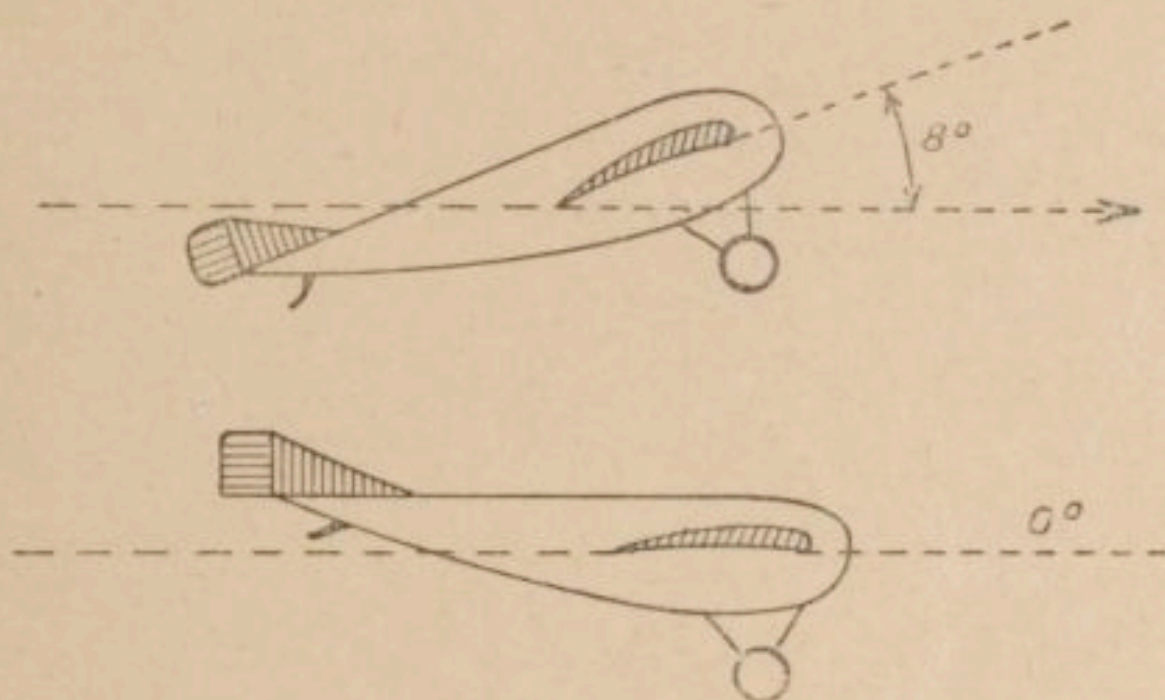


Fig. 47.

vitesses. Avec un angle $< i$, on volera à un régime rapide. Avec un angle $> i$, à un régime lent (fig. 47).

3° Montée « en chandelle » (fig. 48). — Si un avion fait une montée « en chandelle » (ce qui se produit quand le pilote, après avoir fait prendre beaucoup de vitesse à l'avion, tire brusquement sur le manche), la poussée prend subitement une valeur beaucoup plus grande, l'angle d'attaque ayant beaucoup augmenté. Par suite de

la trop grande inclinaison, la vitesse de l'avion sur sa trajectoire diminue très rapidement.

Si nous décomposons la force de traction T_h en deux : l'une T_1 verticale, l'autre T_2 horizontale, nous voyons que T_1 servira directement à la sustentation. Il se peut que l'avion, par conséquent, continue un instant à monter, bien que la poussée soit insuffisante seule.

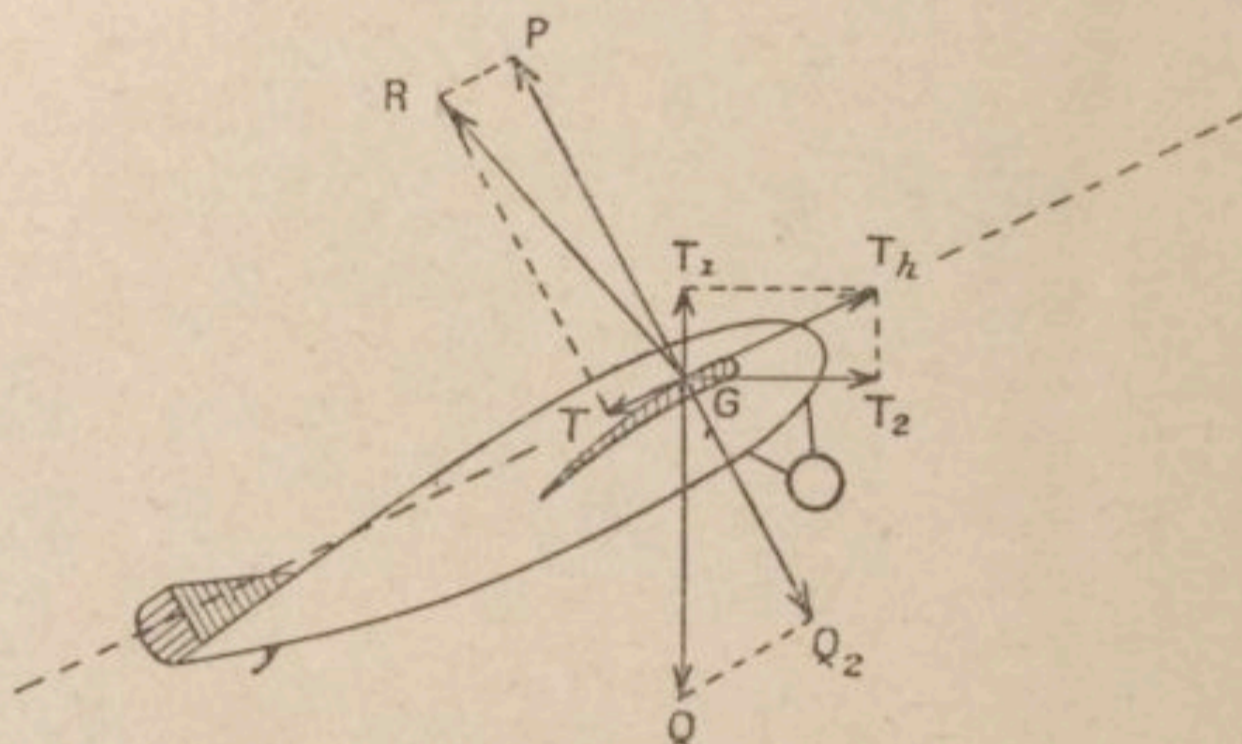


Fig. 48.

La vitesse diminue de plus en plus, la poussée également par conséquent, et l'avion monte de moins en moins vite. Lorsque l'avion cesse de pouvoir monter, sa trajectoire devient horizontale (fig. 49).

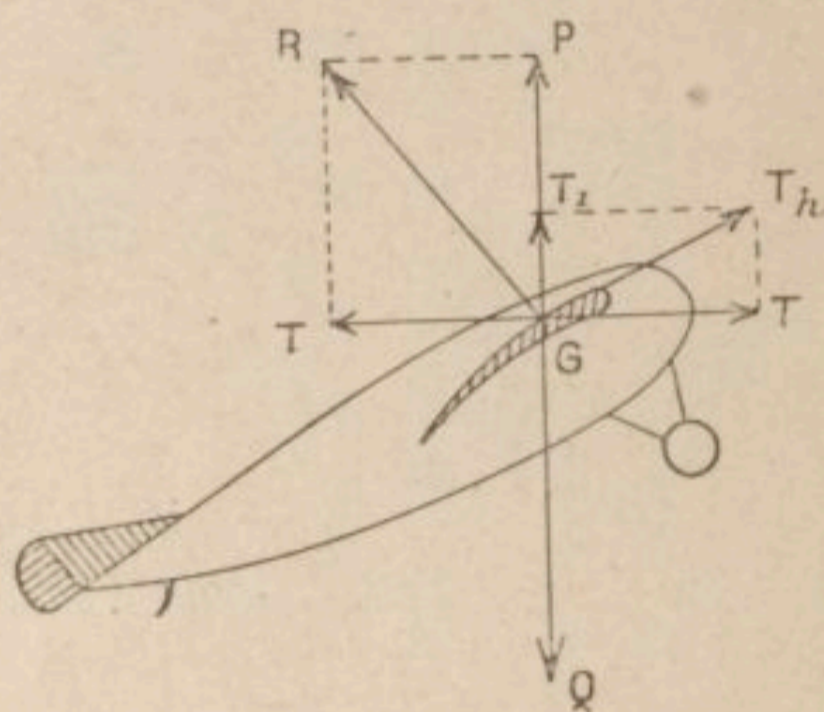


Fig. 49.

A ce moment, les forces se décomposent, comme sur la figure et l'on a comme équilibre :

$$\begin{aligned} P + T_1 &= Q, \\ T &= T_h. \end{aligned}$$

Supposons qu'à ce moment le moteur ait une panne brusque. La force T_1 cesse brusquement d'exister. L'équilibre est rompu, car P est plus petit que Q et l'avion tombe pour reprendre sa vitesse. D'où le danger de la montée en chandelle près du sol. Le même danger existe pour le vol au ralenti sous un grand angle d'attaque près du sol.

II. — APPLICATIONS DE L'AÉRODYNAMIQUE AUX AVIONS.

Nous avons vu que la finesse d'un avion était le rapport $\frac{T_u + T_n}{P}$ de la traînée totale à la poussée totale. Dans ce rapport,

T_u = Trainée des surfaces utiles,

T_n = Trainées des surfaces nuisibles (résistances passives).

De la qualité de ce rapport dépendent les qualités de l'avion au point de vue aérodynamique. Il est donc nécessaire d'augmenter le plus possible la finesse, c'est-à-dire de diminuer le rapport

$$\frac{T_u + T_n}{P} = \frac{T}{P}$$

Il y a pour cela deux moyens : 1^o diminuer T ; 2^o augmenter P .

Il y a alors deux parties distinctes à considérer : (a) les ailes; (b) le reste de l'avion.

Amélioration des ailes. — Pour étudier la qualité d'une aile, on procède par exemple à des essais en laboratoire. Ces essais s'effectuent souvent au moyen d'une sorte de tunnel dans lequel on fait passer un violent courant d'air au moyen d'une hélice. Dans ce tunnel, appelé *tunnel aérodynamique*, on place des réductions exactes des ailes à essayer. Celles-ci sont reliées par des fils à une balance spéciale qui enregistre à la fois les traînées et les poussées produites par l'air sur l'aile.

On essaye ainsi l'aile aux différentes incidences, par exemple, comprises entre -10° et $+15^\circ$.

Sur un tableau spécial (*fig. 50*), on construit une courbe qui donne

pour chaque incidence les valeurs de K_x , de K_y , et du rapport $\frac{K_x}{K_y}$. Cette courbe s'appelle *une polaire*.

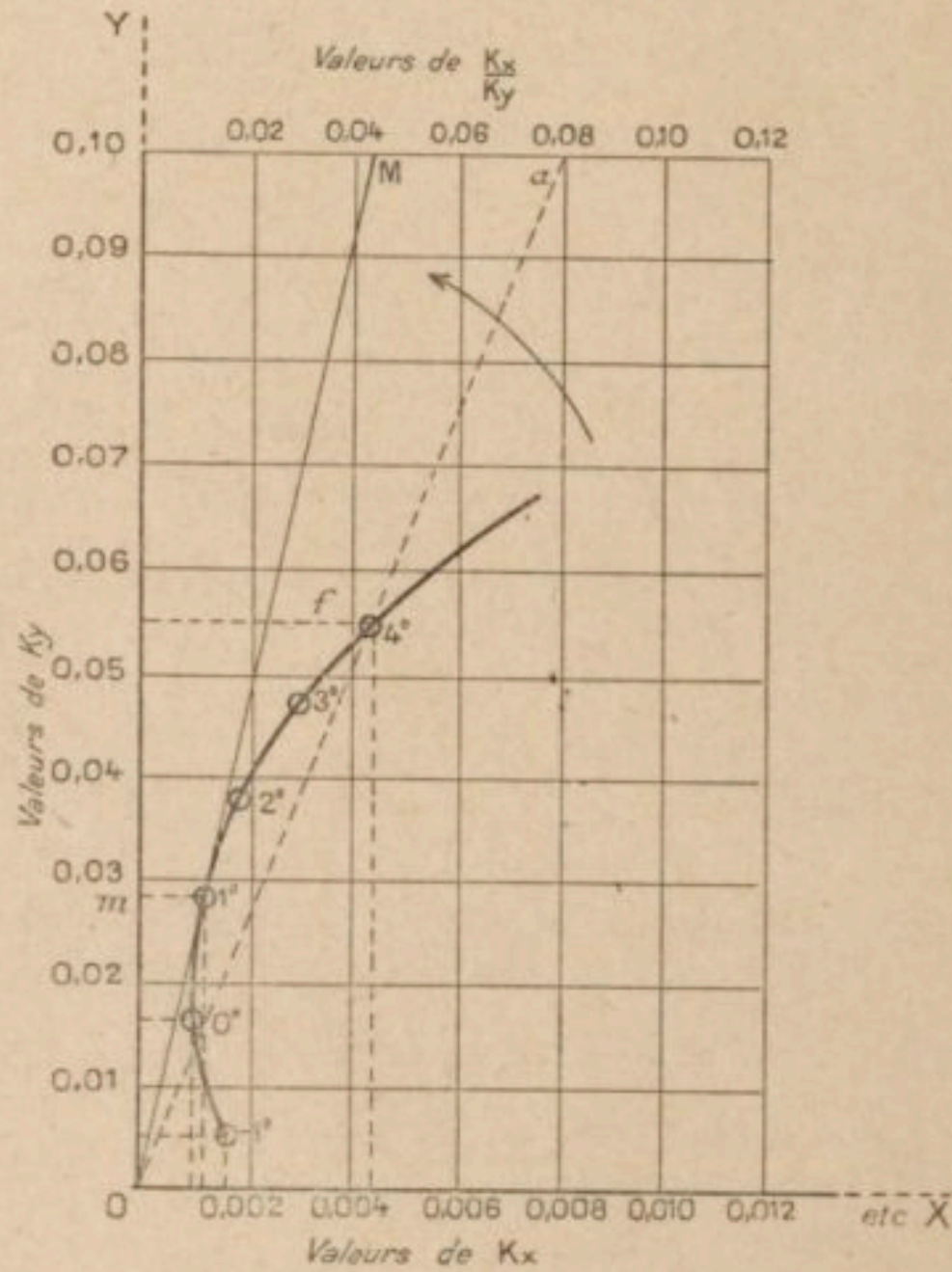


Fig. 30.

Elle caractérise chaque aile essayée. On la construit de la façon suivante : on prend deux axes rectangulaires OX, OY qui se coupent en O. Pour les incidences de

$$-1^\circ, 0^\circ, 1^\circ, 2^\circ, 3^\circ, 4^\circ, \dots,$$

on mène la poussée et les traînées. On porte sur la droite OX, appelée « axe des abscisses », les K_x obtenus et sur OY, appelé « axe des ordonnées », les K_y correspondants. Les points de rencontre des verticales aux K_x avec les horizontales aux K_y donnent des points (sur la figure marqués d'un petit cercle) que l'on réunit par une courbe régulière. C'est cette courbe qui se nomme *la polaire* de l'aile essayée. A côté de chaque point de rencontre, on inscrit l'angle de l'expérience. La courbe est donc graduée en *degrés d'angle d'attaque*.

De cette courbe, on tire les valeurs de $\frac{K_x}{K_y}$ et on les porte sur le tableau de la façon suivante : Pour un point f de la courbe, correspondant par exemple à 4° (fig. 50), on a un certain $K_x = 0,0044$ et un $K_y = 0,055$.

On calcule donc

$$\frac{K_x}{K_y} = \frac{0,0044}{0,055} = 0,08$$

et l'on porte à l'extrémité d'une droite qui part de O et qui passe par f le résultat $0,08$.

Le tableau précédent permet de déterminer quel est l'angle que nous avons appelé précédemment *angle optimum*. Cet angle est celui du maximum de finesse, donc du minimum du rapport $\frac{K_x}{K_y}$. Or ce rapport diminue quand la droite Oa tourne dans le sens de la flèche autour de O . Cette droite doit, dans tous les cas, toucher la courbe tracée. Donc, la plus grande finesse correspondra à la tangente OM à la polaire issue de O .

Le tableau donnerait une finesse $f = 0,043$ environ. Le point de tangence M , sur la figure 50, donnera l'angle optimum; il sera par exemple : 1° pour le cas de la figure.

L'angle optimum est celui qui correspond à la traction la plus faible. C'est donc l'angle du minimum de traction. Nous avons vu précédemment qu'il existait un angle appelé « angle du minimum de puissance ». Ces deux angles ne sont pas égaux. L'angle du minimum de puissance est toujours supérieur à l'angle du minimum de traction. Il est déterminé par le calcul et représente l'angle économique donnant la vitesse économique.

Les expériences du tunnel permettent donc de déterminer les caractéristiques des ailes, donc de fixer le choix d'une aile suivant les qualités demandées. On remarque que la forme du dos de l'aile, celle de l'intrados également changent beaucoup les caractéristiques. On peut alors avoir les formes suivantes :

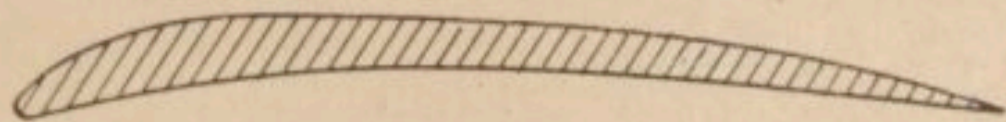


Fig. 51.

Aile mince à simple courbure (fig. 51);

Aile mince à double courbure (fig. 52);

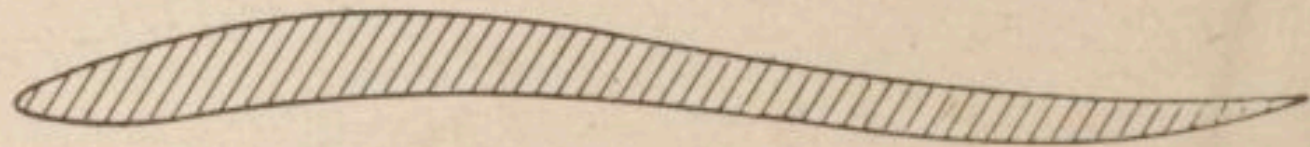


Fig. 52.

Aile mince plate en dessous (fig. 53);

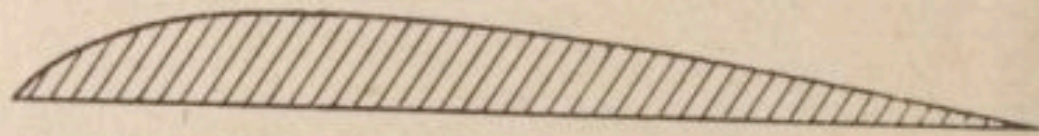


Fig. 53.

Aile épaisse plate en dessous (fig. 54), etc.

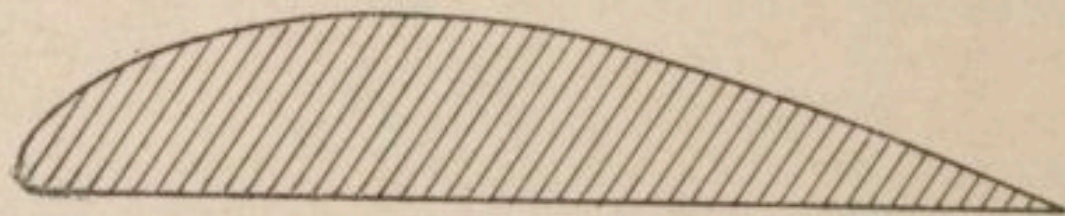


Fig. 54.

A ce propos, on peut observer que les ailes épaisses sont sensiblement aussi « fines » que les autres. Nous verrons plus loin l'intérêt de cette remarque.

Nous avons vu, au début, que le coefficient K_{90} augmentait quand l'allongement de la plaque augmentait. On remarque, de même, que lorsqu'on augmente l'allongement d'une aile courbe, la finesse augmente. On a donc plus d'intérêt, lorsqu'on veut faire une aile de surface déterminée, à augmenter l'envergure que la profondeur. De même, nous avons vu que les angles vifs augmentaient les remous et les résistances à l'avancement. Au lieu de terminer alors les ailes

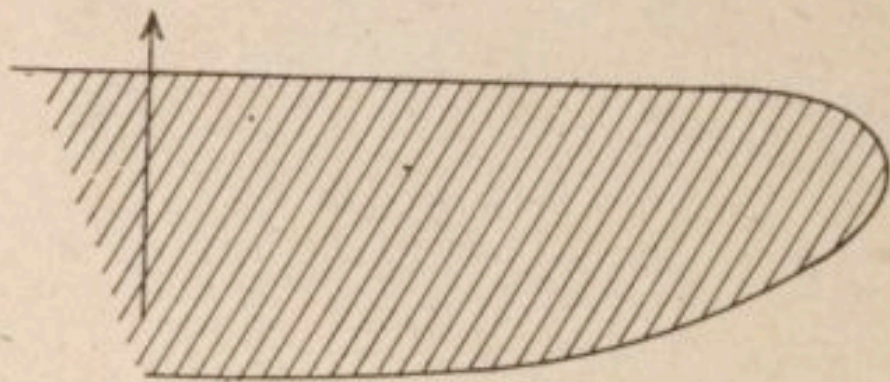


Fig. 55.

par une section très nette, on aura intérêt à les arrondir et à les amincir autant que possible aux extrémités. On diminuera ainsi

les pertes marginales, les remous et leur influence sur la partie centrale de l'aile (*fig. 55*), mais la fabrication en est plus compliquée.

Amélioration du reste de l'avion. — C'est là qu'on peut gagner surtout, en diminuant T_n , toujours très nuisible. Qu'il s'agisse d'un monoplan, d'un biplan ou d'un triplan, on y arrivera :

- 1° Par la forme donnée aux parties extérieures;
- 2° Par la suppression de tout ce qui s'oppose à l'avancement et qui n'est pas indispensable pour l'avion.

1° **FORME DONNÉE AUX PARTIES EXTÉRIEURES.** — On leur donnera, chaque fois que ce sera possible, la forme du corps fuselé. Les principales parties à fuseler sont : (*a*) le fuselage; (*b*) le moteur; (*c*) les montants de cellule; (*d*) les jambes de force du train d'atterrissage; (*e*) les haubannages même.

Fuselage. — Il faut se rapprocher le plus possible des proportions vues plus haut. La forme la meilleure ne doit pas présenter d'angles.

Moteur. — Le fait de fuseler l'ensemble du moteur par un « capotage » approprié n'a pas autant d'importance qu'on pourrait le supposer : 1° parce que la partie *N* présente moins d'importance que l'*R* et 2° parce que le fait d'enfermer un moteur dans un capot empêche son refroidissement et nécessite un radiateur plus considérable, ce qui diminue par conséquent la vitesse.

Tout compte fait, on gagne cependant de la vitesse en capotant les moteurs.

Montants de cellule et jambes de force. — Leur section faite perpendi-

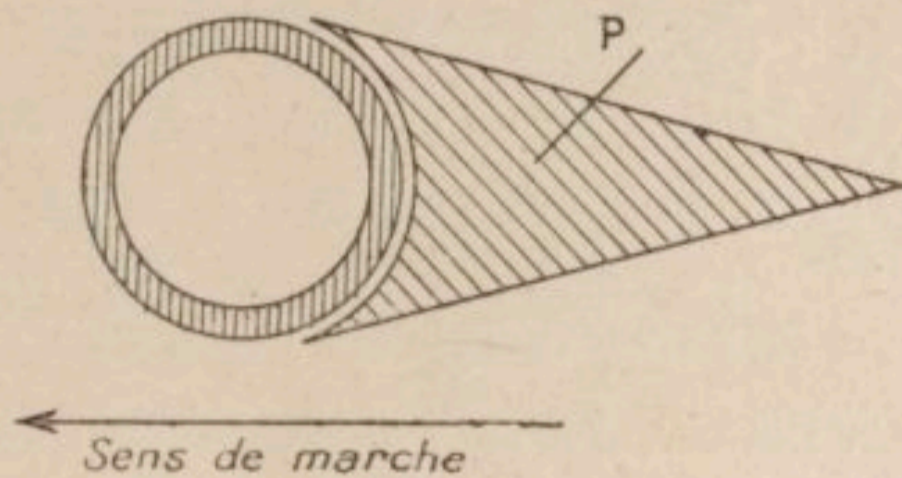


Fig. 56.

culairement à leur plus grande dimension doit avoir la forme du corps fuselé. C'est pourquoi lorsqu'on a un tube cylindrique extérieur

à l'avion, on lui adjoint très souvent une partie en bois *p*, qui comble la dépression qui se produirait sans cela (*fig. 56*). Cette pièce est fixée par un moyen quelconque au tube.

Haubannages. — Les haubannages peuvent également être fuselés. On fabrique aujourd'hui des haubans en acier dont la section a la forme du corps fuselé. Il faut prendre garde alors de bien les placer dans le lit du vent.

2° SUPPRESSION DE CE QUI S'OPPOSE A L'AVANCEMENT. — On doit chercher, autant que possible, à diminuer les résistances extérieures, telles que : (a) mâts; (b) câbles; (c) commandes; (d) train d'atterrissage; (e) radiateur, etc.

Mâts. — Au lieu de plusieurs paires de mâts, on peut n'en mettre qu'une. On arrive même à mettre un seul mât (ex. : Spad-école) de chaque côté du fuselage. L'avion n'a plus que deux mâts.

Câbles. — Le fait de supprimer des paires de mâts permet de supprimer certains croisillons. Quand on le peut, on a également intérêt à remplacer un câble par une corde à piano, celle-ci offrant moins de résistance à l'avancement pour une même solidité.

Commandes. — On les fait passer toutes à l'intérieur du fuselage, ou des ailes.

Train d'atterrissage. — On le simplifie au maximum. L'idéal sera d'avoir le train d'atterrissage *escamotable* en vol.

Radiateur. — On peut arriver à supprimer entièrement la résistance du radiateur en faisant un *radiateur d'aile* ou plus exactement une *aile radiateur*. Une partie de l'aile sert à la fois de surface portante et de radiateur. Ceci peut procurer, dans certains cas, d'importantes augmentations de vitesse (Nieuport-Delage, par exemple).

Pour arriver à supprimer presque complètement les parties nuisibles on est arrivé enfin aux avions à *ailes épaisses*. Nous avons vu précédemment que les ailes épaisses pouvaient avoir une finesse sensiblement aussi bonne que les autres. Or, par suite de leur très grande épaisseur, on peut facilement les rendre très résistantes à la flexion

dans le sens de la poussée. On peut ainsi supprimer totalement les montants, câbles, haubans, etc. L'aile est alors en *porte à faux* et

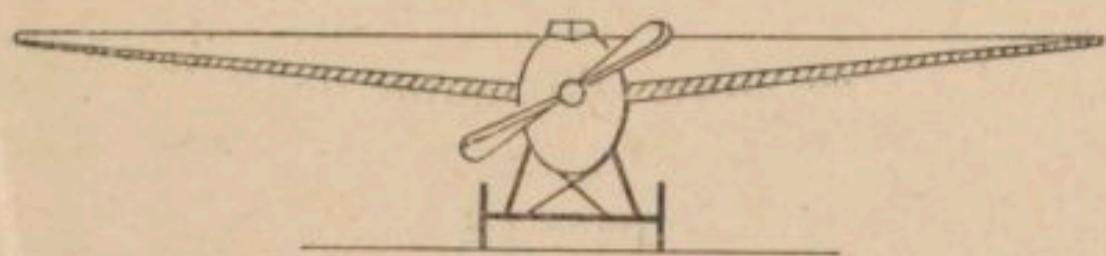


Fig. 57.

l'avion est dit *cantilever*. Il en résulte que ce sont ces types d'avions qui arrivent aux plus grandes finesses (*fig. 57*).

BIPLANS. — Tout ce que nous venons de voir concerne la diminution de la traînée. Dans le cas des biplans, il faut chercher à disposer les ailes de façon à augmenter le plus possible la poussée. On remarque, en effet, que lorsqu'un avion biplan a la même surface qu'un monoplan, sa poussée est très inférieure. Ceci tient à ce que l'aile inférieure se trouve gênée par l'aile supérieure. Entre les deux ailes, il y a une sorte de compression de l'air, et la dépression produite sur la face dorsale de l'aile inférieure se trouve amoindrie (*fig. 58*). L'aile

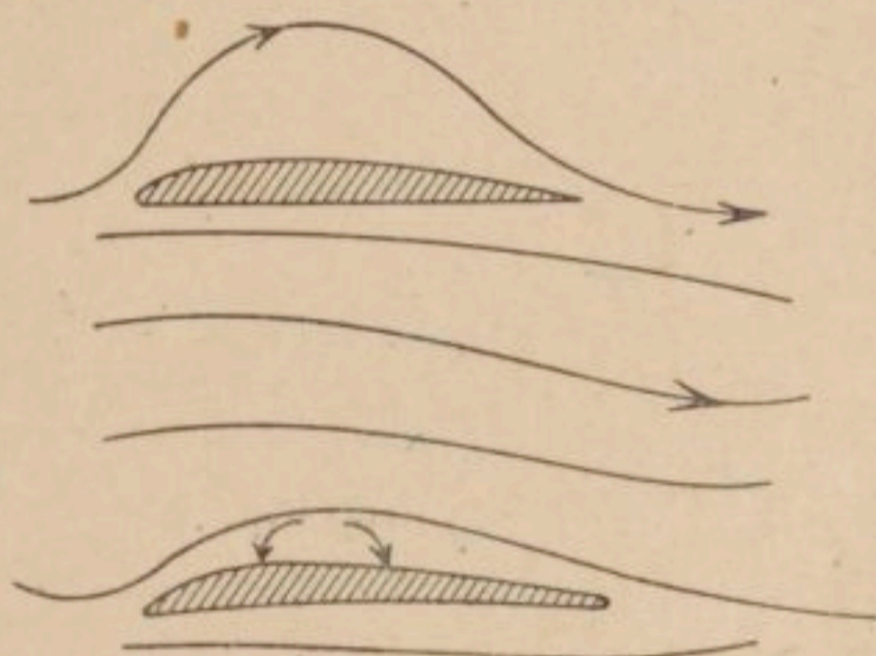


Fig. 58.

inférieure porte donc moins bien qu'une aile isolée.

Plusieurs moyens sont employés pour améliorer à ce point de vue les biplans :

- 1^o Décalage des plans en *A* ;
- 2^o Décalage des plans en *B* ;
- 3^o Augmentation de l'incidence inférieure ;
- 4^o Augmentation de l'entreplan ;

5° Diminution de l'aile inférieure et augmentation de l'aile supérieure.

Décalage des plans en N. — L'avion étant mis en ligne de vol, un fil à plomb placé au bord d'attaque de l'aile supérieure doit tomber en *N* de l'aile inférieure. La dépression dorsale de l'aile inférieure est ainsi moins contrariée (*fig. 59*).

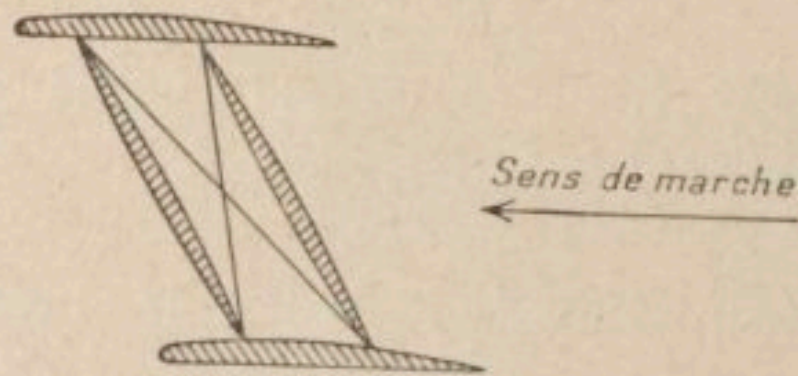


Fig. 59.

Décalage des plans en R. — L'avion étant en ligne de vol, un fil à plomb placé au bord d'attaque de l'aile supérieure doit tomber en *R* du bord d'attaque de l'aile inférieure. On augmente ainsi la poussée inférieure (*fig. 60*).

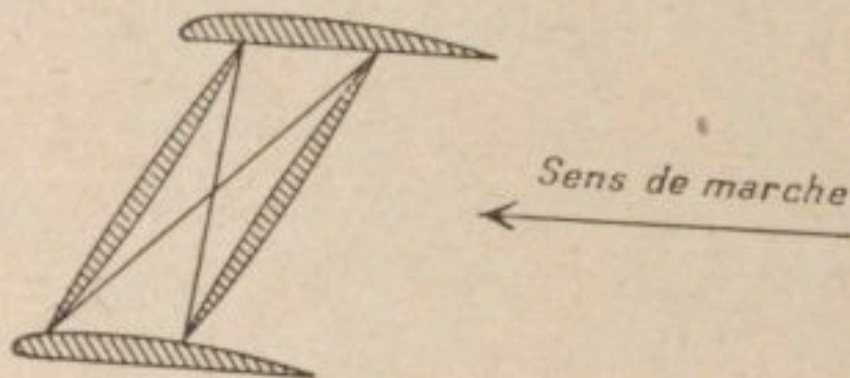


Fig. 60.

Augmentation de l'incidence inférieure. — L'augmentation de l'incidence de l'aile inférieure produit une meilleure utilisation de l'aile (*fig. 61*).

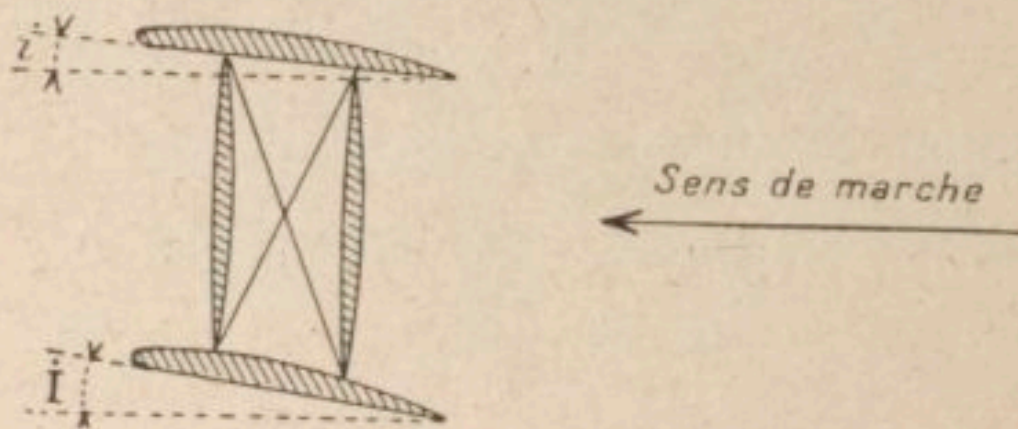


Fig. 61.

Augmentation de l'entreplan. — Cette augmentation, qui est limitée par suite de raisons de construction (mâts trop gros et trop

hauts), favorise beaucoup le rendement de l'aile inférieure (fig. 62). Ainsi, aux incidences normales de vol, sur un biplan ayant un

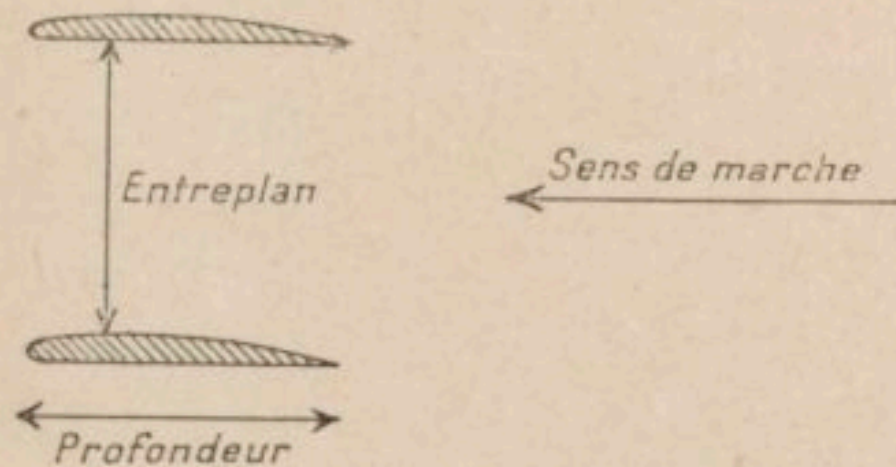


Fig. 62.

entreplan égal aux $\frac{2}{3}$ de la profondeur de l'aile, la perte du plan inférieur peut atteindre 25 pour 100. Avec un entreplan égal aux $\frac{1}{3}$ de la profondeur, on peut abaisser la perte du plan inférieur à 15 pour 100. On voit que, dans tous les cas, le rendement du biplan, à ce point de vue, est inférieur à celui du monoplan.

Diminution de l'aile inférieure et augmentation de l'aile supérieure. — En diminuant la dimension de l'aile inférieure (fig. 63), et en

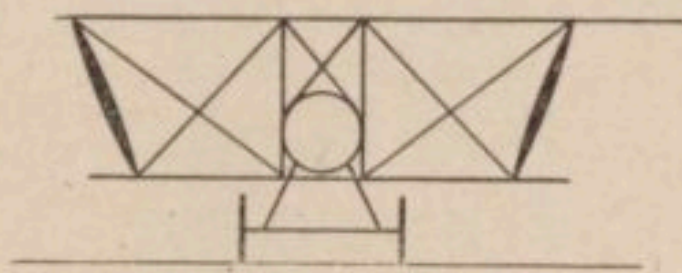


Fig. 63.

augmentant celle de l'aile supérieure, on conserve l'avantage du biplan au point de vue solidité et simplicité de construction, tout en diminuant la perte de sustentation du plan inférieur.

Stabilités d'un avion. — Nous les diviserons en plusieurs catégories :

- Stabilité longitudinale (tangage);
- Stabilité transversale (roulis);
- Stabilité de route.

Chacune de ces trois catégories comprendra elle-même trois divisions distinctes :

- Stabilité de forme;
- Stabilité commandée;
- Stabilité automatique.

STABILITÉ LONGITUDINALE DE FORME. — La stabilité longitudinale s'opère autour d'un axe parallèle à l'envergure. C'est l'axe de tangage. Il passe sensiblement par le centre de gravité.

Étudions ce qui se produit avec une aile plane lorsque l'angle d'attaque varie (fig. 64). Soit une aile plane AB. Nous savons que

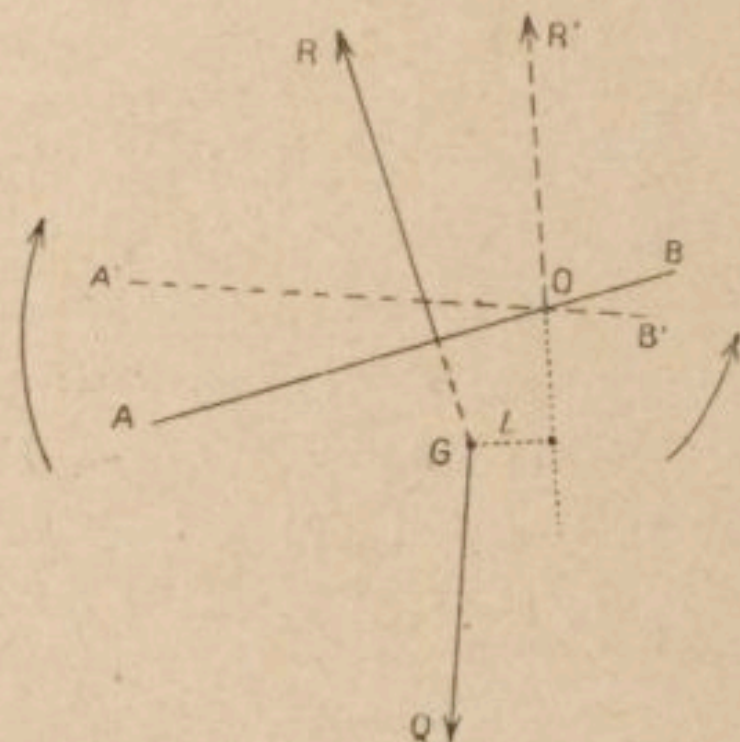


Fig. 64.

le centre de poussée change de position avec l'angle d'attaque. On pourra donc trouver un angle pour lequel la résultante passera par le centre de gravité de l'appareil G. Si pour une raison quelconque l'angle d'attaque diminue, la voilure viendra par exemple en A'B'. La résultante R viendra en R' en se rapprochant du bord d'attaque. Ceci donnera lieu à un moment par rapport à G égal à $R' \times l$ qui

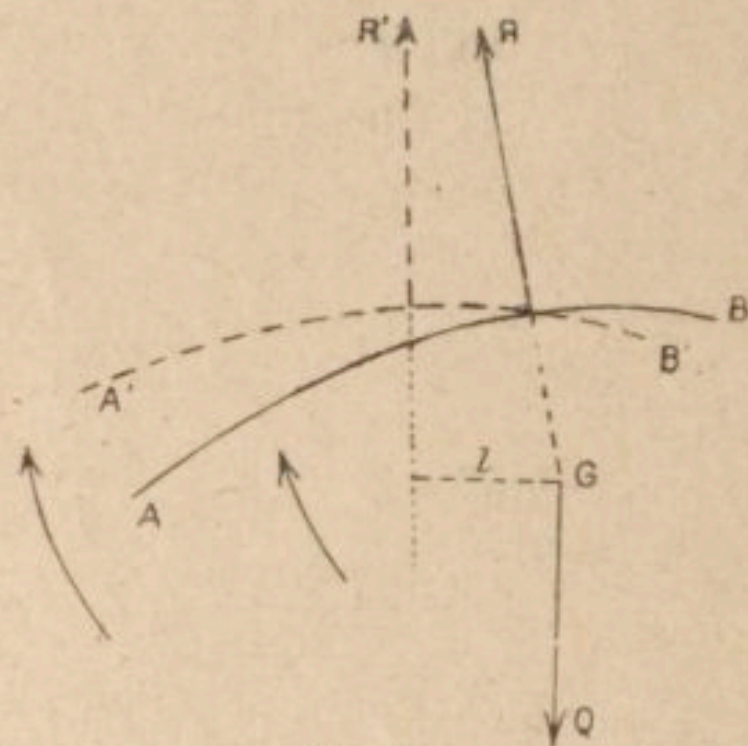


Fig. 65.

tendra à ramener l'aile dans sa première position. C'est un moment redresseur. On voit donc qu'une aile plate est stable.

Voyons ce qui se passe avec une aile courbe (fig. 65).

Soit une aile courbe AB. On peut trouver une position de l'aile correspondant à un angle d'attaque tel que la résultante R passe par le centre de gravité G de l'appareil. Si, pour une cause quelconque, l'angle d'attaque diminue, nous savons que *le centre de poussée recule vers le milieu de l'aile*. Ceci donne donc lieu à un moment par rapport à G égal à $R' \times l$ qui tendra à accentuer le mouvement. C'est un moment perturbateur. On voit donc qu'une aile courbe est instable.

On sait qu'une aile courbe a plus de finesse qu'une aile plane. C'est pourquoi on les emploie exclusivement, malgré leur instabilité. Sur un avion, il a fallu combattre cette instabilité. On a placé à l'AR du fuselage une surface appelée *plan fixe*.

Soient AB l'aile d'un avion et *ab* le plan fixe (fig. 66) (l'angle

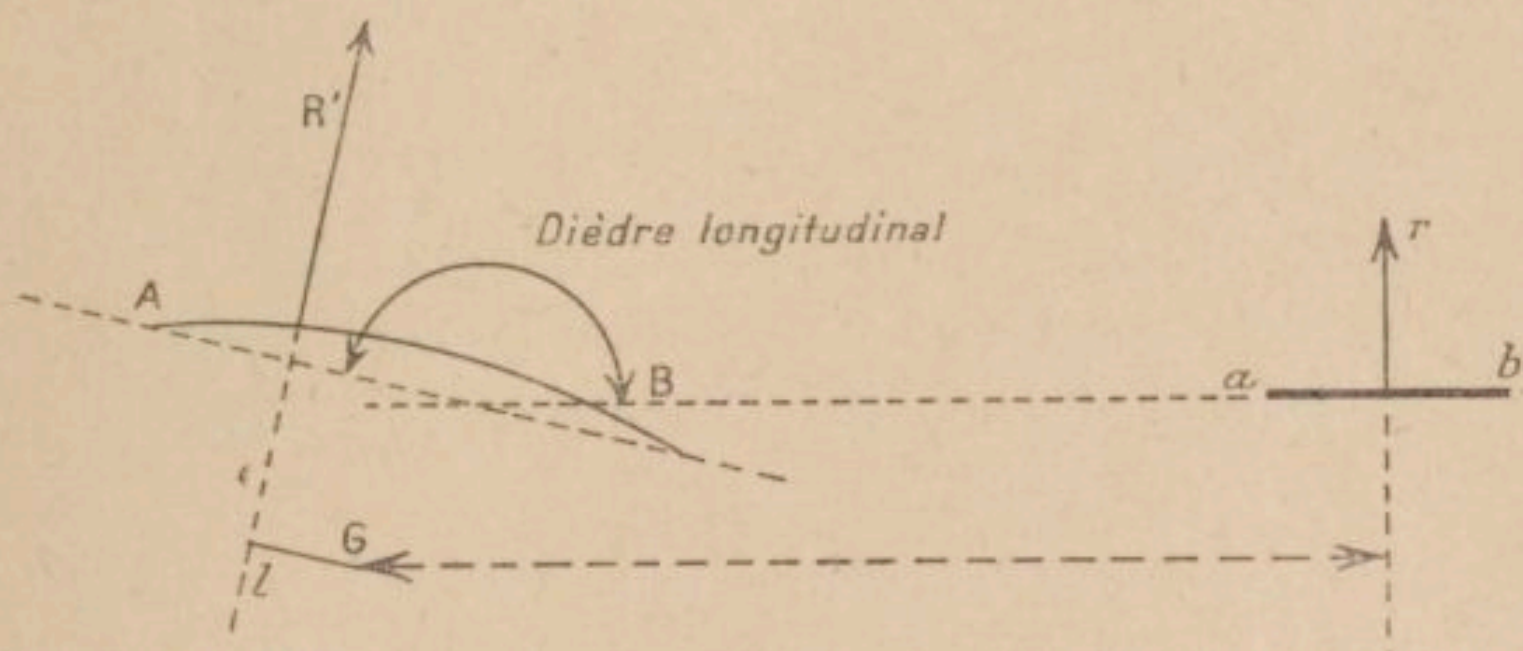


Fig. 66.

entre la corde de l'aile et le plan fixe s'appelle *dièdre longitudinal*).

En vol normal, si la surface R est à incidence nulle, elle est sans effet sur la poussée. Supposons que la résultante R passe par G, centre de gravité de l'appareil. Si, pour une cause quelconque, l'aile prend un angle d'attaque plus grand, la résultante vient en R', en N du centre de gravité et produit un moment aggraveur: $R' \times l$. Mais la surface R, qui a baissé, a opposé alors à l'air une résistance *r* qui produit un moment par rapport à G égal à $r \times L$. Pour qu'il y ait stabilité de l'ensemble, il faut donc que l'on ait :

$$r \times L > R' \times l.$$

Pour obtenir ce résultat, il suffit d'augmenter suffisamment *r* et L. C'est ce qu'on obtient en éloignant assez le plan fixe du centre de gravité et en lui donnant une surface importante.

D'autre part, si l'on considère l'angle du plan fixe avec la direction des filets d'air, cet angle i (ou incidence du plan fixe) pourra être plus grand que I , plus petit que I , égal à I , I étant l'incidence de l'aile.

Les études sur la stabilité ont montré que :

1^o La stabilité est la meilleure quand i est négatif (position inverse de la figure 67);



Fig. 67.

2^o L'angle i nul donne également une bonne stabilité;

3^o L'ANGLE i NE DOIT JAMAIS DÉPASSER L'ANGLE I .

Le V longitudinal est nécessaire pour une bonne stabilité.

En effet, lorsqu'on donne à i une valeur supérieure à celle de I , il existe une *position critique* de l'appareil pour laquelle la stabilité disparaît. Il est possible qu'à ce moment les commandes ne suffisent plus pour redresser l'avion. (On dit que l'avion *s'engage*.)

Donc, dans un réglage :

On peut, sans inconvénient, diminuer l'incidence du plan fixe. MAIS IL EST DANGEREUX D'AUGMENTER CETTE INCIDENCE AU DELA DE LA VALEUR DE I .

Actuellement, on tend de plus en plus à prendre $i = 0$, ce qui offre l'avantage de n'occasionner aucune perte de poussée et de ne donner qu'une traînée supplémentaire très faible, contrairement à l'incidence négative.

STABILITÉ TRANSVERSALE DE FORME. — La stabilité transversale s'opère autour d'un axe orienté à peu près comme l'axe du moteur. C'est l'axe de roulis. Il passe sensiblement par le centre de gravité.

Si l'on considère l'avion vu de face, les ailes peuvent se présenter de trois façons : en V, horizontales, en A.

Ailes en V. — C'est ce qu'on exprime plus exactement en disant que les ailes ont du dièdre. Soit un avion AB ayant du dièdre (fig. 68). La poussée réelle verticale de AO correspond à celle d'une aile qui

serait la projection de AO sur un plan horizontal, soit A'O. De même pour OB. Supposons alors que, pour une cause quelconque, l'avion s'incline pour venir en A₁O, OB₁. A ce moment, l'aile AO subit

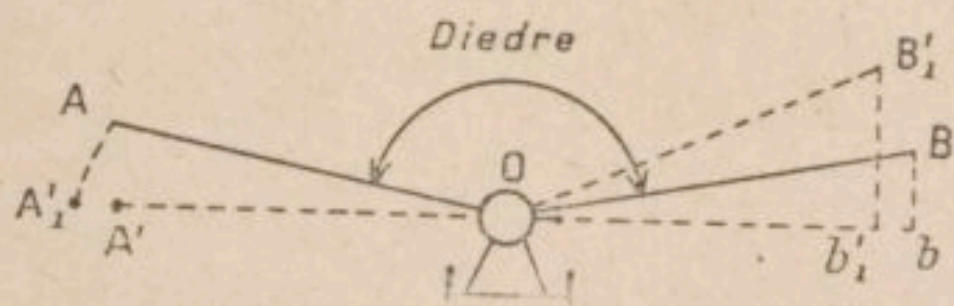


Fig. 68.

une poussée qui correspond alors à la vraie grandeur de l'aile. Soit A'O pendant que OB₁ subit une poussée correspondant à la projection de OB₁ sur un plan horizontal, c'est-à-dire Ob₁. Nous avons donc sur l'aile AO une augmentation de poussée correspondant à la longueur d'aile A'A₁ pendant que sur l'aile OB, nous avons une diminution de poussée correspondant à la distance bb₁. *L'avion a donc tendance à se rétablir de lui-même*, mais très faiblement.

D'un autre côté, si nous considérons un avion AOB ayant du dièdre (fig. 69), dans le cas où un coup de vent se produirait comme

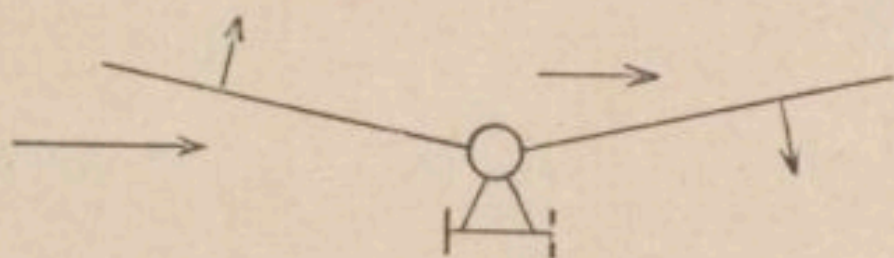


Fig. 69.

la flèche, l'aile qui présente la face ventrale à ce coup de vent tend à monter pendant que l'autre aile (qui reçoit le coup de vent sur la face dorsale) tend à descendre. Le dièdre peut donc présenter des inconvénients. D'une façon générale, il doit être peu accentué (ex. Nieuport : 1°, 30 sous chaque aile).

Ailes horizontales. — L'influence du dièdre n'étant pas très grande,



Fig. 70.

beaucoup de constructeurs adoptent les ailes horizontales telles que AOB (fig. 70). Celles-ci ne fournissent plus, comme précédemment,

en cas d'inclinaison de *couple redresseur*, mais seulement un *couple amortisseur*. L'avantage des ailes horizontales, surtout dans le cas des biplans, est la plus grande facilité de construction et de réglage. A l'AR du fuselage des avions, existe presque toujours une surface verticale appelée *dérive* qui atténue aussi les effets du roulis.

En effet : soient un avion AOB et sa *dérive verticale* (fig. 71). Sup-

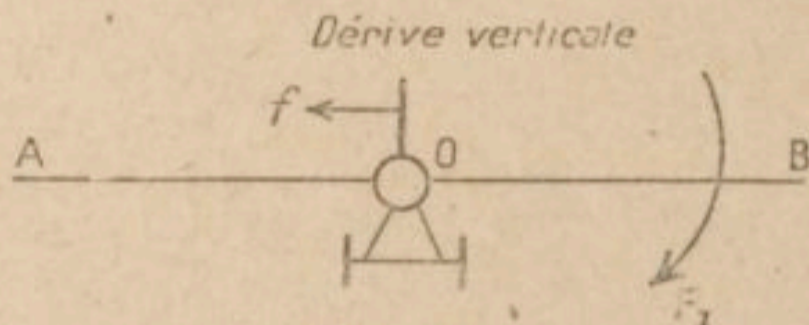


Fig. 71.

posons que l'avion reçoive un remous qui le fasse pencher dans le sens de la flèche F_1 . A ce moment, si nous considérons l'axe de roulis en O, la dérive verticale recevra de la part de l'air, en tournant autour de O, une résistance f qui amortira le roulis.

On remarque alors que la position de la dérive par rapport à l'axe de roulis a de l'importance, puisque plus on voudra lui donner d'action, plus il faudra l'éloigner de l'axe.

Ailes en A. — Soient un avion AOB (fig. 72) et une dérive verticale

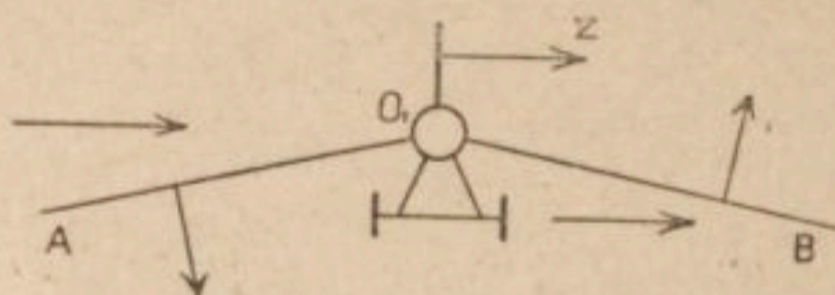


Fig. 72.

au-dessus de l'axe de roulis supposé en O. Dans le cas d'un coup de vent latéral, l'effet sur les ailes est inverse de celui des ailes en V, mais la dérive reçoit une poussée r qui combat alors l'action des ailes. L'effet de la dérive serait perturbateur avec un même coup de vent si elle était située au-dessous de l'axe de roulis. Les ailes en A ne sont plus employées à l'heure actuelle.

STABILITÉ DE ROUTE DE FORME. — La stabilité de route s'opère autour d'un axe perpendiculaire au plan formé par les deux autres.

C'est l'axe des lacets. Il passe sensiblement par le centre de gravité.

Les trois axes de stabilité se présentent alors de la façon suivante, comme sur la figure 73.

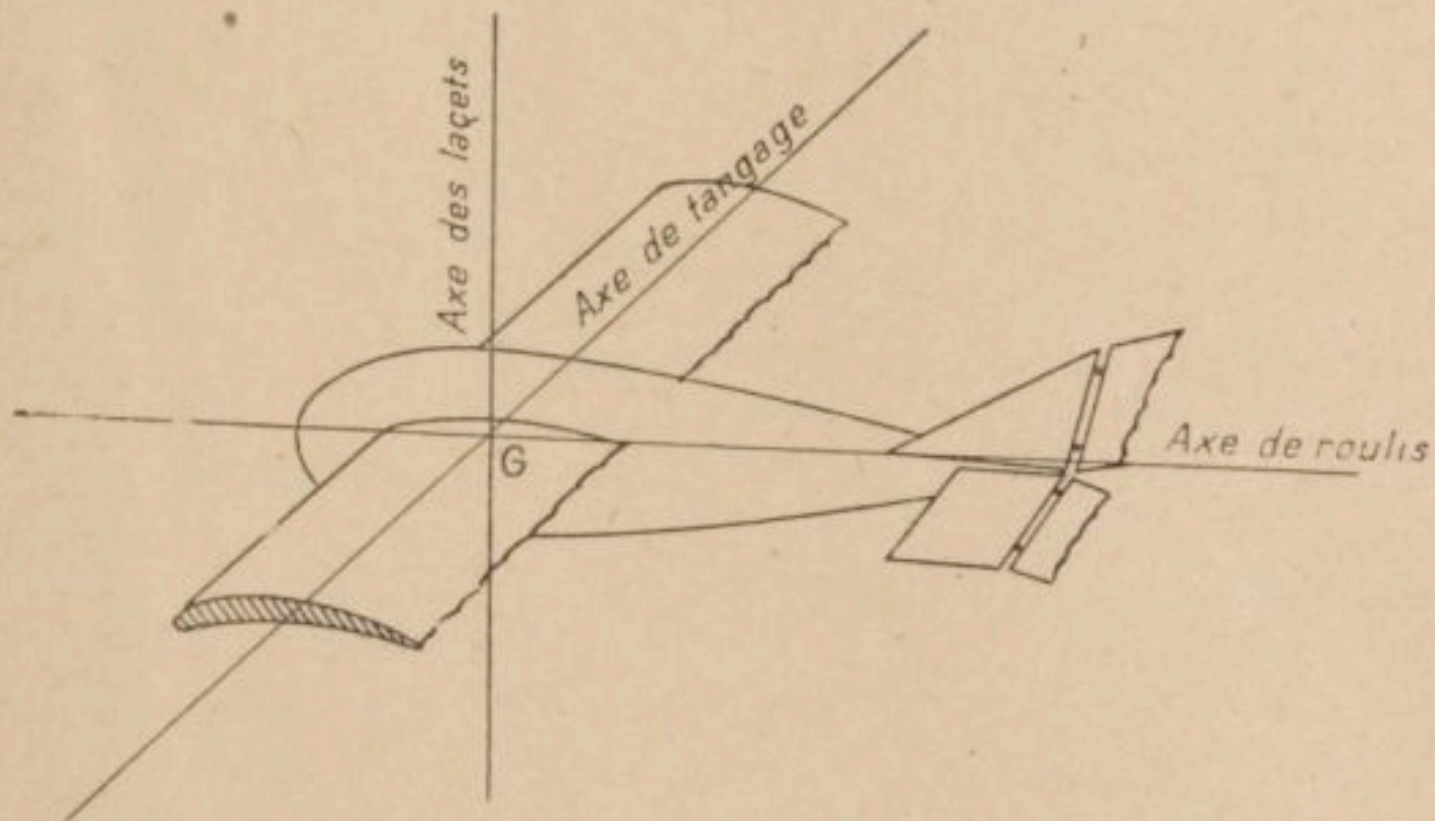


Fig. 73.

a. La stabilité de route a été obtenue grâce à une surface **R**

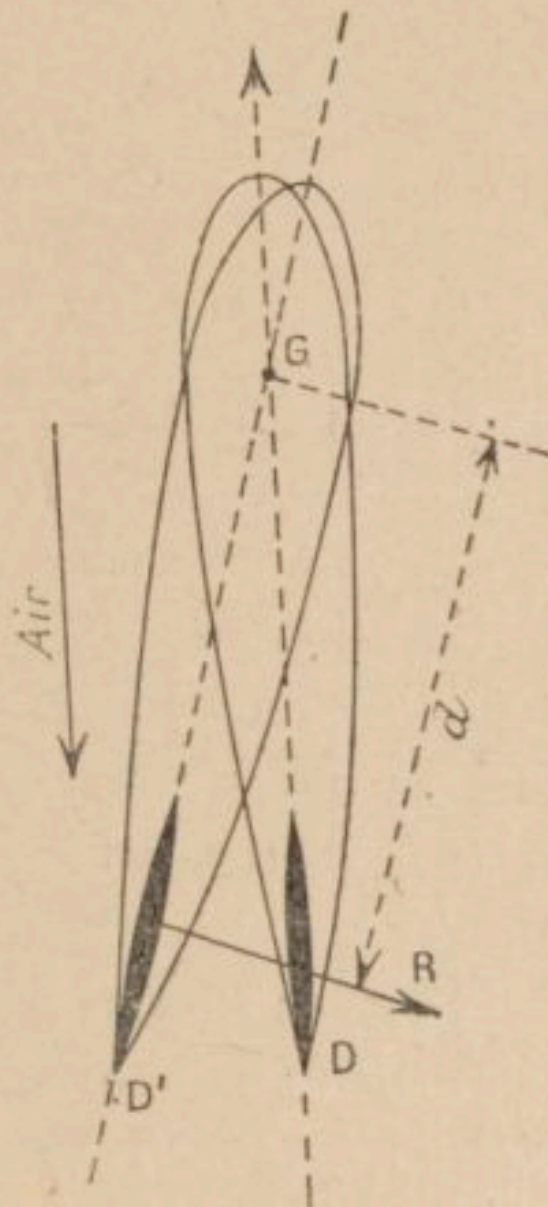


Fig. 74

appelée *dérive verticale*. (C'est la même que celle dont nous venons de parler dans la stabilité transversale.) Cette surface, située dans

un plan vertical quand l'avion est en position de vol normal, et situé en R du centre de gravité, empêche les oscillations autour de l'axe des lacets.

En effet, soit un avion dont le centre de gravité soit en G et la dérive en D (*fig. 74*). Si, pour une cause quelconque, l'avion se présente en oblique sur sa trajectoire, par exemple, en GD' , à ce moment les filets d'air frappant D' comme l'indique la flèche produisent sur D' une force R qui, par rapport à G , possède un moment $R \times d$ qui ramène l'avion en position normale. C'est ce qui se passe exactement pour les girouettes.

b. On peut obtenir également une stabilité de forme grâce à la disposition *des ailes en flèche* (*fig. 75*). Il se passe alors identiquement

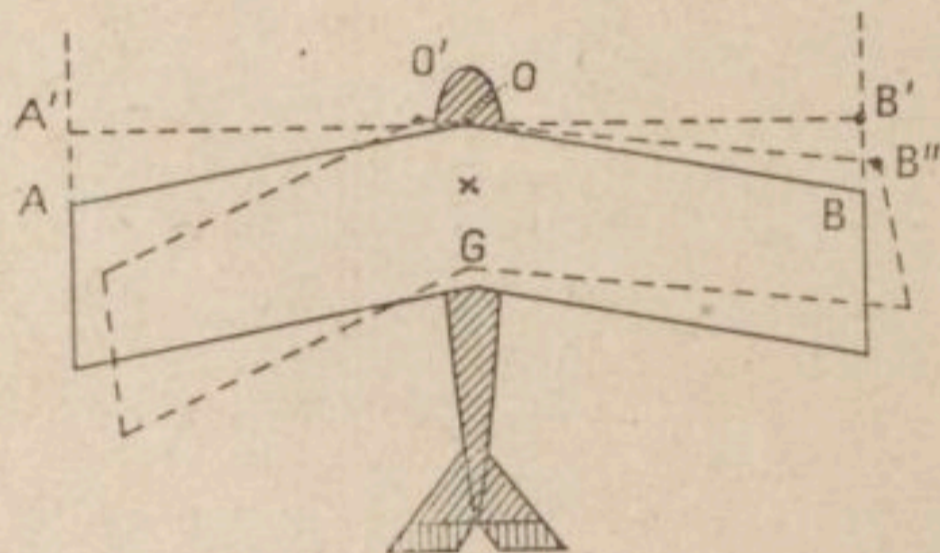


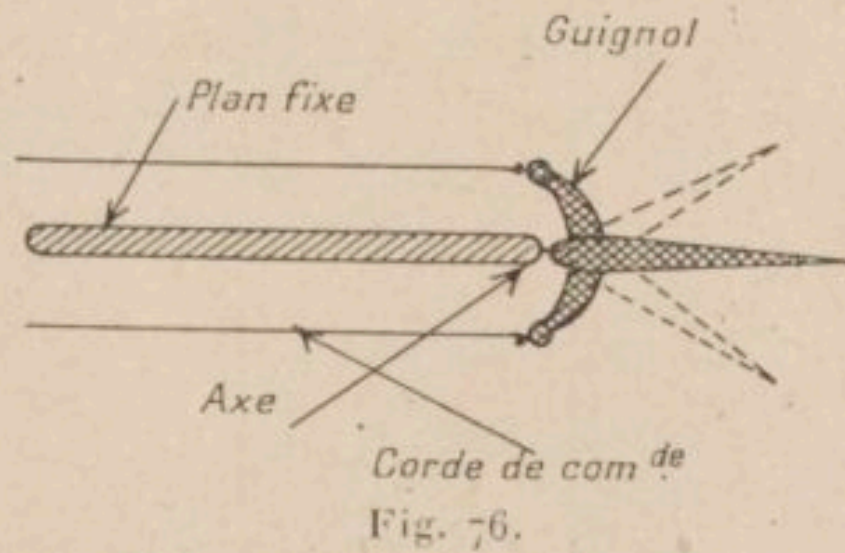
Fig. 75.

ce qui se passe pour les ailes ayant du dièdre au point de vue transversal. Soit l'avion AOB ayant les ailes en flèche. Au point de vue traînée, l'aile AO résiste, comme sa projection $A'O$ de même que OB résiste comme OB' . Si l'avion dévie sur sa trajectoire en tournant autour de G , l'aile AO (cas de la figure) résiste moins (sa projection diminue) pendant que OB résiste plus (comme $O'B''$). L'avion tourne donc en sens inverse pour reprendre sa position normale.

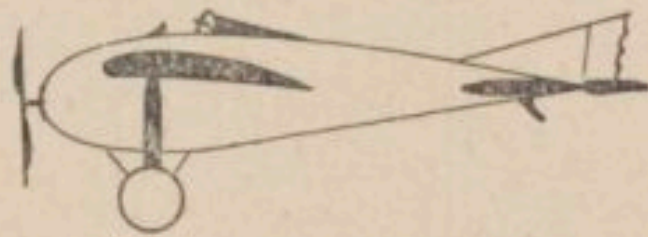
STABILITÉ LONGITUDINALE COMMANDÉE. — Elle s'effectue à la volonté du pilote grâce à des surfaces mobiles R , qui portent trois noms : *stabilisateurs, équilibreur, gouvernail de profondeur*.

Ces surfaces sont, en général, articulées sur des axes portés par la partie R du plan fixe. Lorsque l'avion vole à un régime normal, le stabilisateur se trouve dans le prolongement du plan fixe. Il porte le plus souvent un ou plusieurs organes de commande appelés

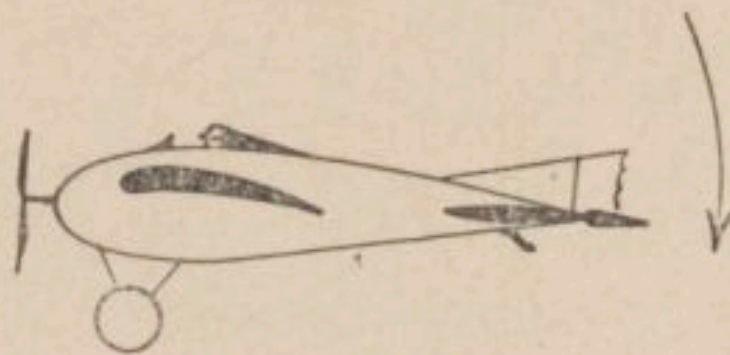
guignols (fig. 76), sur lesquels viennent se fixer les câbles ou corde à piano commandés par le pilote. Le stabilisateur peut prendre toutes les positions entre les deux positions en pointillé.



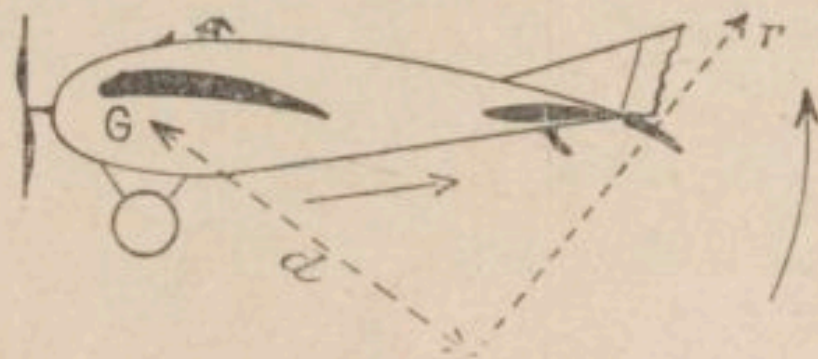
Soit un avion en ligne de vol (fig. 77) avec le stabilisateur dans le



prolongement du plan fixe : supposons qu'un remous fasse mettre l'avion dans la position de la figure 78. Pour rétablir, le pilote



poussera sur le manche à balai, ce qui donnera à la surface mobile la position de la figure 79. A ce moment, l'air frappant obliquement



sur le stabilisateur produira une force r qui aura, par rapport à G , un moment $= r \times d$ rétablissant l'appareil.

Le pilote peut avoir à sa disposition soit un *manche à balai*, soit un *volant*. Dans les deux cas, la manœuvre s'effectue de la même façon.

STABILITÉ TRANSVERSALE COMMANDÉE. — Elle s'effectue à la volonté du pilote, grâce à des surfaces mobiles placées aux extrémités des ailes et appelées *ailerons*.

Ces surfaces sont articulées sur des axes parallèles au grand côté des ailes. Lorsque l'avion vole dans une position normale, les ailerons doivent se trouver dans le prolongement de la partie R de l'aile qui n'est pas articulée. Les ailerons sont très souvent commandés aussi par des guignols. Ils peuvent prendre la position entre les deux positions pointillées (*fig. 80*). Soit une aile d'avion en vol

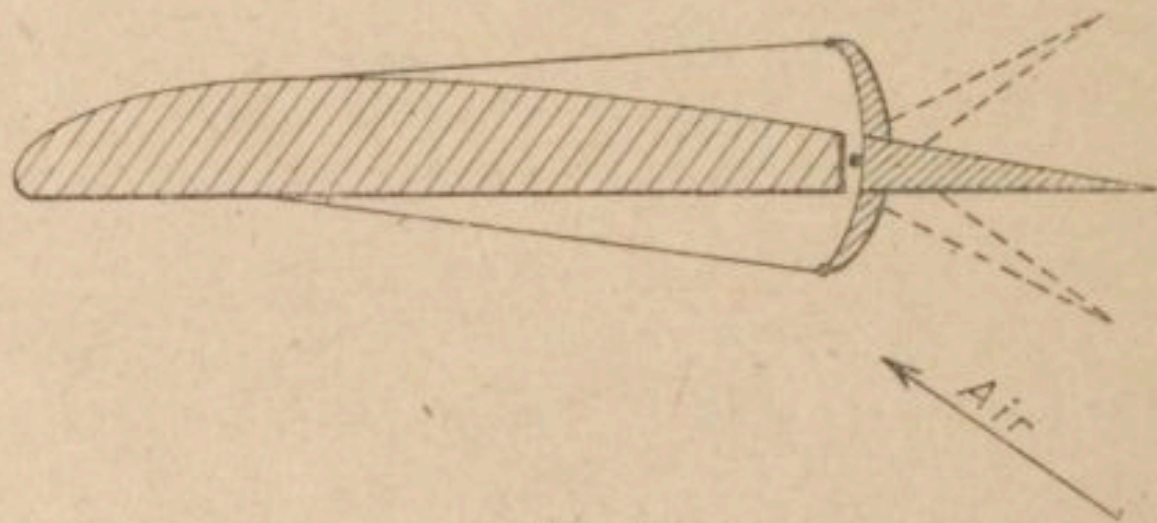


Fig. 80.

normal (*fig. 81*). Supposons que cette aile penche vers le sol pour

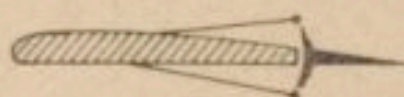


Fig. 81.

une cause quelconque. Pour rétablir, le pilote agira sur le *manche à balai* (ou sur le volant) de façon à augmenter l'angle d'attaque de l'aileron du côté qui baisse (*fig. 82*), ce qui produira une augmentation

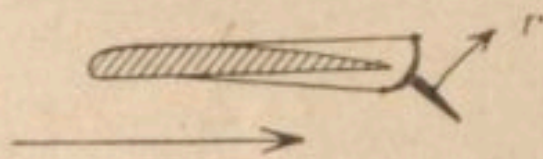


Fig. 82.

de poussée sous l'aileron. Pendant ce temps, l'aileron du côté opposé verra son angle d'attaque diminuer et pourra recevoir une poussée

du dessus, ce qui diminuera d'autant la portance de l'aile. Il se produira donc une sorte de couple (*fig. 83*), qui rétablira l'avion en position.

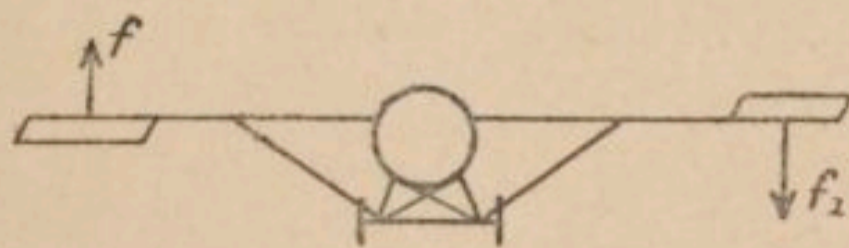


Fig. 83.

Le pilote peut avoir à sa disposition :

a. Un manche à balai. Dans ce cas, si l'avion penche à gauche, pour rétablir, il suffira d'incliner le manche à droite.

b. Un volant. Dans ce cas, il suffira de tourner le volant dans le sens des aiguilles d'une montre.

Remarque. — Les appareils des débuts de l'aviation n'avaient pas d'ailerons. La stabilité transversale était commandée au moyen du *gauchissement*. L'aile droite, par exemple, se tordait complètement, dans le cas d'un virage à droite, de façon que l'incidence aille progressivement en diminuant de l'attache à l'extrémité, pendant que l'incidence de l'aile gauche allait progressivement en augmentant du fuselage à l'extrémité. Ce système a été abandonné parce qu'il fatiguait à la fois le pilote et les ailes par suite du gros effort à fournir pour la torsion des longerons.

STABILITÉ DE ROUTE COMMANDÉE. — Elle s'effectue à la volonté du pilote, grâce à une surface mobile verticale placée en \mathcal{R} de la dérive verticale, et appelée *gouvernail*. Elle est articulée sur un axe vertical porté par la dérive verticale en général. Lorsque l'avion vole normalement, en ligne droite par rapport au sol, par un jour sans vent, le gouvernail se trouve à *peu près* dans le prolongement de la dérive. (Nous verrons au Chapitre du *Réglage* pourquoi nous mettons à *peu près*.) Le gouvernail est commandé lui aussi par des guignols. En général, son mouvement de droite à gauche se produit dans une échancrure laissée à cet effet dans le stabilisateur (*fig. 84*).

Soit un avion (vu du dessus) marchant dans la direction de la flèche (*fig. 85*). Si, pour une cause quelconque, l'avion change de

direction et se trouve alors en oblique sur sa trajectoire (fig. 85), pour le rétablir, le pilote agira sur le palonnier de façon à déporter

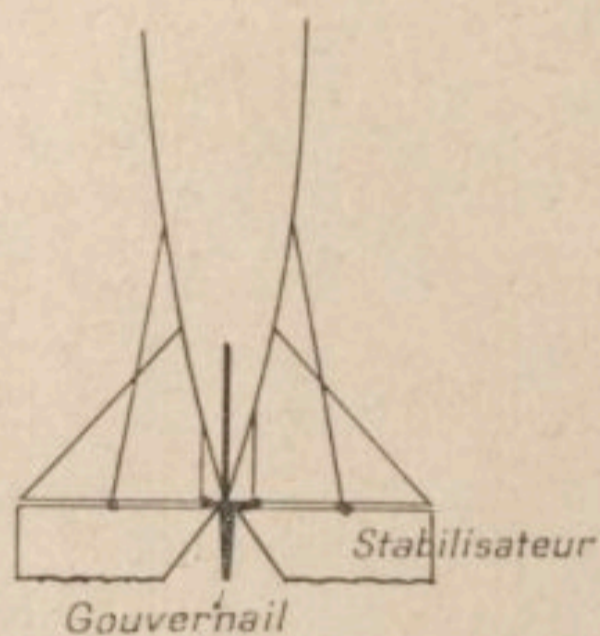


Fig. 84.

l'air du gouvernail vers la gauche (fig. 86). L'air frappant obliquement

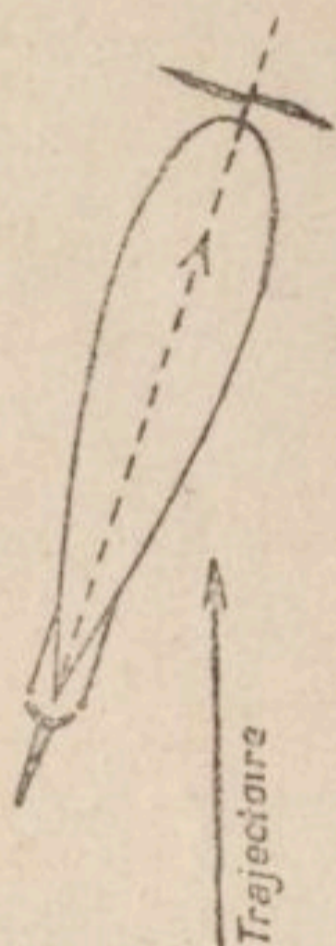


Fig. 85.

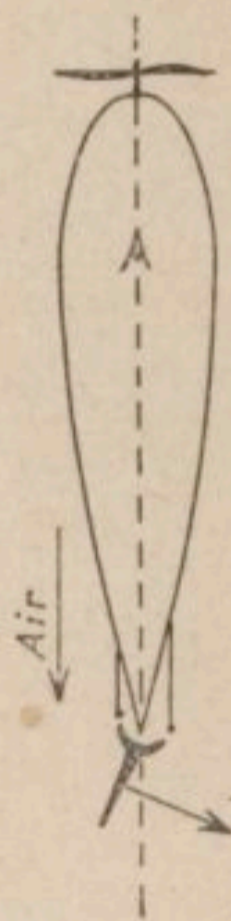


Fig. 86.

la surface produira une force r qui rétablira l'avion en position normale.

Le pilote peut avoir à sa disposition :

a. Un palonnier. Dans ce cas (de beaucoup le plus fréquent), pour virer à droite, il suffit de pousser le pied droit en N .

b. Des pédales. Dans ce cas, pour virer à droite, on appuie le pied droit sur une pédale (ex. : *Farman F-40*).

STABILITÉS AUTOMATIQUES. — Elles s'effectuent au moyen d'appareils spéciaux qui sont installés dans l'avion et qui agissent sur les commandes. Ces appareils permettent à l'avion de se maintenir en vol normal ou de se rétablir d'une mauvaise position sans l'intervention du pilote, d'où l'avantage en cas d'indisposition subite de la part de celui-ci.

Les systèmes peuvent être *gyroscopiques* (appareil Sperry), *électriques* (appareil Aveline).

Ils doivent être débrayables à volonté. Sont très peu employés.

Empennage. — C'est l'ensemble de toutes les surfaces \mathcal{R} servant aux différentes stabilités. L'empennage comprend donc : deux surfaces fixes (plan fixe et dérive); deux surfaces mobiles (équilibreur et gouvernail).

Elles sont groupées de la façon suivante (fig. 87) :

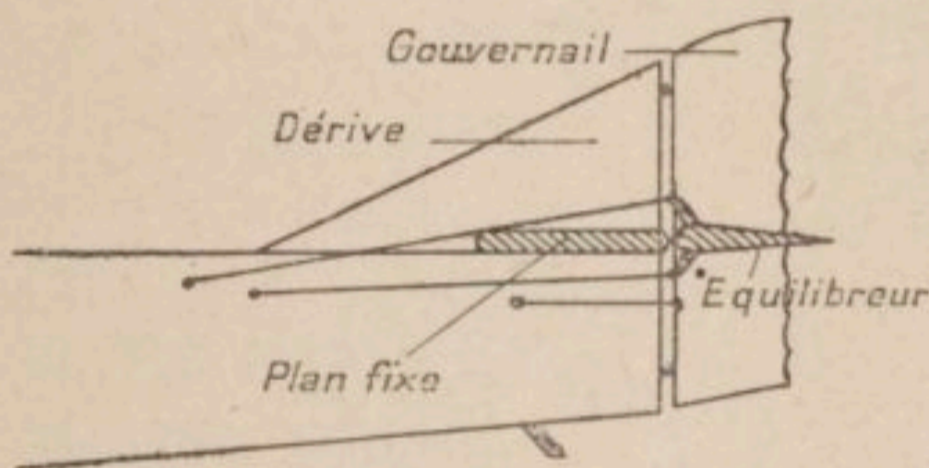


Fig. 87.

Remarque. — Certains avions, au début, n'avaient pas de plan fixe. Tout l'équilibreur jouait le rôle de plan fixe quand le pilote ne manœuvrait pas. De même, certains avions actuels (*Farman sport*) n'ont pas de dérive verticale.

Surfaces compensées. — On nomme ainsi des surfaces mobiles (équilibreurs, gouvernails ou ailerons) dans lesquelles une partie de la surface est située en N de l'axe de rotation. Cette disposition a pour but de diminuer la fatigue du pilote lorsque les surfaces à remuer sont considérables.

En effet, soit une surface AB se présentant obliquement à l'air et articulée sur un axe O (fig. 88). La partie OB recevra une poussée F_1 qui tendra à faire tourner la surface autour de O dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. La partie OA , au contraire, recevra un

effort F_2 qui tendra à faire tourner la surface dans le sens des aiguilles d'une montre. Pour maintenir la surface dans cette position, il y aura donc à fournir un effort moindre que si OB n'existait pas. Et l'on bénéficie d'une action plus considérable.

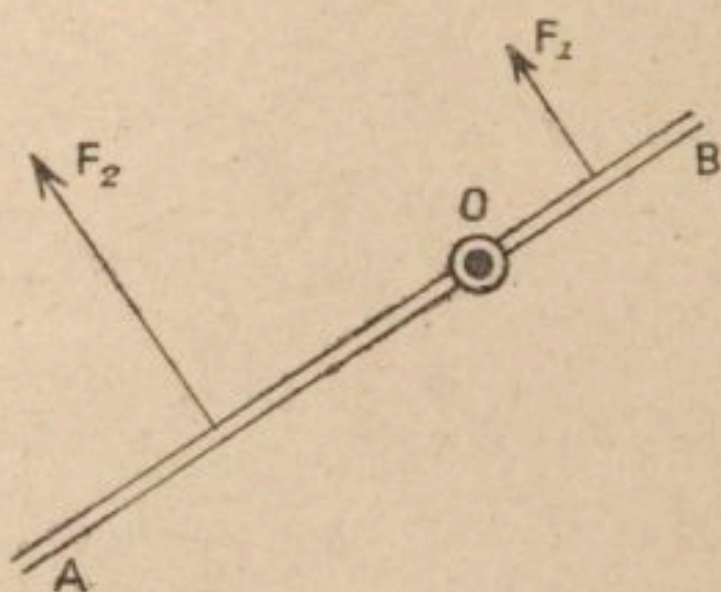
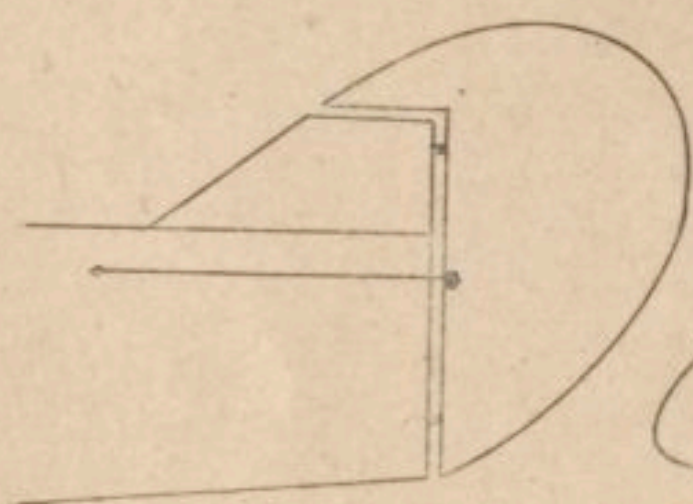


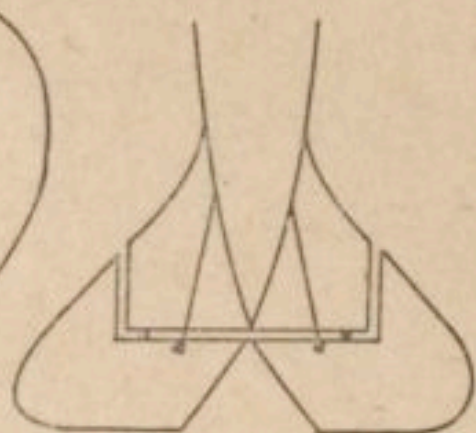
Fig. 88.

Les surfaces stabilisatrices compensées se présentent alors comme ci-dessous.



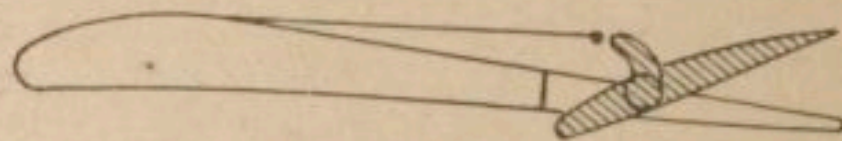
Gouvernail compensé

Fig. 89.



Équilibreur compensé

Fig. 90.



Aileron compensé

Fig. 91.

Influence de la position du centre de gravité sur la stabilité. — Le centre de gravité placé trop haut donne une mauvaise stabilité; placé trop bas, il donne des mouvements pendulaires nuisibles.

Dans la pratique, le centre de pression et le centre de gravité doivent être voisins l'un de l'autre.

III. — ACTION DU VENT SUR L'AVION.

Dans cette partie du cours, deux vitesses bien différentes de l'avion sont à considérer : (a) sa vitesse relative par rapport à l'air; (b) sa vitesse de route par rapport au sol.

Vitesse relative. — On l'appelle aussi *vitesse propre* de l'avion; c'est elle que nous avons toujours considérée jusqu'ici pour expliquer l'aérodynamique. Elle exprime la vitesse avec laquelle l'avion se déplace dans l'air, ou la vitesse avec laquelle l'air passe sous l'avion, ce qui est la même chose. Cette vitesse est *absolument constante*, à condition :

- 1° Que le vent soit nul ou régulier;
- 2° Que le régime du moteur soit constant;
- 3° Que l'altitude de l'avion soit constante.

Par conséquent, soit un avion marchant vent de bout. Supposons que sa vitesse relative (ou vitesse propre) soit 150^{kmh} . Si l'avion fait demi-tour et marche ensuite vent \mathcal{R} , sa vitesse relative sera encore 150^{kmh} .

Un avion qui a besoin d'une vitesse relative de 100^{kmh} pour décoller pourra s'enlever quand il roulera à 20^{kmh} seulement si le vent est, de bout, de 80^{kmh} .

Vitesse de route. — On l'appelle aussi *vitesse absolue* de l'avion. C'est la vitesse par rapport au sol. Celle-ci varie constamment. Soit un avion ayant une *vitesse relative* de 200^{kmh} . S'il marche vent de bout, sa vitesse sera diminuée par rapport au sol; s'il marche vent \mathcal{R} , sa vitesse sera augmentée par rapport au sol. Supposons la vitesse du vent égale à 50^{kmh} . Nous aurons :

Vent de bout : vitesse relative, 200^{kmh} ; vitesse de route, 150^{kmh} .

Vent \mathcal{R} : vitesse relative, 200^{kmh} ; vitesse de route, 250^{kmh} .

Considérons maintenant quelle sera l'action d'un vent régulier sur la marche de l'avion. Nous verrons ensuite l'action d'un vent irrégulier.

Action d'un vent régulier sur l'avion. — Si l'on se donne la vitesse et la direction d'un vent, et la vitesse et la direction de l'axe d'un avion, on peut très facilement, en appliquant la règle du parallélogramme (qui devient le parallélogramme des vitesses), trouver le chemin suivi par l'avion et sa *vitesse de route*.

Soit V la vitesse propre d'un avion dirigé dans le sens OA (fig. 92). Soit v la vitesse et la direction du vent au point O . En composant V et v , on voit que l'avion marchera par rapport au sol dans la direc-

tion OB avec la vitesse de route OR . Une construction graphique simple permet de trouver instantanément la vitesse de route dans

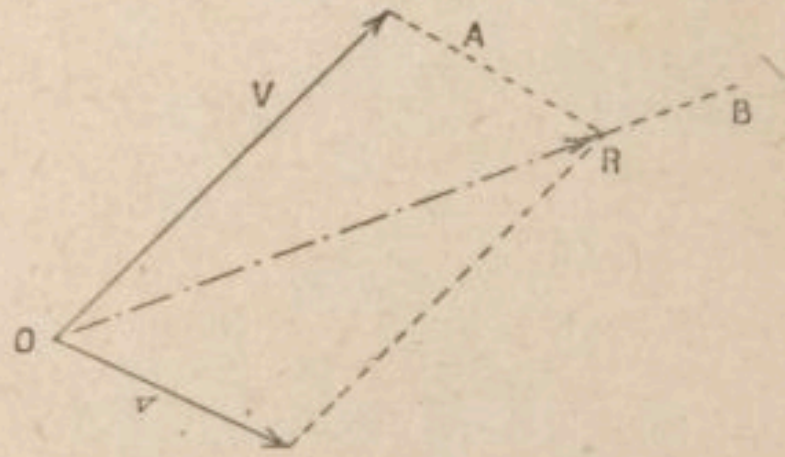


Fig. 92.

une direction quelconque. On construit le *cercle abordable* (ainsi nommé par le colonel Renard).

Soit un avion situé au point O . En ce point souffle un vent v (fig. 93).

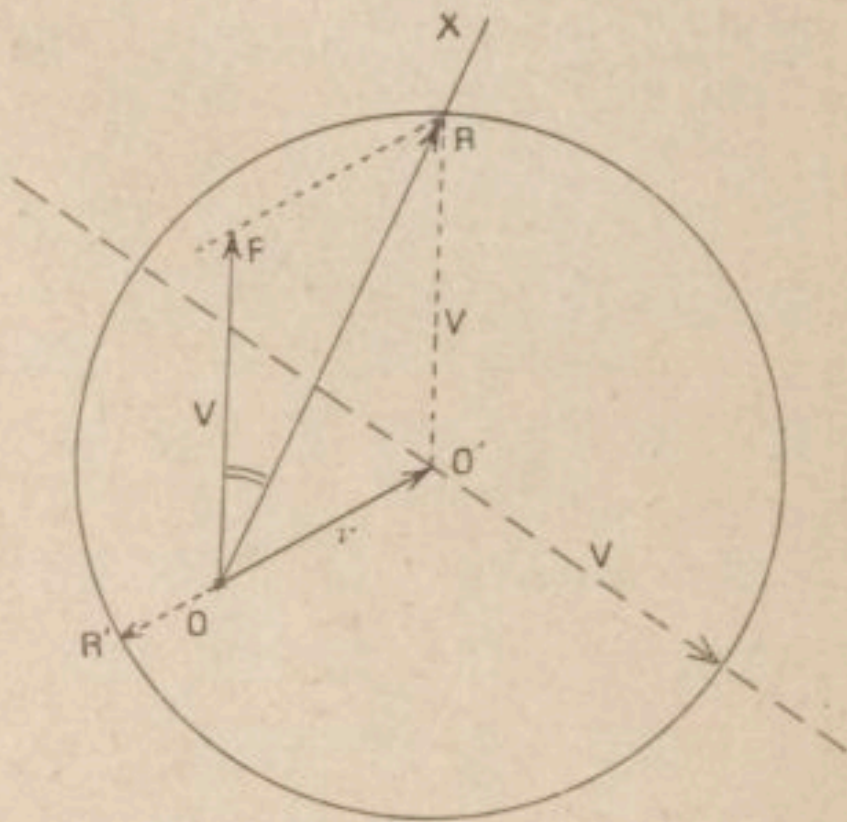


Fig. 93.

Par O' , extrémité de la flèche, on décrit le cercle abordable avec, comme rayon, la vitesse propre (ou relative) de l'avion, soit V . La vitesse de route dans une direction quelconque OX est donnée par la longueur OR .

En effet, OR représente la résultante du parallélogramme des vitesses construit avec v et V comme côtés. Pour se diriger sur la ligne OX avec la vitesse OR , l'avion devra orienter son axe suivant OF . L'angle \widehat{FOR} est appelé *angle de dérive*. C'est donc l'angle entre l'axe de l'avion et la direction suivie.

Trois cas peuvent se présenter :

- 1° $V > v,$
- 2° $V = v,$
- 3° $V < v.$

PREMIER CAS. — C'est celui de la figure précédente (fig. 93). L'avion peut alors se diriger dans n'importe quelle direction. La plus défavorable est celle qui se trouve face au vent. L'avion aura encore dans cette direction une vitesse

$$OR' = V - v = O'R' - O'O.$$

DEUXIÈME CAS : $V = v$ (fig. 94). — Soit l'avion en O où souffle

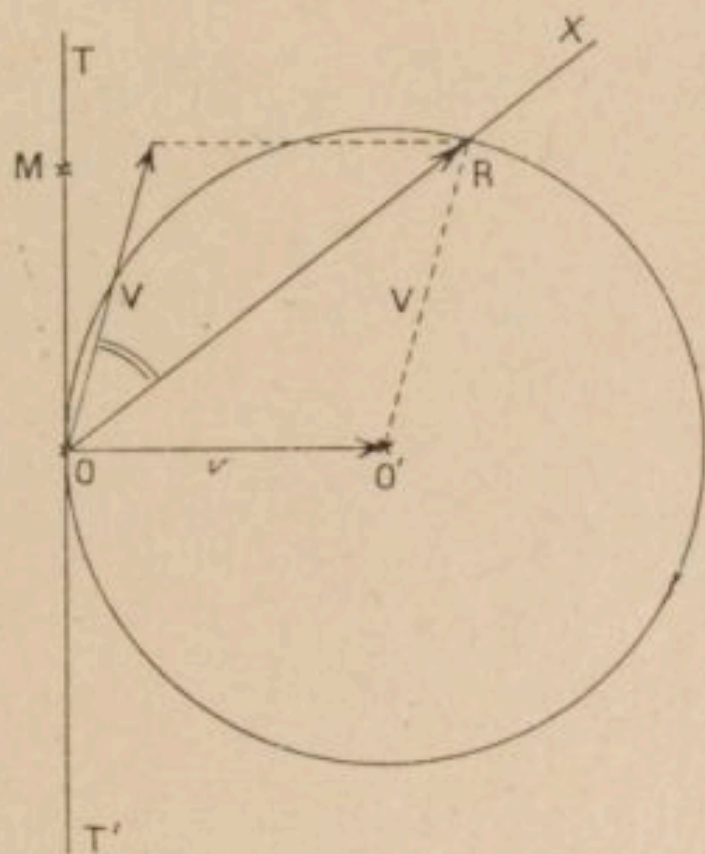


Fig. 94.

un vent v . Par le point O' , je décris le cercle abordable avec rayon $V = v$. La vitesse dans une direction OX est la longueur OR . La démonstration est la même que précédemment. Le cas le plus défavorable est la marche vent de bout. A ce moment, la résultante est nulle. L'avion reste stationnaire. On remarque alors que l'avion ne peut se rendre qu'en un point situé à droite de la tangente TT' . En particulier, il lui est impossible d'aller en M .

TROISIÈME CAS : $V < v$ (fig. 95). — Soit l'avion en O où souffle un vent v . Par O' , je décris le cercle abordable avec rayon $= V$. La vitesse dans une direction OX sera la longueur OR .

La vitesse minimum sera donnée par la longueur $OG = v - V$.
L'avion se trouvera alors vent de bout et marchera à *reculons*. Il

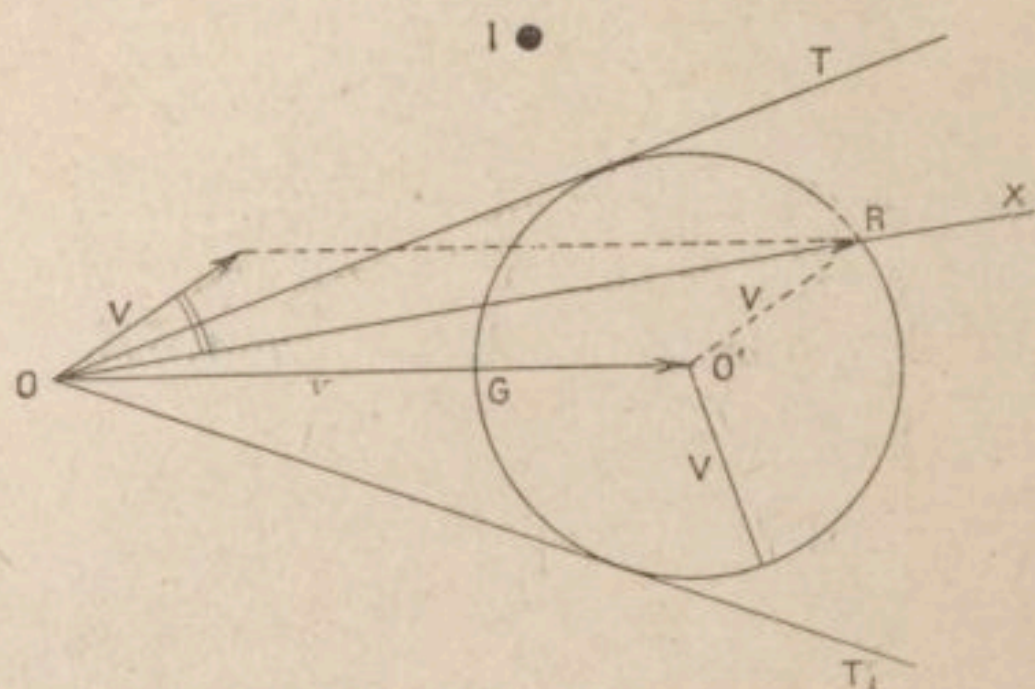


Fig. 95.

ne pourra se rendre qu'en un point situé entre les deux tangentes OT et OT'. En particulier, il lui sera impossible d'aller en I.

Action d'un vent irrégulier sur l'avion. — On peut considérer quatre cas bien distincts :

- 1^o Augmentation brusque du vent de bout;
- 2^o Diminution brusque du vent de bout;
- 3^o Augmentation brusque du vent R;
- 4^o Diminution brusque du vent R.

PREMIER CAS : *Augmentation brusque du vent de bout.* — Soit un avion animé d'une *vitesse de route* de 180^{kmh} . Supposons que le *vent de bout* fasse 50^{kmh} . On aura donc :

$$\text{Vitesse relative} = 230^{\text{kmh}}.$$

Supposons que le vent passe brusquement à 80^{kmh} . Par inertie, l'avion tendra à garder sa *vitesse de route* pendant un instant, soit 180^{kmh} . A ce moment, on aura donc :

$$\text{Nouvelle vitesse relative} = 260^{\text{kmh}};$$

donc une *augmentation brusque de la vitesse relative* de 30^{kmh} .

Résultat : *l'avion montera.*

DEUXIÈME CAS : *Diminution brusque du vent de bout.* — Le même

raisonnement montrerait une *diminution brusque de la vitesse relative*.

Résultat : *l'avion descendra*.

TROISIÈME CAS : *Augmentation brusque du vent R*. — Le même raisonnement montrerait une *diminution brusque de la vitesse relative*.

Résultat : *l'avion descendra*.

QUATRIÈME CAS : *Diminution brusque du vent R*. — Le même raisonnement montrerait une *augmentation brusque de la vitesse relative*.

Résultat : *l'avion montera*.

REMARQUE. — Ces résultats sont ceux que l'on espère pouvoir utiliser pour le vol à voile en courants horizontaux. Il est possible, en principe, de profiter d'une rafale pour monter. L'avion descendra ensuite en vol plané jusqu'à la rafale suivante.

IV. — HÉLICE

Considérons d'abord ce qu'on entend par *hélice géométrique*. Soit un cylindre d'axe XY (fig. 96). Prenons un rectangle en papier $ABCD$

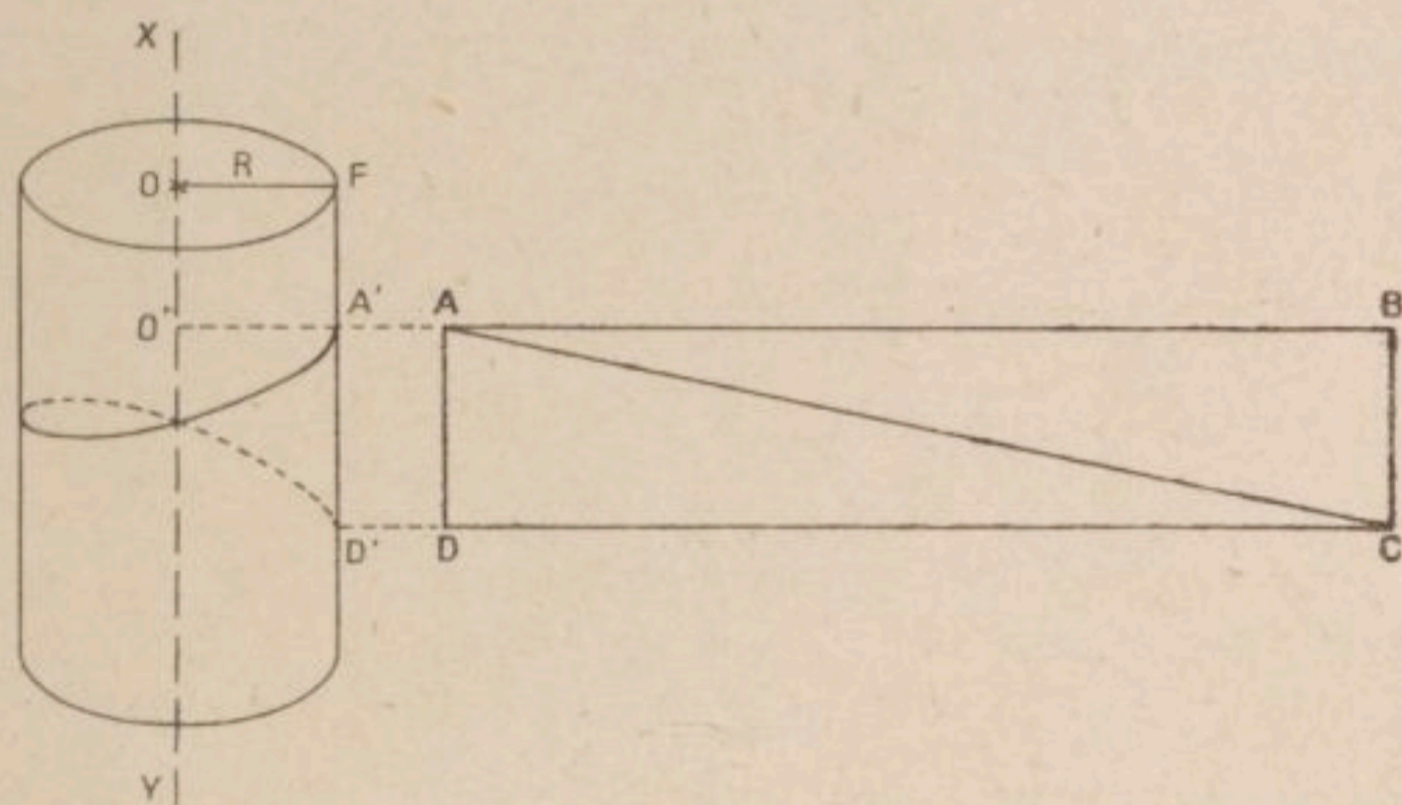


Fig. 96.

ayant pour grand côté la longueur des circonférences de base. Si $R = OF$ est le rayon de la base, nous aurons donc

$$AB = DC = 2\pi R.$$

Menons la diagonale AC. Plaçons le côté AD suivant A'D' sur le cylindre, et enroulons le rectangle autour de celui-ci. La droite BC viendra en A'D' et la diagonale aura décrit sur le cylindre une ligne appelée *hélice géométrique*. Si l'on enroulait plusieurs rectangles semblables à ABCD et coïncidant par leurs grands côtés, on formerait sur le cylindre une hélice qui ferait plusieurs tours.

Si l'on considère le rayon O'A', on peut le faire tourner d'un mouvement uniforme autour de O' pendant qu'on le fait descendre d'un mouvement uniforme le long de XY. Le point A' aura décrit une hélice.

Pas de l'hélice. — C'est la longueur A'D', c'est-à-dire la longueur dont un point A' s'est élevé ou s'est abaissé en un tour.

Avec un tire-bouchon, on peut considérer que lorsqu'on enfonce le tire-bouchon, chaque point décrit une hélice. Le pas est la distance d'un filet au suivant.

Surface hélicoïdale. — C'est la surface engendrée par le rayon O'A'.

Soit un cylindre d'axe XY (fig. 97). Considérons le rayon A'B'.



Fig. 97.

Si nous le faisons tourner autour de B' uniformément et descendre parallèlement à lui-même d'un mouvement également uniforme, de façon qu'au bout d'un tour B' soit en B et A' en A, le rayon aura engendré une *surface hélicoïdale* (surface teintée). C'est une surface de ce genre qui constitue en général une hélice d'aviation.

Dans la pratique, il faut donner une certaine épaisseur à l'hélice pour résister. L'hélice, fixée sur le vilebrequin en général, est formée le plus souvent d'un certain nombre de lames de bois collées les unes aux autres et dont les extrémités ont la forme de la surface hélicoïdale sur la face dirigée vers l'arrière de l'avion. (Cette face porte le nom d'*intrados*.)

Ces extrémités portent le nom de *pales* (fig. 99). Les hélices sont le plus souvent à deux pales, souvent à quatre pales et quelquefois à trois pales.

Si l'on considère une section faite dans une pale : pq (fig. 98), le

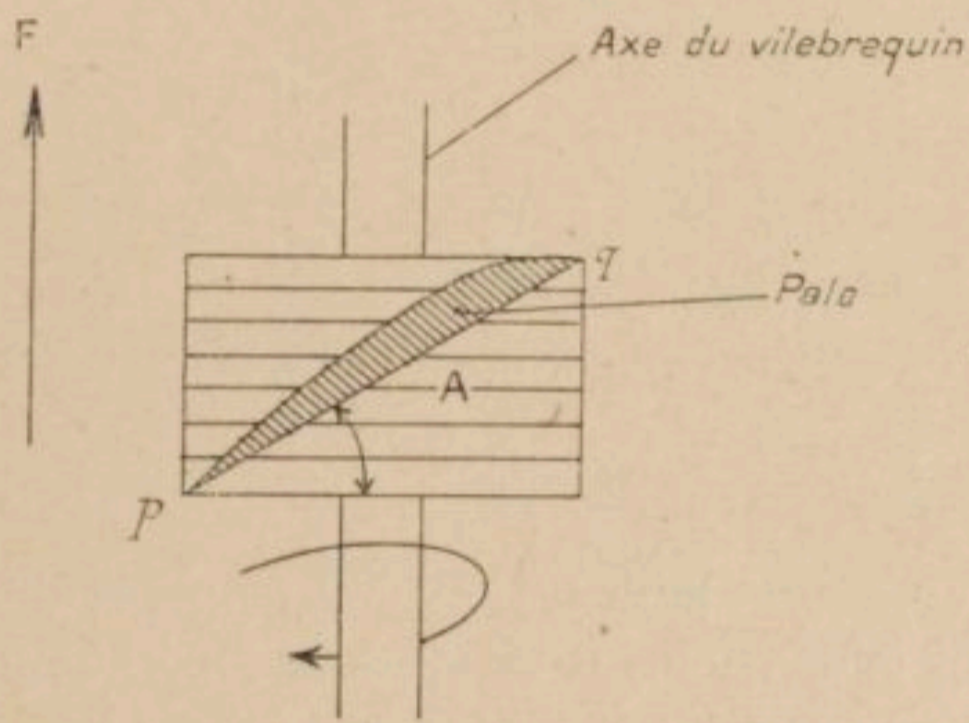


Fig. 98.

sens de rotation étant celui de la flèche, l'hélice avancera dans le sens de F.



Fig. 99.

L'angle A, formé par la face B de la section de pale et le plan perpendiculaire à la marche, est appelé *angle d'attaque* de la section pq .

Nous allons voir que cet angle varie pour les différents points de l'hélice.

Considérons, en effet, un cylindre d'axe OO' et un second cylindre plus petit ayant même axe (*fig. 100*).

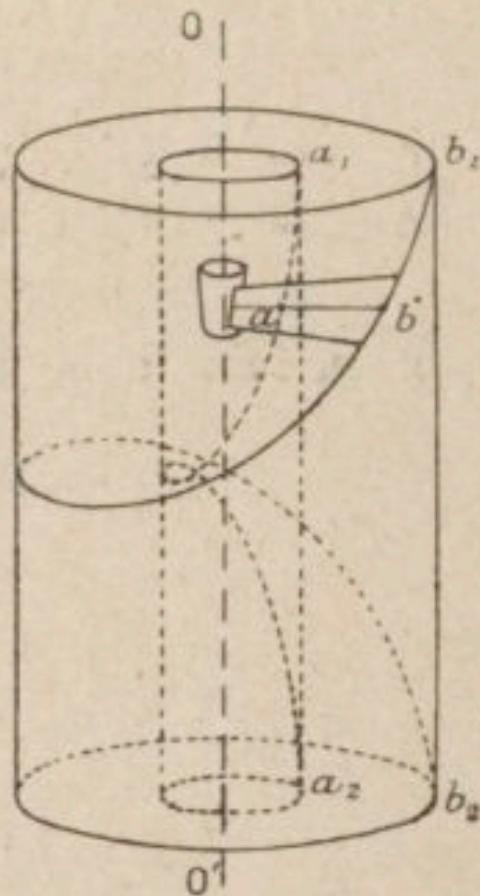


Fig. 100.

Si l'on considère une pale entière, on peut prendre sur cette pale deux points a et b inégalement distants de l'axe. Le point a parcourra l'hélice $a_1 a_2$ de pas égal à la hauteur du cylindre. Le point b , plus éloigné, parcourra l'hélice $b_1 b_2$ de même pas. (En effet, tous les points de l'hélice avancent nécessairement de la même quantité par tour.)

Or, la ligne décrite par le point a étant beaucoup moins longue que la ligne décrite par le point b , pour que l'avance dans un tour soit la même, il est nécessaire que l'angle d'attaque soit plus fort en a qu'en b . *L'angle d'attaque d'une pale est donc plus fort près du centre qu'à l'extrémité.*

Forme d'une section de pale. — Si l'on considère une section de pale mn (*fig. 101*), son angle d'attaque est A , l'air venant dans le sens de la flèche. On donne souvent à la section de pale la forme d'une aile courbe dont la face ventrale serait plane. L'air agit alors comme sur une aile et produit une résultante R , qu'on peut décomposer en deux forces : l'une T qui s'oppose à la rotation, c'est celle qui absorbe la puissance du moteur ; l'autre P qui est dirigée suivant l'axe du moteur, c'est celle qui produit l'avancement de l'avion.

En même temps que l'angle d'attaque augmente quand la section est plus rapprochée du centre, l'épaisseur de cette section augmente

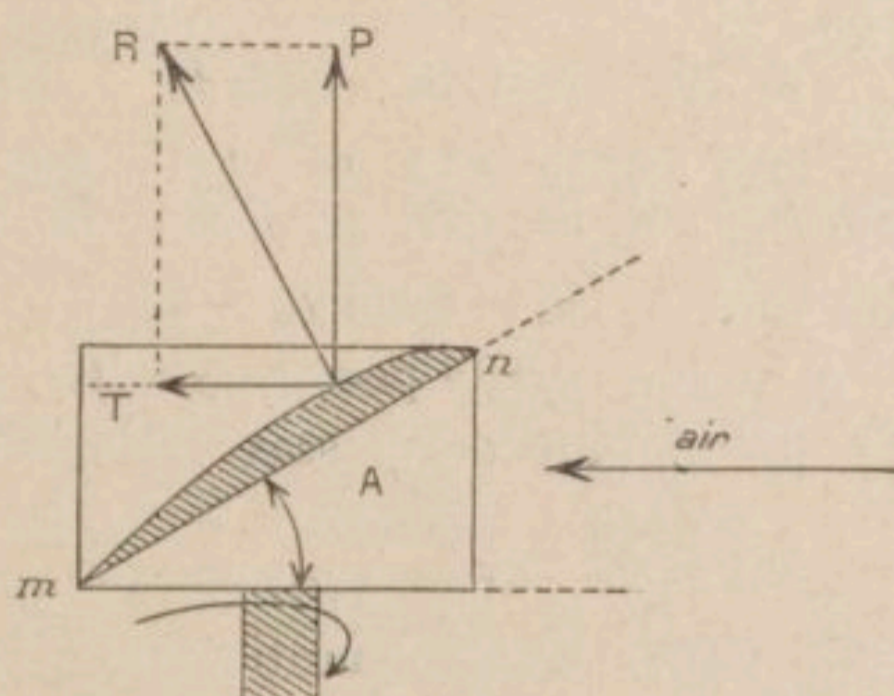


Fig. 101.

également, pour des raisons de résistance. La partie de l'hélice qui est voisine du moyeu ne sert pratiquement à rien au point de vue traction.

Considérons ce qui se passe sur une hélice en marche.

Soit XX' l'axe de rotation de l'hélice (*fig. 102*). Considérons une

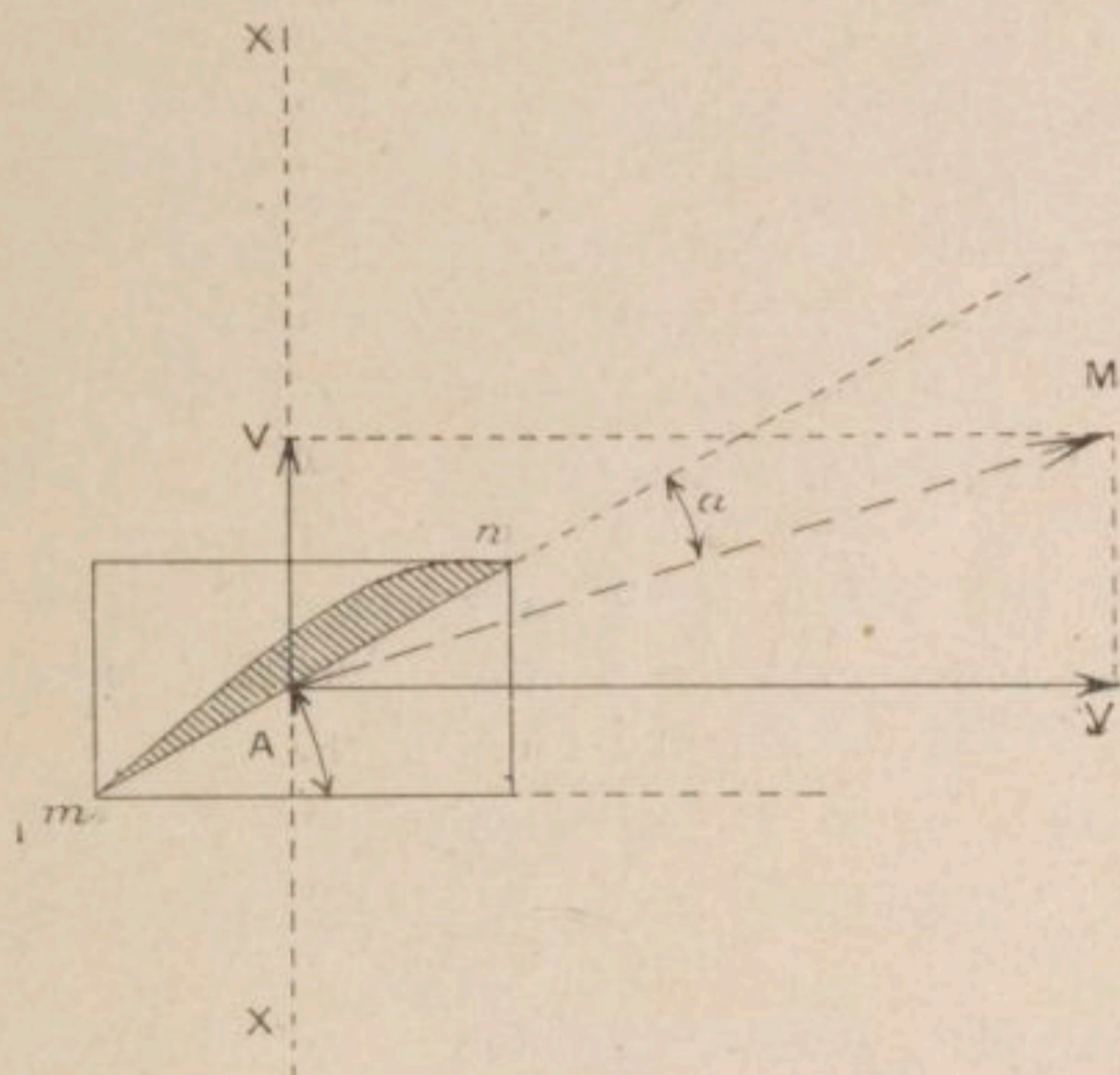


Fig. 102.

section de pale mn . Elle a au repos ou *au point fixe* un angle d'attaque égal à A .

Supposons-la en marche. Elle possède une vitesse circonférentielle qu'on peut représenter par U et une vitesse de translation qu'on peut représenter par V . Si nous composons U et V , nous obtenons la résultante M qui représente la *direction du vent relatif en marche*. On remarque alors que l'angle d'attaque n'est plus A , mais a , plus petit que A . *C'est ce qui explique que l'hélice, rencontrant moins de résistance en vol qu'au point fixe, tournera plus vite.*

En moyenne, le gain par minute peut atteindre de 50 à 100 tours. Ce chiffre est sujet d'ailleurs à de grosses variations.

Recul. — L'hélice n'avance pas dans l'air d'une quantité égale à son pas théorique, mais d'une quantité plus faible, parce que l'air « se dérobe » sous elle. La différence entre son pas théorique et son pas réel s'appelle *recul de l'hélice*.

Rendement d'une hélice. — C'est le rapport $\frac{P}{p}$ si l'on désigne par p la puissance fournie par l'hélice et par P la puissance fournie par le moteur pour actionner l'hélice.

Ce rapport est en moyenne voisin de 0,75.

Les études sur le rendement des hélices montrent que *le rendement varie avec le pas, le diamètre, la largeur des pales, leur épaisseur, leur vitesse de rotation et leur vitesse de translation.*

En général, le pas est plus petit que le diamètre. Par exemple, une hélice ayant 2^m,60 de diamètre aura un pas de 2^m.

La vitesse de rotation et la vitesse de translation ont une grande importance. D'une façon générale, les hélices à grand diamètre tournant lentement conviennent aux appareils lents, et les hélices à petit diamètre et tournant vite aux appareils rapides (ex. : *F-40*, grande hélice tournant à 850 tours; *Curtiss* (record de vitesse), petite hélice tournant de 2200 à 2300 tours).

Par suite, on pourra avoir les hélices montées *sur le moteur* de deux façons : 1^o en prise directe; 2^o avec démultiplicateur.

Dans le premier cas, l'hélice est fixée sur le nez du vilebrequin. Dans le second cas, l'hélice est fixée sur un axe qui reçoit son mouvement du vilebrequin par l'intermédiaire de pignons dentés diminuant la vitesse de rotation. Ce système est appliqué également lorsque le moteur a une vitesse de rotation trop élevée pour la solidité de l'hélice.

Les hélices peuvent être montées de deux façons *sur les avions*. Elles peuvent être : 1^o tractives; 2^o propulsives.

Tractives. — Dans ce cas, de beaucoup le plus fréquent, elles sont situées en avant de l'avion qu'elles *traînent*.

Propulsives. — Dans ce cas, elles sont situées en AR des plans de l'avion qu'elles *poussent*.

Hélices à pas variable. — La densité de l'air diminuant au fur et à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère, une hélice donnant une traction de 200^{kg} par exemple, près du sol, à un régime de 1600 tours, ne donnera plus, au même régime à 5000^m, qu'une traction beaucoup plus faible, par exemple, 120^{kg}. Si l'on pouvait, à cette altitude de 5000^m, faire tourner l'hélice à 1600 tours, *cette hélice ayant un pas plus grand que près du sol* (ceci en même temps qu'on maintiendrait la puissance du moteur la même qu'au sol au moyen de dispositifs spéciaux vus au cours moteur), *on pourrait obtenir de nouveau une traction voisine de 200^{kg}*, et l'avion bénéficierait de la moindre résistance à l'avancement de l'air à cette altitude, ce qui produirait donc une grosse augmentation de vitesse. C'est pourquoi on a cherché à construire des *hélices à pas variable*. Certaines de ces hélices sont construites de telle façon que le pilote puisse changer le pas (c'est-à-dire l'angle d'attaque des pales) pendant la marche du moteur. C'est en appliquant ce principe qu'on pourra arriver dans l'avenir à obtenir d'énormes vitesses à très grande altitude.

Montage d'une hélice. — Étant donnée la grande vitesse de rotation des hélices, celles-ci sont soumises à des efforts centrifuges énormes. La plus petite différence de poids entre les pales produit des vibrations en marche. D'où la nécessité, lorsqu'on veut monter une hélice sur un moteur, de vérifier son équilibrage. Pour cela, on introduit dans le trou central de l'hélice un *mandrin* parfaitement équilibré lui-même et on le fait reposer par ses deux extrémités sur deux *couteaux* parallèles et horizontaux (*fig. 103*). Si l'hélice est bien équilibrée, elle doit être alors en *équilibre indifférent*, c'est-à-dire que si on la place dans une position quelconque, elle doit y rester.

Si une pale est plus lourde que l'autre, on l'allège très légèrement à la râpe et l'on revernit ensuite.

Une autre condition de bon fonctionnement pour l'hélice est qu'elle se trouve parfaitement *perpendiculaire à l'axe du moteur*. On vérifie

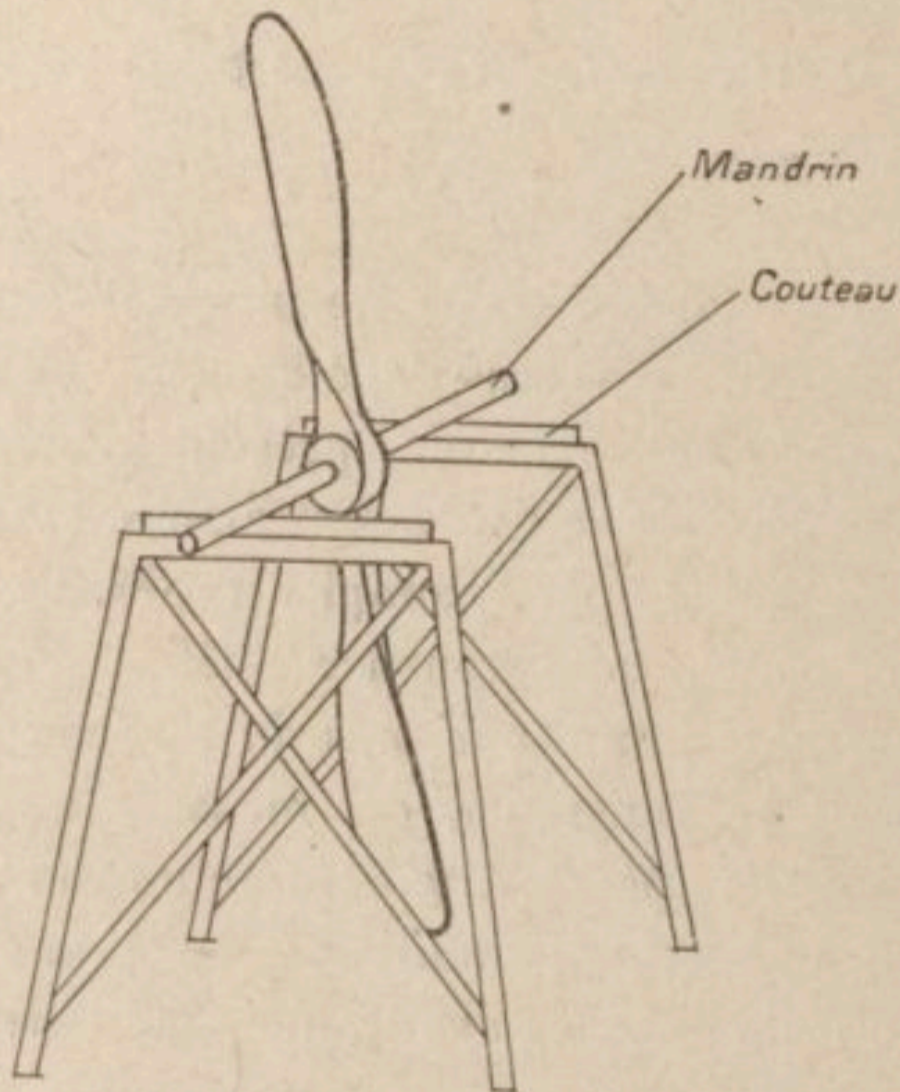


Fig. 103.

facilement si cette condition est remplie de la façon suivante : on place une pale quelconque (l'hélice étant montée sur l'avion) au plus bas de sa course et l'on approche de la pale un repère quelconque (escabeau par exemple). On mesure la distance qui sépare la pale du repère (*fig. 104*). On fait tourner l'hélice d'un demi-tour.

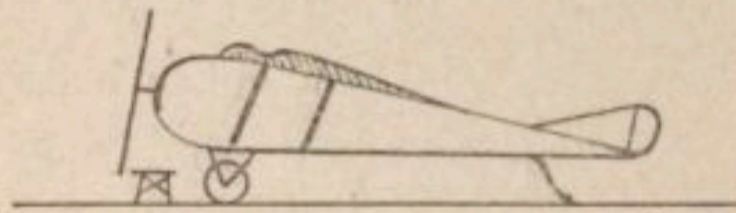


Fig. 104.

La seconde pale doit passer exactement à la même distance. Pour cette raison, on doit, au montage, serrer les boulons en croix. Enfin, une troisième qualité de l'hélice indispensable si l'on veut éviter les vibrations est que *chaque pale possède exactement le même pas*. Pour vérifier si une hélice ne s'est pas déformée, on la place horizon-

talement sur une table et l'on considère à une distance d la hauteur E entre le bord d'attaque et le bord de fuite (fig. 105). Cette hauteur

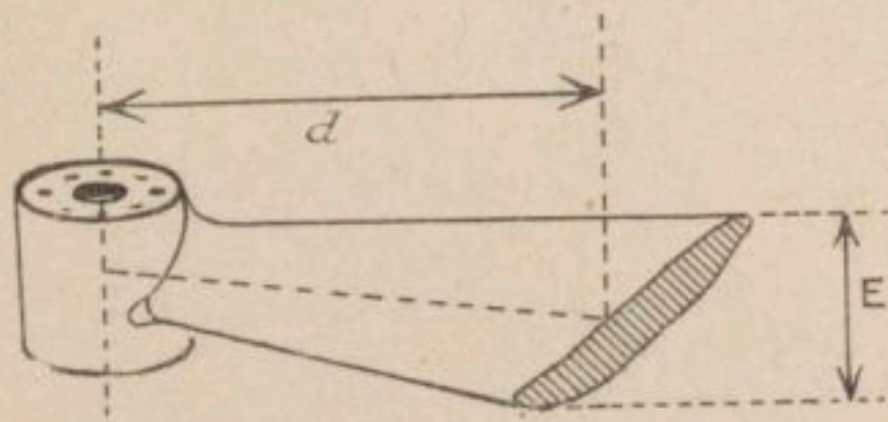


Fig. 105.

doit être exactement la même sur l'autre pale à la même distance d de l'axe. De plus, à la même distance d de l'axe, les largeurs sont égales.

Fabrication. — Nous avons vu que, le plus souvent, l'hélice était constituée par un certain nombre de lames de bois collées les unes aux autres, en contrariant les fils du bois. Le bois employé peut être du noyer, de l'acajou, du hêtre, du frêne, de l'orme, du bouleau du Canada, etc. Une fois les bois collés, on dégrossit l'hélice, puis on l'équilibre à la râpe, tout en lui donnant la forme voulue. Après quoi, on la *ponce*, c'est-à-dire qu'on la polit, et on la recouvre d'un vernis.

On a fabriqué également des hélices en bois d'un seul morceau ou *monobloc*. Mais elles sont abandonnées, n'étant pas assez solides.

La fabrication métallique a également été tentée. Elle a été abandonnée au début parce que les vibrations font *cristalliser* le métal et celui-ci se rompt. Mais elle a été reprise ces derniers temps, et certaines maisons (Lumière, par exemple) ont construit des hélices creuses en acier, à trois pales à pas variable. Des essais ont été effectués également en Amérique avec des hélices en *duralumin* forgé.

Fixation de l'hélice sur le vilebrequin. — Elle y est fixée au moyen d'un *moyeu d'hélice* (fig. 106). Celui-ci se compose d'une sorte de cylindre C en acier faisant corps avec une plaque circulaire B appelée *flasque* B, percée de trous (8 en général). La partie A de la pièce C porte des mortaises mâles qui viennent s'encaster dans les mortaises femelles d'une seconde plaque circulaire A, mobile

par conséquent, et appelée *flasque*. Celle-ci *A* porte également des trous correspondant à ceux de la flasque *R*. Pour monter l'hélice sur le moyeu, on retire la flasque *A*, on entre la partie *C* dans le trou central de l'hélice, on replace la flasque *A* et l'on met des

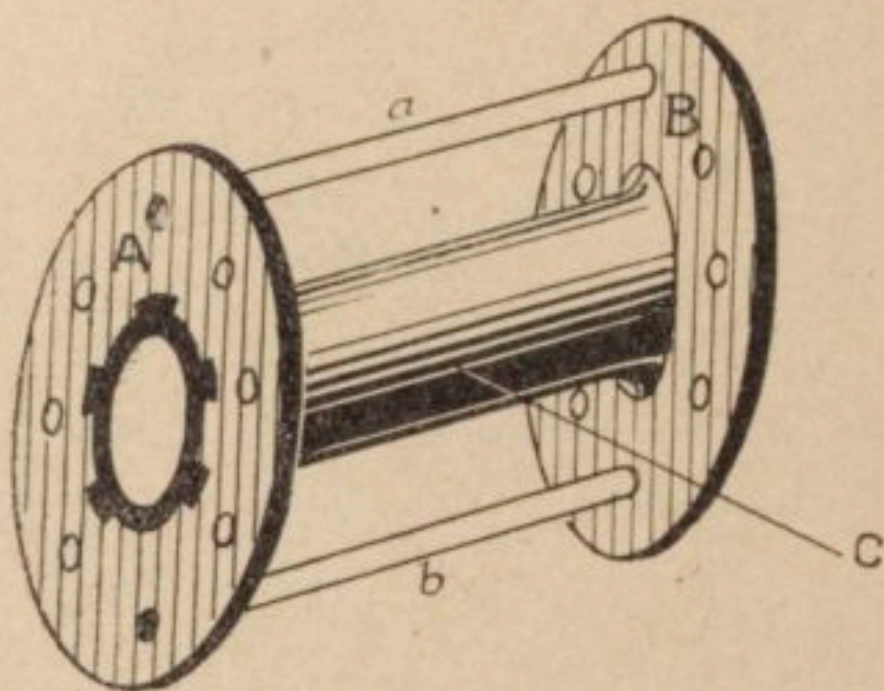


Fig. 106.

boulons tels que *a* et *b*, qui traversent par conséquent l'hélice. Ce sont ces boulons qu'on doit *serrer en croix* pour que l'hélice soit perpendiculaire à l'axe du moteur. Lorsque la perpendicularité n'est pas parfaite, on desserre légèrement les boulons du côté convenable, et l'on resserre les boulons opposés. Pour assurer l'entraînement de l'hélice, on dispose un clavetage sur le vilebrequin.

Le moyeu porte intérieurement au manchon *C* (*fig. 107*) une mor-

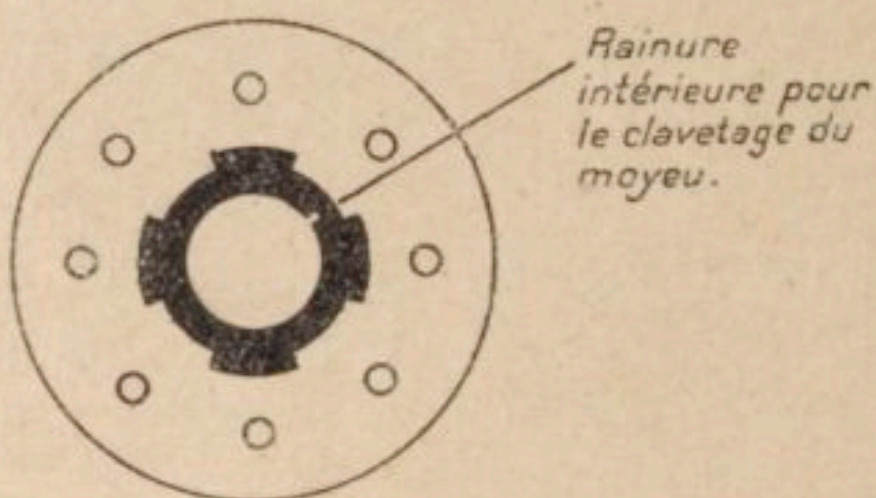


Fig. 107.

taise dans laquelle s'encastre la clavette du nez du vilebrequin. Il est indispensable que le clavetage n'ait aucun jeu. L'extrémité du nez porte un filetage (*fig. 108*) sur lequel se visse un écrou qui porte extérieurement un second filetage se vissant dans le moyeu d'hélice. Le fait de serrer cet écrou fait coller le cône du nez du

moteur et le cône intérieur du moyeu. Une fois le moyeu bloqué sur le vilebrequin, *il est indispensable pour la sécurité de le munir*

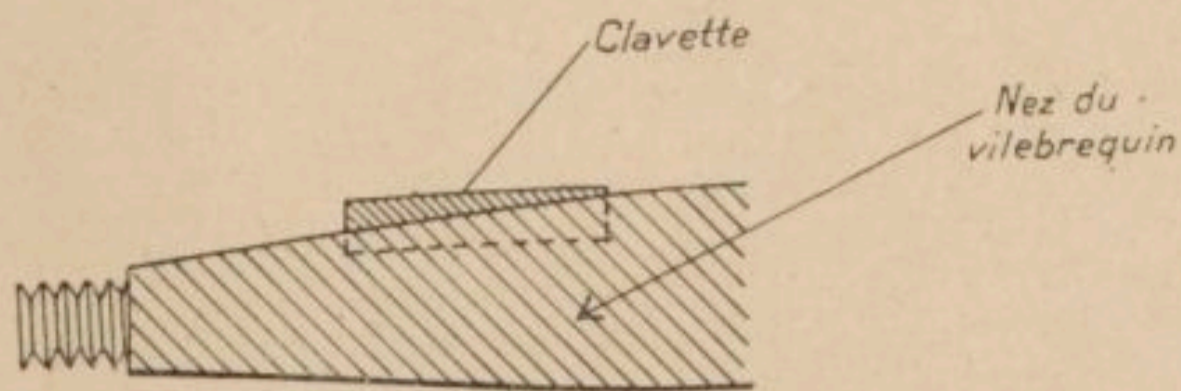


Fig. 108.

d'un frein évitant le desserrage en marche (ce frein est souvent constitué par une goupille traversant l'écrou de blocage).

V. — CONSTRUCTION DES AVIONS.

Les avions peuvent se construire : 1^o en bois ; 2^o en métal ; 3^o d'une manière mixte.

Construction en bois. — D'une façon générale, un avion comprend :

- a. Une surface portante ;
- b. Un fuselage ou carlingue ;
- c. Un empennage ;
- d. Un train d'atterrissage ;
- e. Un groupe moto-propulseur.

SURFACE PORTANTE. — Elle peut comprendre 1, 2, 3, ... plans principaux. L'avion se nomme alors, suivant le cas, monoplane, biplane, triplane, etc. Dans le cas du biplane ou du triplane, l'ensemble des plans et des pièces servant à leur assemblage se nomme *la cellule*.

Un plan en bois se compose le plus souvent :

- a. De deux longerons : un longeron A et un longeron B ;
- b. De plusieurs nervures ;
- c. D'une surface de recouvrement de l'ensemble.

a. *Les longerons* sont en frêne ou en spruce. Il est indispensable que les bois employés soient excessivement bien séchés au moment de

leur emploi. Leur section est de forme rectangulaire. La plus grande longueur ab est disposée en hauteur pour résister à la poussée (fig. 109).

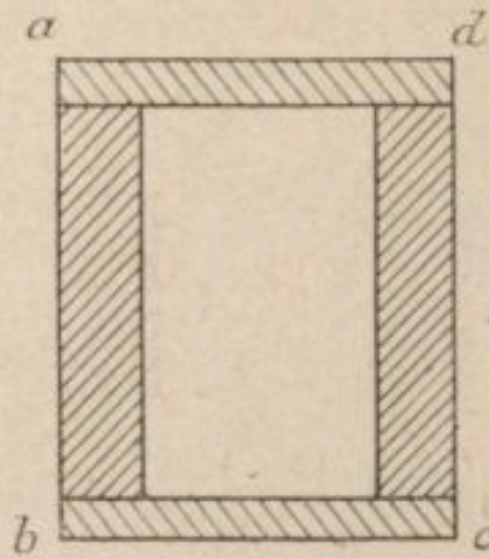


Fig. 109.

Ils sont constitués par une sorte de caisse dont les côtés sont collés

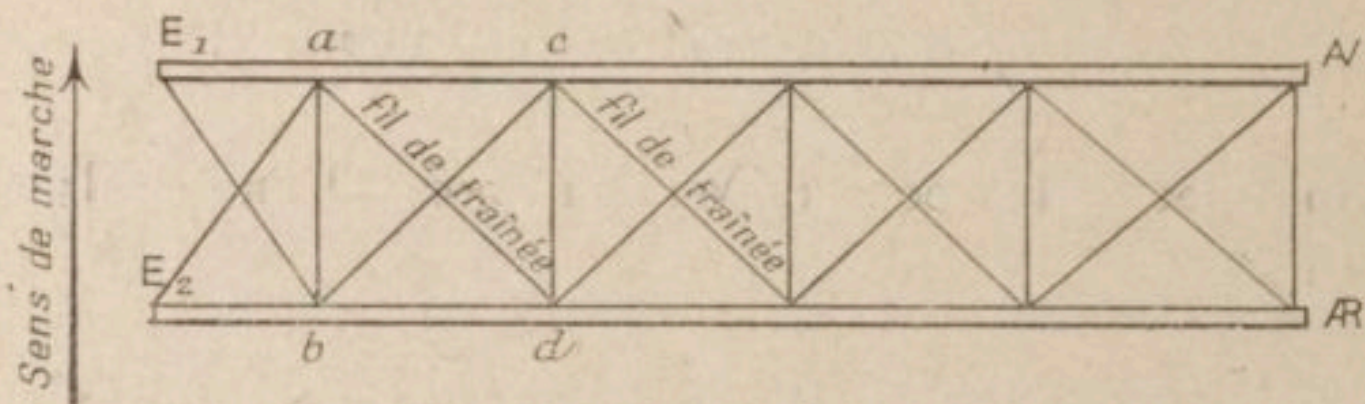


Fig. 110.

et cloués les uns aux autres. Le longeron A est généralement plus

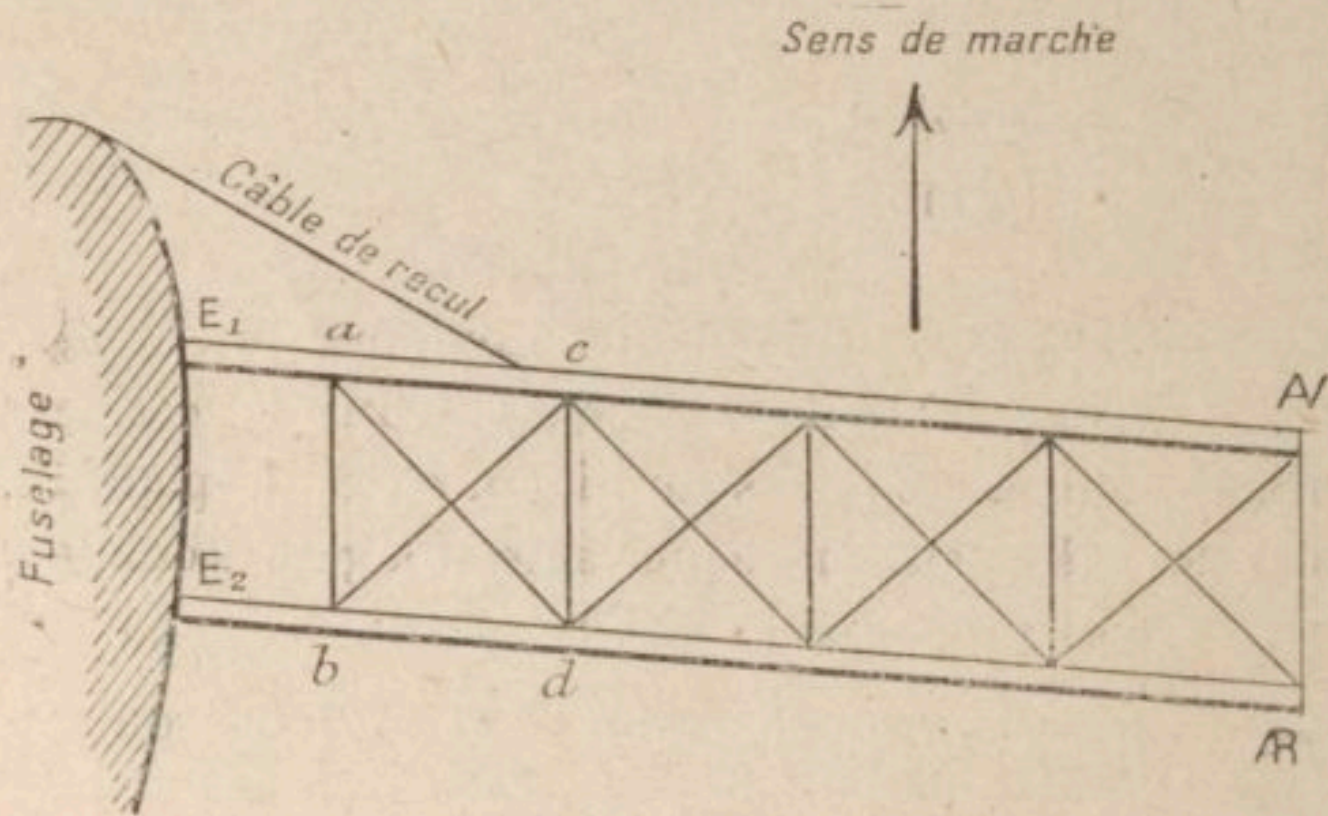


Fig. 111.

fort que le longeron R , la poussée ayant son point d'application plus près du longeron A que du longeron R . Entre les deux longe-

rons sont souvent fixés des tubes métalliques appelés *entretoises* tels que *ab* ou *cd* (fig. 110) destinés à maintenir l'écartement.

Pour rendre l'ensemble indéformable, le tout est croisillonné. Les fils qui résistent à l'effort de traînée sont appelés *fils de traînée* (fig. 110). Ils sont souvent doublés. Les extrémités E_1 et E_2 des longerons *V* et *R* s'encastrent dans le fuselage, ou dans des ferrures spéciales portées par lui. Il est nécessaire de surveiller attentivement l'état du croisillonnage. S'il est détendu, l'aile tend à prendre la forme représentée sur la figure 111. On renforce quelquefois l'action des fils de traînée au moyen d'un câble extérieur appelé *câble de recul* (Nieuport, type 29) fixé à une extrémité sur l'*V* du fuselage, et à l'autre sur le longeron *V*.

b. Les nervures, également en spruce, ont la forme de la figure 112.

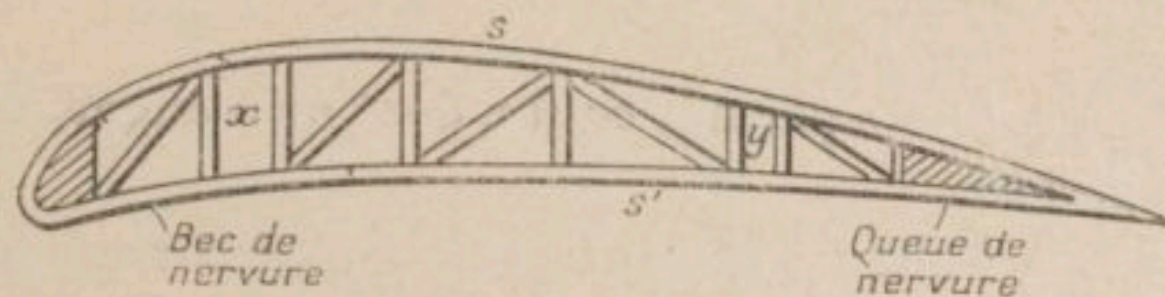


Fig. 112.

Elles se composent, en principe, de deux semelles *s* et *s'*, réunies par des âmes. Les semelles sont en frêne, peuplier ou spruce. Les âmes sont en peuplier, grisard. Deux espaces libres *x* et *y* permettent d'encastrent les longerons *V* et *R*. La partie de la nervure en *V* du longeron *V* s'appelle *bec de nervure*. La partie en *R* du longeron *R* s'appelle *queue de nervure*.

Il existe plusieurs sortes de nervures :

- 1^o *Nervures ordinaires* ;
- 2^o *Nervures maîtresses* ;
- 3^o *Nervures caisson*.

Les premières sont celles qui sont simplement destinées à donner à l'aile sa courbure. Elles sont au nombre d'une dizaine pour une aile de 4 ou 5^m d'envergure.

Les *nervures maîtresses* sont placées à des endroits de l'aile qui fatiguent plus spécialement. On les emploie, par exemple, pour remplacer les entretoises. Elles résistent donc à la compression

provoquée par les croisillons. Elles ont la même forme que les précédentes, mais sont plus larges et beaucoup plus résistantes.

Les *nervures caisson* se placent aux deux extrémités des ailes (une contre le fuselage, une autre vers l'extérieur). On leur donne la forme de la figure 113 pour les empêcher de se cintrer sous l'influence de la tension de la toile de recouvrement.

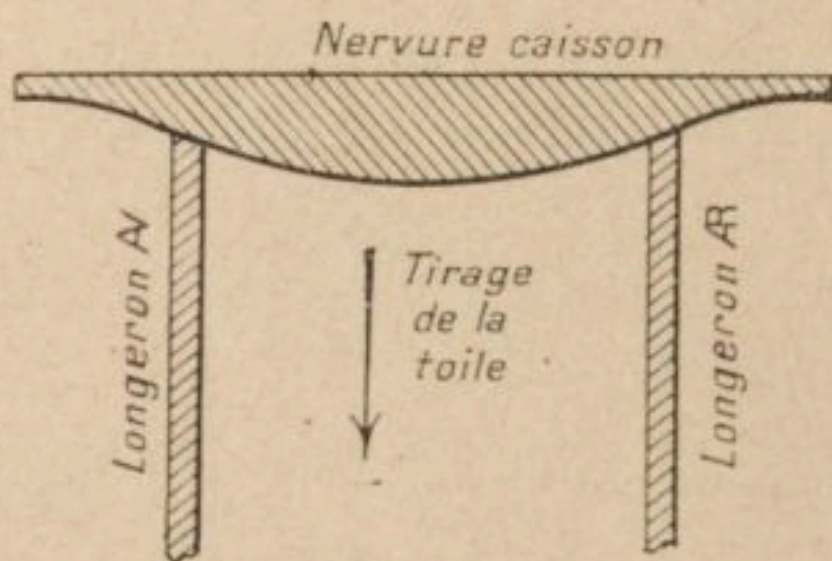


Fig. 113.

Elles sont constituées par une *caisse*, dont on a augmenté la largeur entre les longerons.

L'ensemble de l'aile se présente comme alors sur la figure 114.

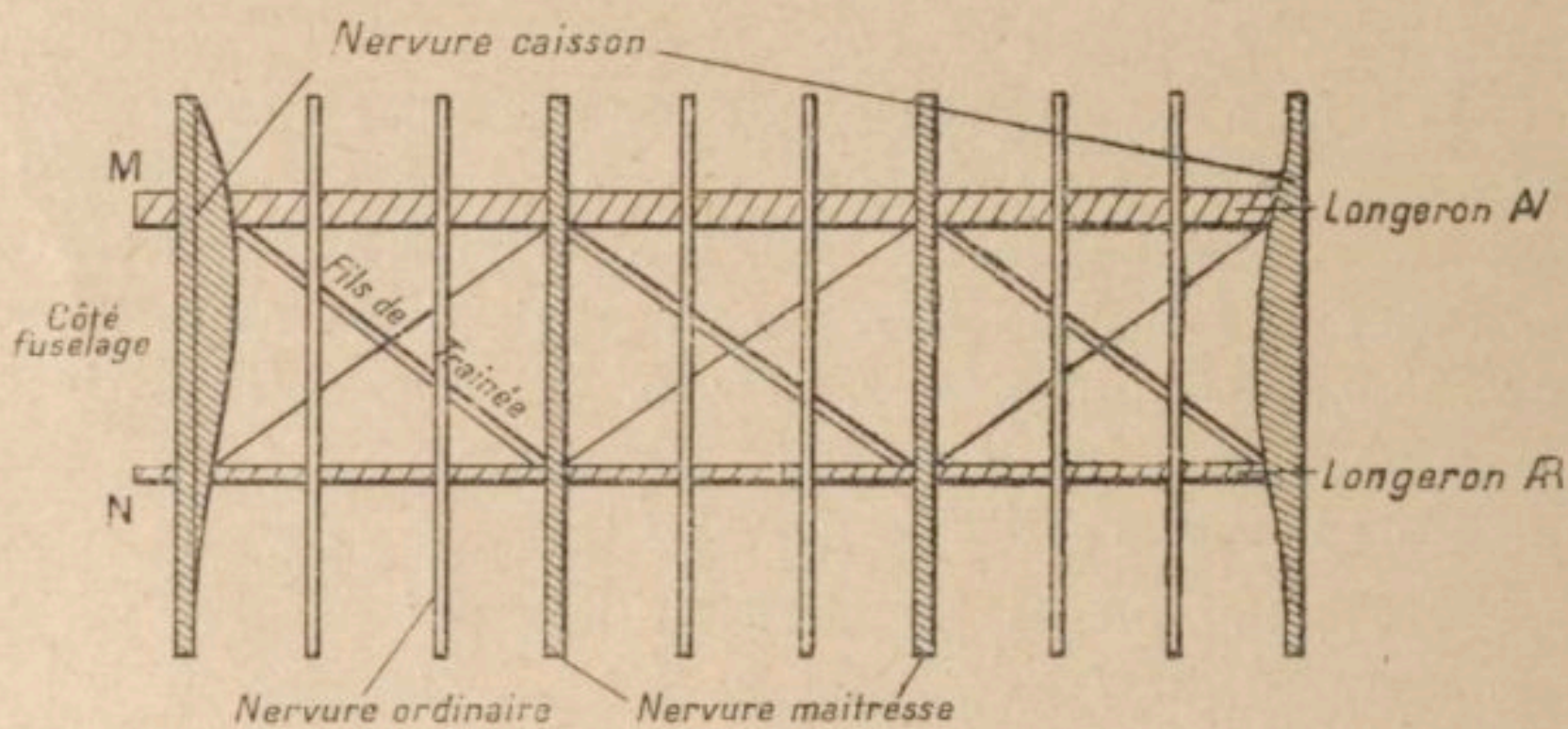


Fig. 114.

Les extrémités M et N visibles sur la figure servent à la fixation de l'aile au fuselage.

Une fois l'aile ainsi constituée, on procède à une opération destinée à empêcher les nervures de se coucher sous l'influence de la poussée : on prend pour cela de la bande de *toile à entretoiser* (petite bande de 1 à 2^{cm} de largeur) qu'on passe successivement par-dessus et

par-dessous les nervures (*fig. 115*) et qu'on cloue sur chaque nervure. Ensuite, tous les becs de nervures sont réunis par un *faux longeron*

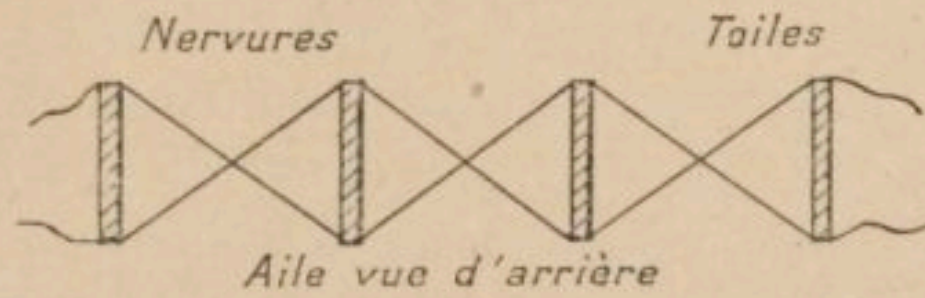


Fig. 115.

ou *arêtier*, sorte de longeron en bois sur lequel s'encastrent les becs de nervures (*fig. 116*) qui ne peuvent ainsi se plier latéralement.

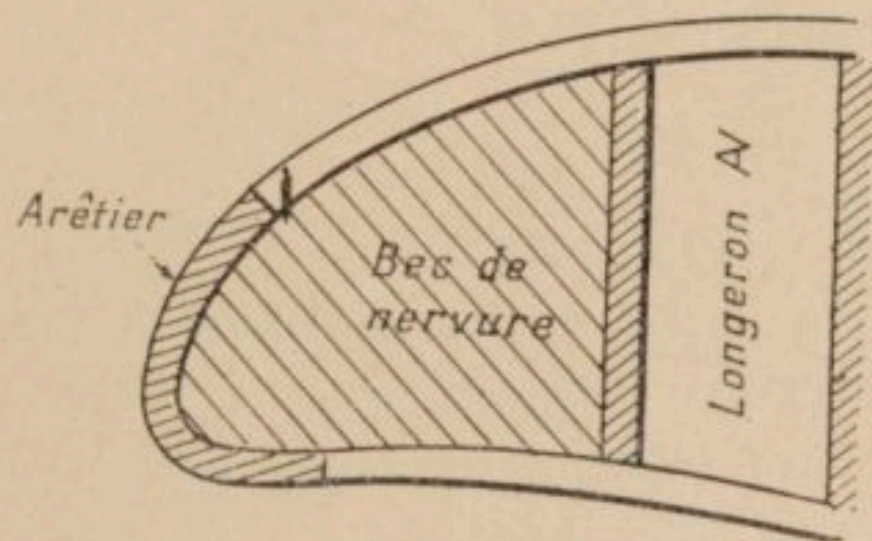


Fig. 116.

Cet arêtier est collé et cloué sur les nervures. Sur toute la longueur de l'aile, on recouvre de contreplaqué la partie A (bord d'attaque). Enfin, toutes les queues de nervure sont réunies par une petite corde à piano pour les empêcher également de fléchir latéralement.

c. La surface de recouvrement est le plus souvent de la toile. Elle est d'un seul morceau de l'A vers l'R. Les extrémités sont cousues ensemble, très souvent au bord de fuite, en tendant la toile autant

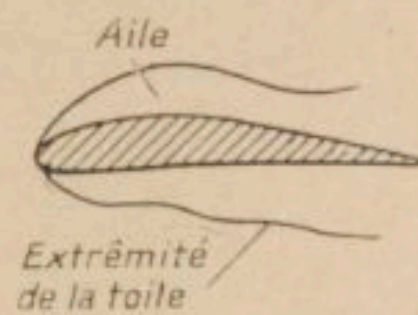


Fig. 117.

que possible (*fig. 117*). Une fois toute l'aile recouverte de toile, on procède à l'opération du *lardage*, qui consiste à fixer la toile de

recouvrement sur les nervures au moyen de *fil à larder*. Un fil spécial passe successivement par-dessous et par-dessus la toile en entourant les nervures, et cela sur toute leur longueur, de façon à empêcher la toile de se séparer des nervures sous l'influence de la dépression dorsale en particulier. Enfin, une dernière opération consiste à *tendre la toile* au moyen d'un enduit étendu sur toute la surface. Le plus employé de ces enduits est actuellement l'*émaillite*. Cette émaillite resserre la toile en séchant. On étale successivement trois couches, en ayant soin d'attendre qu'une couche soit sèche pour mettre la suivante. L'émaillite a l'avantage en même temps d'imperméabiliser la surface. On termine en mettant soit une couche de peinture, soit une couche de vernis qui rend la surface encore plus lisse. De petits trous sont ménagés vers le bord de fuite sur la face ventrale pour permettre à l'eau qui aurait pu pénétrer dans l'aile de s'échapper.

Sur les longerons d'ailes sont fixées les ferrures destinées à recevoir les *mâts* et les *haubans* assurant la rigidité de l'ensemble de la cellule. Ces ferrures se trouvent au point de croisement des nervures maîtresses (ou des entretoises) et des longerons. Si l'on considère une demi-cellule de biplan, fixée au fuselage (*fig. 118*), les fils *ab* sont

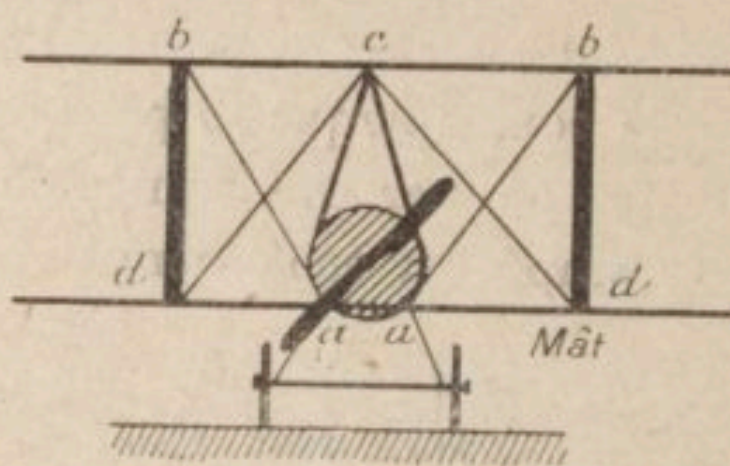


Fig. 118.

appelés *fils de vol*, les fils *cd* sont appelés *fils d'atterrissage*. Les pièces rigides qui maintiennent l'écartement du plan sont les *montants* ou *mâts* (*fig. 119*). Si l'on considère la cellule vue de profil, les fils croisant les paires de mâts sont appelés *fils d'incidence*.

Certains plans (supérieurs ou inférieurs suivant le cas) reçoivent les ailerons. Ceux-ci sont articulés, soit sur le longeron \mathcal{R} , soit sur un faux longeron *mn* plus en \mathcal{R} que le longeron \mathcal{R} (*fig. 120*), de façon à diminuer la profondeur de l'aileron, ce qui diminue l'effort à fournir par le pilote et augmente l'efficacité (à égalité de surface).

Le plan supérieur est souvent constitué par un plan central situé au-dessus du fuselage, dans lequel s'encastrent les deux parties

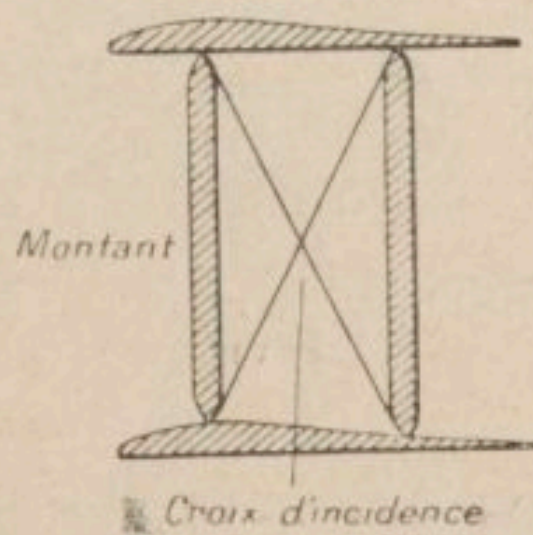


Fig. 119.

latérales. L'ossature centrale qui relie le plan central au fuselage

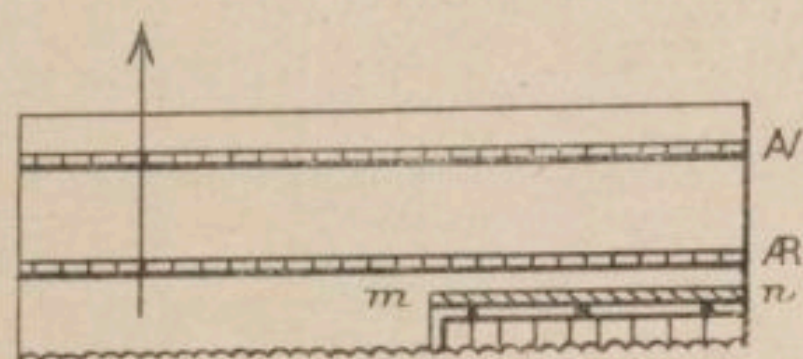


Fig. 120.

se nomme *cabane*. Elle est constituée par des *mâts de cabane* fixés sur le fuselage (fig. 121) et convenablement croisillonnés.

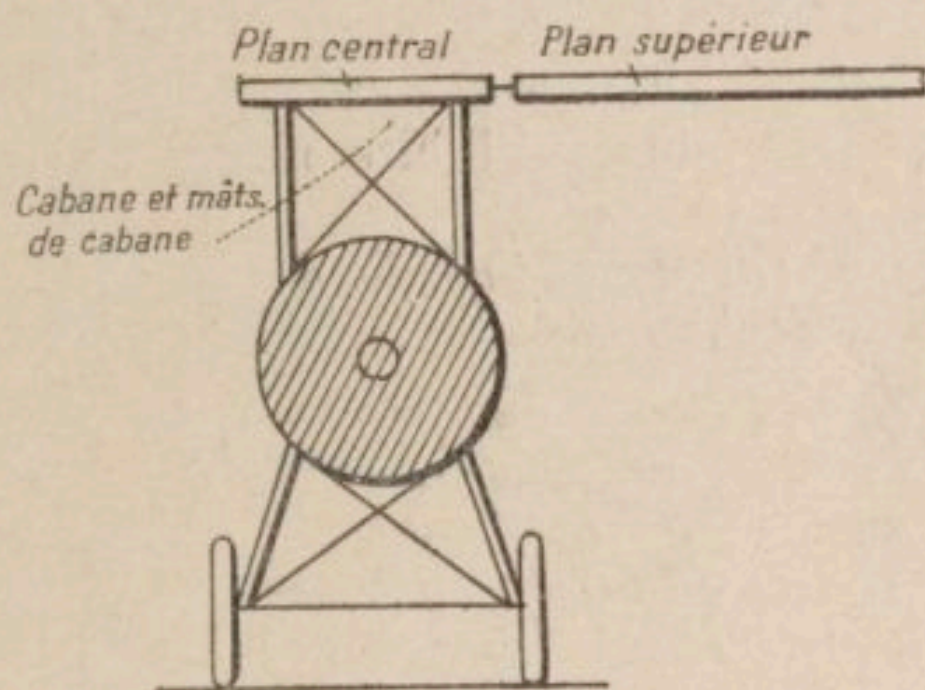


Fig. 121.

Lorsque l'avion est monoplan, l'aile peut être placée de différentes façons :

- 1° Au-dessus du fuselage;
- 2° A hauteur du dessus du fuselage;
- 3° A hauteur du dessous du fuselage.

PREMIER CAS : *Aile au-dessus*. — L'avion se présente alors comme sur la figure 122. L'aile est supportée par une cabane. Pour maintenir

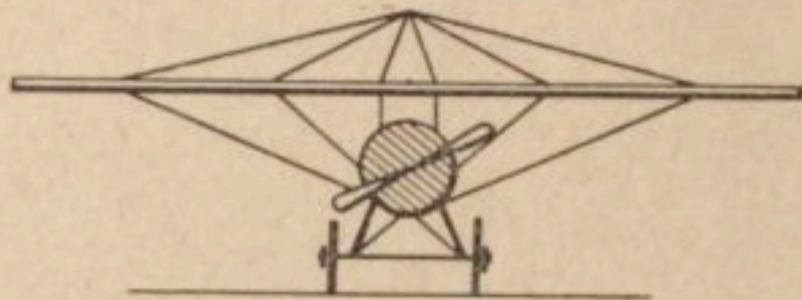


Fig. 122.

l'aile à l'atterrissage ou dans les coups de vent venant du dessus, on peut soit mettre au-dessus de l'aile une deuxième cabane qui porte des câbles d'attache d'aile, soit mettre simplement des montants rigides en dessous, qui travailleront tantôt à l'extension, tantôt à la compression. Dans les deux cas, l'avion est appelé un monoplan *parasol* (la figure 123 représente un « parasol » à haubans rigides).

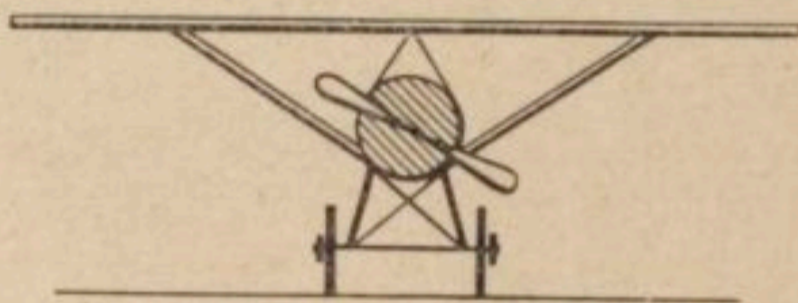


Fig. 123.

Ces haubans peuvent être en bois, ou en duralumin, ou en acier. L'avantage du monoplan parasol, lorsque l'aile est disposée un peu au-dessus des yeux du pilote, est de donner une *visibilité totale* en dessous et une très bonne visibilité en dessus (*Morane-Saulnier*).

DEUXIÈME CAS : *Aile à hauteur du dessus du fuselage*. — Cette

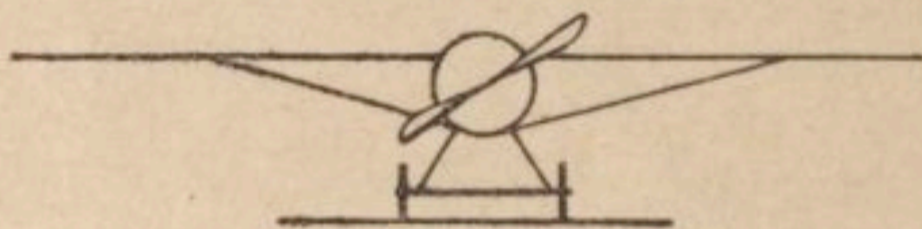


Fig. 124.

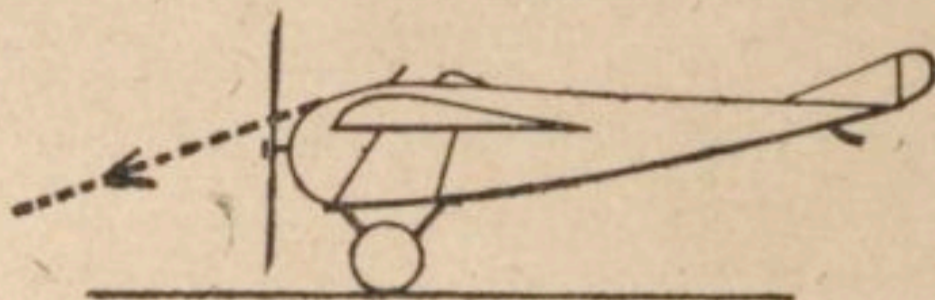


Fig. 125.

disposition a l'avantage de diminuer la résistance à l'avancement

puisque la cabane est supprimée. Mais la visibilité est très mauvaise en dessous (*fig. 124, 125*), ce qui a de gros inconvénients. De plus, les haubans travaillent sous un mauvais angle (*fig. 124*). La solidité est moindre.

TROISIÈME CAS : *Aile à hauteur du dessous du fuselage.* — Grâce à cette disposition (*fig. 126*), on augmente beaucoup la visibilité

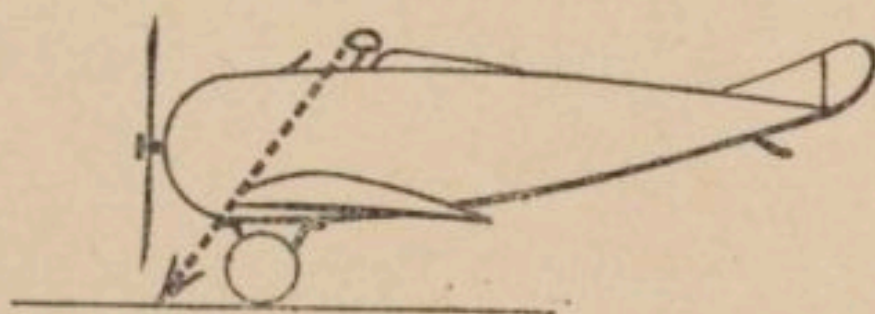


Fig. 126.

vers le bas, mais il faut modifier l'équilibrage de l'avion pour que le centre de gravité ne soit pas trop haut. Ces types d'avions sont appelés *monoplans à aile surbaissée* (monoplan allemand *Junkers*, monoplan français *Bernard*).

Nous avons vu précédemment qu'on arrivait, avec les avions à aile épaisse, à supprimer totalement les haubannages. L'aile, dans ce cas, est généralement d'un seul bloc sur toute l'envergure, contrairement aux ailes courantes qui sont séparées à l'endroit du fuselage.

Les longerons ont, dans le cas de l'aile épaisse, la forme de la figure 127, de façon à pouvoir résister à la poussée. On voit que la

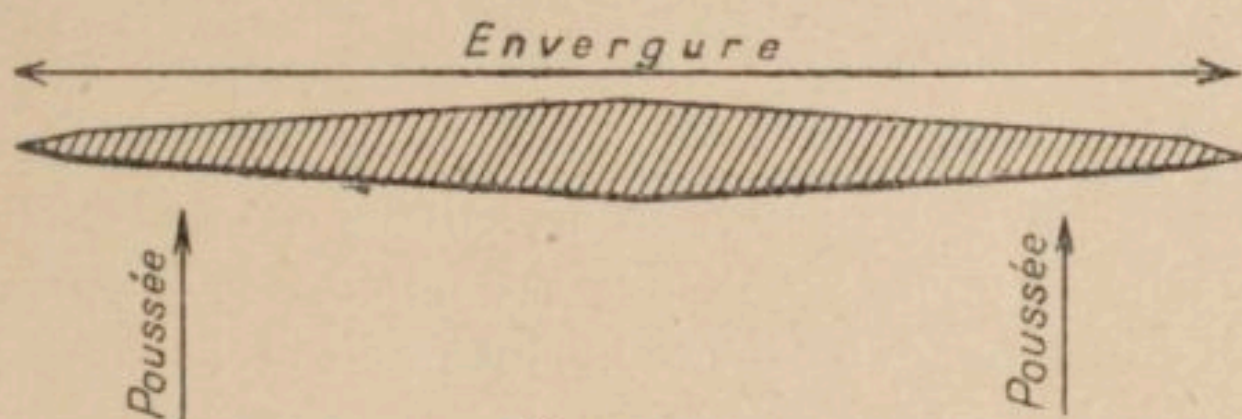


Fig. 127.

section des longerons est de plus en plus grande à mesure qu'on se rapproche du centre.

FUSELAGE. — Il reçoit les pièces de fixation des ailes de l'empennage, des haubans, du train d'atterrissage et du groupe moto-propulseur. Un espace est ménagé pour le pilote (et les passagers, s'il y a lieu) et pour toutes les commandes de l'avion.

Le fuselage du type courant est constitué par quatre longerons réunis entre eux par des entretoises; le tout est croisillonné dans trois plans perpendiculaires deux à deux, de façon à rendre le tout indéformable (fig. 128). Pour diminuer la résistance à l'avancement,

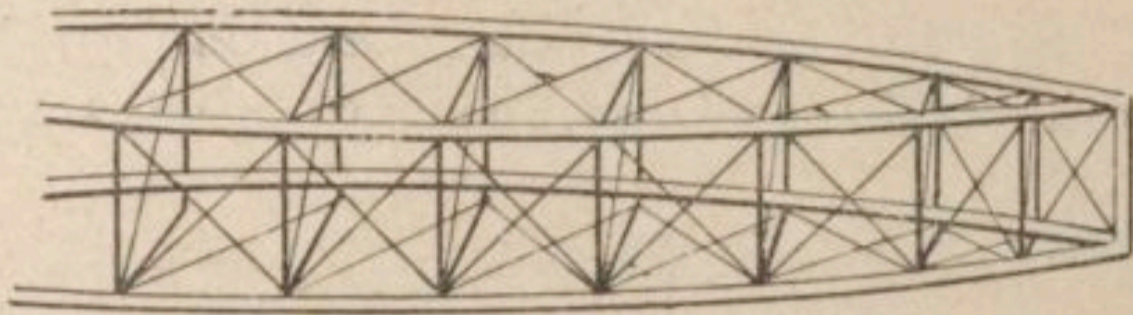


Fig. 128.

on ajoute souvent des cercles en bois autour des quatre longerons, de façon à supprimer les angles (fig. 129). L'ensemble est ensuite entoilé.

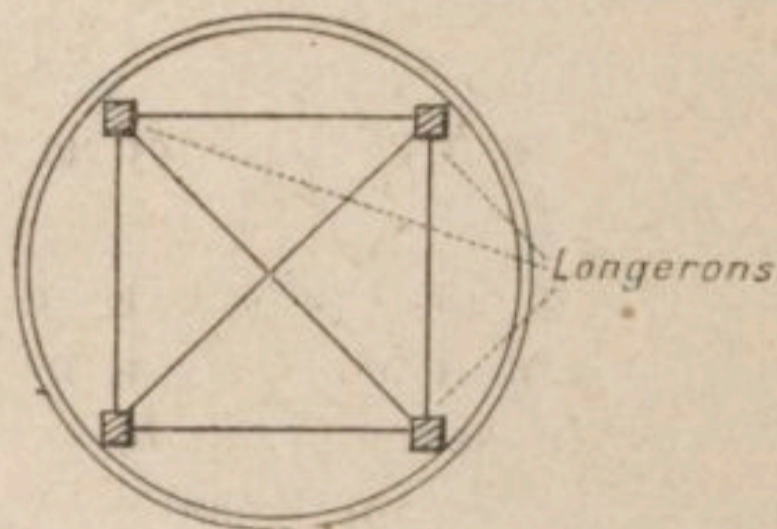
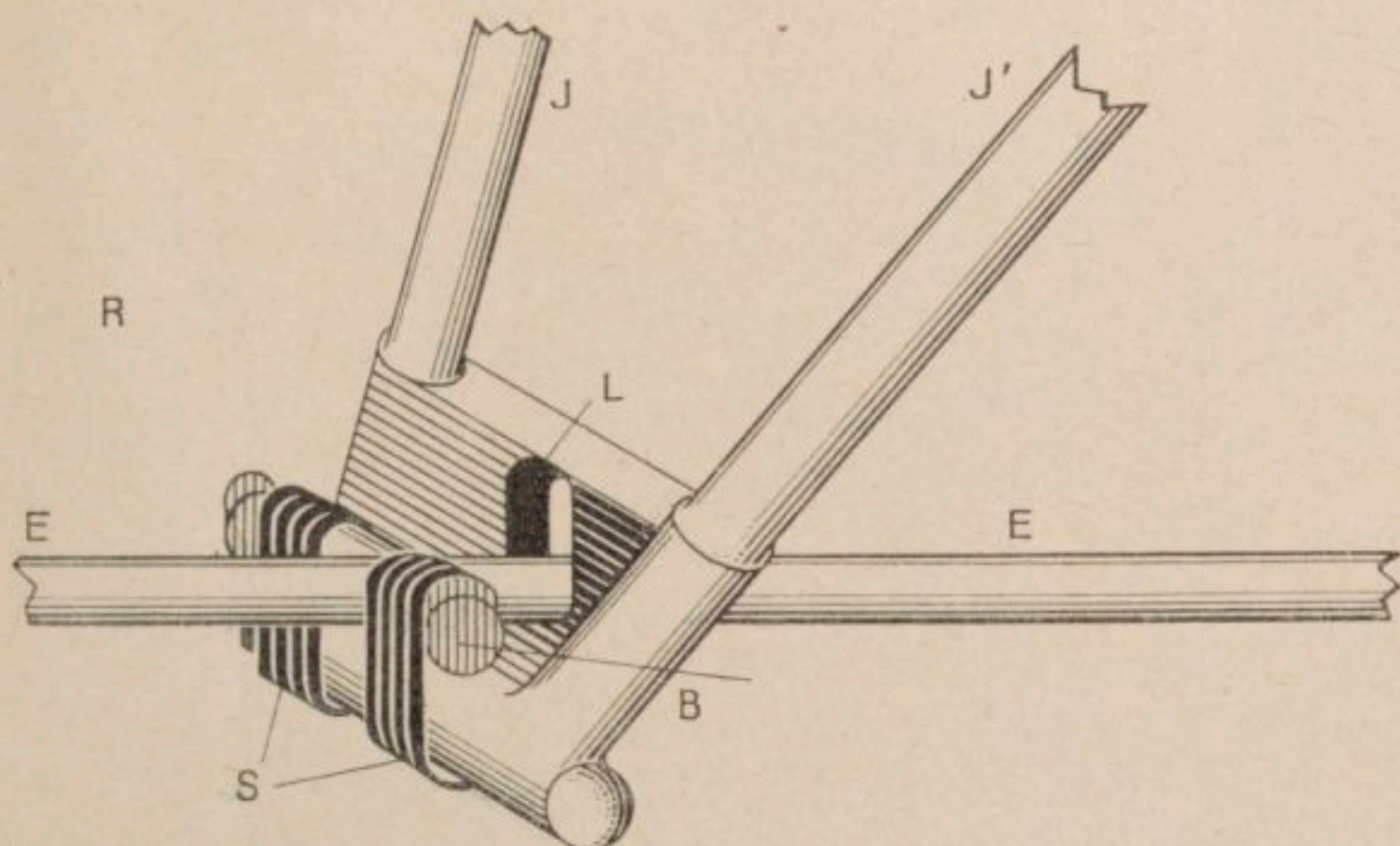


Fig. 129.

Le fuselage « monocoque » est constitué par de petites lames de bois de 2 à 3^{cm} de largeur et de quelques millimètres d'épaisseur, ayant plusieurs mètres de longueur, qu'on enroule autour d'un moule ayant la forme du fuselage. On suppose ainsi quatre à cinq courbes successives à contre-fil, en les collant et les clouant les unes aux autres. Le moule, qui comprend non seulement le fuselage, mais aussi l'empennage, se retire ensuite de l'intérieur en plusieurs morceaux. Les bandes de bois enroulées constituent alors un tout sans aucune arête, sans angle, et sans solution de continuité entre l'*R*, du fuselage et l'empennage, d'où une très bonne pénétration (ex. : *Nieuport 29 C-1*). On ajoute ensuite à l'intérieur des arceaux de bois donnant la rigidité.

EMPENNAGE. — Les surfaces sont fabriquées de la même façon que les ailes. La partie sur laquelle s'articule le gouvernail de direction se nomme *poinçon de gouvernail*.

TRAIN D'ATTERRISSAGE (*fig. 130*). — Il comprend le plus souvent deux roues réunies par un même essieu, ou par un essieu double



JJ', jambes de force du train; L, lumière pour le mouvement de haut en bas de l'essieu; E, essieu; S, sandows; B, barre métallique soudée sur l'essieu. Les sandows entourent cette barre et la partie inférieure du V d'atterrissage.

Fig. 130.

ayant deux articulations pour rendre les roues indépendantes à l'atterrissage. L'élasticité du train est presque toujours obtenue au moyen de *sandows* formés d'une grande quantité de petits brins de caoutchouc tendus à l'intérieur d'une gaine en fil ou en coton. Ces sandows sont enroulés autour de l'essieu et d'une partie fixe du train, de façon à s'allonger sous les chocs de l'atterrissage. Quelquefois, le train d'atterrissage possède des amortisseurs constitués par des ressorts à boudin, ou encore par des sortes de freins à huile (monoplan *Béchereau*).

On peut comprendre également dans le train d'atterrissage la béquille *R* qui supporte le fuselage et qu'on munit en général d'un petit *soc* pour diminuer la longueur de roulement sur le sol à l'atterrissage (*fig. 131*).

Les V d'atterrissage qui supportent les roues (*fig. 131*) sont constitués par des montants en bois, ou en duralumin, ou en acier.

Ils doivent pouvoir supporter des efforts au moins cinq fois plus grands que les efforts au sol, à l'arrêt.

L'*empattement* représente l'écartement entre les axes des deux roues. Il doit être assez grand pour éviter que les ailes ne touchent le sol dans les secousses sur un mauvais terrain.

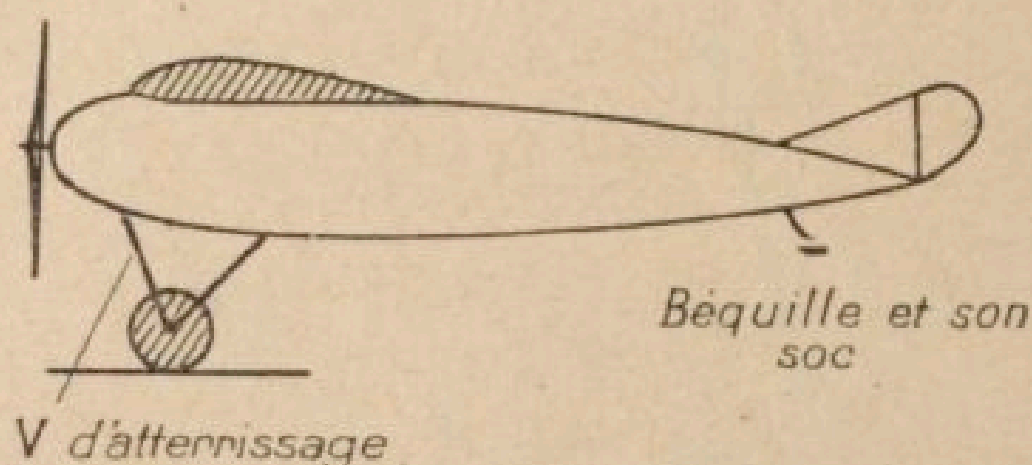


Fig. 131.

GROUPE MOTO-PROPULSEUR. — Voir Moteur (Cours Moteur) et Hélice (Cours Avion).

FABRICATION DES MATS OU MONTANTS EN BOIS. — Ils sont fabriqués en deux morceaux symétriques dans le sens de la longueur (fig. 132).

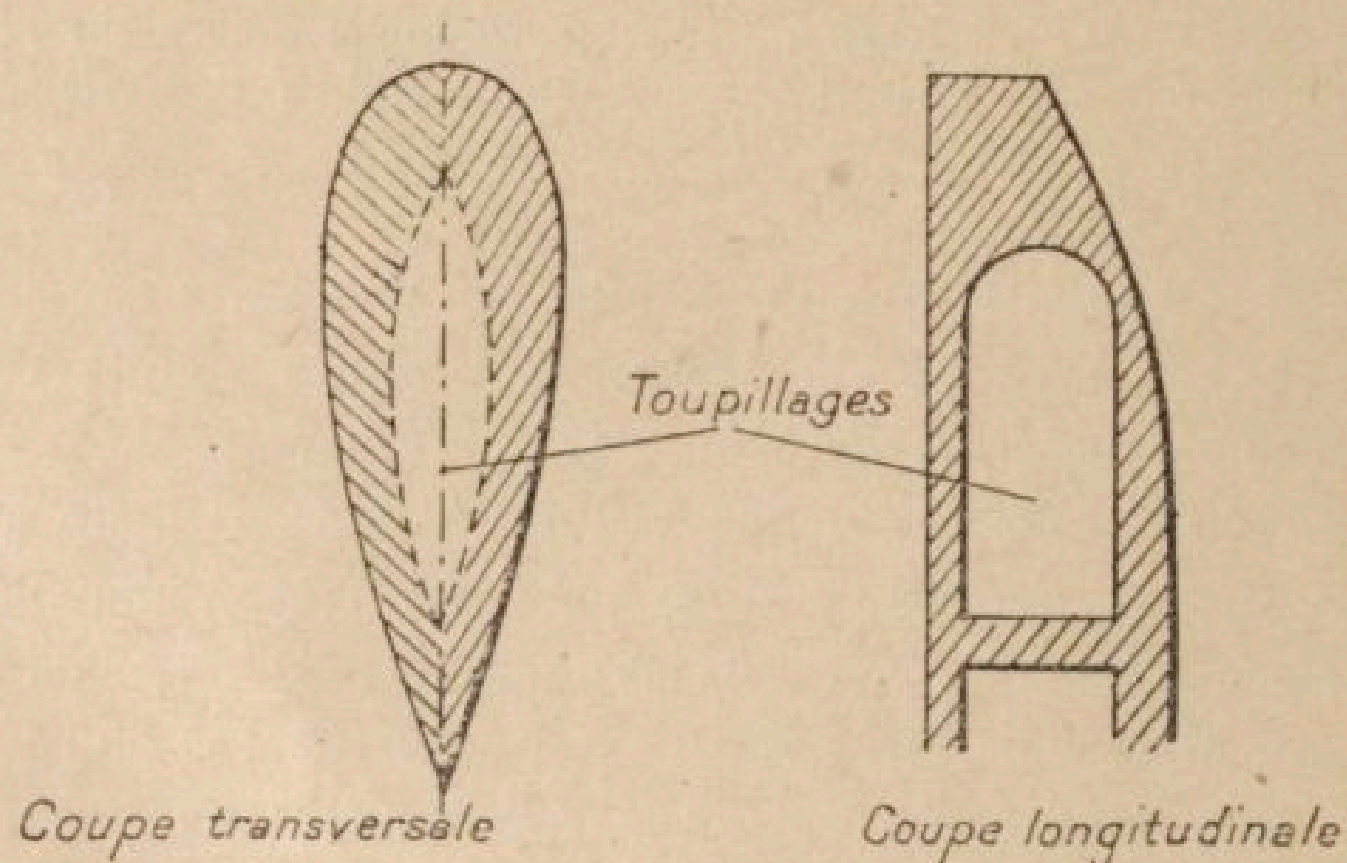


Fig. 132.

Chaque partie a été creusée intérieurement pour alléger le mât. L'opération consistant à creuser le mât s'appelle le *touillage*. Entre deux parties touillées, on garde une partie pleine, c'est-à-dire une *résistance*. Les deux parties du mât sont collées l'une à l'autre. Pour éviter le glissement de deux morceaux l'un contre l'autre, on les munit d'une petite rainure dans laquelle s'encastre une lame de bois appelée *fausse languette* (fig. 133).

Enfin, pour consolider l'ensemble, on entoure le mât d'une bande de toile qui, émaillitée, se resserre et augmente ainsi la solidité, en même temps que le poli.

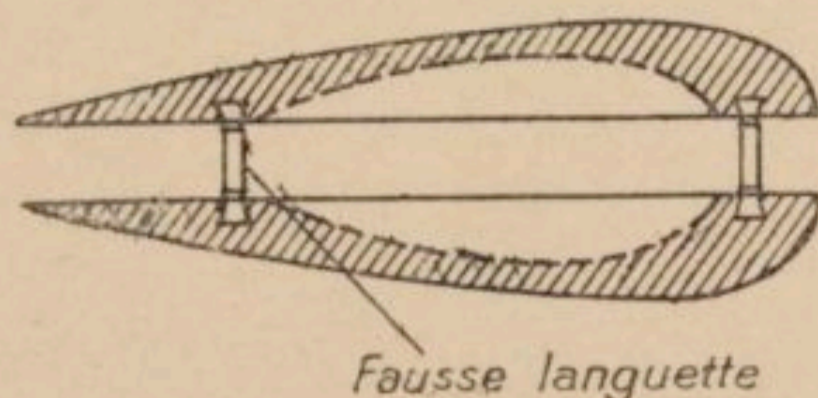


Fig. 133.

Certaines parties de l'avion, destinées à recevoir des efforts violents (par exemple les *semelles de patinage* supportant les essieux des roues) sont entourées d'une *bande à maroufler* en toile. On l'émaillite comme celle des montants, ce qui la resserre.

Lorsqu'on veut fabriquer des plaques très solides et se déformant peu malgré leur légèreté, on se sert des bois *contreplaqués*. Ce sont des plaques de bois formées de petites feuilles minces de bouleau, par exemple collées à contre-fil, ce qui leur donne une grosse résistance. On s'en sert, par exemple, pour les âmes de nervures, pour recouvrir les bords d'attaque, ou pour certaines parties du fuselage, pour les planches d'appareils de bord, etc.

Tous les croisillonnages de fuselage, et beaucoup de commandes et de fils de vol se font en *cordes à piano*. Elles sont fabriquées avec un acier spécial à haute résistance à la traction. Elles doivent pouvoir supporter 150 à 200^{kg} par millimètre carré à la rupture.

CONSTRUCTION MÉTALLIQUE. — On emploie soit l'acier, soit le duralumin. Ce dernier est surtout employé à cause de sa légèreté. Il est composé d'aluminium, de cuivre et de manganèse. On s'en sert pour fabriquer des longerons, des entretoises, des nervures, etc. On peut alors l'utiliser de façon à fabriquer un avion d'après les mêmes principes que pour le bois, en ce qui concerne l'assemblage des différentes pièces les unes par rapport aux autres. Mais on peut également, grâce à lui, fabriquer des ailes, par exemple, ne comportant ni longerons, ni nervures (par exemple *Junkers*) en formant une sorte de poutre constituée par un ensemble de triangles rivés les uns aux autres (*fig. 134*). On peut aussi recouvrir l'aile, non pas

avec de la toile, mais avec une feuille d'aluminium, soit plate, soit ondulée, ce qui lui donne de la rigidité (*fig. 134*). Mais, dans

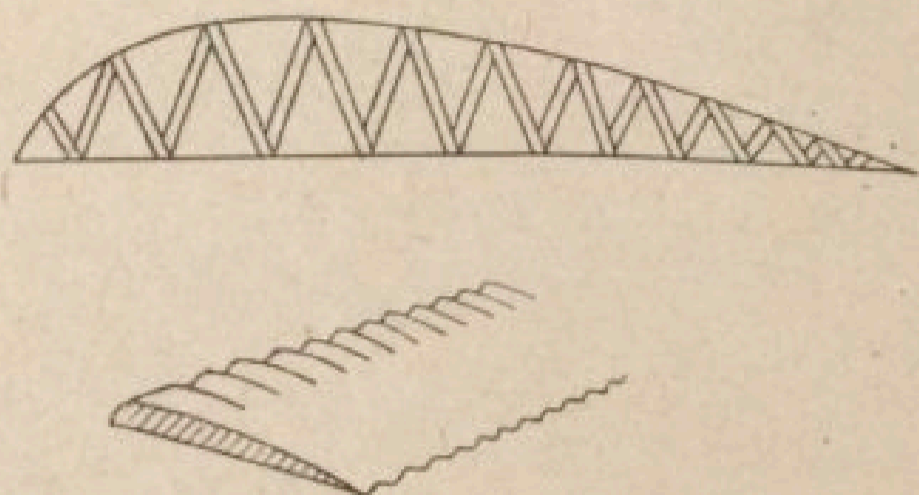


Fig. 134.

ce cas, l'aluminium étant plus lourd que la toile, il est bon que la tôle d'aluminium participe à la solidité de l'ensemble au lieu d'être utilisée seulement pour le recouvrement, car on alourdirait inutilement l'appareil.

On fabrique également les fuselages uniquement en duralumin ou aluminium. Le revêtement est souvent fait en tôle d'aluminium ondulée. La construction métallique offre l'avantage de se conserver malgré l'humidité, contrairement au bois qui tend à se déformer. Mais elle est, pour l'instant, plus délicate et demande à être perfectionnée.

Coefficient d'essai statique. — C'est un nombre qui exprime combien de fois l'avion peut supporter l'effort normal du vol sans casser. Ainsi, un avion a un coefficient de 6 quand il peut supporter six fois l'effort du vol normal horizontal. [Si l'on prend l'effort maximum qu'il est capable de supporter, et l'effort maximum qu'il supporte dans les plus dures évolutions (« ressource » en partant du piqué à la verticale), on obtient deux nombres dont le rapport est appelé *coefficient de sécurité*. Il est voisin de 2.]

Pour essayer la solidité d'un avion nouveau, on procède aux *essais statiques*. On place l'avion à l'envers sur des tréteaux en lui donnant une certaine inclinaison (*fig. 135*). On répartit sur le dessous des ailes une charge de sable, de façon que le centre de gravité de la charge soit dans les environs du tiers *N* de l'aile. Si l'on appelle *Q*, la somme poids des ailes + poids du sable, on voit que l'on peut la considérer comme la résultante des forces agissant sur l'avion. Sa décomposition en deux forces *P* et *T* peut se faire facilement. On

tient compte, par conséquent, grâce à l'inclinaison, des efforts de poussée et de traînée.

Soient P le poids de l'avion complet en ordre de marche, p le poids des ailes, n le coefficient d'essai statique que l'on veut obtenir.

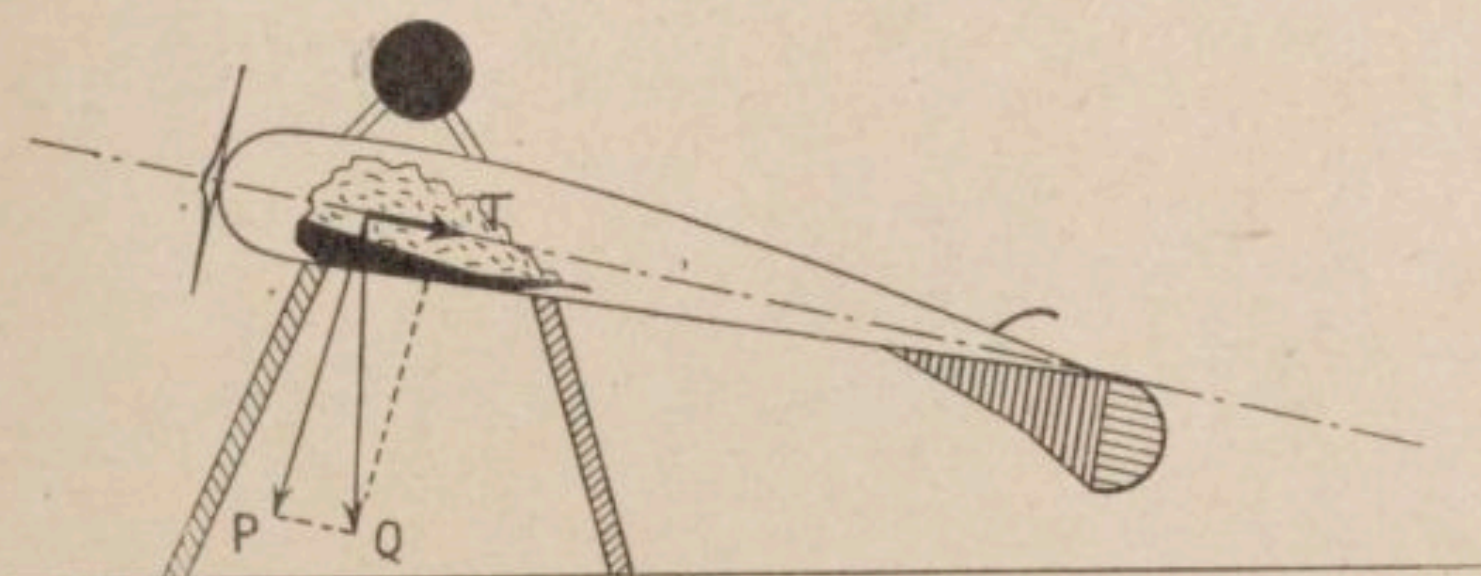


Fig. 135.

En vol, les ailes tendent à tomber par suite de leur poids. Il ne faut donc pas les comprendre dans l'effort que les haubans, par exemple, ont à supporter. *L'effort normal est donc $P - p$* sur les ferrures, fils de vol, etc. Si l'on veut un coefficient n , l'avion devra pouvoir supporter *un effort égal à $n(P - p)$* . Mais quand on retourne l'avion pour les essais statiques, le poids des ailes s'ajoute à l'effort sur les câbles. *Il faut donc le retrancher encore dans le calcul de la charge de sable à mettre.*

Celle-ci sera donc égale à

$$G = n(P - p) - p.$$

Supposons

$$P = 1000,$$

$$p = 200,$$

$$n = 8;$$

la charge à mettre sur le dessous des ailes sera donc

$$8(1000 - 200) - 200 = 8 \times 800 - 200 = 6200^{\text{kg}}.$$

Remarque. — Le coefficient d'essai statique doit être plus élevé pour un avion de chasse que pour un avion de bombardement. Il peut être de 15 dans le premier cas, de 7 dans le second, par exemple.

Réglage d'un avion. — On tient compte des indications portées dans les notices des constructeurs. En particulier, l'incidence des

ailes se règle au moyen de *règles à niveaux* qu'on place horizontalement sous les ailes, en leur faisant toucher le bord de fuite, *l'avion ayant été mis au préalable en ligne de vol (axe du moteur horizontal)*.

On règle alors les haubans de façon à amener les deux longerons en contact avec deux cales portées par la règle, celles-ci étant calculées de façon que l'angle ainsi obtenu soit l'angle d'incidence (*fig. 136*), 2° par exemple.

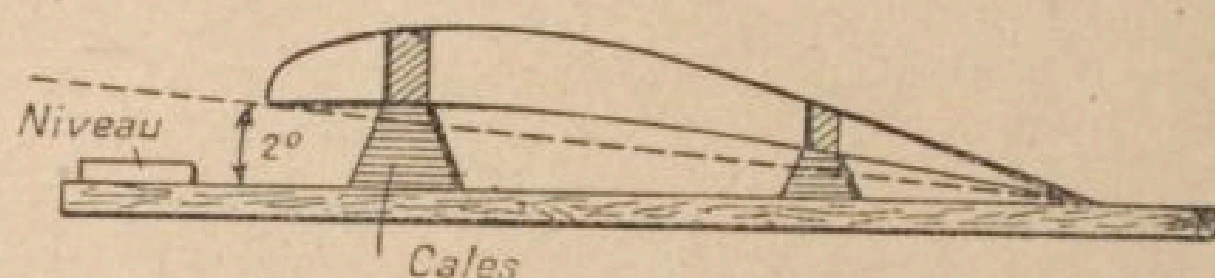


Fig. 136.

Dans la pratique, on coupe même la règle derrière la cale *A*, avant le bord de fuite pour ne pas tenir compte des légères déformations qui peuvent exister dans les queues de nervures.

Au sujet du réglage de l'incidence, il faut penser à tenir compte du compte de renversement du moteur. Soit un avion *vu de face* (*fig. 137*).

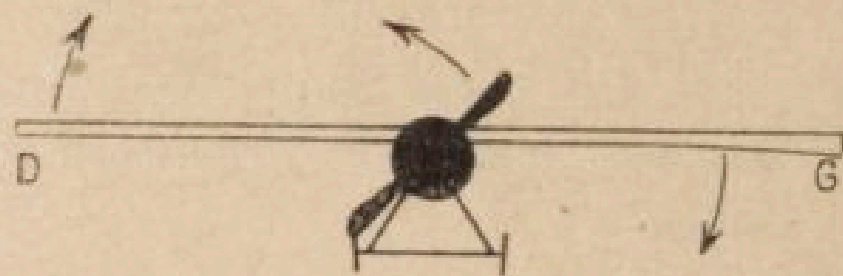


Fig. 137.

Si l'hélice tourne dans le sens de la flèche, par suite du couple de renversement, l'avion aura tendance à tourner en sens inverse, c'est-à-dire que l'aile gauche *G* baissera et que l'aile droite *D* montera. En effet, soient un cylindre du moteur et une force *R* représentant l'effort fourni par la bielle sur le rayon *r* du maneton (*fig. 138*). La force *R* possède par rapport à l'axe de rotation un moment $R \times 2$. C'est le moment moteur, qui doit vaincre la résistance de l'hélice à la rotation. Or, d'après le principe de l'action et de la réaction, le moteur, qui prend son point d'appui sur l'avion, provoquera sur celui-ci un moment égal de sens opposé. Par rapport au centre du vilebrequin, l'avion aura donc tendance à tourner en sens inverse de l'hélice. C'est ce qu'on nomme le « couple de renversement ». Pour que l'avion, en vol, n'ait pas tendance à pencher, il faudra augmenter l'incidence de l'aile gauche (*fig. 137*) ou diminuer celle

de l'aile droite. C'est ce qu'on fait pendant le réglage. Quand le moteur est arrêté pendant une descente, l'avion tend par conséquent à pencher en sens inverse.

Un autre effet du couple de renversement est la tendance aux *chevaux de bois* quand l'avion roule pour prendre le départ. Ainsi,

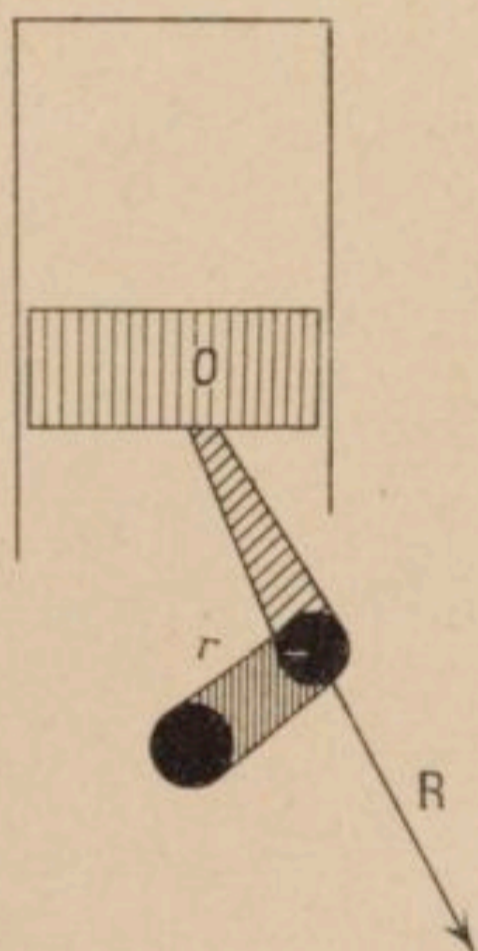


Fig. 138.

l'avion précédent aurait tendance à faire un cheval de bois à gauche, c'est-à-dire que *la queue tendrait à chasser vers la droite*. En vol,

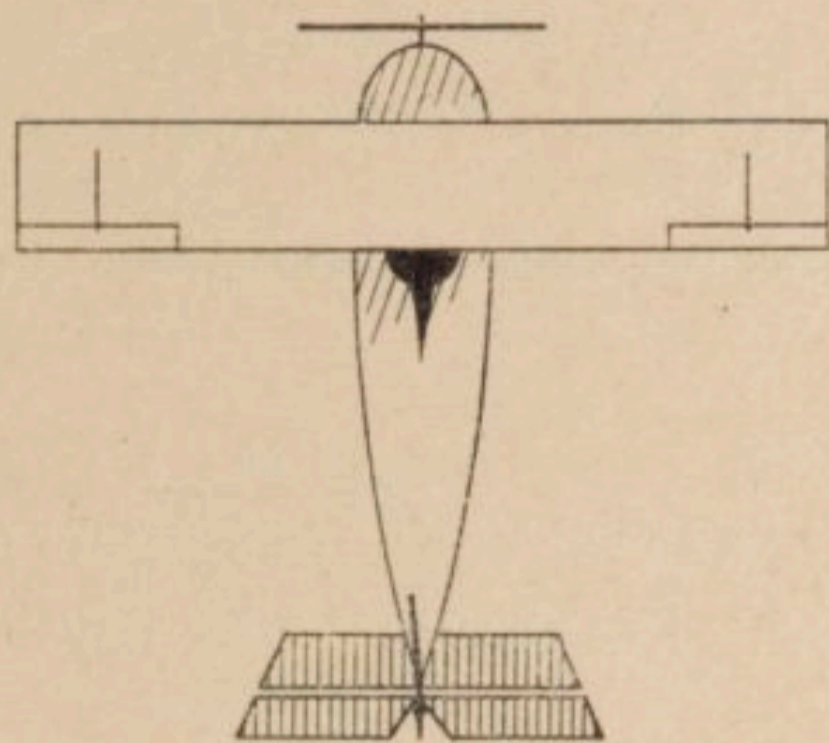


Fig. 139.

l'effet produit persiste. C'est pourquoi on *décalle* l'A de la dérive verticale par rapport à l'axe du fuselage. Soit l'avion précédent vu du dessus (*fig. 139*). Pour empêcher la queue de chasser vers la

droite (c'est-à-dire l'avion de « s'embarquer » à gauche), on déportera l'*N* de la dérive vers la gauche.

Remarque. — Dans les avions bimoteurs, ou trimoteurs, sur lesquels les moteurs sont, en général, du même type (par conséquent tournant dans le même sens) et disposés de façon que toutes les hélices soient tractives, les trois couples de renversement s'ajoutent.

Pour l'éviter, on pourrait, sur un avion bimoteur, mettre deux moteurs tournant en sens inverse, mais la solution n'est pas bonne. Il est préférable d'avoir deux moteurs tournant dans le même sens.

Sur les avions 4 moteurs, qui ont quatre moteurs semblables, mais deux hélices tractives, et deux propulsives, les couples s'accumulent.

VI. — INSTRUMENTS DE BORD.

On peut les diviser en trois classes :

- 1^o Instruments servant à la conduite du moteur;
- 2^o Instruments servant à la conduite de l'avion;
- 3^o Instruments servant à la navigation aérienne.

1^o Instruments servant à la conduite du moteur. — A. COMPTE-TOURS OU TACHYMÈTRES. — Ils sont commandés par un *flexible* qui reçoit en général son mouvement de l'arbre à cames. Ils peuvent être de plusieurs principes : à mouvement d'horlogerie, centrifuges, etc. Ces derniers fonctionnent de la même façon qu'un régulateur centrifuge de machine à vapeur. Ils indiquent tous les *tours-minute*.

B. AÉROTHERMOMÈTRE OU THERMOMÈTRES A DISTANCE OU TÉLÉ-THERMOMÈTRES. — Ils indiquent la température de l'eau de refroidissement des moteurs, prise aussi près que possible de la sortie des cylindres.

Un tube de cuivre T plonge dans l'eau de refroidissement. L'intérieur de ce tube (*fig. 140*) contient, d'une part, un liquide volatil, ce liquide étant localisé dans une fraction 1 du tube T; d'autre part, un second liquide non volatil aux températures utilisées, et occupant la fraction 2 du tube T. Celui-ci communique librement avec un

tube t très fin, et dont l'extrémité est reliée à un manomètre M. Le manomètre se compose essentiellement d'un tube de section elliptique A dont l'extrémité C, fermée, est reliée à un système visible sur la figure permettant à une aiguille de se mouvoir sur un

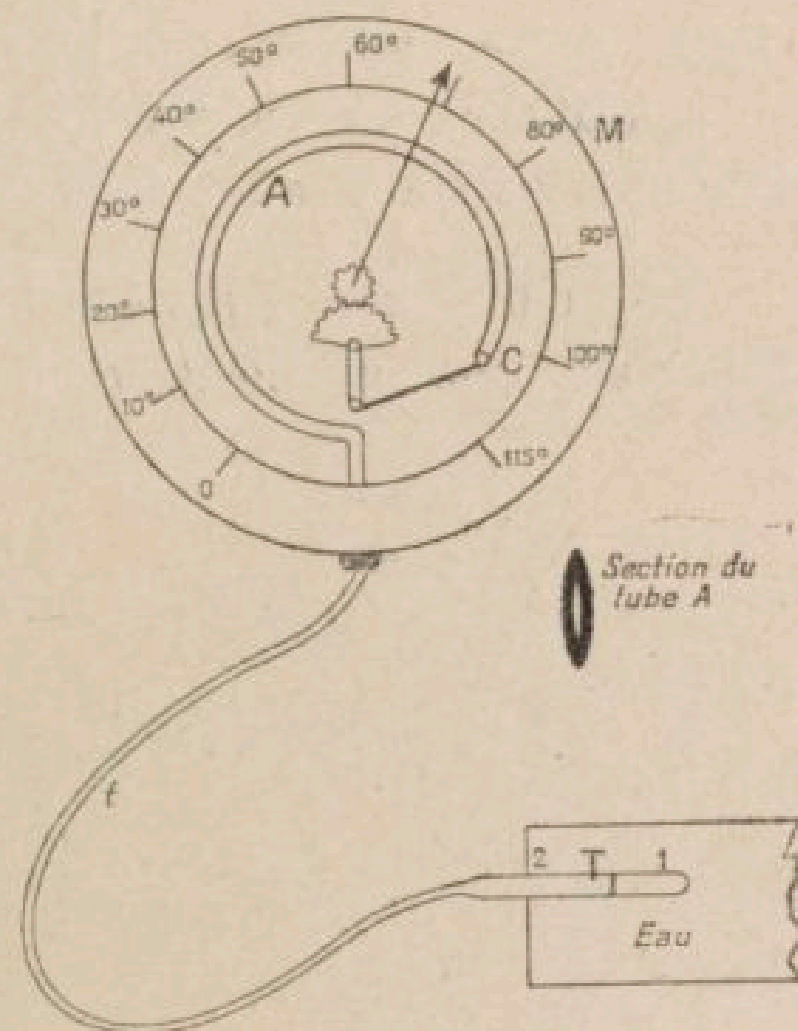


Fig. 140.

dran lorsque C se déplace de droite à gauche, et inversement. A, t et la fraction 2 de T sont remplis du même liquide. L'élévation de température de l'eau de refroidissement se propage à l'intérieur du tube T. Le liquide contenu dans 1 émet des vapeurs dont la pression (tension de vapeur) se transmet intégralement (grâce au fait que les liquides sont incompressibles) jusqu'au manomètre par l'intermédiaire du liquide non volatil (celui-ci étant pour cette raison appelé quelquefois « liquide transmetteur » par opposition au premier appelé « liquide moteur »). L'extrémité C du tube A se déroule alors vers la droite, entraînant l'aiguille.

Le cadran est gradué de 0 à 115°. Lorsque le plein d'eau est mal fait, il peut se produire des poches d'air autour des cylindres, et l'aiguille peut dépasser 100°. Le thermomètre porte des indications permettant de connaître la température à ne pas dépasser à l'altitude à laquelle on se trouve, l'eau bouillant en effet plus facilement quand la pression atmosphérique est moindre. On doit maintenir la température, grâce aux volets de radiateur, comprise entre 50° et 80°.

C. MANOMÈTRES. — Dans le cas où l'on a un *réservoir d'essence sous pression d'air*, on relie le dessus du réservoir à un tube qui communique sa pression à un manomètre, identique comme principe à l'altimètre dont on verra la description plus loin.

Le manomètre porte un trait bleu et un trait rouge. Le premier indique la pression minimum à maintenir si l'on veut être sûr que l'essence arrive au carburateur. Le second la pression maximum à ne pas dépasser si l'on ne veut pas risquer l'éclatement du réservoir.

Manomètres à huile. — Leur principe est encore le même exactement. Ils sont branchés sur une canalisation de départ de l'huile

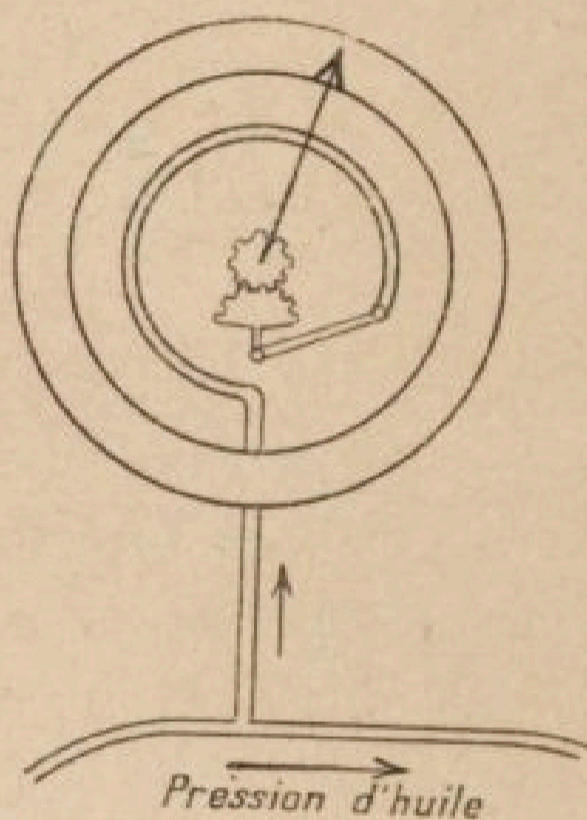


Fig. 141.

(fig. 141). (Pour leur emploi, se reporter au Cours Moteur : Chapitre Graissage.)

Cloches à huile. — Voir également Cours Moteur.

D. JAUGES D'ESSENCE. — Pour connaître la quantité d'essence

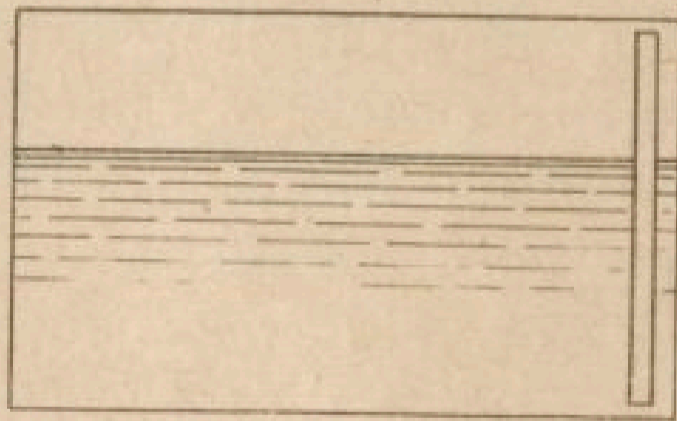


Fig. 142.

restant dans le réservoir, on peut disposer le long du réservoir un tube de verre communiquant avec le réservoir et dans lequel le

niveau s'établira (*fig. 142*), mais ce système n'est pas applicable dans la plupart des cas, et l'on connaît alors la quantité d'essence par des jauges indiquant le nombre de litres sur un cadran vu par le pilote. Plusieurs systèmes sont employés : à flotteur, électrique, pneumatique, etc.

E. VISEURS. — Pour contrôler la circulation d'essence (*voir Cours Moteur : Alimentation en essence*), on peut placer sur le tuyau de trop-plein de la nourrice un « viseur » constitué par un tube de verre faisant partie du tuyau, et à travers lequel on voit couler l'essence. Si l'essence cesse de couler, le pilote sait qu'il a encore toute la réserve de la nourrice pour rejoindre un terrain d'atterrissage.

2^o Instruments servant à la conduite de l'avion. — A. ALTIMÈTRE. — Une petite boîte métallique (en maillechort en général) dans laquelle on a fait le vide est munie de cannelures (*fig. 143*) per-

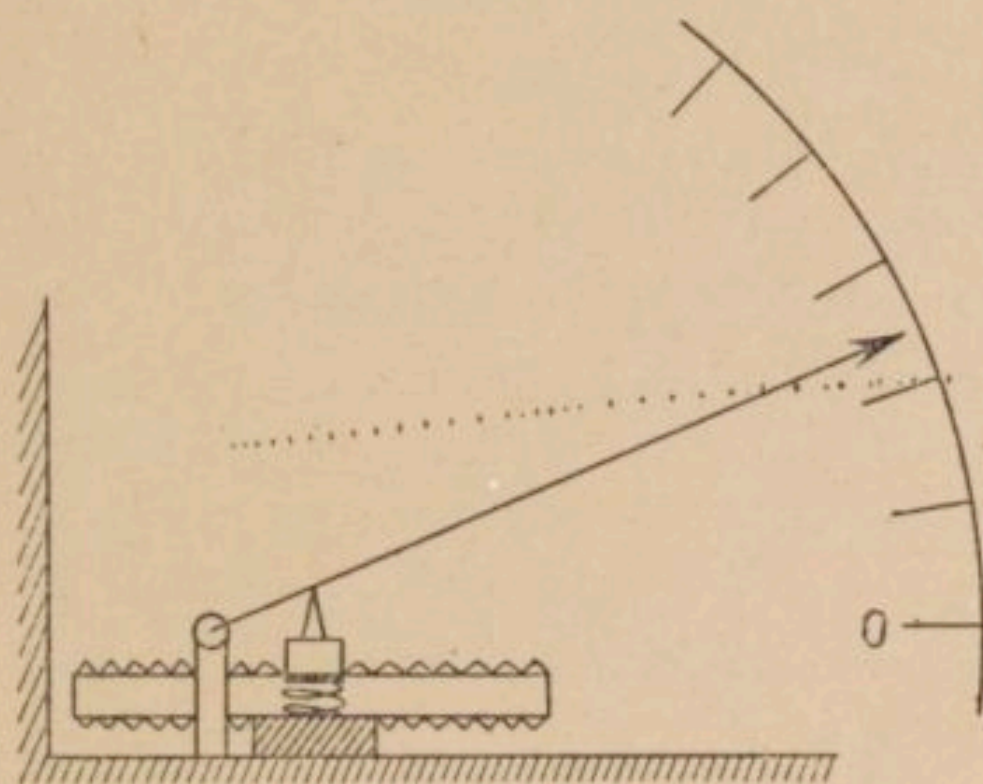


Fig. 143.

mettant une certaine déformation. Un ressort intérieur l'empêche de s'écraser sous l'influence de la pression atmosphérique.

Quand l'avion s'élève, la pression de l'air diminue, le ressort soulève un peu le dessus de la boîte qui transmet la déformation subie, en l'amplifiant, à une aiguille mobile sur un cadran. Celui-ci est gradué en mètres d'altitude. La pression atmosphérique variant d'un jour à l'autre, le cadran peut se déplacer à la volonté du pilote de façon que celui-ci puisse mettre le 0 en face de l'aiguille avant le départ.

B. BAROGRAPHES. — Ce sont des altimètres enregistreurs. Ils se composent (*fig. 144*) de plusieurs capsules barométriques (analogues

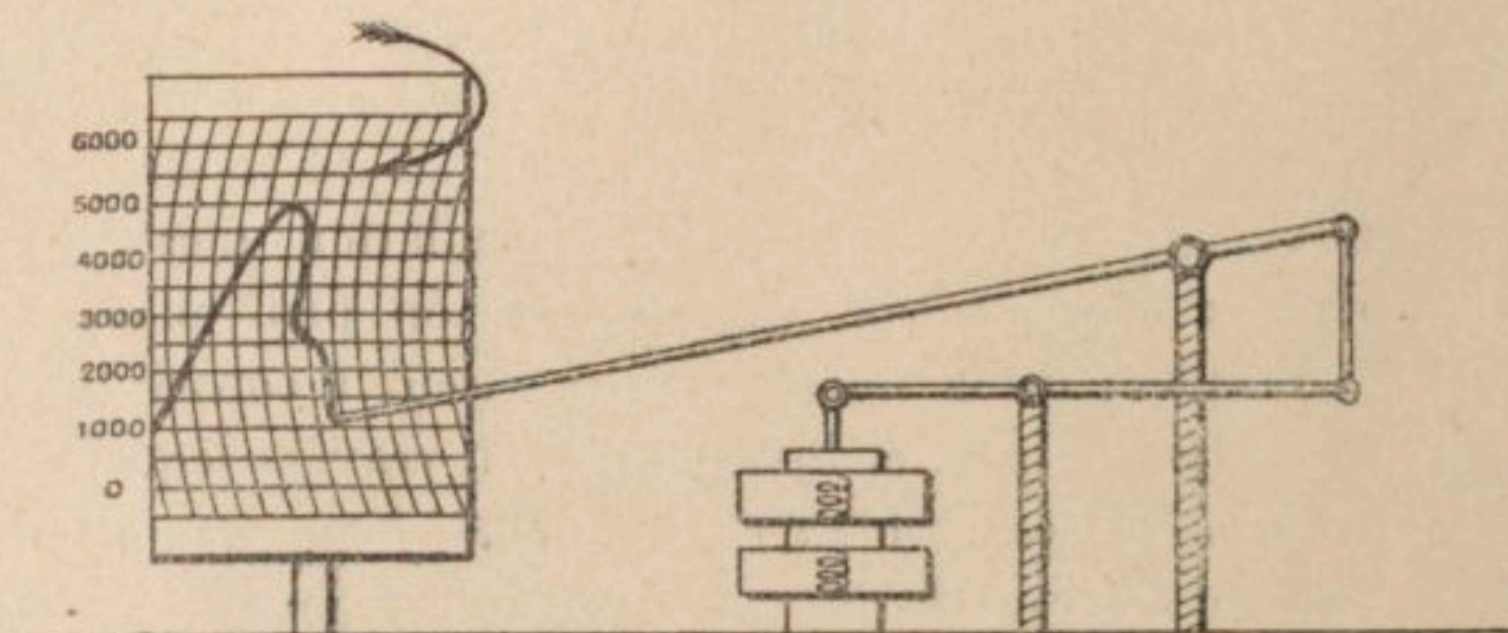


Fig. 144.

à celle de l'altimètre) superposées dont les déformations s'ajoutent les unes aux autres et sont amplifiées par un système de leviers. L'extrémité du dernier levier porte une plume qui trace les variations de pression, c'est-à-dire d'altitude, sur une feuille de papier graduée enroulée autour d'un cylindre mû par un mouvement d'horlogerie. Les traits courbes tracés sur la feuille indiquent les minutes. On a ainsi une preuve des vols effectués, comme altitude et comme durée. Un système spécial permet de mettre l'aiguille en bas de la feuille au moment du départ.

C. INDICATEURS DE VITESSE RELATIVE. — Ils peuvent être de plusieurs types. Les plus employés sont actuellement les indicateurs à *trompe de Venturi* et l'indicateur *Étevé*.

Les premiers fonctionnent par dépression, le second par pression d'air sur une surface située à l'extérieur de l'avion.

Indicateur à trompe de Venturi. — Le plus employé est l'indicateur *Badin*. On fixe, sur un mât par exemple, un appareil constitué par une *trompe V* formée de deux troncs de cône fixés l'un à l'autre par leurs petites bases (*fig. 145*). C'est ce qu'on nomme un *ajutage Venturi*.

L'axe longitudinal du Venturi doit être parallèle à l'axe du moteur. Le cône le plus petit est vers l'A. En marche, il se produit à hauteur de l'étranglement une dépression. Pour augmenter celle-ci, on place dans le Venturi V un second Venturi ν (voir *fig. 145*) qui commu-

nique, par un petit tube *t*, appelé *tube de Pitot*, la dépression à un manomètre constitué par une capsule barométrique analogue à celle de l'altimètre. Le cadran du manomètre est gradué en kilo-

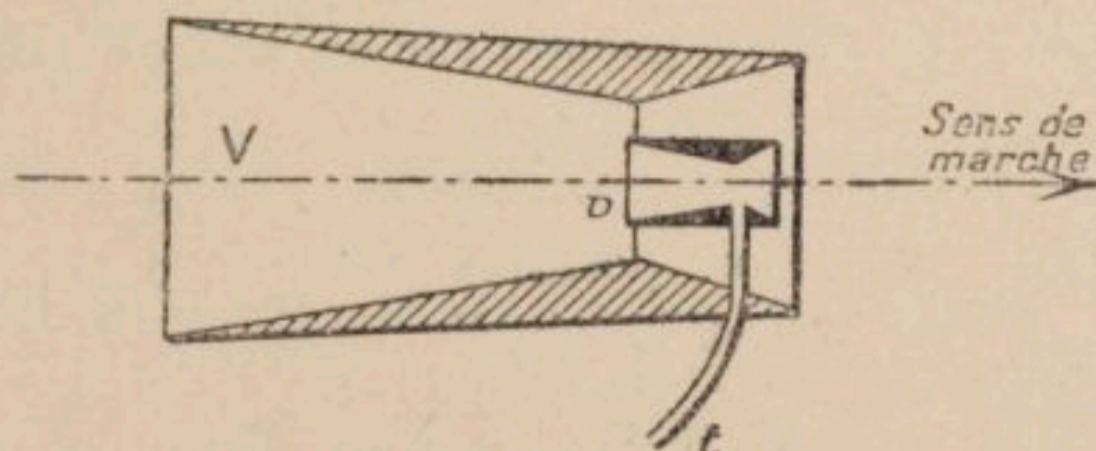


Fig. 145.

mètres-heure. Il convient de se fier seulement aux indications données lorsque le Badin a été très soigneusement étalonné, car il peut y avoir des erreurs de 20 ou 30^{km} à l'heure si la trompe ne se trouve pas à un endroit judicieux.

De plus, il faut porter sur le cadran du manomètre deux graduations correspondant l'une aux vitesses près du sol, l'autre aux vitesses à 5000^m par exemple. En effet, par suite de la diminution de la densité de l'air avec l'altitude, les indications lues en face de l'aiguille à 5000^m seraient inférieures à la réalité s'il n'y avait que la graduation du sol.

L'indicateur Badin permet de se rendre compte si l'avion a suffisamment de vitesse pour se soutenir, ou s'il n'en a pas trop pour sa sécurité (pour le cas d'un avion pris dans les nuages par exemple).

Indicateur Étevé. — Une surface *S* offerte au courant d'air oscille

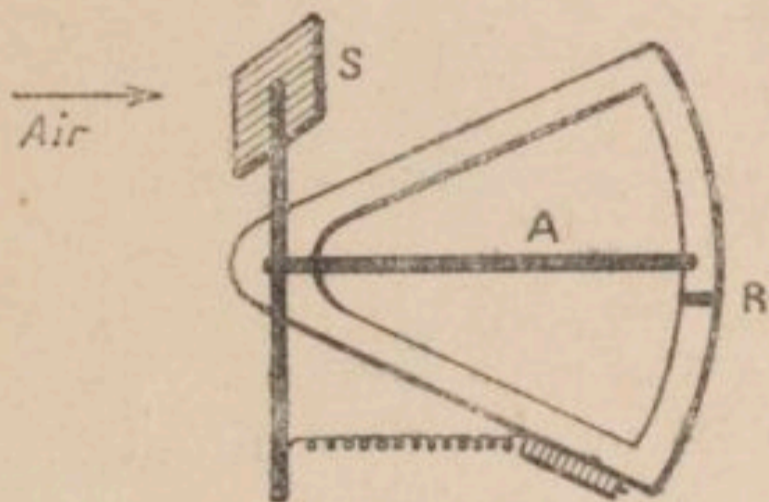


Fig. 146.

autour d'un axe en entraînant une aiguille *A* (fig. 146) qui se déplace sur un cadran. Un ressort s'oppose à l'action de l'air. Le cadran

porte un trait rouge R. Pour que l'avion ne soit pas en *perte de vitesse*, il faut que l'aiguille descende au minimum au trait rouge.

Le ressort permet de régler l'appareil pour qu'il puisse être adapté à un avion quelconque.

L'appareil Étevé se fixe en général sur un mât de l'avion.

D. NIVEAUX ET INDICATEURS DE PENTE. — Les niveaux servent à maintenir l'avion dans une position normale de vol. Ils sont de deux sortes : *transversaux* et *longitudinaux*.

Niveau transversal. — Il se place parallèlement à l'envergure et sert à maintenir la stabilité transversale. Pour que la bulle n'ait pas tendance à disparaître vers les extrémités du niveau pour la moindre différence d'inclinaison, le tube de verre est cuivré (*fig. 147*).

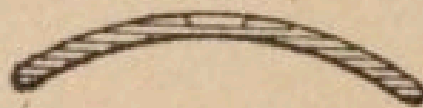


Fig. 147.

Niveau longitudinal. — Il se place parallèlement au plan de symétrie vertical de l'avion. Il a la forme d'un triangle (*fig. 148*).

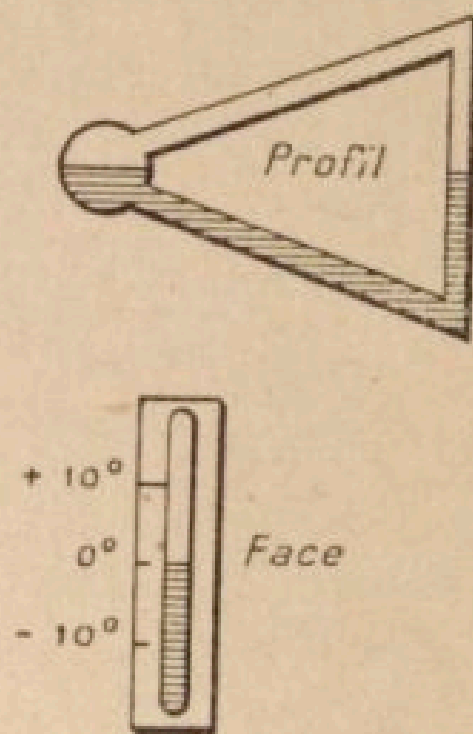


Fig. 148.

Ce triangle, creux, contient du liquide coloré qui se déplace dans un tube de verre (placé sous les yeux du pilote) porté par l'un des trois côtés. Le niveau s'établit dans le tube et dans la boule B par le principe des vases communicants. On met une graduation sur le tube : 0 à l'endroit où le liquide s'arrête, l'appareil étant en ligne de vol; $+1^{\circ}$, $+2^{\circ}$, $+3^{\circ}$, etc., -1° , -2° , -3° , etc. (*fig. 146*) pour

indiquer l'inclinaison en degrés. La boule étant du côté de l'A, le liquide suit les mouvements de l'avion, c'est-à-dire monte si l'appareil cabre et inversement.

Les niveaux transversaux étant soumis aux effets de la force centrifuge peuvent fournir des indications fausses dans certaines conditions. Les erreurs sont analogues à celles d'un fil à plomb suspendu dans l'avion.

1^o Soit, en effet, un avion AOB (fig. 149) volant horizontalement

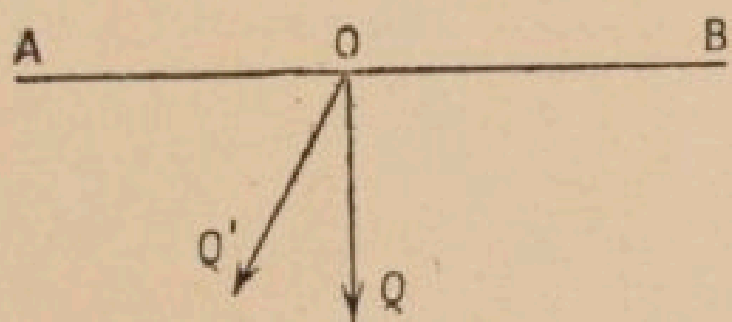


Fig. 149.

en ligne droite. La verticale absolue sera OQ, donnée par le fil à plomb. Supposons qu'à un moment quelconque, le pilote mette du pied d'un côté (sans mettre de manche). Par son inertie, l'avion *chassera* et le plomb s'inclinera suivant OQ'. *Donc, si le pilote se trouve dans les nuages, il aura l'impression que l'avion penche, alors qu'il sera horizontal.*

2^o Soit l'avion en virage A' O' B' (fig. 150). La verticale absolue

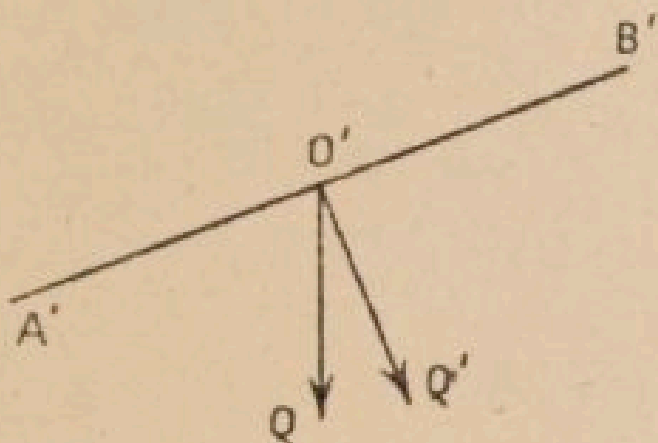


Fig. 150.

serait O'Q. Par la force centrifuge, le plomb reste dans une direction O'Q' perpendiculaire à l'envergure. *Donc, si le pilote se trouve dans les nuages, il aura l'impression que l'avion est dans une position normale, alors qu'il est incliné. Dans les deux cas, l'indication donnée est donc fausse.* On a cherché alors à construire des appareils qui puissent donner des indications indépendantes de la force centrifuge. Ce sont les appareils indicateurs de pente gyroscopiques.

Indicateurs de pente gyroscopique. — On applique le principe du gyroscope, appareil ayant la propriété de rester toujours dans le même plan. Un disque métallique D (fig. 151), ayant la forme de la

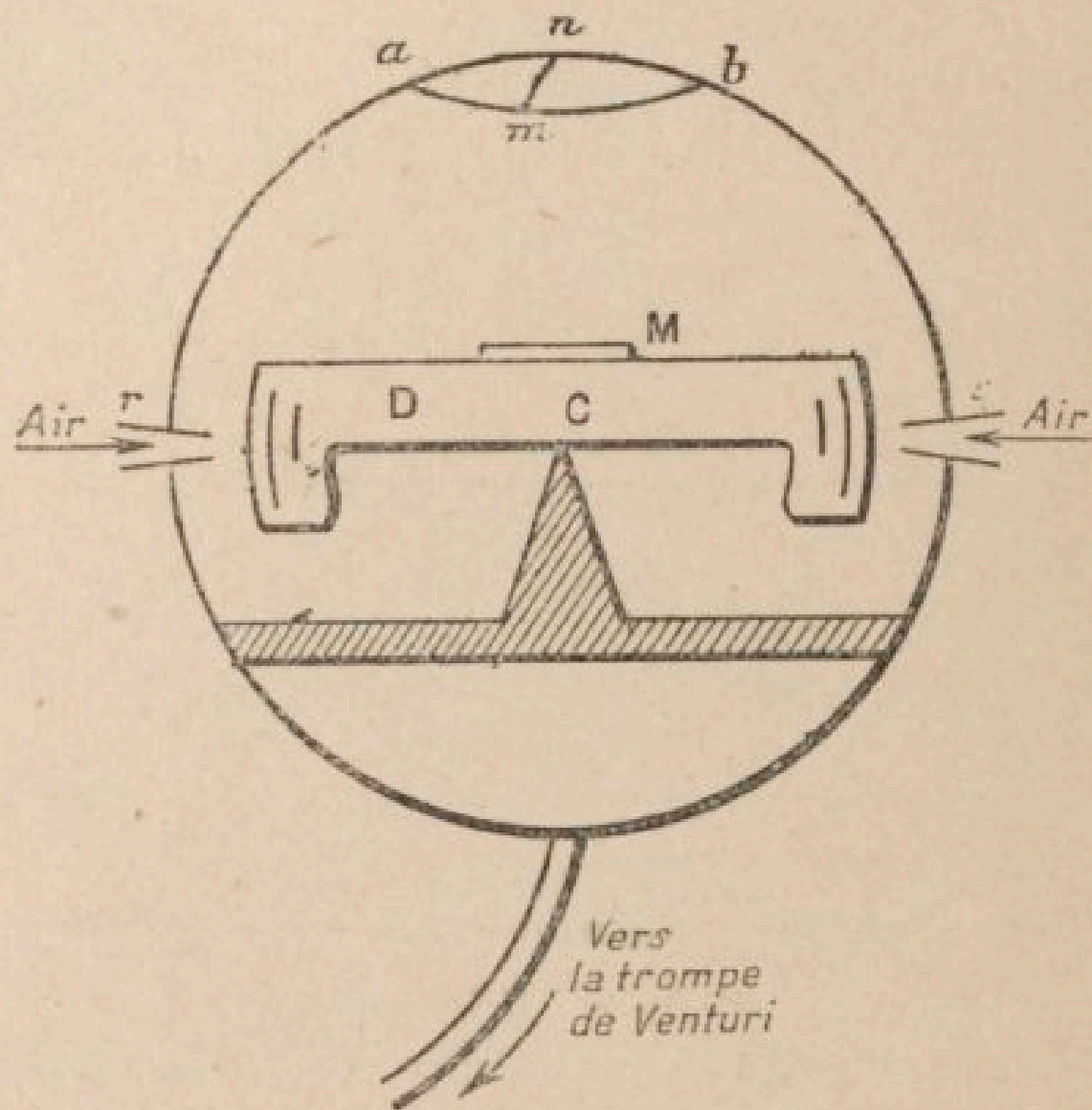


Fig. 151.

figure, est supporté exactement à son centre de gravité C par un axe. Il porte extérieurement de petites aubes. A sa partie supérieure se trouve un miroir M. Le tout est enfermé dans une sphère opaque (supposée transparente sur la figure) munie à hauteur du disque de deux ajutages *r* et *s* coniques, et à la partie supérieure d'une fenêtre en verre dépoli *ab* sur laquelle est tracée une croix dont *mn* est l'une des branches. La partie inférieure de la sphère est reliée par un tube à une trompe de Venturi située à l'extérieur de l'avion. Cette trompe produit dans la sphère une dépression qui attire l'air extérieur par les deux ajutages. Ceux-ci produisent donc un courant d'air sur les aubes et font tourner le disque à grande vitesse. En vol normal, le miroir, qui est éclairé par une petite lampe, projette un petit faisceau lumineux sur le verre dépoli, au point de croisement des deux branches de la croix. Lorsque l'avion s'incline dans un sens quelconque, le disque continue invariablement à tourner dans un plan horizontal, par conséquent la lumière vue sur le verre dépoli se déplacera dans un sens ou dans l'autre. Il suffira de la ramener en manœuvrant au centre du verre.

3° Instruments servant à la navigation aérienne. — A. BOUSSOLE. — Cet appareil sert à permettre au pilote d'avoir toujours dans l'espace un repère pour sa direction. Ce repère, c'est l'orientation que prend une aiguille aimantée, supportée en son centre par un pivot, vers une direction appelée *Nord magnétique*. La pointe se dirigeant vers le Nord magnétique s'appelle pôle N, l'autre pôle S. On remarque que le pôle N ne se dirige pas exactement vers le pôle nord géographique, mais suivant la direction en pointillé. Dans nos régions et à l'époque actuelle, l'angle entre les deux directions est d'environ 13° vers l'Ouest. C'est la *déclinaison* (fig. 152).

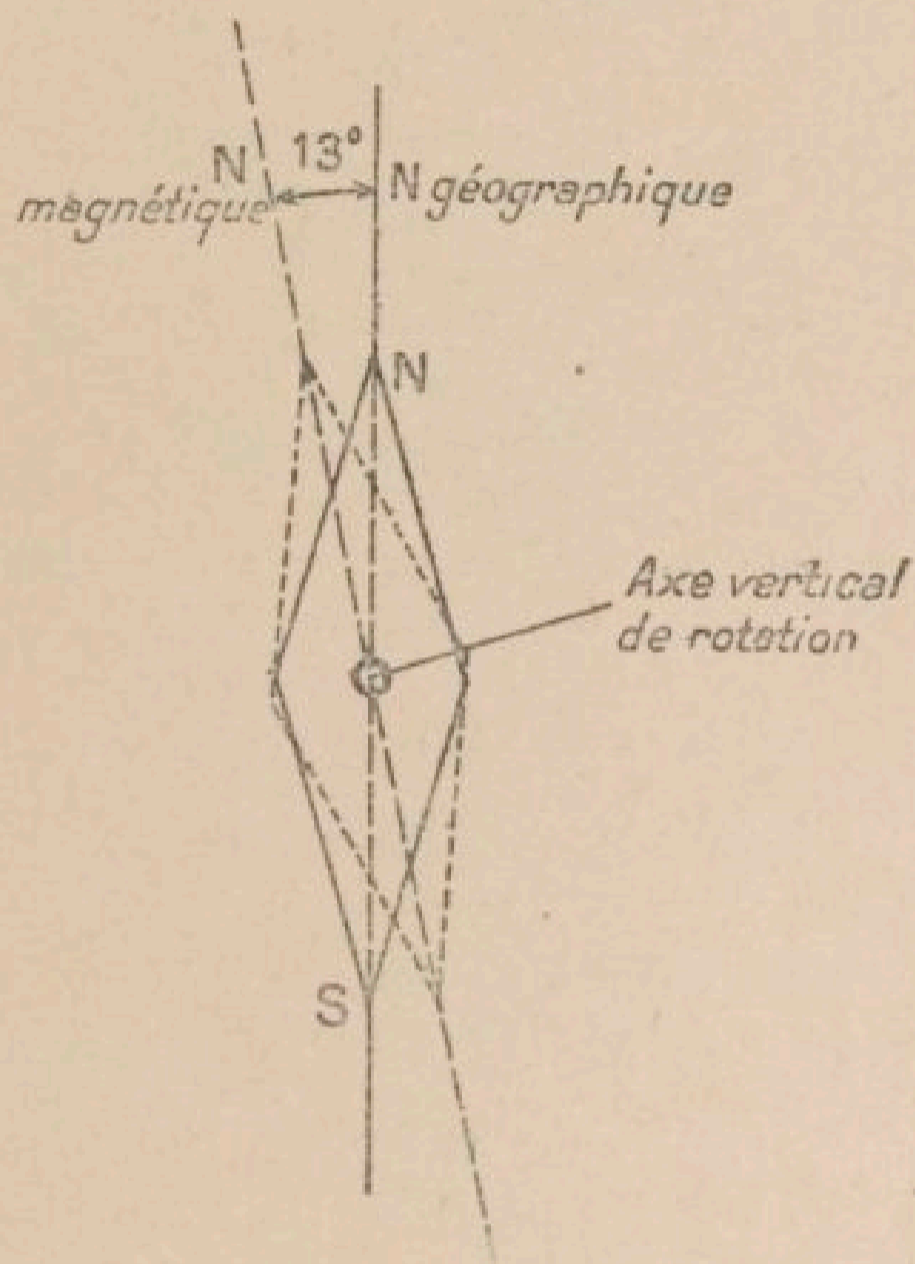


Fig. 152.

Cette déclinaison varie suivant la région de la terre où l'on se trouve et varie lentement avec le temps. La boussole employée en aviation ou *compas* se compose :

1° D'une *cuvette* C (fig. 153) contenant un liquide incongelable composé d'eau et de glycérine ;

2° D'une *partie métallique* M fixée sur l'avion, et sur laquelle la cuvette est suspendue « à la cardan » grâce aux deux axes XY — TU ;

3° D'un flotteur F plongé dans le liquide de la cuvette et qui porte un barreau aimanté s'orientant vers le Nord magnétique.

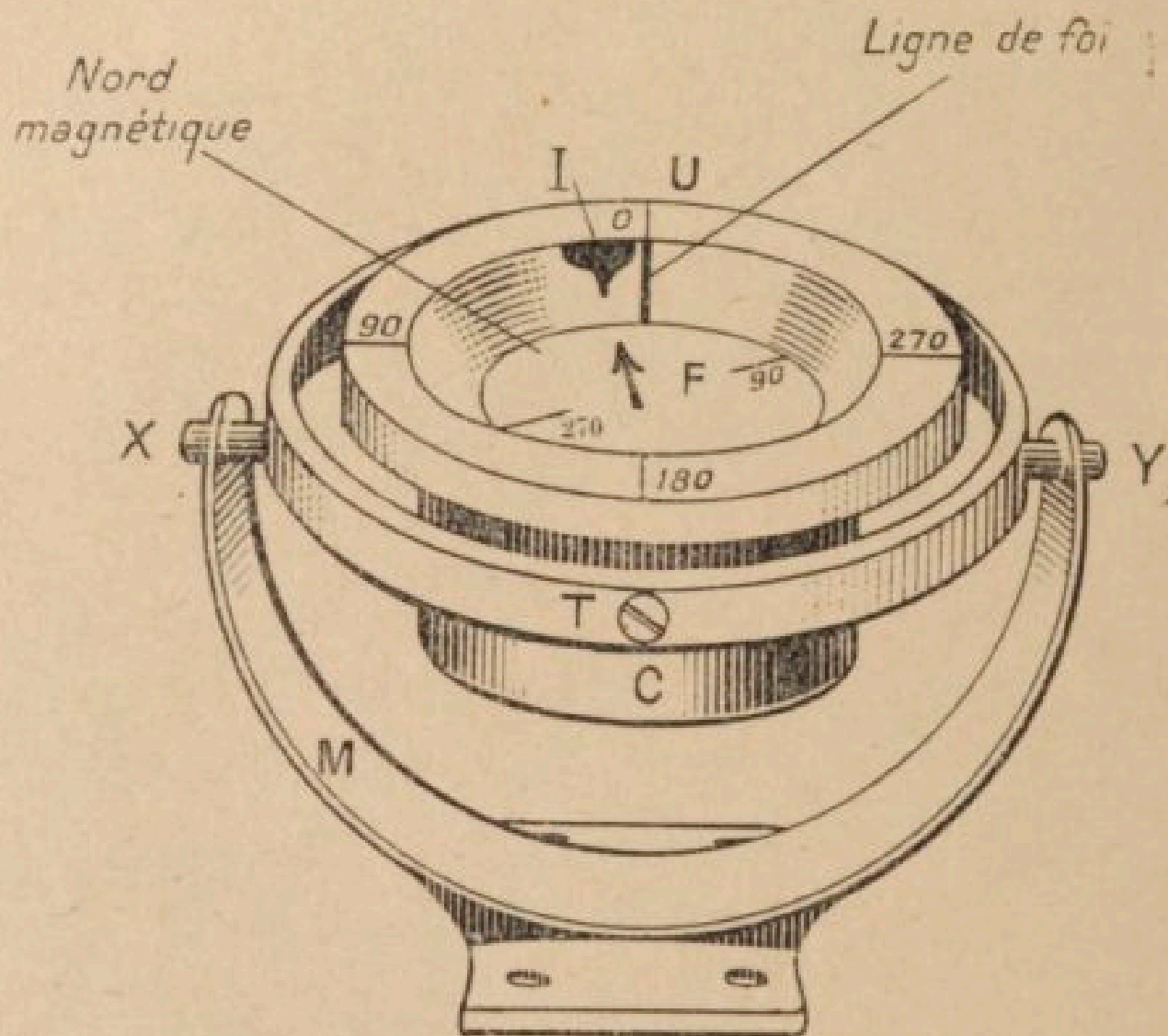


Fig. 153.

Cuvette. — La glycérine contenue à l'intérieur a l'avantage de diminuer la rapidité des variations de l'aiguille aimantée, donc de faciliter les lectures. Grâce à la cardan, la cuvette reste constamment horizontale. La partie supérieure de la cuvette, appelée *limbe*, est divisée de 0 à 360° dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. A l'intérieur de la cuvette, en dessous de 0° du limbe se trouve une ligne rouge (voir sur figure) appelée *ligne de foi*. Un petit index I appelé *curseur* peut tourner autour du limbe pour être placé devant le degré voulu.

Partie fixée sur l'avion. — Elle est vissée au poste de pilotage de façon que la *ligne de foi* se trouve rigoureusement vers l'N de l'avion, c'est-à-dire que la ligne 0°-180° du limbe est parallèle à l'axe longitudinal de l'appareil.

Flotteur. — Il porte, en plus du barreau aimanté, une rose des vents indiquant les principaux points cardinaux. Il est également divisé de 0° à 360°, mais dans le sens des aiguilles d'une montre,

contrairement au limbe. Ces deux graduations permettent donc de lire le degré indiqué au compas de deux façons :

1° On peut lire le degré porté sur le limbe en face du Nord magnétique;

2° On peut lire le degré porté sur le flotteur en face de la ligne de foi.

Exemple d'usage de la boussole (fig. 154). — On veut faire un

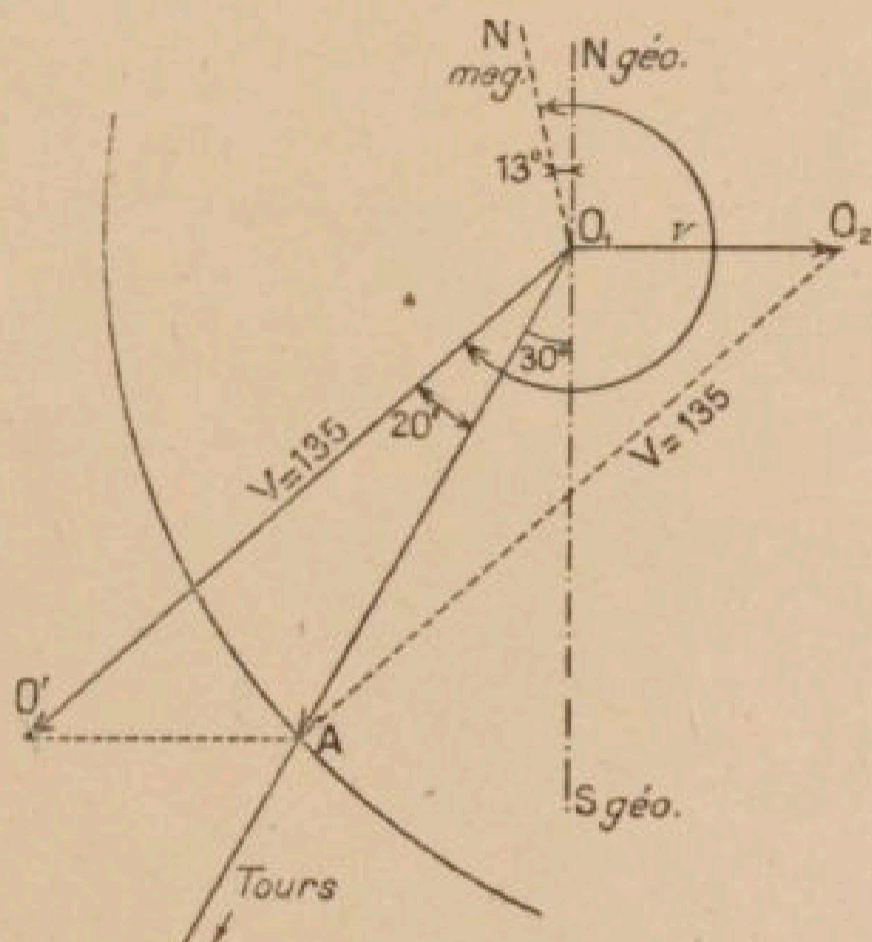


Fig. 154.

voyage de Versailles à Tours. L'angle entre la ligne qui joint ces deux villes et la ligne Nord-Sud géographique menée par Versailles est de 30° vers l'Ouest.

Posons :

$$\text{Vitesse propre avion} = 135 = V,$$

$$\text{Vitesse vent Ouest} = 50 = v.$$

Représentons Versailles par O_1 . Par O_1 menons $v = 50$ représentant le vent ouest. Par O_2 , extrémité de la flèche, décrivons le cercle abordable avec $V = 135$ comme rayon. La vitesse de route sera $O_1 A =$ environ 103 kmh . En effet, si l'on mène $O_1 O'$ parallèle à $O_2 A$, on voit que $O_1 A$ est la résultante des vitesses $O_1 O'$ (celle de l'avion) et $O_1 O_2$ (celle du vent).

Pour effectuer le voyage, on placera le curseur du limbe sur le degré convenable. L'angle de dérive est l'angle $O' O_1 A$, soit 20° par

exemple. Le curseur sera alors placé sur le degré

$$20 + 30 + 180 + 13 = 243^{\circ}$$

et l'on maintiendra tout le temps l'aiguille rouge indiquant le Nord magnétique en face du degré 243° . L'axe de l'avion sera dirigé suivant $O_1 O'$.

Compensation de la boussole. — Une boussole montée sur avion étant influencée par les masses métalliques (qui peuvent être aimantées) de l'appareil (manche à balai, fuselage, magnétos, etc.), il est indispensable de procéder à la *compensation de la boussole*, opération ayant pour but de corriger les déviations de l'aiguille. On se sert, pour cela, de petits aimants qu'on introduit en dessous de la boussole dans de petites rainures spéciales *ab* portées par la boussole elle-même (*fig. 155*). Il y a généralement deux rainures perpendi-

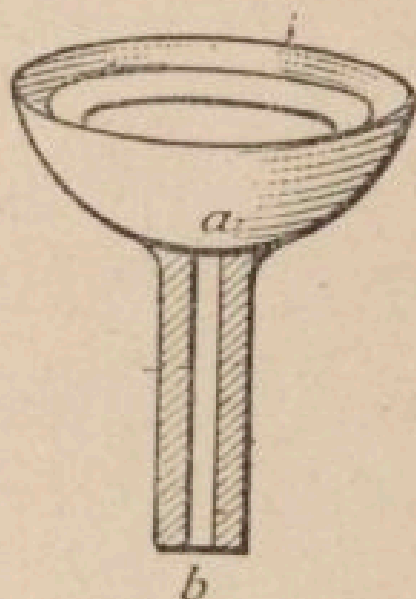


Fig. 155.

culaires l'une à l'autre. Sur la figure, la seconde rainure est dans le plan du papier.

Opérations à effectuer : 1° On repère sur le sol la direction des quatre points cardinaux magnétiques;

2° On amène ensuite sur le terrain l'avion sur lequel on a monté la boussole;

3° On met l'avion le cap au Nord magnétique. En général, la boussole est déviée, et l'on corrige sa déviation grâce à un petit aimant transversal placé sous la boussole;

4° On met l'avion le cap à l'Est magnétique et l'on corrige la déviation qui peut exister à l'aide d'un second aimant (placé dans la deuxième rainure);

5° On met l'avion cap au Sud. Si la déviation Nord a été bien

corrigée, la boussole doit indiquer le Nord magnétique. Sinon, corriger de la *demi-déviati*on en modifiant le *premier aimant* ;

6° *On met l'avion cap à l'Ouest*. Si la déviation Est a été bien corrigée, la boussole doit indiquer le Nord magnétique. Sinon, corriger de la *demi-déviati*on en modifiant le *second aimant*.

Remarque. — Il subsiste presque toujours de légères déviations après ces opérations. Elles ne doivent pas dépasser 2 à 3°.

B. MONTRE. — C'est un instrument indispensable dans les voyages. Dans la préparation du voyage, on doit marquer sur la carte le temps qui doit s'écouler pour aller d'un point de repère au suivant. Cette précaution facilite énormément la tâche du pilote ou de l'observateur qui, ainsi, n'est pas dans l'obligation, au cours du vol, d'identifier tous les points survolés.

La montre sert également à connaître approximativement la quantité d'essence restant dans le réservoir.

C. PORTE-CARTES. — Il est constitué par une boîte métallique plate, dont l'une des grandes faces est en mica, et permet d'apercevoir la carte. Celle-ci est enroulée sur deux cylindres situés aux extrémités, et permettant de dérouler la carte au fur et à mesure. Le porte-carte ayant, en général, à peu près 25^{cm} de large permet de voir environ 50^{km} de terrain, c'est-à-dire environ 25^{km} de part et d'autre du chemin tracé, si la carte employée est la carte au $\frac{1}{200000}$.

D. DÉRIVOMÈTRE. — Cet appareil peut servir à trouver, pendant le vol :

1° L'angle de dérive ;

2° La vitesse de route ;

3° La vitesse et la direction du vent sans qu'il soit besoin d'identifier le pays survolé. Il est simplement nécessaire de voir le sol pendant un instant.

Le fond du fuselage est percé d'un orifice circulaire dans lequel s'encastre un cadre C qui, extérieurement, est divisé en degrés (*fig. 156*). Le degré 0 se trouve situé exactement dans l'axe longitudinal de l'avion et vers l'*N*. Dans ce cadre est encastré un disque

transparent en verre qui porte un certain nombre de fils tendus parallèlement les uns aux autres. Au milieu du disque est une flèche que l'on peut amener en coïncidence avec le O de la graduation

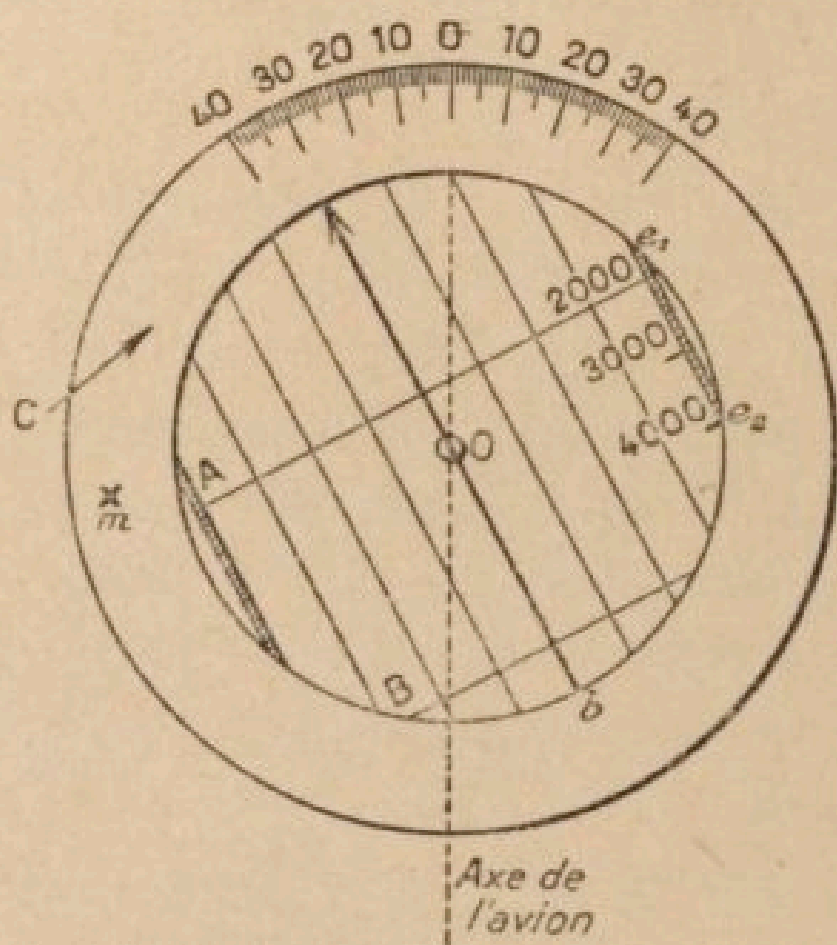


Fig. 156.

extérieure, en faisant tourner l'ensemble : disque et fils autour du centre O grâce à une petite manette m . Une échelle $e_1 e_2$ divisée pour indiquer les altitudes se trouve sur la plaque transparente parallèlement à la flèche. Perpendiculairement aux fils et à la flèche est tracé un trait B. Enfin un fil A, également perpendiculaire à la flèche, peut être déplacé à volonté d' N en R pour coïncider avec l'une des altitudes portées sur l'échelle.

Angle de dérive. — Pendant le vol, l'observateur regarde le sol et fait tourner la plaque au moyen de m jusqu'à ce qu'un point quelconque du terrain (arbre, maison, etc.) se déplace parallèlement à l'un quelconque des fils : ab , par exemple. A ce moment, il suffit de lire le degré porté en face de la flèche (sur la figure : 30°). C'est l'angle de dérive.

Vitesse de route. — On chronomètre alors le temps qui s'écoule entre le passage d'un repère du sol sous le fil A (placé à l'altitude à laquelle on voyage) et le passage du même repère sous le fil B. Et l'on applique ensuite la règle des triangles semblables de la façon suivante : au-dessus de la plaque de verre se trouve un œilleton

de visée O (fig. 157). La hauteur entre O et la plaque de verre est égale à OH. C'est une longueur connue; A et B représentent les

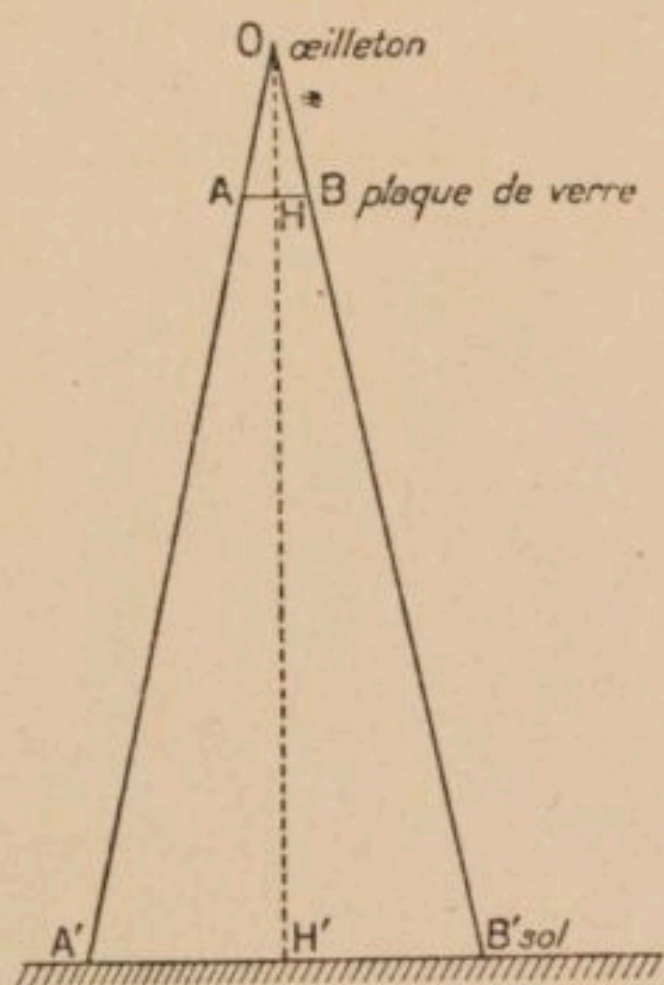


Fig. 157.

deux fils A et B vus en bout. A' B' représentent la portion de sol qui s'est déroulée pour l'observateur entre les deux fils A et B. La longueur OH' est égale à l'altitude, que l'on connaît par les instruments de bord. La longueur AB entre les deux fils peut être mesurée. Pour trouver A' B', il suffit d'écrire

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{OH'}{OH}, \quad \text{d'où} \quad A'B' = \frac{AB \times OH'}{OH}.$$

Supposons :

$$AB = 0^m, 30,$$

$$OH' = 2000^m,$$

$$OH = 1^m.$$

On aura donc

$$A'B' = \frac{0,30 \times 2000}{1} = 600^m.$$

Supposons que le chronométrage ait donné $t = 15$ secondes.

On aura la vitesse égale à $\frac{600}{15} = 40$ mètres-seconde, soit 144 kmh.

Vitesse et direction du vent. — On applique alors la règle du parallélogramme des vitesses. Supposons que la vitesse propre de l'avion

soit égale à 185^{kmh} . En construisant l'angle de dérive égale à 30° (*fig. 158*); en portant sur le côté OV une longueur égale à 185^{mm} par

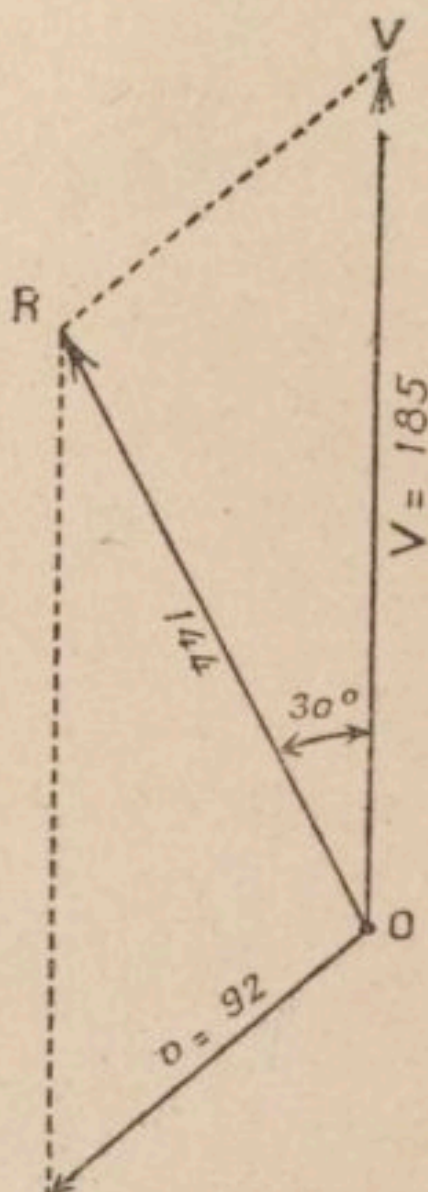


Fig. 158.

exemple, sur l'autre côté une longueur OR égale à 144^{mm} (résultat trouvé), on obtient immédiatement en OY la vitesse et la direction du vent. On aurait, dans ce cas, une vitesse de 92^{kmh} . Pour la direction, il suffit de comparer le dessin avec la boussole (*fig. 156*).

Remarque. — 1^o Pour que les résultats soient exacts, il importe que la position de l'avion soit la même par rapport à l'horizontale aux deux passages du repère sous les fils A et B. Le fait de changer le cabrage de l'avion fausse complètement les calculs;

2^o Tous les calculs précédents sont faits d'avance sur des tables spéciales qu'il suffit de consulter dans les colonnes correspondant aux conditions du vol pour avoir les résultats.

E. DÉRIVOGRAPHE. — Son principe est exactement le même. Il a aussi le même but. Son emploi a l'avantage de supprimer les erreurs commises avec le dérivomètre dans les changements d'inclinaison de l'avion pendant les passages des repères sur les fils.

ADDITIF AU COURS PROPREMENT DIT.

CARACTÉRISTIQUES D'UN AVION. — Suivant l'emploi auquel est destiné un appareil, ses caractéristiques varient énormément.

Longueur, envergure, hauteur. — Plus l'appareil doit être maniable, plus ces trois caractéristiques doivent diminuer. Un avion de chasse sera donc plus petit qu'un avion de transport ou de bombardement.

Surface portante totale. — Elle augmente nécessairement lorsqu'on veut augmenter le poids transporté.

Surface des ailerons.

Surface du plan fixe.

Surface des équilibreur.

Surface de la dérive.

Surface du gouvernail.

Poids à vide; poids de combustible. — On a intérêt à les diminuer autant que possible.

Poids utile. — On a intérêt à l'augmenter le plus possible. L'avion de meilleur rendement est celui qui emporte un gros poids utile pour un très faible poids à vide.

Poids total.

Poids au mètre carré. — On l'obtient en divisant le poids total par la surface en mètres carrés. Pour augmenter la vitesse maximum, on diminue la surface portante, de façon à diminuer la traînée. Les avions à grande vitesse portent donc de grosses charges par mètre carré, ce qui augmente le danger.

Poids au cheval. — On l'obtient en divisant le poids total par la puissance du moteur en HP. Pour augmenter l'excès de puissance, qui donne les qualités à un avion, il faut diminuer le poids au cheval, ce qui augmente la sécurité.

Vitesse maximum. — On a intérêt à l'augmenter.

Vitesse minimum. — On a intérêt à la diminuer, ce qui augmente la sécurité d'atterrissage.

Écart de vitesses. — C'est la différence entre les vitesses maximum et minimum. L'avion le meilleur sera celui qui, pouvant faire par

exemple 300^{km} à l'heure, sera capable d'atterrir à 35 ou 40^{km} à l'heure.

Vitesse ascensionnelle. — On a intérêt à l'augmenter. On y arrive en augmentant la surface, en diminuant le poids au cheval, etc.

Plafond. — C'est la hauteur maximum à laquelle peut s'élever un avion. Elle dépend en grande partie de l'excès de puissance. Pour se soutenir en altitude, un avion, par suite de la diminution de la densité de l'air, a besoin de plus de puissance que près du sol. D'un autre côté, le moteur perd de la puissance à mesure que l'avion s'élève, pour la même raison. Il en résulte que l'avion aura un *excès de puissance* de plus en plus faible en montant et il arrivera à une altitude maximum qui sera son plafond. Il aura, à ce moment, un angle d'attaque sensiblement égal à celui qu'il possède près du sol lorsqu'il vole à la vitesse horizontale minimum. Le même angle d'attaque *a* est conservé pendant toute la montée (*fig. 159*), l'avion

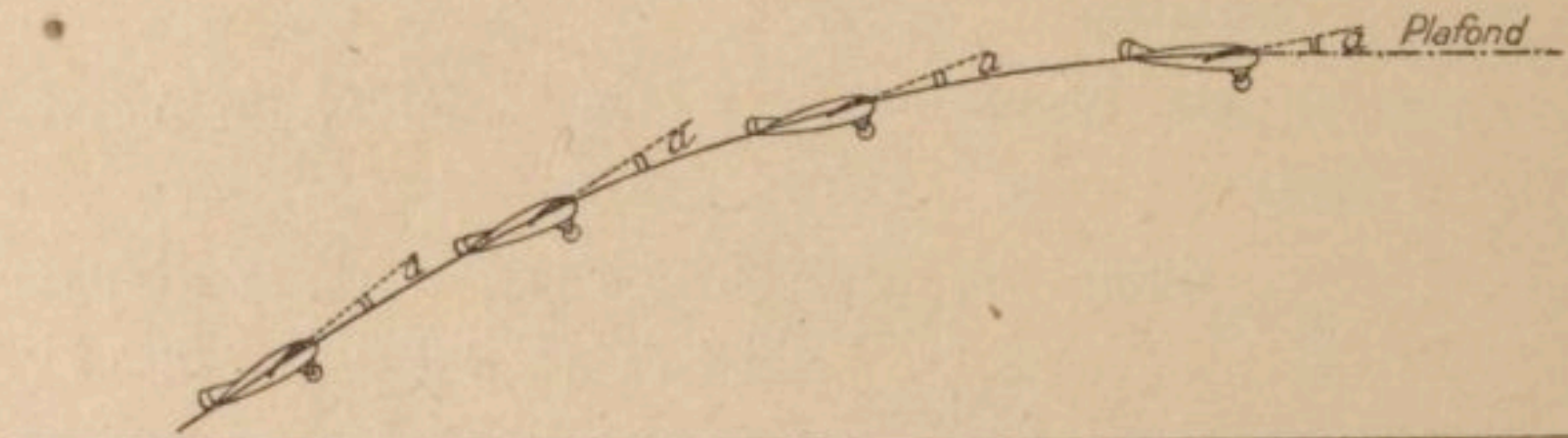


Fig. 159.

étant de moins en moins incliné par rapport à l'horizontale à mesure qu'il prend de l'altitude.

A titre de comparaison, nous donnons certaines caractéristiques de deux avions absolument opposés :

	Goliath (bombardement).	Nieuport (chasse).
Longueur.....	14 ^m ,700	6 ^m ,500
Envergure.....	26 ^m ,500	9 ^m ,700
Surface portante.....	160 ^m ²	26 ^m ² ,840
Poids à vide.....	2630 ^{kg}	775 ^{kg}
Poids de la charge....	2515 ^{kg}	375 ^{kg}
Poids total.....	5145 ^{kg}	1150 ^{kg}
Poids au mètre carré..	32 ^{kg}	43 ^{kg}
Poids au cheval.....	9 ^{kg} ,500	3 ^{kg} ,700
Puissance.....	600 HP (2 moteurs 300 HP)	300 HP
Vitesse maximum.....	165 ^{kmh}	230 ^{kmh}
Vitesse minimum.....	80 ^{kmh}	110 ^{kmh}
Plafond.....	5000 ^m à 6000 ^m	8000 ^m à 9000 ^m

Surveillance et entretien d'un avion. — A. A SURVEILLER TRÈS FRÉQUEMMENT. — 1^o *Toutes les commandes : ailerons, profondeur, direction.* — *Si ces commandes sont en câbles, vérifier spécialement toutes les parties passant sur les poulies de renvoi. Pour cela, passer le doigt sur le câble tout autour sur toute la longueur qui frotte sur la poulie (on fait pendant ce temps manœuvrer la commande à fond successivement dans les deux sens). Si l'on sent une piqûre sur le doigt, c'est qu'un brin est cassé. Changer le câble. Toutes les parties passant sur les poulies doivent être pleines de graisse.*

Si les commandes sont en cordes à piano, elles passent dans des coulisseaux qui doivent être maintenus également pleins de graisse. Vérifier l'usure des cordes dans les parties frottantes.

Pour toutes ces commandes, la tension, tout en étant suffisante, ne doit jamais être assez forte pour qu'une partie de la commande vibre.

Chaque fois qu'on a retendu ou détendu une commande, vérifier si l'organe de sécurité du tendeur (frein de tendeur) a été remis. *Le tendeur doit avoir au moins une dizaine de filets en prise à chaque extrémité.*

Si les commandes sont rigides, elles passent également dans des coulisseaux. Les surveiller à cet endroit ainsi qu'à leurs articulations.

Les commandes rigides offrent généralement l'avantage d'une grande douceur de manœuvre. De plus, les surfaces mobiles risquent beaucoup moins de « flotter » en vol (ce qui se produit avec des commandes souples pas assez tendues). Enfin, l'usure est moins rapide qu'avec les câbles passant sur poulies. On peut dire aussi que pour la stabilité transversale par exemple, elles offrent l'avantage qu'en cas de rupture de la commande d'un des ailerons, l'avion reste manœuvrable, les commandes agissant dans les deux sens.

2^o *Train d'atterrissage.* — Surveiller particulièrement l'état des sandows et leur tension. Pour chaque type d'avion, il y a une grosseur de sandow et un nombre de tours à respecter quand on change l'un d'eux. Penser à graisser fréquemment les roues. Et faire très attention à la fixation des bagues de blocage des roues.

B. A SURVEILLER DE TEMPS EN TEMPS. — 1^o *Haubans, câbles, croisillons, etc.* — Ils doivent être bien tendus sans excès (mât qui flambe). Ne pas voler avec un avion dont les haubans sont mous.

Attention à l'état des croisillonnages intérieurs des ailes (lorsqu'une corde intérieure de croisillonnage, traînée ou autre, est cassée, la toile se plisse).

D'une façon générale, tous les tendeurs doivent être freinés. Vérifier l'état des câbles ou cordes à leur croisement. En effet, les vibrations les font user à cet endroit, à la longue.

2^o *Boulons*. — Tous les boulons doivent comporter un organe de sécurité (goupille, contre-écrou, rondelle grower, etc.). De plus, l'écrou doit toujours avoir *tous ses filets en prise*.

3^o *Hélice et ses boulons*. — Surveiller l'état de l'hélice (fente, lames décollées, morceaux arrachés, etc.) et le serrage de ses boulons. Ceux-ci doivent comporter un organe de sécurité. De même, le moyeu d'hélice doit avoir un frein.

4^o *Réglage de l'avion*. — Lorsque l'avion est mal réglé ou dérégulé le faire remettre en état. Ne pas voler sur un avion dérégulé.

C. CONSERVATION DE L'AVION. — Maintenir toutes les cordes à piano bien graissées, ou peintes. Dans ce dernier cas, faire attention de ne peindre une corde qu'une fois celle-ci bien propre.

L'entoilage doit être maintenu en très bon état. Lorsque la toile est détendue, la changer. Si une réparation a été effectuée, remettre par-dessus une couche d'émaillite, puis une seconde, une troisième, enfin une couche de vernis ou de peinture.

Ne pas laisser séjourner longtemps un avion au soleil (surtout un avion en bois). Ne pas le garer dans un endroit humide, la chaleur et l'humidité pouvant provoquer des déformations.

Les parties en bois (mâts, entretoises, montants de patinage, etc.) doivent toujours être recouvertes d'une ou plusieurs couches de vernis qui empêchent leur détérioration sous l'influence des agents atmosphériques. Attention aux endroits traversés par des vis, boulons, etc. et dans lesquels de l'huile pourrait pénétrer dans les bois, ce qui les pourrit.

Les parties en caoutchouc doivent être exemptes d'huile, de pétrole, d'essence et ne pas être en contact avec des pièces chaudes.

Le duralumin doit être protégé contre la détérioration provoquée par l'eau de mer au moyen de produits à base de bitume.

D. PETITES RÉPARATIONS COURANTES. — 1^o Pour changer un sandow du train d'atterrissage, faire reposer les V de patinage sur une cale spéciale surélevée permettant de dégager la roue du sol, de façon que l'essieu soit bien à fond quand on enroule le sandow neuf.

2^o *Corde cassée.* — Penser toujours qu'une corde à piano *ne doit être tordue qu'une seule fois* lorsqu'on fait les boucles. Tordre une corde deux fois au même endroit, c'est risquer une rupture. Si une corde a été bouclée trop courte, il n'y a par conséquent qu'à la changer.

3^o *Entoilage.* — Lorsqu'il y a un petit trou à réparer, « décapier » l'endroit troué au moyen d'émaillite liquide. La toile étant nettoyée proprement, appliquer sur le trou une petite pièce de toile ronde enduite d'émaillite; la recouvrir également d'émaillite une fois posée. Laisser sécher et mettre ensuite les autres couches. *Lorsqu'il y a une grande déchirure*, rapprocher d'abord les deux bords en les cousant (avec une aiguille courbe). Puis, mêmes opérations que précédemment.

Vitesse d'un avion d'après ses vitesses sur une base. — Considérons une base AB de 2^{km} par exemple sur laquelle souffle un vent parallèle à la direction de la base (*fig. 160*).

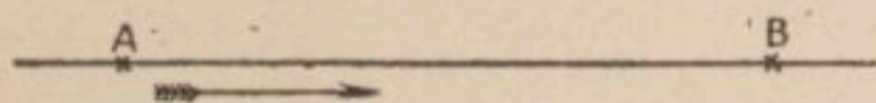


Fig. 160.

Soit 1 minute le temps mis pour aller de A vers B;

Soit 40 secondes le temps mis pour aller de B vers A.

Dans le premier voyage, l'avion réalise donc du 120^{kmh};

Dans le second voyage, l'avion réalise donc du 180^{kmh}.

La différence, 60^{kmh}, représente par conséquent le double de la vitesse du vent qui est donc de 30^{km} à l'heure. Le vent vient donc de B et va vers A. La vitesse de l'avion est égale à $120 + 30 = 150$ ^{kmh}. On l'obtient en prenant la moyenne des vitesses :

$$\frac{120 + 180}{2} = \frac{300}{2} = 150.$$

Remarque. — Faire attention de ne pas prendre la moyenne des temps pour trouver la vitesse. En effet, cette moyenne serait égale à $\frac{1' + 40''}{2} = 50$ secondes, ce qui donnerait une vitesse d'avion égale à 144 kmh , inférieure par conséquent à la réalité.

Ce qui montre qu'un voyage aller et retour avec du vent occasionne toujours une dépense de combustible supérieure à la dépense pour le même voyage sans vent.

Le minimum de supplément de dépense est obtenu quand le vent souffle perpendiculairement à la route à suivre.

Variation de la vitesse horizontale maximum aux différentes altitudes. — Avec les appareils actuels, la vitesse horizontale maximum diminue à mesure que l'appareil prend de l'altitude. En effet, nous savons que le moteur perd de la puissance quand la densité de l'air diminue, mais l'hélice rencontrant moins de résistance à la rotation, pour la même raison, donnera une traction moindre, et cela dans la même proportion. Par exemple, si le moteur a perdu la moitié de sa puissance (par suite d'une diminution de moitié de la densité de l'air), l'hélice donnera aussi une traction deux fois plus faible. Or, l'expression de la traînée est :

$$T = K_x SV^2.$$

La traînée est égale à la traction de l'hélice quand il y a équilibre. Donc :

$$T_h = K_x SV^2.$$

Si T_h est deux fois plus faible (parce que K_x est devenu deux fois plus faible), pour que l'égalité $T_h = K_x SV^2$ reste vraie, il est nécessaire que SV^2 ne change pas. Or, S est fixe. Donc V^2 ne doit pas changer. *Mais si V ne change pas, avec la même incidence qu'au sol, l'avion ne pourra pas se soutenir. Il faudra augmenter l'angle d'attaque et la vitesse baissera.* Au plafond, la vitesse maximum horizontale sera également la vitesse minimum possible. Cette vitesse maximum ou minimum du plafond sera supérieure à la vitesse minimum près du sol.

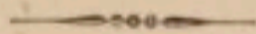
Vitesse de croisière. — La question la plus importante est celle du maximum de rayon d'action.

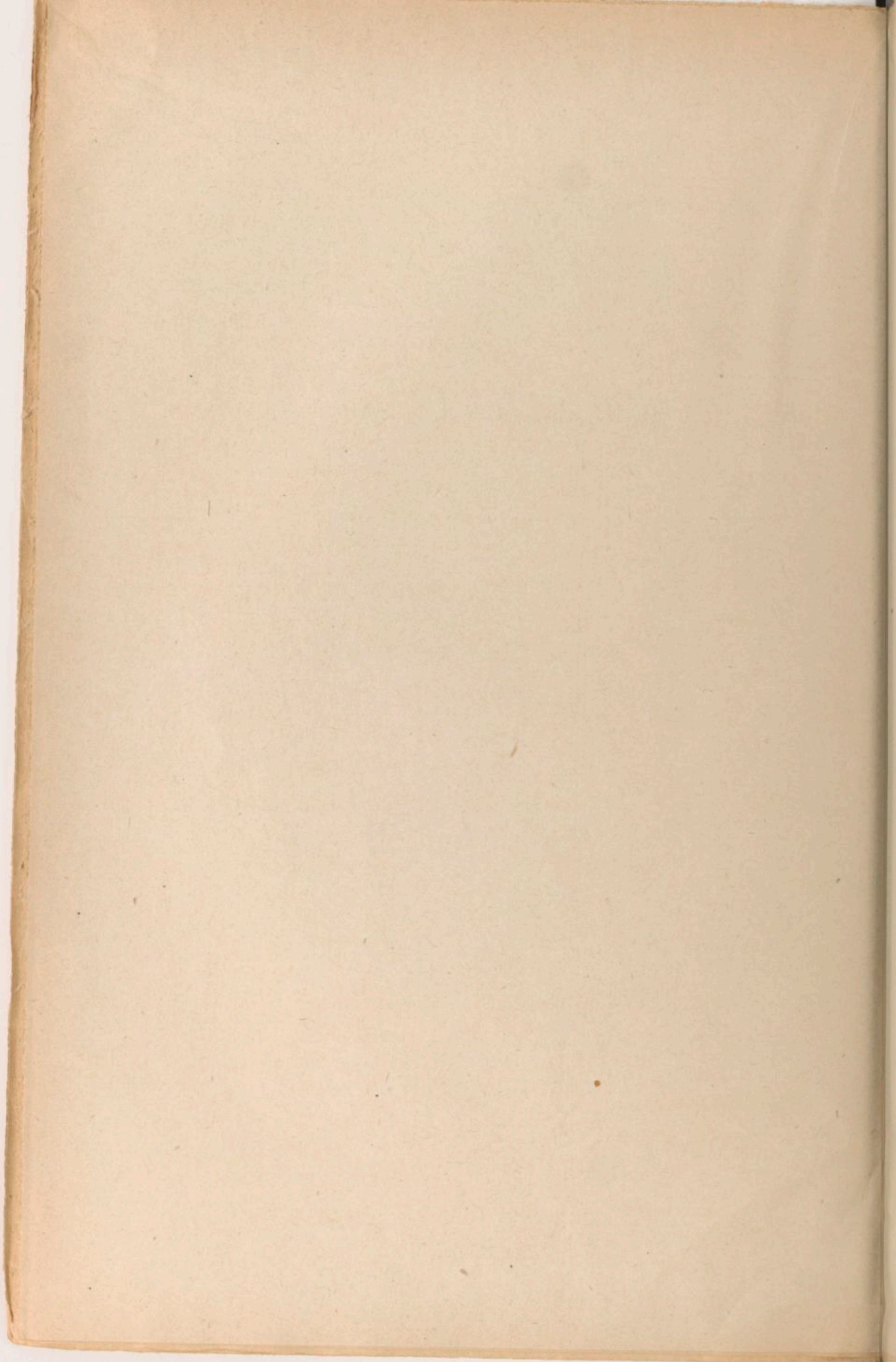
Il faut chercher le régime économique, pour obtenir le meilleur rendement.

Supposons qu'un régime de vol ait été établi et qu'on ne modifie pas l'angle d'attaque. Au fur et à mesure que le combustible diminue, l'avion tend à s'élever si l'on ne modifie pas l'admission des gaz. Il y a deux méthodes de vol :

- 1^o Vol à angle d'attaque et à admission constante;
- 2^o Vol à angle d'attaque et à altitude constante, mais avec admission variable.

On remarquera que, dans ces deux cas, *par vent nul*, l'angle d'attaque le plus favorable pour obtenir le maximum de parcours sera *l'angle optimum* ($\frac{K_x}{K_y}$ minimum).





MOTEURS.

La puissance utilisée pour le vol, en aviation, est actuellement la puissance provenant du *moteur à explosions*. Celui-ci a été choisi, de préférence à tout autre, à cause de sa légèreté et de son faible encombrement. [A titre documentaire, l'avion d'Ader (1) était muni cependant d'un moteur à vapeur.]

Dans tout moteur, il faut :

- 1^o Créer un mouvement;
- 2^o Le transformer pour l'usage qu'on veut en faire.

Dans le moteur à explosions, on utilise la force produite dans un *cylindre* métallique (en acier ou en fonte) par la combustion d'un *mélange de vapeur d'essence et d'air*. Cette combustion produit une pression sur un *piston*. C'est une pièce en acier, en fonte, ou en alliage d'aluminium, qui épouse exactement la forme du cylindre et qui,

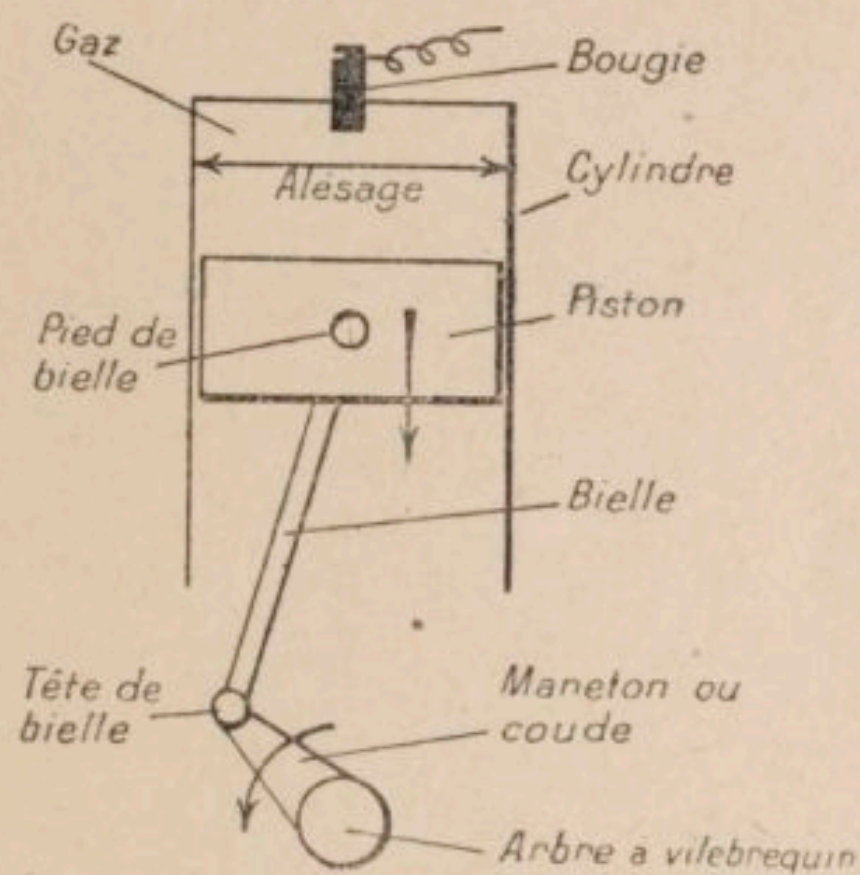


Fig. 1.

chassée par l'explosion, agit sur une *bielle* en acier. Celle-ci agit sur un *arbre à vilebrequin* (fig. 1). Le vilebrequin est une pièce en acier

() ADER, ingénieur français, a réussi le 9 octobre 1890 le premier vol sur un avion à moteur.

ayant la forme coudée de la figure 2 permettant, par conséquent, une rotation complète de la tête de bielle autour d'un axe OO' . Le piston, après avoir parcouru une certaine longueur dans le cylindre dans un sens, parcourt ensuite la même longueur *dans le sens inverse* pendant que le vilebrequin a fait un tour complet, donc *sans changement de sens*.

On a donc transformé un mouvement rectiligne alternatif en un mouvement de rotation continu.

Segments. — Le piston en s'échauffant se dilate. Pour éviter qu'il se coince et *grippe* dans le cylindre, on est obligé de lui donner un diamètre légèrement plus petit que l'alésage, et l'on assure l'étanchéité au moyen des *segments*. Ce sont des sortes d'anneaux métalliques, en général en fonte, coupés de manière à former res-

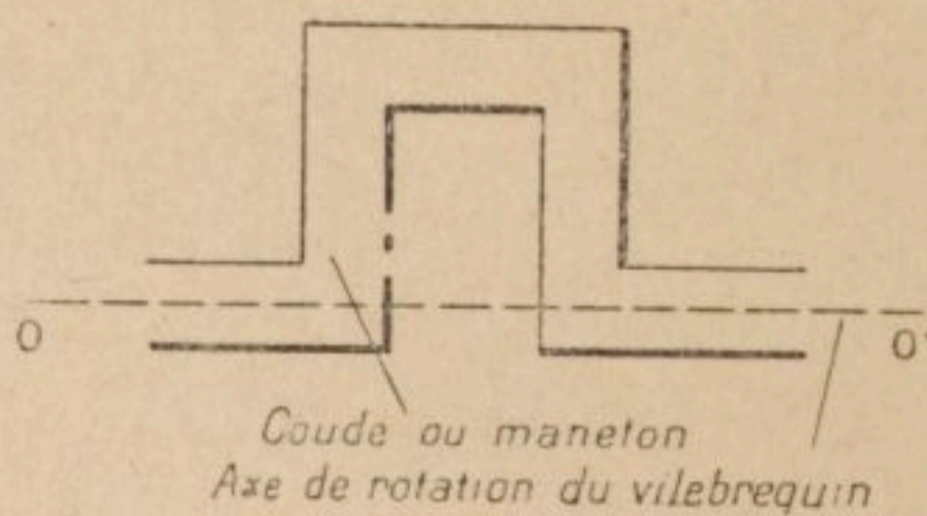


Fig. 2.

sort (fig. 4) et encastrés dans des rainures portées par le piston (fig. 3).

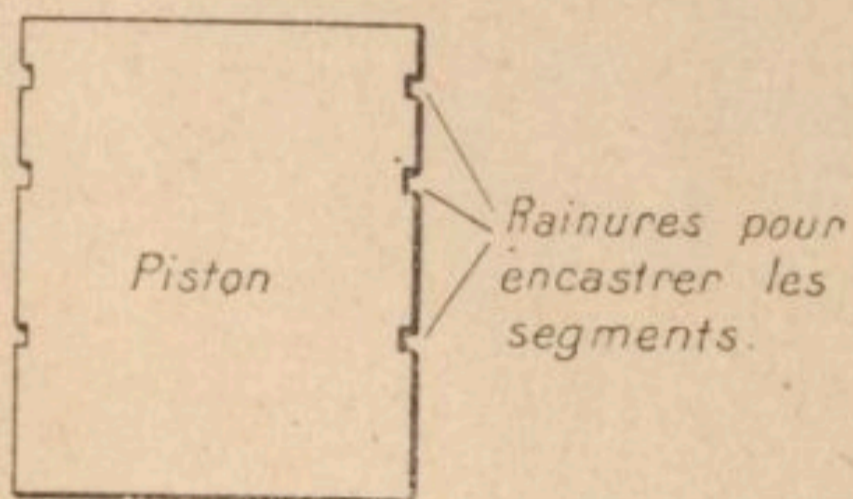


Fig. 3.

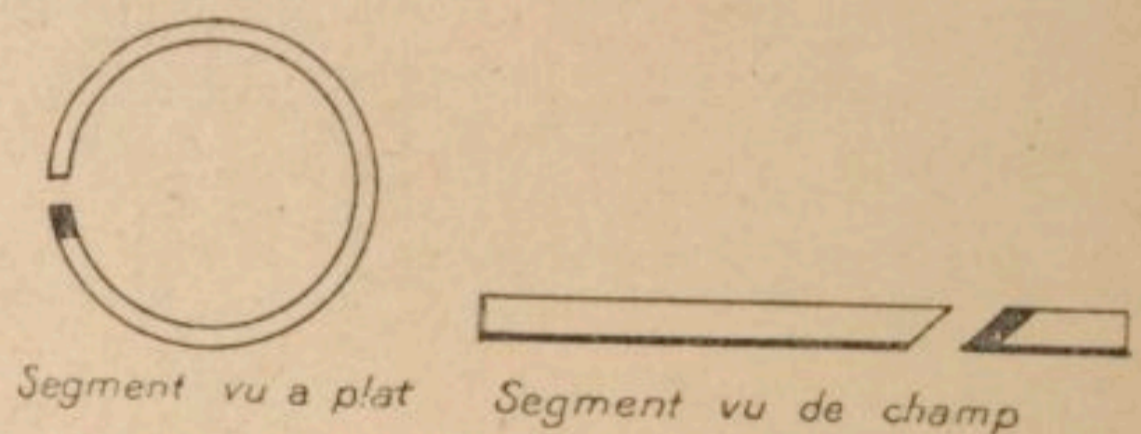


Fig. 4.

Ils tendent toujours à s'appliquer contre la paroi intérieure du cylindre et ainsi empêchent toute fuite de gaz entre le piston et le cylindre.

Lorsqu'il y a, par exemple, trois segments par piston, pour éviter

que les gaz ne puissent passer dans le cas où les trois fentes se trouveraient sur la même ligne, on place quelquefois dans les rainures trois petits *arrêts* qui maintiennent les trois fentes décalées de 120° l'une par rapport à l'autre. C'est ce qu'on appelle *tiercer les segments*.

Par suite de leur échauffement, les segments se dilatent et l'écartement entre leurs pointes diminue pendant la marche du moteur.

Course. — C'est la longueur du déplacement du piston entre les deux positions extrêmes. Sur la figure 5, le piston (hachuré) repré-

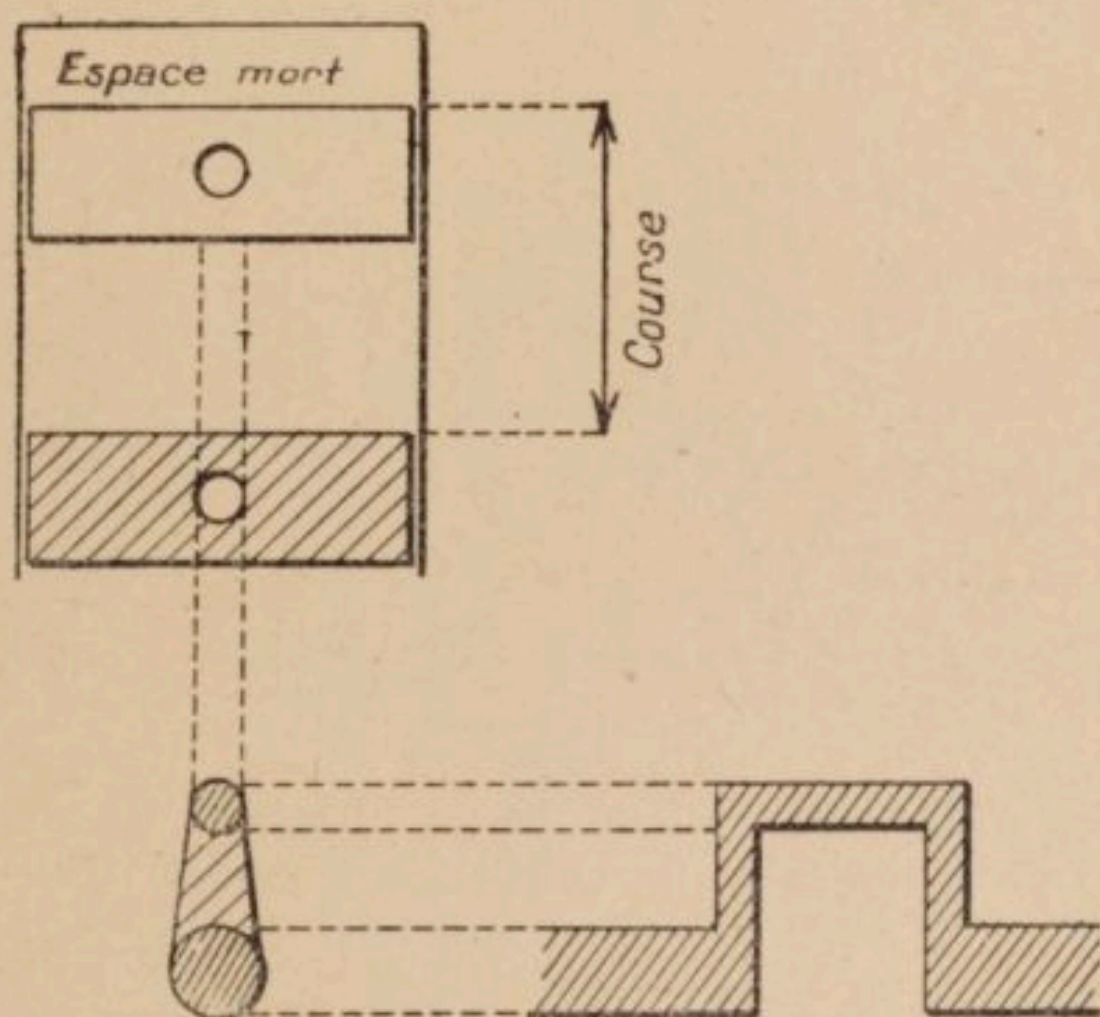


Fig. 5.

sente le piston au point où il est le *plus éloigné du fond du cylindre*. Cette position s'appelle le POINT MORT BAS (P. M. B.).

Le piston (en blanc) représente le piston au point où il est le *plus rapproché du fond du cylindre*. Cette position se nomme, au contraire, le POINT MORT HAUT (P. M. H.).

Remarque. — On voit que la course est égale à deux fois la longueur du coude ou maneton (d'axe en axe).

Cylindrée. — C'est le volume engendré par le piston en une course.

Pression de compression. — C'est le nombre de kilogrammes par centimètre carré dans la chambre d'explosion (c'est-à-dire dans

l'espace entre le piston et le fond du cylindre), quand le piston est au point mort haut, sans allumage.

Soient V le volume de la cylindrée, v le volume de l'espace mort (c'est-à-dire de l'espace restant libre au-dessus du piston arrivé au P. M. H.).

La *compression volumétrique* est donnée par la formule

$$C = \frac{V + v}{v}.$$

Elle est comprise, en général, entre 4 et 5,5. Par exemple, sur le moteur Hispano-Suiza 300 HP : $C = 5,3$.

Dans la pratique, si la compression volumétrique est égale à 5, la pression de compression est supérieure à 5^{kg}. En effet, elle est le rapport des pressions finale et initiale. Or, on admet que l'on a sensiblement la pression atmosphérique (soit 1^{kg} par centimètre carré dans le cylindre, quand le piston est au P. M. B. On devrait donc, avec une compression volumétrique $\frac{V + v}{v} = 5$ (par exemple), avoir une pression finale cinq fois plus forte, soit 5^{kg}; mais, par suite de l'échauffement des gaz pendant que le piston les comprime, on obtient, en réalité, une pression par centimètre carré, qui peut atteindre près de 9^{kg}.

Lorsque la pression de compression atteint 9^{kg}, on risque d'avoir *auto-allumage*, c'est-à-dire que le mélange gazeux s'allume de lui-même, ce qu'il faut éviter.

Soupapes. — Ce sont des organes servant à ouvrir ou à fermer des orifices pratiqués dans les cylindres, aux moments voulus.

En général, il y a deux soupapes par cylindre :

a. Une soupape permettant aux gaz d'entrer dans le cylindre *soupape d'admission*.

b. Une soupape permettant aux gaz d'être évacués du cylindre : *soupape d'échappement*.

Elles sont, en général, de forme conique (*fig. 6*) et s'appliquent sur une partie du cylindre de forme semblable appelée : *siège de la soupape*. Un ressort les maintient appliquées fortement sur leur siège. Nous verrons plus loin comment elles sont ouvertes.

Les soupapes, étant soumises à des chocs répétés sous une très haute température, se *voilent* facilement, surtout en ce qui concerne

la soupape d'échappement. Pour cette raison, on fait les soupapes

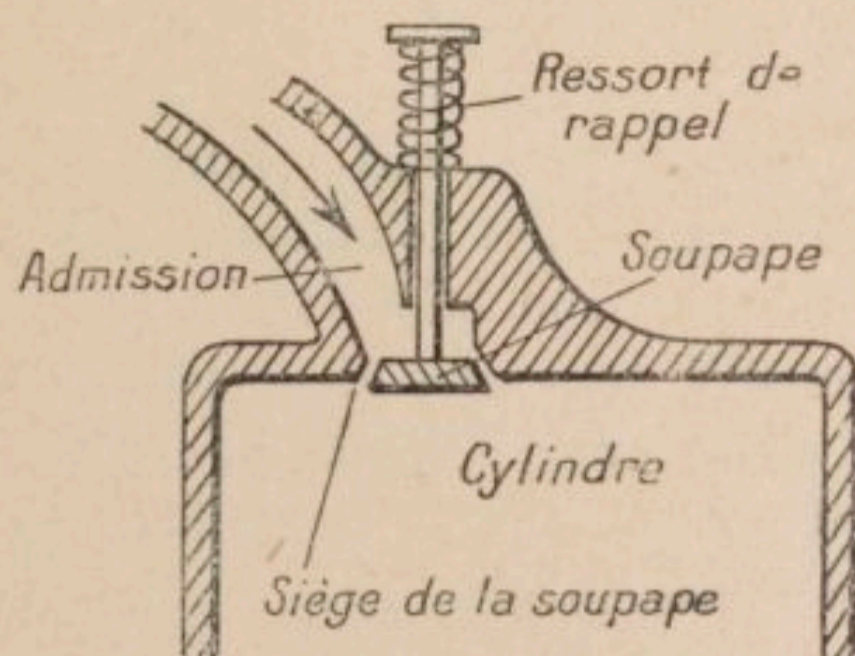


Fig. 6.

en acier spécial, au tungstène, qui garde sa dureté malgré la chaleur.

Carter. — C'est le bâti (en général, en alliage d'aluminium), ser-

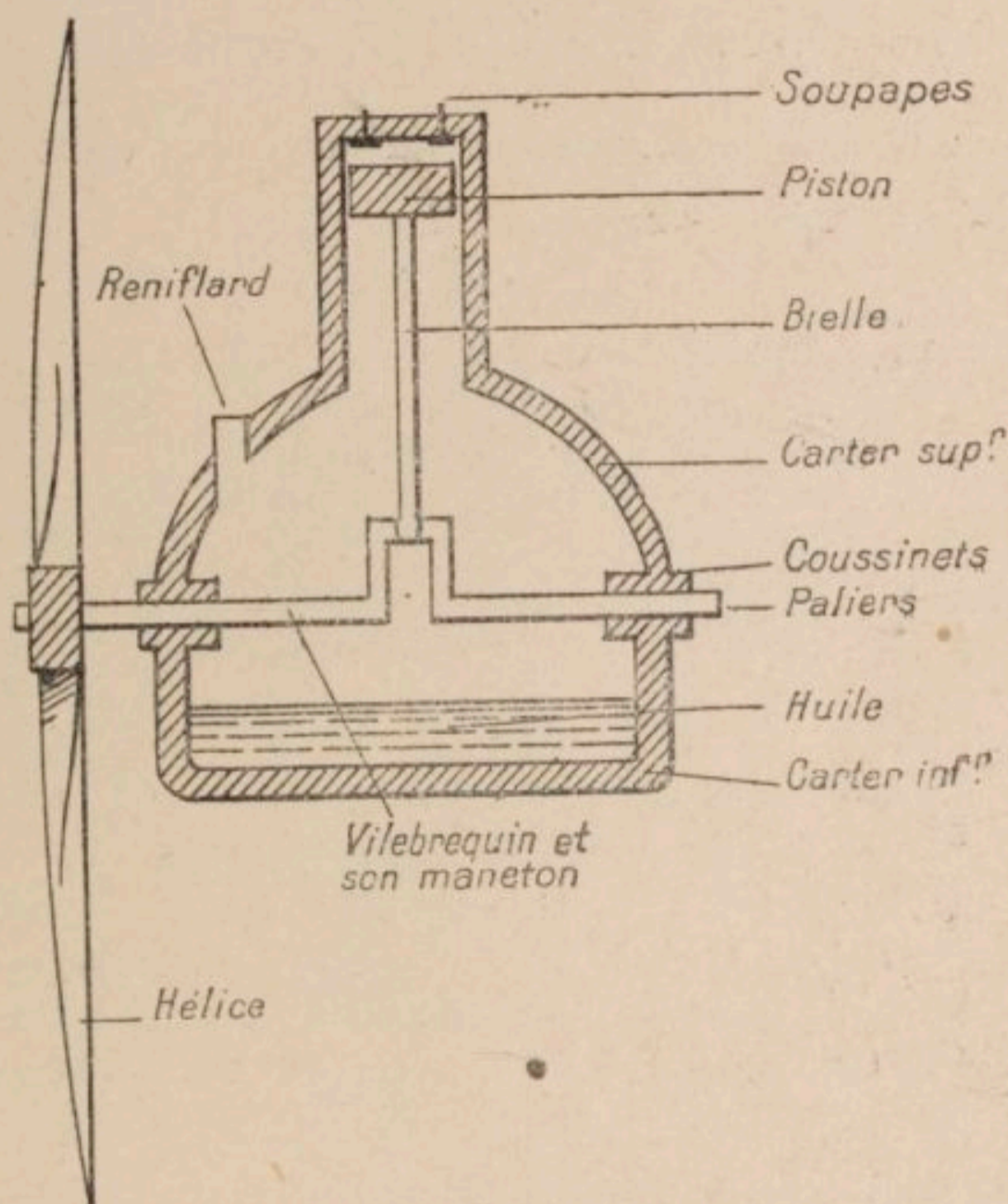


Fig. 7.

vant à supporter le vilebrequin et les cylindres. Il est constitué, en général, par deux pièces principales (fig. 7).

- a. Carter inférieur, qui sert souvent de réservoir d'huile;
- b. Carter supérieur, qui supporte les cylindres sur des embases spéciales.

Entre le carter supérieur et le carter inférieur, on place le vilebrequin qui s'emboîte dans des logements spéciaux. Les parties métalliques qui supportent son effort se nomment *les paliers*. On munit les emboîtements du carter de pièces appelées *coussinets*, pièces cylindriques entourant le vilebrequin aux paliers, et constituées par du métal plus tendre que le vilebrequin (nous en reparlerons au Chapitre « Graissage »).

Le carter supérieur est muni de petites pièces appelées *reniflards*. Ce sont des sortes de petites cheminées mettant en communication l'intérieur du carter et l'air extérieur. Ces ouvertures permettent d'éviter des contre-pressions intérieures. Elles laissent s'échapper également les gaz qui auraient pu pénétrer dans le carter malgré les segments. Elles peuvent servir également au remplissage d'huile.

Principe du cycle à quatre temps du moteur à explosions :

Premier temps : Admission (fig. 8). — La soupape d'admission est ouverte.

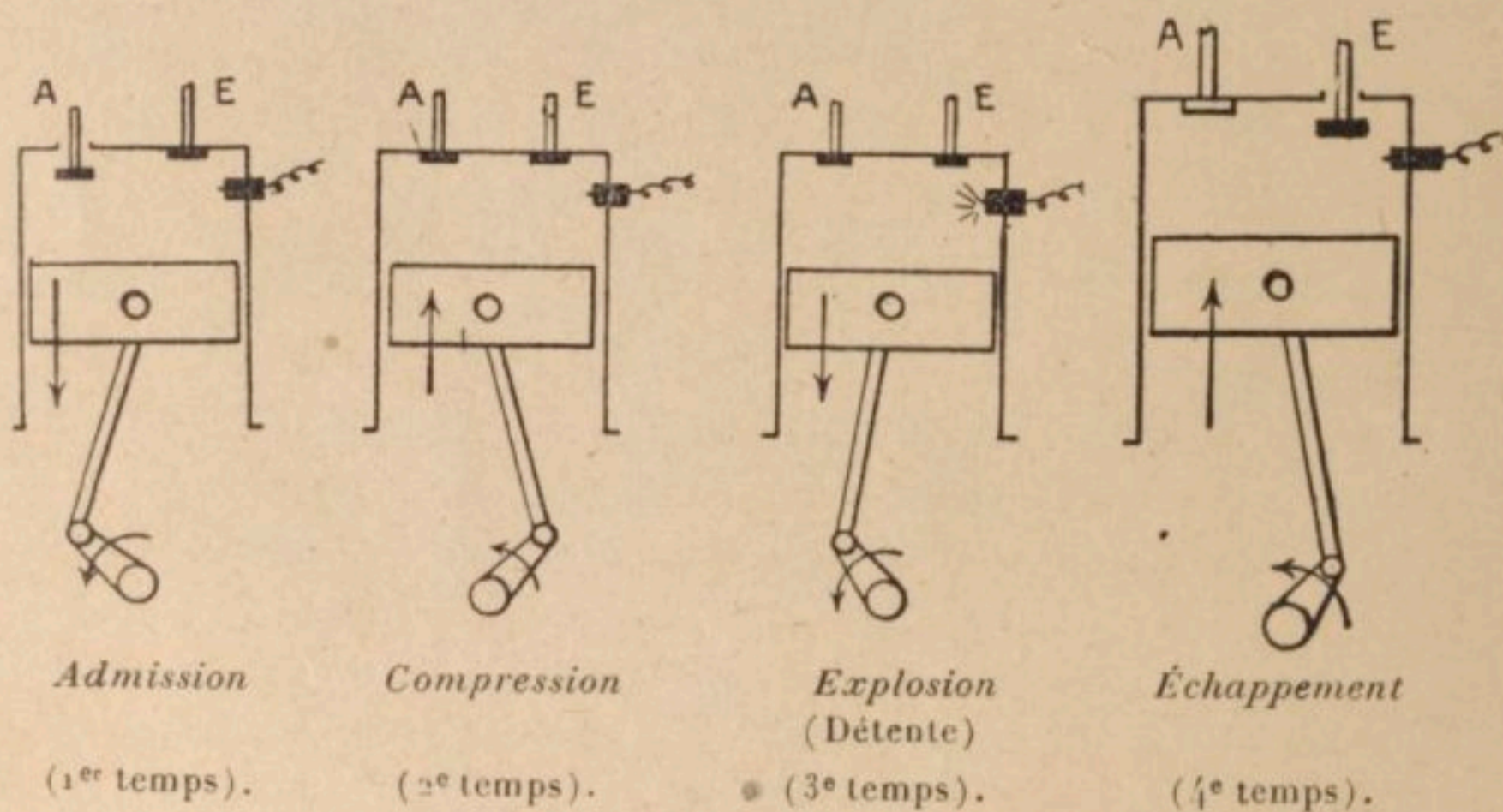


Fig. 8.

La soupape d'échappement est fermée.

Le piston descend et *aspire* le mélange gazeux.

Le vilebrequin fait un demi-tour.

Le piston fait une course.

Deuxième temps : Compression. — La soupape d'admission est fermée.

La soupape d'échappement est fermée.

Le piston remonte et *comprime* les gaz.

Le vilebrequin fait un demi-tour.

Le piston fait une course.

Troisième temps : Explosion (Détente), TEMPS MOTEUR. — La soupape d'admission est fermée.

La soupape d'échappement est fermée.

Le piston descend et *lance le vilebrequin*.

Le vilebrequin fait un demi-tour.

Le piston fait une course.

Quatrième temps : Échappement. — La soupape d'échappement est ouverte.

La soupape d'admission est fermée.

Le piston remonte et *chasse les gaz brûlés*.

Le vilebrequin fait un demi-tour.

Le piston fait une course.

L'allumage des gaz pour le troisième temps se fait au moyen d'une étincelle électrique qui jaillit entre les pointes d'un petit appareil appelé *bougie*. L'organe producteur d'électricité se nomme *magnéto*.

L'ensemble des quatre temps se nomme *cycle* (le mot « cycle » vient d'un mot grec signifiant *cercle*, c'est-à-dire exprime quelque chose de fermé et de complet. C'est un *tout* après lequel les mêmes phénomènes recommencent dans le même ordre.

Un cycle à quatre temps comprend donc : une ouverture de chaque soupape, une étincelle, deux tours du vilebrequin, quatre courses du piston, *un seul temps « moteur » et trois temps « résistants »*.

Commande des soupapes. — Elles doivent être commandées une fois chacune tous les deux tours du vilebrequin. Elles ne pourront donc pas être commandées par le vilebrequin lui-même. Nous verrons plus loin la disposition adoptée et l'emploi pour commander les soupapes, d'un arbre appelé *arbre à cames*.

Remarque importante. — Le principe du cycle à quatre temps, que

nous venons de voir pour un seul cylindre, est le même pour un nombre quelconque de cylindres. Donc : *Quel que soit ce nombre, tous les cylindres devront avoir explosé en deux tours du vilebrequin.*

Réglage des soupapes dans la pratique. — Dans la théorie du cycle à quatre temps, les soupapes s'ouvrent ou se ferment aux points morts. Dans la pratique on règle les soupapes de la façon suivante :

1^o *Retard à l'ouverture de la soupape d'admission (fig. 9).* — Elle

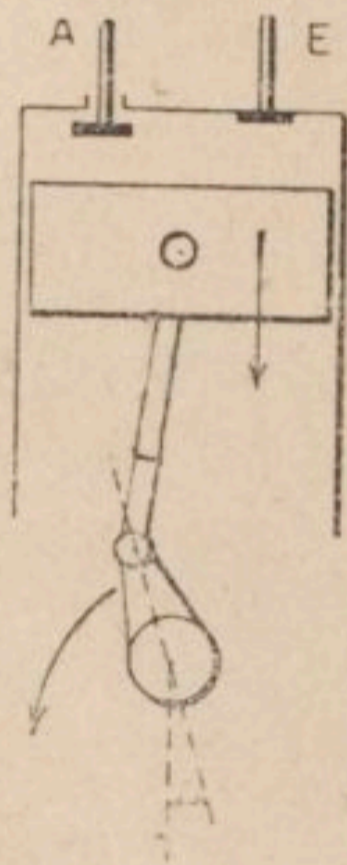


Fig. 9.

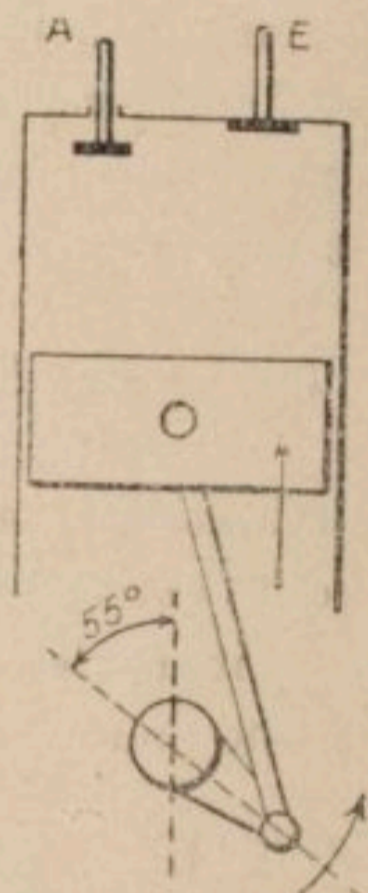


Fig. 10.

s'ouvre un peu après que le piston est arrivé au P. M. H. L'aspiration est alors plus énergique, et plus rapide par suite du vide relatif créé au-dessus du piston. Nous verrons plus loin une conséquence importante également de ce réglage. Le retard s'exprime soit en degrés (c'est alors le nombre de degrés dont le vilebrequin a tourné à partir du P. M. H. au moment de l'ouverture), soit en millimètres (c'est alors le nombre de millimètres dont le piston a descendu à partir du P. M. H. au moment de l'ouverture).

Sur la figure on voit la position (exagérée) du piston et du vilebrequin au moment de l'ouverture d'admission. *L'angle marqué est le retard à l'ouverture de l'admission.* Ce retard est toujours très faible (quelques degrés seulement). Beaucoup de constructeurs préfèrent même ouvrir la soupape juste au P. M. H.

2^o *Retard à la fermeture de la soupape d'admission (fig. 10).* — Elle

se ferme après le P. M. B. Par inertie, les gaz continuent à entrer quand le piston remonte malgré la diminution du volume.

Ce retard, qui est toujours observé, peut atteindre 55 à 60°.

3° *Avance à l'ouverture de la soupape d'échappement* (fig. 11). — Les gaz brûlés s'échappent bien avant la fin du temps moteur. On perd ainsi une partie de l'énergie de l'explosion mais on gagne tout de même de la puissance car on évite la contre-pression sur le piston,

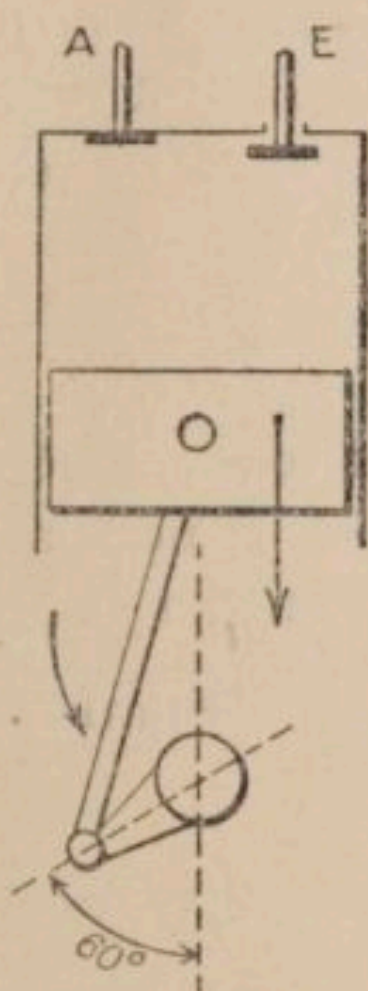


Fig. 11.

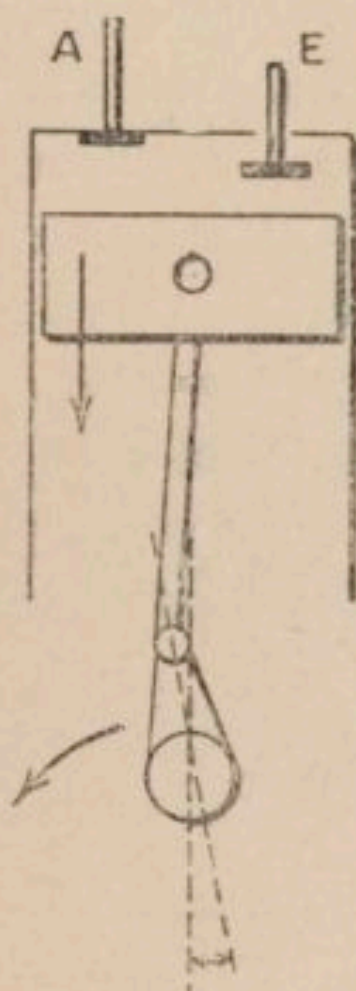


Fig. 12.

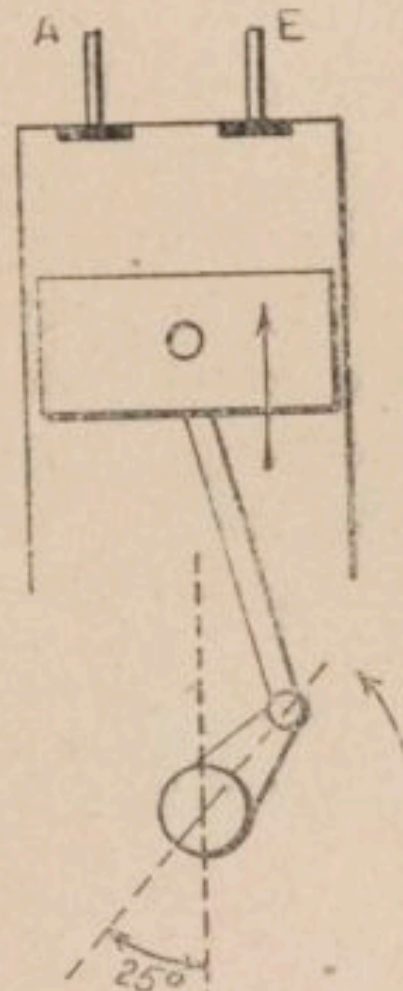


Fig. 13.

qui se produirait si la soupape ne s'ouvrait qu'au P. M. B. Cette contre-pression aurait tendance à faire tourner le moteur à l'envers. L'avance à l'ouverture peut atteindre 60° avant le P. M. B. Ce réglage est toujours observé par les constructeurs.

4° *Retard à la fermeture de la soupape d'échappement* (fig. 12). — Elle se ferme très légèrement après le P. M. H., ce qui permet une évacuation des gaz aussi complète que possible. Ce réglage est réalisable grâce au retard à l'ouverture de la soupape d'admission vu précédemment. Les gaz s'échappent par inertie pendant un certain temps malgré le mouvement du piston vers le P. M. B. Ce dernier réglage n'est pas toujours observé. Beaucoup de constructeurs font fermer la soupape juste au P. M. H.

Sur certains moteurs, il existe même un réglage particulier tel que la soupape d'admission est ouverte avant que la soupape d'échappement ne soit fermée. C'est ce qu'on nomme le *chevauchement des*

soupapes ou réglage *croisé*. Le rendement du moteur peut ainsi être amélioré, mais on risque plus d'enflammer les gaz dans la tubulure d'admission.

Réglage de l'allumage dans la pratique (fig. 13). — Au lieu de faire produire l'étincelle juste au moment où le piston atteint le P. M. H de compression, on la fait éclater un certain temps avant le P. M. H. En effet, les gaz mettant une certaine fraction de seconde pour s'enflammer, si l'étincelle se produisait au P. M. H., le piston serait déjà redescendu d'une certaine quantité quand le mélange air et essence serait enflammé et l'on perdrait beaucoup de puissance. Avec ce réglage, au contraire, les gaz sont complètement enflammés au P. M. H. du piston, et l'on a le maximum possible de puissance. C'est ce qu'on appelle donner de l'*avance à l'allumage*. Cette avance peut être comprise entre 25 et 30°. Lorsqu'elle est indiquée en millimètres, elle indique, comme nous l'avons vu précédemment, le nombre de millimètres que le piston devra parcourir pour parvenir au P. M. H.

Remarque. — Pour tous ces réglages, la vitesse de rotation du moteur a une grosse importance.

Nécessité d'un volant. — Il sera nécessaire pour la marche d'un moteur à un seul cylindre (monocylindrique), de munir le vilebrequin d'une pièce appelée *volant*, qui sera calée sur l'axe du vilebrequin, qui tournera, par conséquent, avec lui et qui servira de *régulateur*. Pendant le temps moteur, le vilebrequin entraînera le volant qui, par inertie, ne prendra que difficilement de la vitesse et emmagasinerà une partie de l'énergie de l'explosion. *Le volant utilisera ensuite cette énergie pour faire accomplir les trois temps résistants*. Ce sera donc nécessairement une pièce très lourde.

Diminution du poids et de l'encombrement des moteurs d'aviation. — Pour diminuer le poids, on augmente le nombre des cylindres, ce qui donne une grande régularité de marche et permet de supprimer le volant, *poids mort*. Avec 4 cylindres, on a encore besoin d'un volant, en automobile. En aviation où l'hélice joue un peu le rôle du volant, on a pu le supprimer. Les matériaux employés sont pour une grosse part dans l'allégement. En particulier, les pistons et surtout les carter se font en alliage d'aluminium, lequel n'a qu'une densité de 2,56.

Plusieurs dispositions sont possibles pour les cylindres des moteurs.

1^o *Cylindres en ligne.* — Tous les cylindres sont les uns derrière les autres.

2^o *Cylindres en ligne V (fig. 14).* — Les cylindres sont en deux

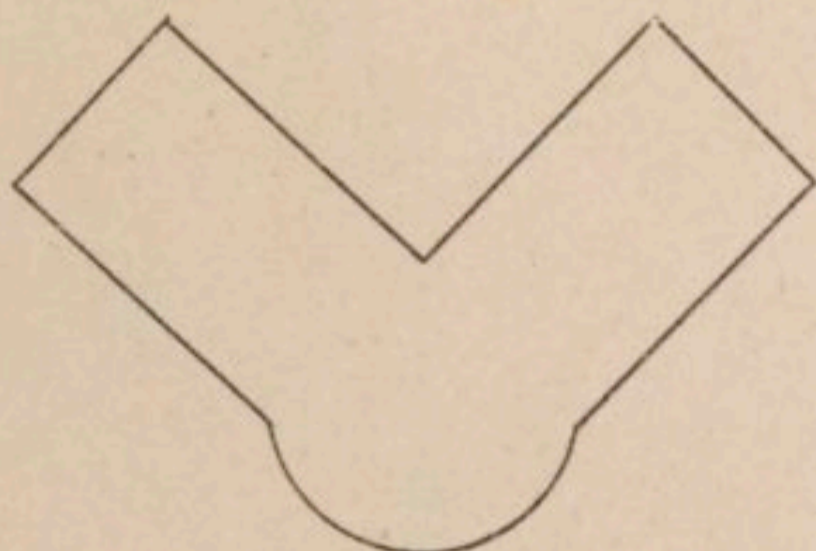


Fig. 14.

rangées formant un V. Avec cette disposition, le poids est très diminué puisqu'on diminue la longueur du vilebrequin d'environ la moitié, de même que le carter. Dans certains cas, on peut commander les soupapes des deux groupes de cylindres par un seul arbre à cames placé dans l'angle du V. L'arbre à cames est donc, de ce fait, réduit de moitié (Renault 80 HP). Cette disposition des cylindres en V diminue, par conséquent, beaucoup l'encombrement. Dans ce cas, chaque maneton reçoit deux bielles.

3^o *Moteurs en éventail ou en W (fig. 15).* — Le poids et l'encom-

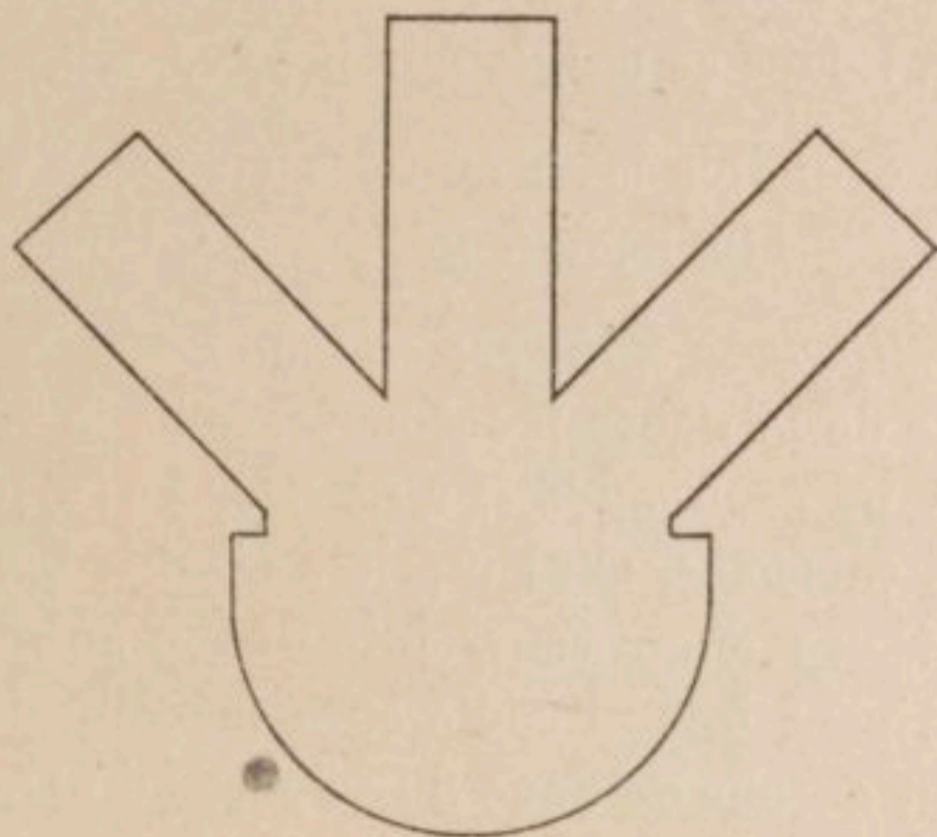


Fig. 15. — Cylindre en étoile.

brement sont également très diminués pour les mêmes raisons que précédemment. Par exemple, on peut construire un moteur de

12 cylindres en W qui n'aura, par conséquent, que la longueur correspondant à 4 cylindres, d'où grosse diminution du carter et du vilebrequin.

4° *Cylindres en étoile* (fig. 16). — Avec cette disposition, on a un

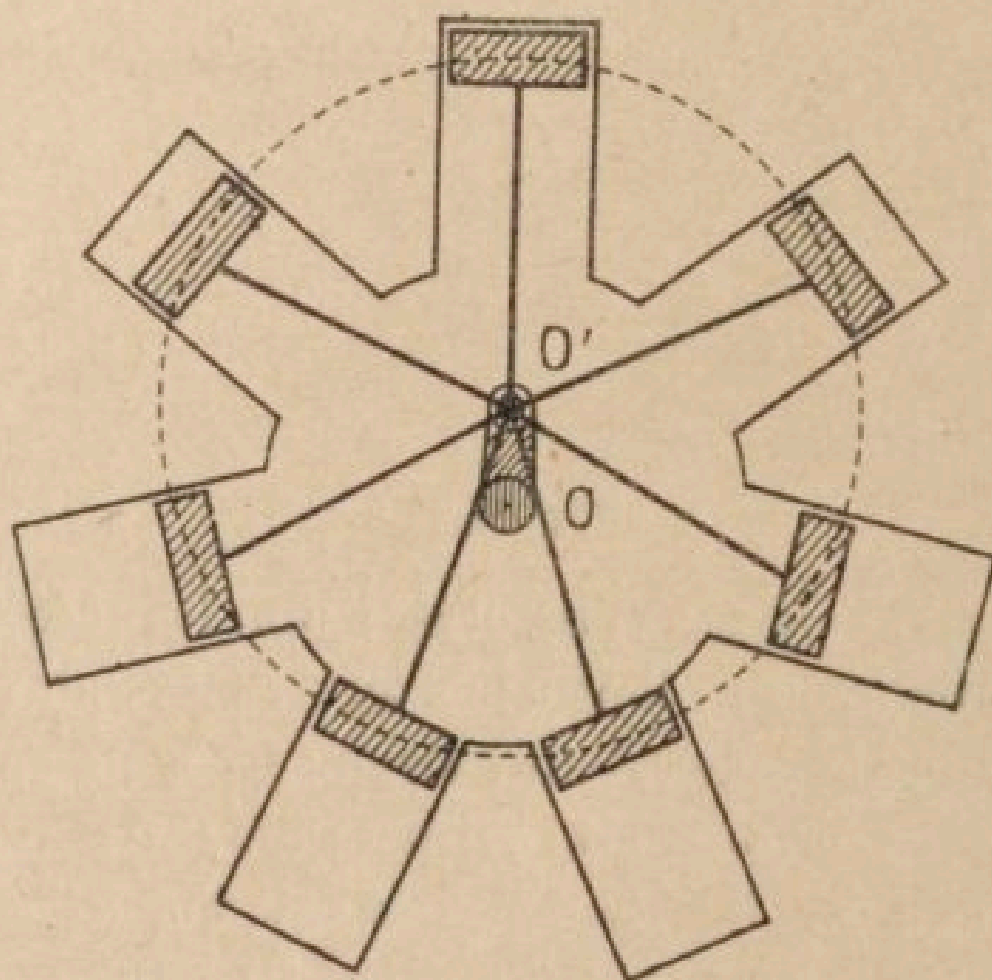


Fig. 16.

carter excessivement réduit en poids et encombrement et le vilebrequin, très réduit également, peut être de deux sortes :

- a. Un seul coude : dans ce cas, le nombre des cylindres est impair ;
- b. Deux coudes : dans ce cas, le nombre des cylindres est pair.

Mais alors, les cylindres sont groupés en deux plans parallèles, chaque plan comprenant un nombre impair de cylindres.

5° *Moteurs rotatifs avec cylindres en étoile*. — La disposition est la même que celle de la figure précédente. Mais le vilebrequin comporte, en général, un seul coude *et reste fixe*. Le carter, les cylindres, les soupapes, etc. tournent. On supprime ainsi le mouvement alternatif des pistons. En effet, ceux-ci tournent autour de l'axe du coude O' et décrivent une circonférence (suivant le pointillé). Les cylindres tournent autour de l'axe du vilebrequin O.

Augmentation de la régularité de marche. — Pour augmenter le plus possible la régularité de la marche, on augmente le nombre des cylindres. En aviation, on peut avoir comme disposition :

8 cylindres en V; 12 cylindres en V; 18 cylindres en W, etc., ou alors : 7 cylindres en étoile rotatifs; 9 cylindres en étoile rotatifs; 9 cylindres en étoile fixes, etc.

Nous allons maintenant étudier successivement :

- 1° Les organes de distribution;
- 2° La carburation;
- 3° L'allumage;
- 4° Le graissage;
- 5° Le refroidissement;
- 6° Les pannes;
- 7° L'entretien et le réglage.

1. — ORGANES DE DISTRIBUTION.

Ce sont les organes qui *distribuent* les gaz aux instants voulus dans les cylindres, et qui permettent ensuite de les évacuer. Ils comprennent :

Les soupapes et les organes assurant le fonctionnement de celles-ci, c'est-à-dire, en général :

- 1 ou 2 *arbres à cames.*
- 1 ou 2 *tiges de culbuteurs* par cylindre.
- 1 ou 2 *culbuteurs* par cylindre.

On peut y comprendre également les pignons servant à la transmission des mouvements de ces différents organes. Ceux-ci sont généralement groupés de la façon suivante (*fig. 17*) :

Les soupapes sont commandées par les *culbuteurs* et leurs *tiges*. Sur le vilebrequin est fixé un pignon denté qui entraîne un second pignon *de diamètre double*, calé sur un arbre parallèle au vilebrequin et nommé *arbre à cames*. Cet arbre porte des bossages appelés *cames* qui commandent les soupapes. Par suite du principe du cycle à 4 temps, il faut commander chaque soupape *une fois seulement pour 2 tours du vilebrequin*. C'est ce qu'on obtient par la disposition ci-après. (Cette disposition est la plus simple. Mais elle peut varier. Ainsi, sur le moteur Salmson, l'arbre à cames tourne 4 fois moins vite que le vilebrequin.)

Sur cette figure, les organes de distribution sont représentés au moment du commencement de l'ouverture de la soupape d'admission.

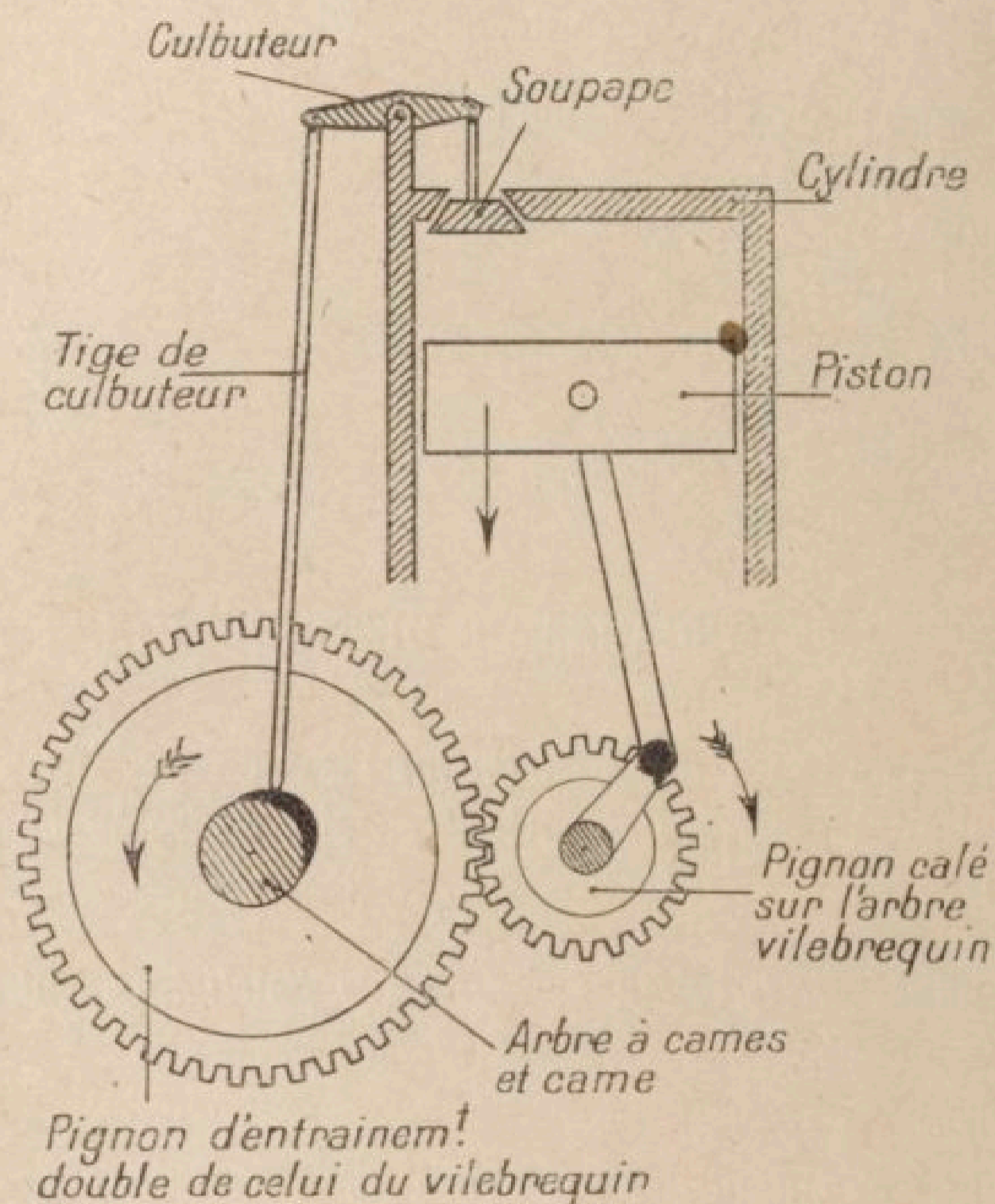


Fig. 17.

Cames. — Ces bossages, qui sont excentrés sur l'arbre à cames, viennent à chaque tour de l'arbre à cames, donc une fois par cycle, frapper la tige du culbuteur qui leur correspond. Il y a le plus souvent une came par culbuteur et par soupape.

Les soupapes peuvent être commandées également de la façon suivante :

1° Avec une seule tige de culbuteur pouvant travailler tantôt à la compression, tantôt à l'extension, et commandant les deux soupapes (moteur Rhône) (fig. 17 a);

2° Avec des poussoirs (admission sur le 80 HP Renault à ailettes) (fig. 17 b);

3° Avec des arbres à cames situés au-dessus des rangées de cylindres

et dont les cames appuient sur les culbuteurs (moteur Renault 300 HP, Lorraine, etc.) (fig. 17 c);

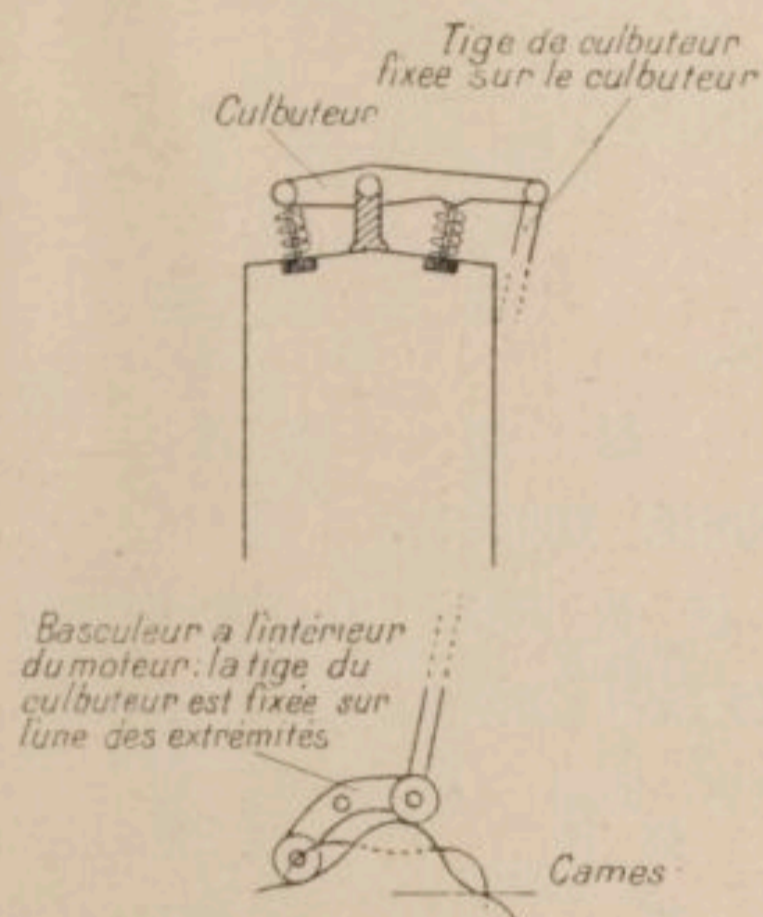


Fig. 17 a.

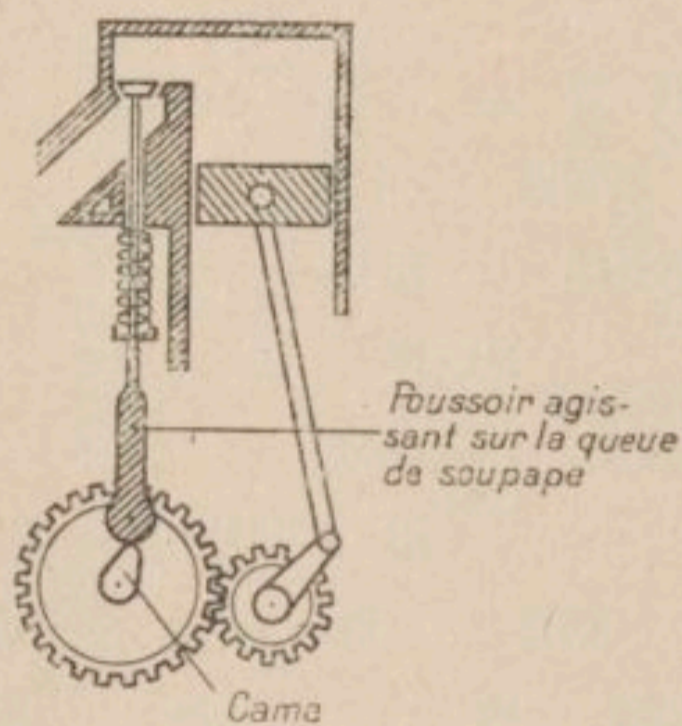


Fig. 17 b.

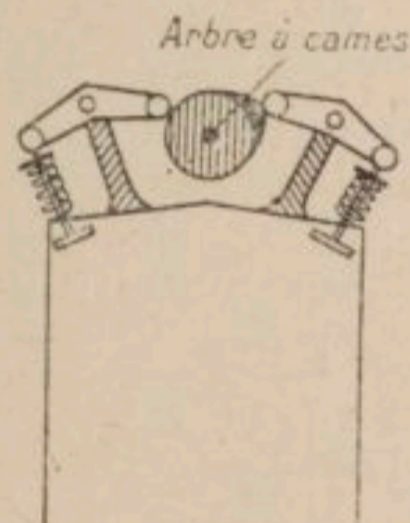


Fig. 17 c. — Dans ce cas, il est commandé par l'intermédiaire d'arbre de transmission prenant leur mouvement sur le vilebrequin.

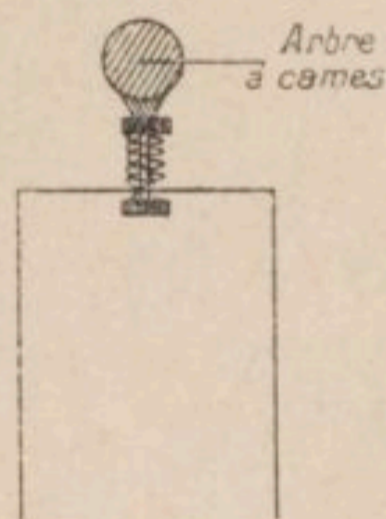


Fig. 17 d. — Dans ce cas, les 2 soupape d'un même cylindre sont l'une derrière l'autre, et sont munies d'une large tête permettant à la came d'appuyer sur la soupape pendant un temps suffisant.

4° Avec des arbres à cames situés au-dessus des rangées de cylindres, et dont les cames appuient directement sur les queues de soupapes (300 HP Hispano) (fig. 17 d);

5° Les soupapes d'admission peuvent être ouvertes automatiquement par l'aspiration du piston (Anzani).

II. — CARBURATION.

C'est l'opération consistant à produire le mélange gazeux dans de bonnes proportions.

Cette opération se fait grâce au *carburateur*. La dépression produite par le piston aspire les gaz aux cylindres dans des *pipes ou tubulures d'admission*.

Pour avoir *explosion*, c'est-à-dire combustion instantanée dans les cylindres, il faut deux éléments distincts :

1^o *Un combustible : c'est l'essence*. — L'essence est obtenue par distillation des pétroles. Elle est formée de deux corps : le carbone et l'hydrogène (en poids : 84 pour 100 de C et 16 pour 100 d'H) ;

2^o *Un comburant : c'est l'oxygène de l'air*. — Cet oxygène est nécessaire à la combustion. L'air en contient en poids 23 pour 100 ;

Enfin, 3^o *Une proportion convenable et un mélange homogène* de ces deux éléments sont indispensables.

On constate que la bonne proportion est de 1^g *d'essence pour 20^g d'air*. Or, 1 litre d'air (dans les conditions : pression atmosphérique, 760^{mm}, et température = 0^o) pèse 1^g, 293. Donc 20^g d'air occuperont un volume de $\frac{20}{1.293}$, soit 15 à 16 litres. On voit qu'il faut donc une proportion de 1^g *d'essence pour 15 à 16 litres d'air*. L'explosion dépend, en outre, de la chaleur de l'étincelle, de la compression, de la position de la bougie dans le cylindre, ou du nombre de bougies par cylindre etc.

IMPORTANCE D'UNE BONNE PROPORTION.

1^o *Excès d'essence*. — S'il y a excès d'essence, il y a combustion incomplète et il reste du carbone qui ne brûle pas et qui se forme en petites particules solides se déposant dans les fonds des cylindres, sur les pistons, sur les soupapes, etc. L'explosion est moins rapide, et comme résultat, on a : *échauffement du moteur, encrassement et mauvais fonctionnement*. On s'en aperçoit grâce à des flammes à l'échappement et à des claquements produits par l'explosion, au contact de l'air, des gaz restés enflammés en fin du 4^e temps, et aussi, quand l'excès est encore plus accentué, grâce à la production de *fumées noires*, formées de grains de suie en suspension.

2^o *Manque d'essence*. — Il y a, par conséquent, plus d'air qu'il n'en faudrait pour l'essence. La combustion est complète mais il reste de l'air dans le cylindre, et l'explosion est moins bonne. Les effets produits par le manque d'essence sont les suivants :

a. *Baisse de puissance* (puisqu'on n'admet pas la quantité voulue d'essence par cylindrée) et le *moteur chauffe* (plus que pour l'excès d'essence), parce que l'explosion est plus lente.

b. *Ratés d'explosion*, dans le cas où le manque d'essence s'accroît.

c. *Retour de flammes au carburateur*, donc *danger d'incendie*, dans le cas où le manque d'essence est encore plus net. Le mélange, au lieu d'exploser, devient alors *fusant*, c'est-à-dire qu'il met longtemps à brûler. Il brûle encore au moment de l'ouverture de la soupape d'admission, et enflamme les gaz frais contenus dans la tubulure jusqu'au carburateur.

Une proportion toujours bonne d'air et d'essence est donc absolument indispensable. Nous allons voir, à ce sujet, quels étaient les défauts des *carburateurs simples comprenant un seul gicleur*.

CARBURATEUR SIMPLE.

Les organes principaux de ce carburateur sont les suivants (fig. 18)

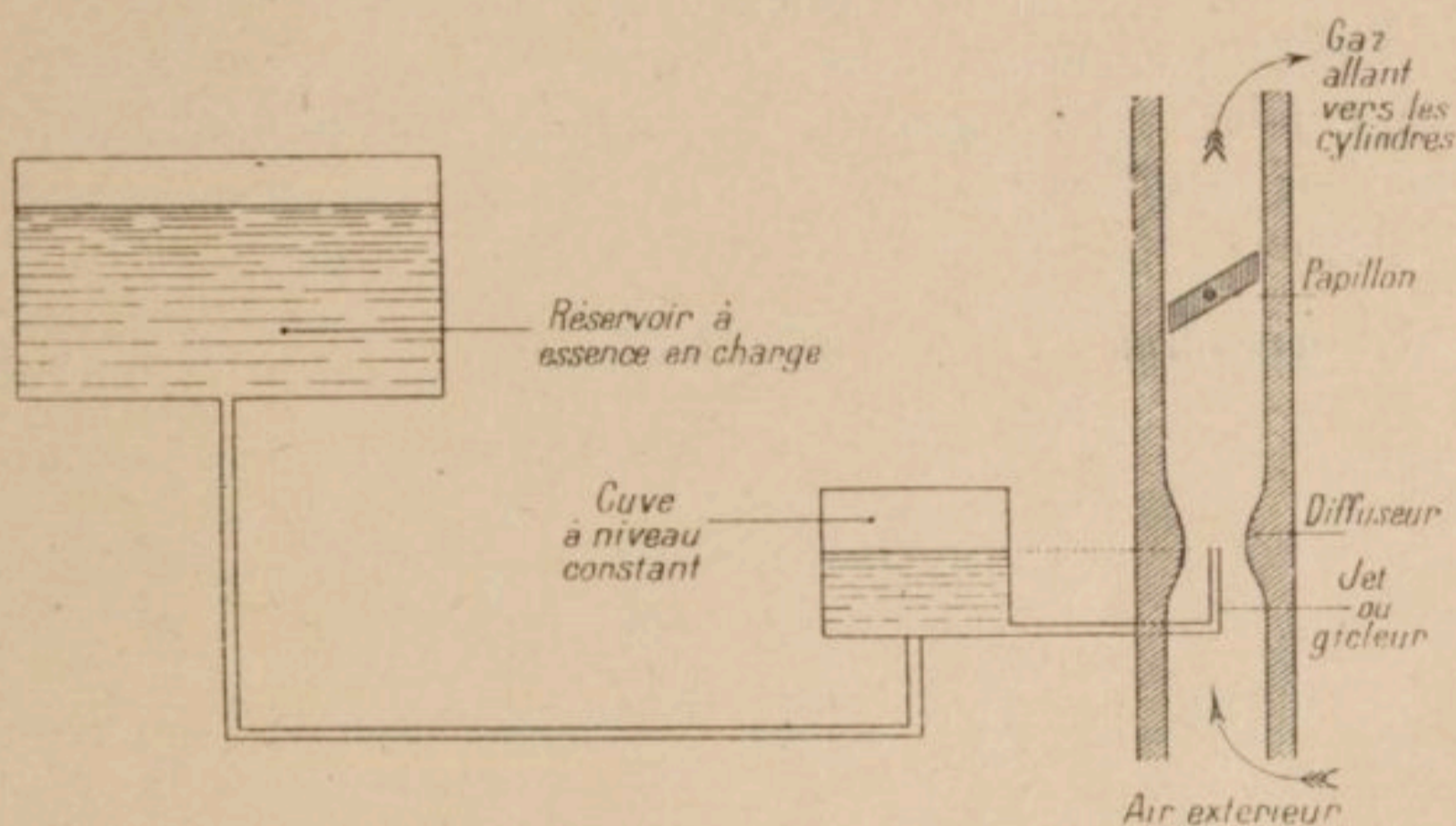


Fig. 18.

1^o *Un gicleur*. — C'est un tube très fin par où gicle l'essence. Il est calibré au $\frac{1}{100}$ de millimètre.

2^o *Une entrée d'air*. — Pour amener dans les cylindres l'oxygène nécessaire à la combustion. Le courant d'air pulvérise le jet d'essence sortant du gicleur. L'émulsion, par suite de la *dépression*

provoquée par la course des pistons dans la tubulure d'admission, est entraînée vers les cylindres. La pulvérisation s'accompagne d'une vaporisation plus ou moins complète et d'une diffusion de vapeur dans l'air.

3° *Un diffuseur.* — C'est une pièce formée de deux troncs de cônes creux fixés l'un au bout de l'autre de façon à former un rétrécissement de l'entrée d'air à hauteur du haut du gicleur, ce qui facilite pour l'essence l'aspiration et la vaporisation, par suite de la grande vitesse ainsi donnée à l'air.

Cette vaporisation est indispensable pour obtenir une bonne explosion.

4° *Une cuve à niveau constant.* — Elle égalise la hauteur de l'essence au gicleur (le niveau de l'essence dans la cuve est un peu moins élevé que le haut du gicleur). Sans cette cuve, l'essence du réservoir en charge (c'est-à-dire situé à un niveau supérieur à celui du carburateur) coulerait en débordant au gicleur.

5° *Papillon.* — Il permet les différents régimes du moteur et se place dans la tubulure d'admission au-dessus du diffuseur. En ouvrant plus ou moins le papillon, au moyen d'une manette spéciale, le pilote peut augmenter ou diminuer la quantité de gaz passant dans la tubulure et, par conséquent, faire varier la puissance du moteur.

Fonctionnement de la cuve à niveau constant (fig. 19). — L'essence

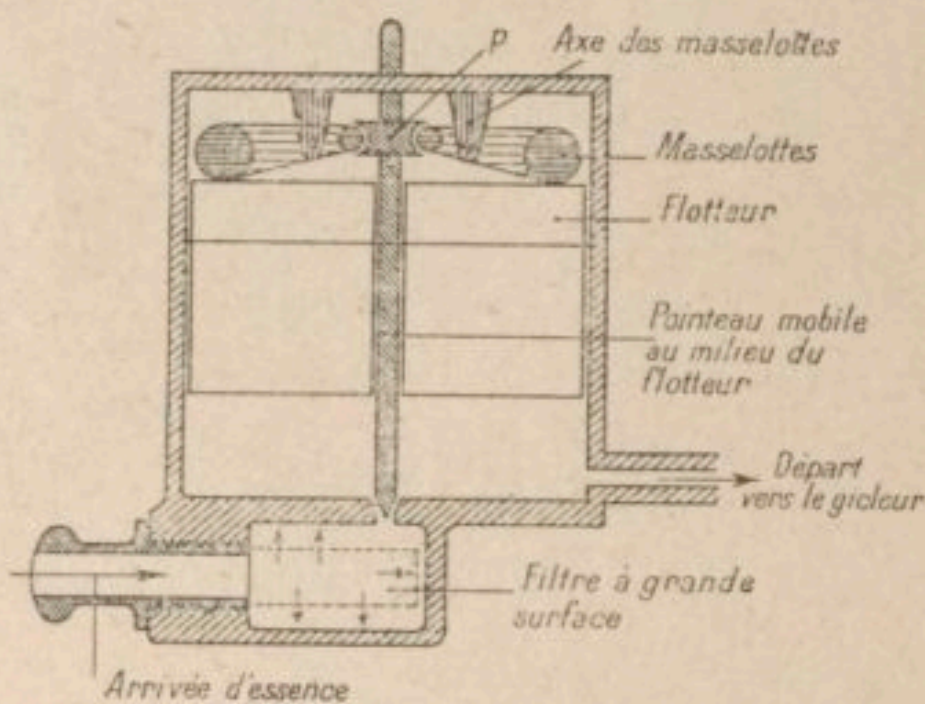


Fig. 19.

arrivant du réservoir monte dans la cuve. Le flotteur se soulève, pousse les masselottes, qui, en basculant, font descendre le pointeau

grâce à une sorte de poulie à gorge profonde p qui est FIXÉE sur le pointeau. Celui-ci ferme alors l'arrivée d'essence. Quand l'essence s'écoule, le niveau baisse, les masselottes descendent et soulèvent le pointeau qui laisse de nouveau pénétrer l'essence.

Défauts constatés avec les carburateurs simples :

1^o L'essence étant plus dense que l'air, son inertie sera plus grande que celle de l'air, de sorte qu'elle n'obéira pas aussi rapidement aux dépressions des pistons. Si les aspirations sont très rapprochées les unes des autres, l'essence jaillit d'une façon continue, tandis que l'air n'entre au carburateur que pendant les temps d'aspiration, et d'autant plus *détendu* que l'aspiration est plus forte. D'autre part, le fait d'avoir un diffuseur de section constante, présente de gros inconvénients. En effet, avec un *diffuseur de section étroite*, la vitesse de l'air est suffisante au ralenti pour assurer un bon fonctionnement du moteur. Mais on obtient alors un freinage de l'air aux grandes allures, d'où *excès d'essence*. Au contraire, avec un *diffuseur de grande section*, la puissance peut atteindre son maximum, mais il y a *excès d'air aux faibles allures* et mauvais ralenti.

On voit donc qu'on est conduit à l'emploi des diffuseurs à *section moyenne* qui auront alors des défauts moyens et des qualités moyennes.

On remarquera que les différences de densité de l'air et de l'essence, et la section constante du diffuseur ont les mêmes inconvénients. Par suite, on aura comme résultats :

- a. *Aux faibles allures* : manque d'essence;
- b. *Aux grandes allures* : excès d'essence.

2^o Pour que l'essence soit bien vaporisée dans le mélange gazeux, il est nécessaire que la température de l'air admis soit suffisante. Vers 15^o, la vaporisation de l'essence se fait bien et la cylindrée produit une bonne explosion. Mais si la température de 15^o est abaissée, on risque des condensations d'essence; et si elle est augmentée, on diminue le poids du gaz admis dans le cylindre, et la cylindrée est moins bonne. De plus, la vaporisation de l'essence peut produire un froid suffisant pour *givrer* le papillon de réglage. Il faut donc prévoir un *système de réchauffage de l'air admis*, réchauffage qui puisse se régler avec précision.

Il y a plusieurs moyens :

a. Circulation d'une partie des gaz d'échappement autour de la tubulure du carburateur (*fig. 20*).

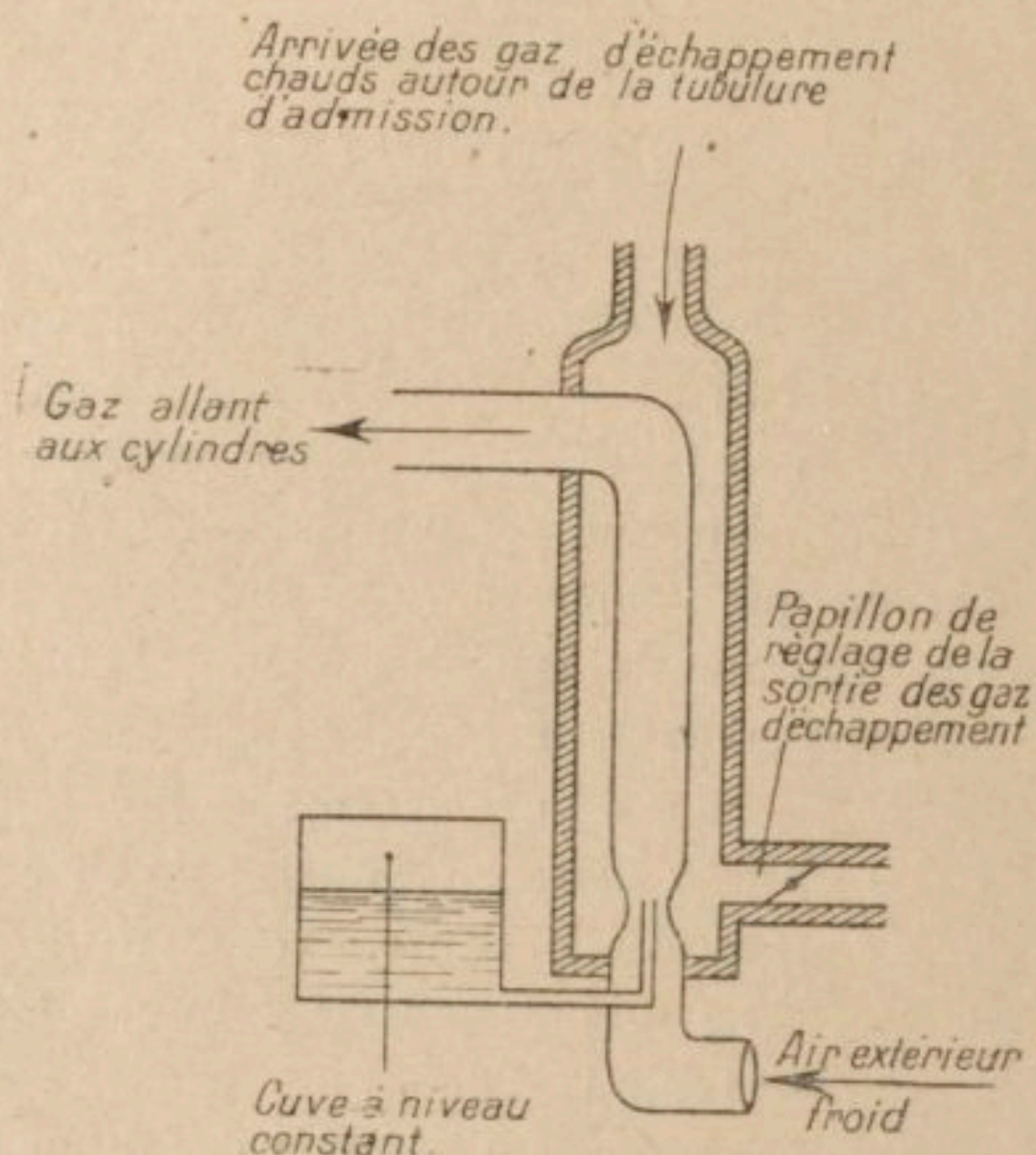


Fig. 20.

b. Circulation d'eau chaude autour de la tubulure; cette eau étant une dérivation de la circulation d'eau servant au refroidissement du moteur (*fig. 21*).

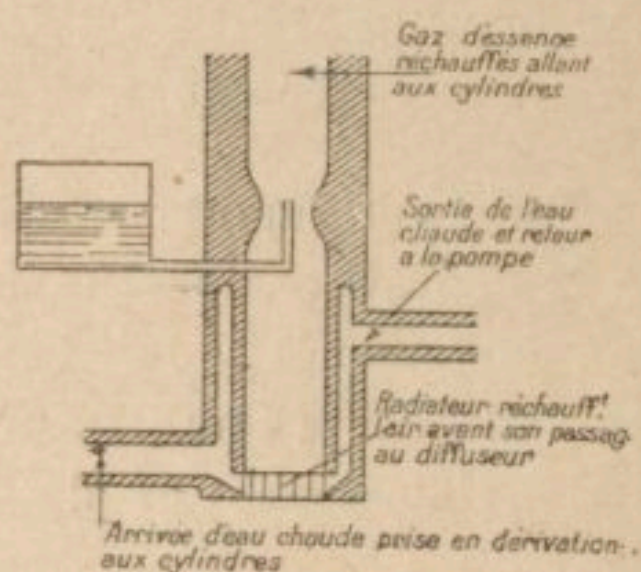


Fig. 21.

c. Réchauffage de l'air aspiré en le faisant passer dans un petit radiateur à l'entrée du carburateur, ce radiateur recevant aussi de l'eau de refroidissement du moteur, etc. (*fig. 21*).

3° *La pression atmosphérique* ($1 \text{ kg},033$ par centimètre carré) diminuant avec l'altitude, la quantité d'air aspiré par le moteur diminuera, en poids, à mesure que l'avion s'élèvera, de sorte que si on laisse le mélange se former avec le même gicleur, ce mélange deviendra trop riche en essence, d'où l'obligation d'un organe appelé *correcteur altimétrique*, destiné à corriger la proportion air et essence à toutes les altitudes.

4° Sur certains moteurs, pour faciliter le départ, en tenant compte de la difficulté pour l'essence à être aspirée quand le moteur tourne à la main, on place à l'entrée d'air du carburateur un *volet d'air* que l'on ferme à la mise en route, ce qui augmente la dépression sur le gicleur (Hispano).

Pour corriger le défaut principal du carburateur simple exposé précédemment (manqué d'essence aux petites allures, excès d'essence aux grandes), plusieurs principes pouvaient être appliqués :

Différentes solutions possibles pour une bonne carburation :

1° *Réglage de l'air*. — Le carburateur est muni d'un gicleur unique donnant une bonne carburation aux petites allures. On ajoute une *prise d'air additionnel* (soit automatique, soit commandée par le pilote) pour les grandes allures.

2° *Réglage de l'essence* :

- a. Réglage direct en agissant sur la section du gicleur (délicat);
- b. Réglage indirect en agissant sur la dépression à hauteur du gicleur.

3° *Réglage indépendant de l'air et de l'essence*. — Chaque débit étant réglé par le pilote.

4° *Réglage conjugué de l'air et de l'essence*. — Ce réglage peut être automatique. Il a été réalisé sur le carburateur Zénith.

PRINCIPE DU CARBURATEUR ZÉNITH (fig. 22).

On a cherché à réaliser un carburateur dans lequel deux gicleurs, fonctionnant en même temps, auraient des défauts inverses. L'un se nomme *gicleur principal*, l'autre *gicleur auxiliaire*.

Le *jet principal* de ce carburateur est disposé exactement comme

celui du carburateur simplifié et donne, par conséquent, les défauts de celui-ci, c'est-à-dire :

- Petites allures : manque d'essence ;
- Grandes allures : excès d'essence.

Le *gicleur auxiliaire*, lui, prend son essence dans un *puits de ralenti*. Ce puits communique avec la cuve à niveau constant par un orifice

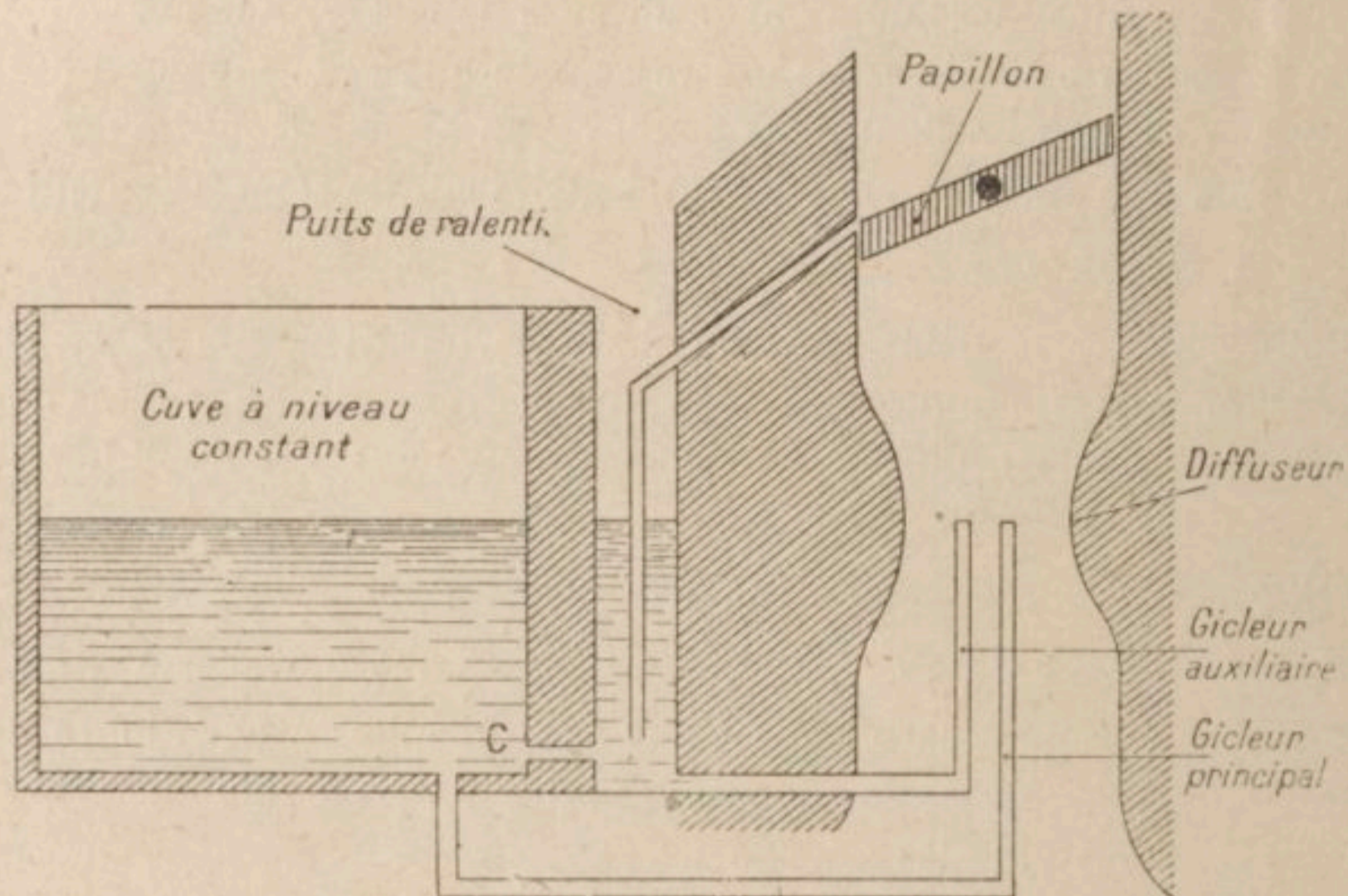


Fig. 22.

très petit, *calibré* au $\frac{1}{100}$ de millimètre et appelé *compensateur*. Celui-ci, *par suite de sa disposition dans un puits ouvert à l'air libre* (puits de ralenti), *débite toujours la même quantité d'essence quelle que soit l'aspiration*. En effet, pour expliquer ce principe, considérons un verre au-dessus duquel débouche un robinet R qui laisse tomber de l'eau avec une ouverture bien déterminée (*fig. 23*). Produisons une aspiration au bout d'un tube de verre A plongeant dans le verre V.

- a. Lorsque nous aspirerons de façon à entraîner moins d'eau qu'il n'en coule de R, nous *n'aspirerons que de l'eau* ;
- b. Lorsque nous aspirerons un peu plus fort, l'eau se videra petit à petit. Et il arrivera un instant où il commencera à entrer un peu d'air dans le tube, puis un peu plus ; enfin, quand la réserve d'eau sera épuisée, *on aspirera seulement ce qui tombe de R, plus de l'air* ;

c. Enfin, si nous aspirons encore plus fortement, nous ne changerons rien à ce qui tombera de R, mais nous aurons de plus en plus d'air aspiré.

Ce principe est celui du compensateur C.

Le robinet R représente le compensateur.

Le verre V représente le puits ouvert à l'air libre.

Le tube A représente la canalisation du gicleur auxiliaire.

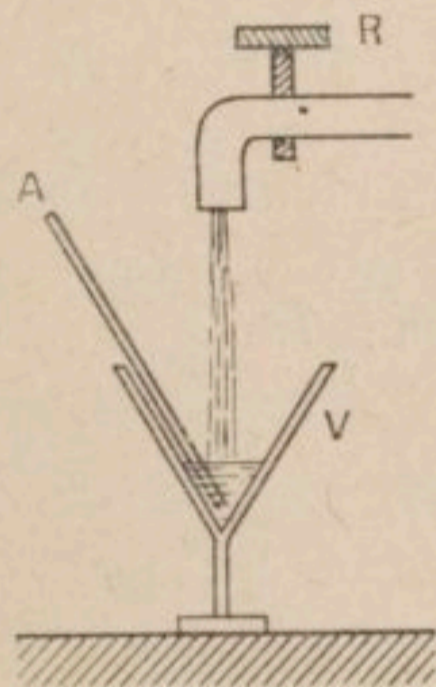


Fig. 23.

Le résultat sera donc le suivant, en ce qui concerne le jet auxiliaire et son débit.

Nous aurons :

Aux petites allures : excès d'essence ;

Aux grandes allures : manque d'essence.

Si nous rapprochons les défauts des deux gicleurs, nous avons donc le tableau suivant :

Jet principal : Petites allures, manque d'essence ; grandes allures, excès d'essence.

Jet auxiliaire : Petites allures, excès d'essence ; grandes allures, manque d'essence.

Nous aurons donc *compensé* les défauts du jet unique, d'où le nom de compensateur donné à l'orifice commandant le jet auxiliaire.

On remarque aussi que, *par cylindrée*, il y aura d'autant moins d'essence venant du jet auxiliaire, que le moteur tournera plus vite.

Pour la marche à l'extrême ralenti, on a ajouté un gicleur de ralenti qui prend son essence dans le puits et l'envoie dans la tubulure, par

un orifice qui fait face à la tranche du papillon, lequel est presque fermé à ce moment, de façon à boucher une partie de l'orifice du ralenti. Les gaz prennent alors une grande vitesse au passage devant l'orifice, et l'essence est appelée énergiquement dans le gicleur de ralenti. A ce moment, les jets principaux ne débitent pratiquement rien.

Dans la pratique, au lieu d'avoir disposé les deux jets (principal et auxiliaire) l'un à côté de l'autre, on a placé le gicleur auxiliaire autour du gicleur principal. Il prend, pour cette raison, le nom de *gicleur annulaire*.

De plus, le compensateur prend l'essence sur la canalisation principale, et le système de ralenti comprend un dispositif spécial, qu'on verra sur la figure ci-dessous (*fig. 24*), se composant d'un gicleur et

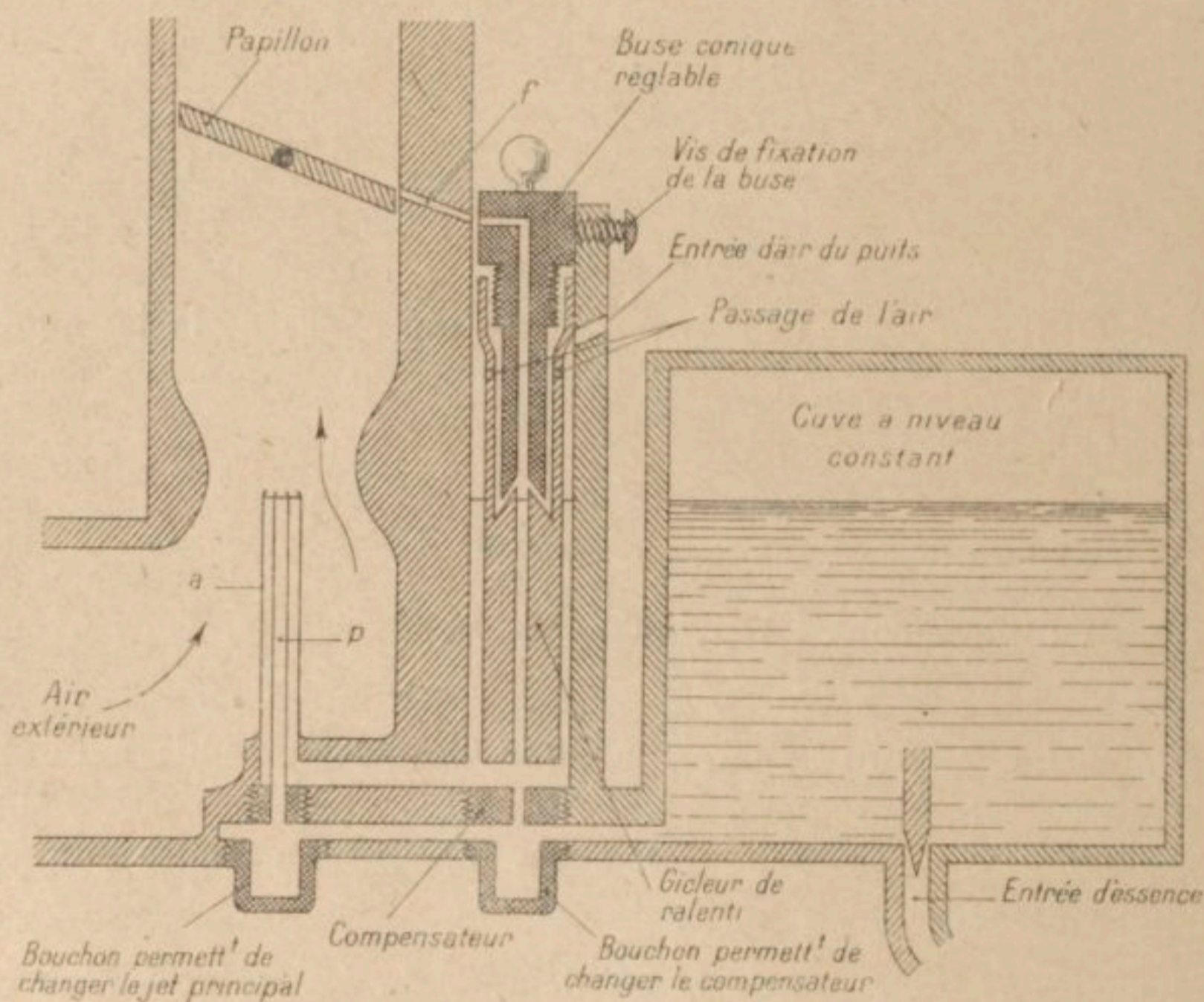


Fig. 24.

d'une *buse conique réglable* permettant d'augmenter ou de diminuer l'espace laissé libre pour l'air entre ces deux pièces.

Fonctionnement du carburateur Zénith à toutes les allures :

1^o A l'extrême ralenti (position de la figure), l'essence monte, à

la hauteur du niveau dans la cuve, dans les jets principaux et au gicleur de ralenti. Le puits de ralenti fournit par sa petite canalisation *f* un mélange très riche en essence qui, ramené à la bonne proportion par l'air passant autour du papillon, alimente le moteur (régime : environ 250 à 400 tours). *S'il y a manque d'essence, on visse la buse conique, ce qui diminue l'intervalle entre la buse et le gicleur de ralenti. On enrichit ainsi le mélange.*

S'il y a excès d'essence, on fait l'opération inverse.

2^o *Lorsqu'on accélère le moteur, en ouvrant le papillon, celui-ci découvre petit à petit l'orifice *f*, ce qui augmente la quantité de mélange qui sort du puits. Lorsque le trou est découvert en entier, la dépression est suffisante à hauteur des jets pour que ceux-ci commencent à donner et lorsque l'on continue à ouvrir le papillon, la dépression en *f* étant insuffisante pour attirer l'essence du puits, il ne sort plus de mélange par *f*, tandis que la dépression aux jets augmente progressivement. Le gicleur auxiliaire *a* déverse alors toute l'essence en réserve dans le puits, pendant que le débit du jet principal *p* s'accélère.*

3^o *Une fois le moteur en grand régime, le jet auxiliaire, dont le débit a diminué progressivement au cours de l'accélération, ne donne plus que l'essence sortant du compensateur et l'air arrivant du puits de ralenti; tandis que le gicleur principal ne donne que de l'essence.*

REMARQUE. — *Si le ralenti est réglé trop pauvre, on remarque un manque d'essence vers 7 à 900 tours, pouvant provoquer l'arrêt. De même, si le compensateur est trop petit, l'essence venant du compensateur ne sort pas en assez grande quantité pendant l'accélération, et il y a un trou dans la carburation. Le moteur a de mauvaises reprises.*

Si le compensateur est trop grand, cela peut provoquer une irrégularité dans la marche, par excès d'essence, aux grandes allures.

*Fonctionnement du correcteur altimétrique (fig. 26). — Considérons un carburateur dans lequel le couvercle de la cuve à niveau constant soit hermétique. Pour permettre à l'essence un écoulement régulier vers les jets, on ajoute une petite canalisation *ab* réunissant l'entrée d'air sous le diffuseur, à la partie supérieure de la cuve. Ce qui permet à la pression atmosphérique de s'établir sur l'essence de la cuve à niveau constant.*

Soit H' cette pression. A hauteur du gicleur existe une pression H , plus faible que H' par suite du vide relatif créé par les pistons. On remarque que le débit du jet sera toujours fonction de la différence D entre H et H' , soit $H' - H$. Plus cette différence sera accentuée, plus le jet débitera. *Donc, pour diminuer le débit à mesure que l'avion prendra de l'altitude, il suffira de diminuer D , c'est-à-dire de diminuer H' .* On peut comparer ceci à ce qui se passe dans deux vases communiquants à des niveaux très différents. Soient le vase A et le vase B, A contenant seul de l'eau au début (fig. 25). Si l'on fait écouler l'eau de A dans B, à mesure que la diffé-

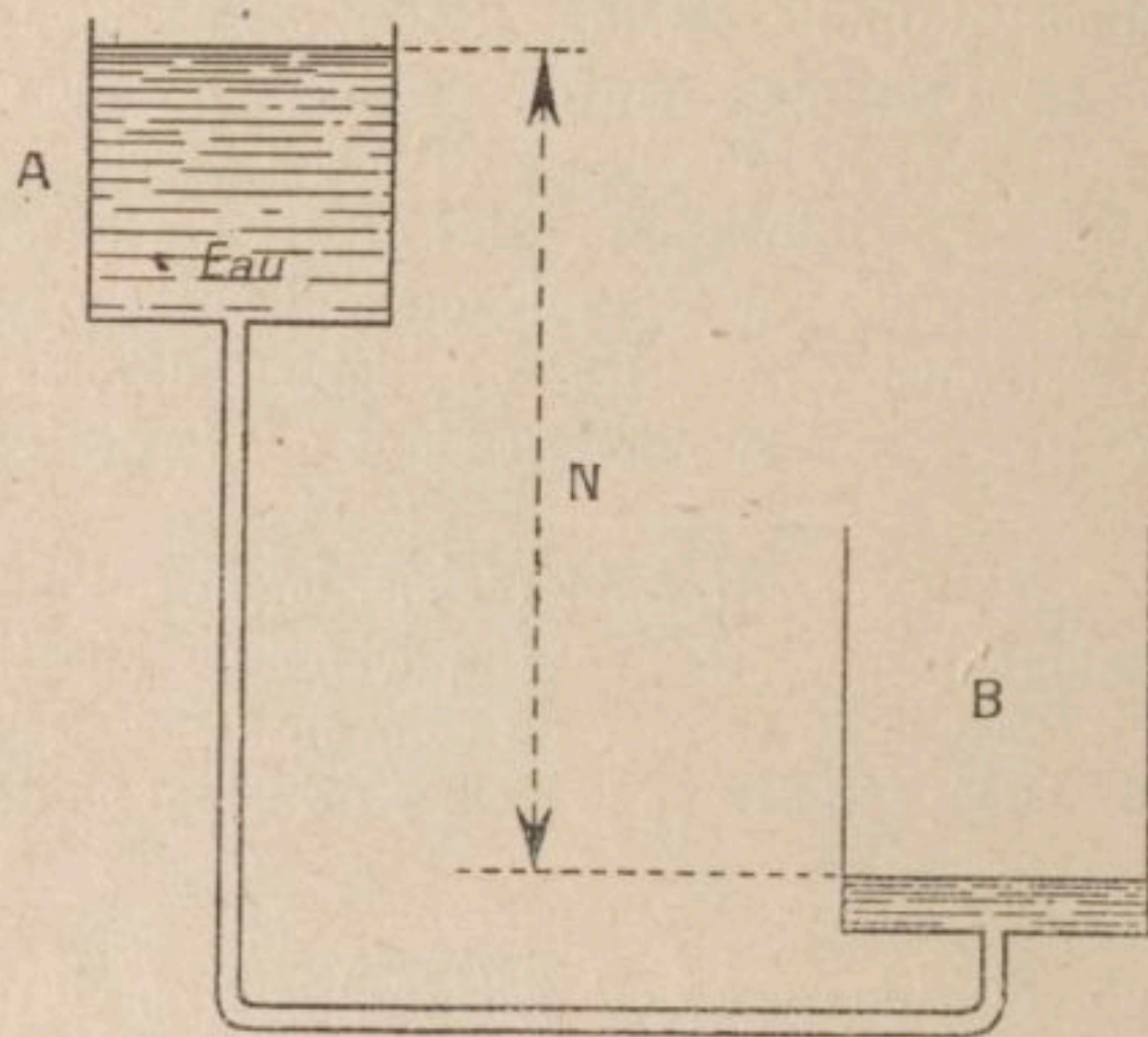


Fig. 25.

rence de niveaux N entre les deux vases diminuera, la vitesse de l'écoulement diminuera également. Le niveau de B se rapprochera petit à petit du niveau de A. Si le niveau dans B finit par égaler le niveau dans le tube d'écoulement, *il n'y aura plus aucun écoulement d'eau.*

Sur le carburateur, on peut alors ajouter une canalisation *ef* faisant communiquer la cuve et le diffuseur. Cette canalisation est munie d'un robinet R appelé correcteur altimétrique. Lorsqu'on veut diminuer H' , on ouvre progressivement R. La pression H' sur l'essence se rapproche alors de la pression H , donc $H' - H$ diminue et le débit du gicleur est diminué.

REMARQUE IMPORTANTE. — *Il peut y avoir danger d'incendie à se servir du correcteur tant que la pression atmosphérique est voisine de la pression normale, car on risque de provoquer des retours de flamme au carburateur.*

Pour se servir du correcteur, tirer légèrement la manette commandant le robinet R. Si le régime n'augmente pas au bout de

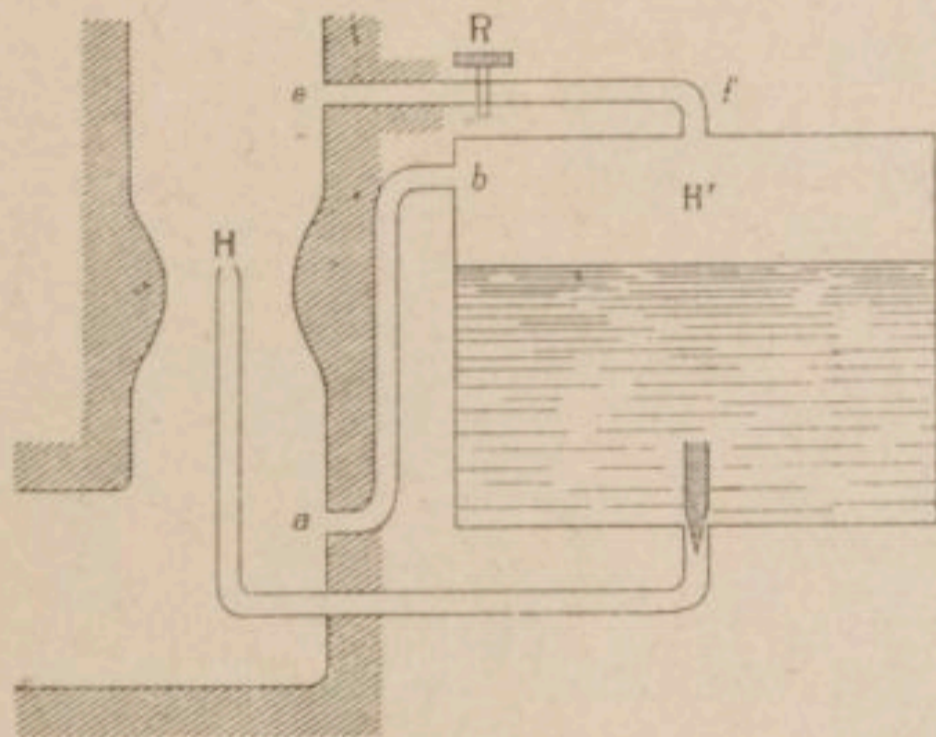


Fig. 26.

quelques crans du secteur, refermer; dans le cas contraire, continuer à ouvrir jusqu'à ce que le régime n'augmente plus. Refermer alors légèrement.

Nous avons vu les quatre différents principes pouvant être appliqués pour obtenir une bonne carburation. M. Tampier a inventé un carburateur spécial, appliqué sur les rotatifs, dont le principe est, en somme, un principe mixte entre les solutions 3 et 4. Ce carburateur porte le nom de *Bloc-Tube* (sur moteurs Le Rhône et Clerget par exemple).

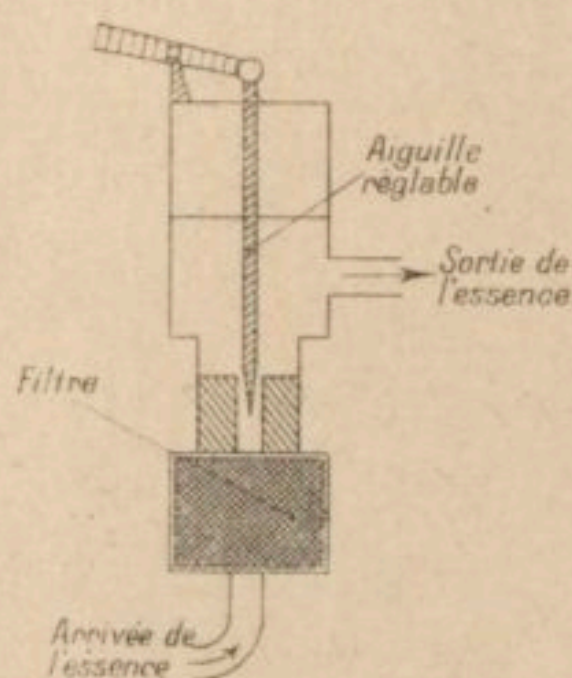
PRINCIPE DU BLOC-TUBE TAMPIER (fig. 27).

Ce appareil comprend deux parties essentielles :

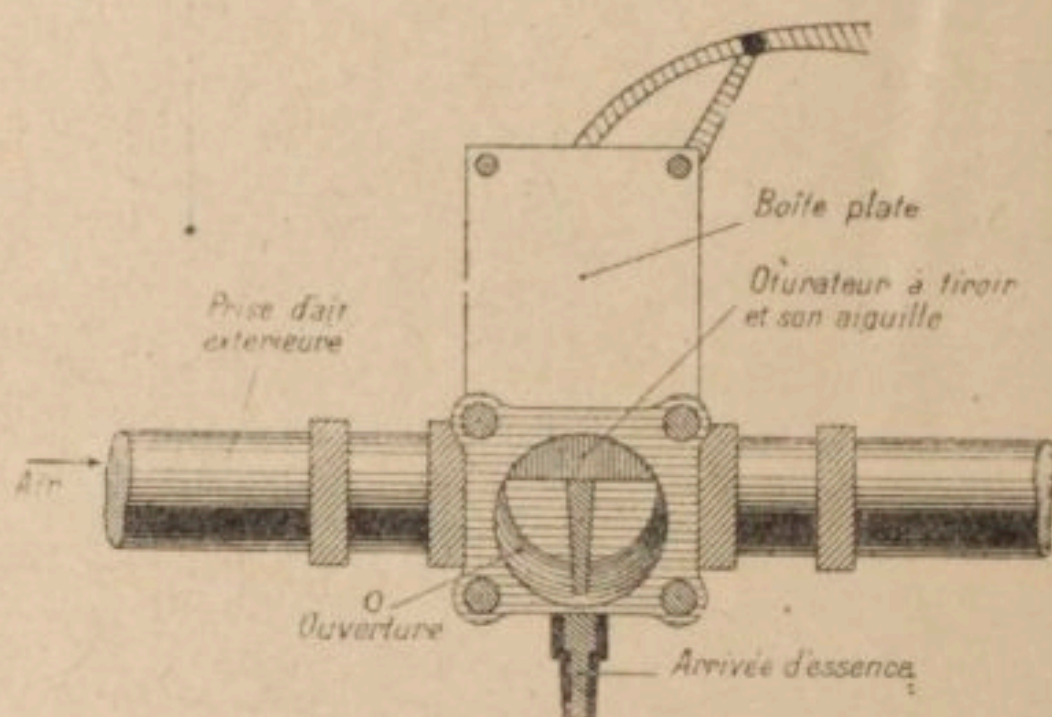
1^o *Le frein-filtre* dans lequel l'essence venant du réservoir est d'abord filtrée. Son débit est ensuite réglé grâce à une aiguille mobile à la volonté du pilote. Cette aiguille se commande au moyen d'une manette E (fig. 28);

2^o *Une boîte plate*, qui comprend l'arrivée de l'essence venant du frein-filtre, en bas, et un *obturateur à tiroir solidaire d'une aiguille*.

L'aiguille règle la quantité d'essence venant du frein-filtre, et le tiroir règle la quantité d'air entrant dans la boîte par deux ouvertures cylindriques qui sont placées extérieurement au fuselage. De la boîte plate, il sort ainsi un mélange d'air et d'essence qui entre au moteur au milieu du carter par une ouverture O.



Frein-filtre.



Boîte plate formant le véritable carburateur.

Fig. 27.

Lorsque l'essence et l'air sortent de O pour entrer au carter, le mélange n'est pas intime. Il est produit d'une façon parfaite dans le carter du moteur rotatif, où le mouvement des bielles, pistons, cames, etc. et la chaleur du carter pulvérisent et volatilisent l'essence, la mélangeant complètement à l'air avant son entrée dans les cylindres.

Avec ce carburateur, il faut toujours *faire le point d'essence*.

Manière de faire le point. — La manette E commande le frein-filtre (essence) (fig. 28).

La manette G commande la boîte plate (manette des gaz).

1° Au départ, ouvrir E aux trois quarts; G au quart;

2° Une fois le moteur un peu chaud, ouvrir E et G à fond, pour avoir pleine puissance;

3° Refermer progressivement E jusqu'à ce que le moteur faiblisse légèrement;

4° Ouvrir doucement E jusqu'à ce que la puissance soit redevenue maximum, et à ce moment tirer E en arrière d'une division de plus (pour ne pas être trop juste comme essence). *On aura ainsi le point d'essence correspondant à la pleine puissance pour le départ.*

- a. Il est bon de faire le point pour chaque régime en vol;
 b. E sert de correcteur altimétrique.

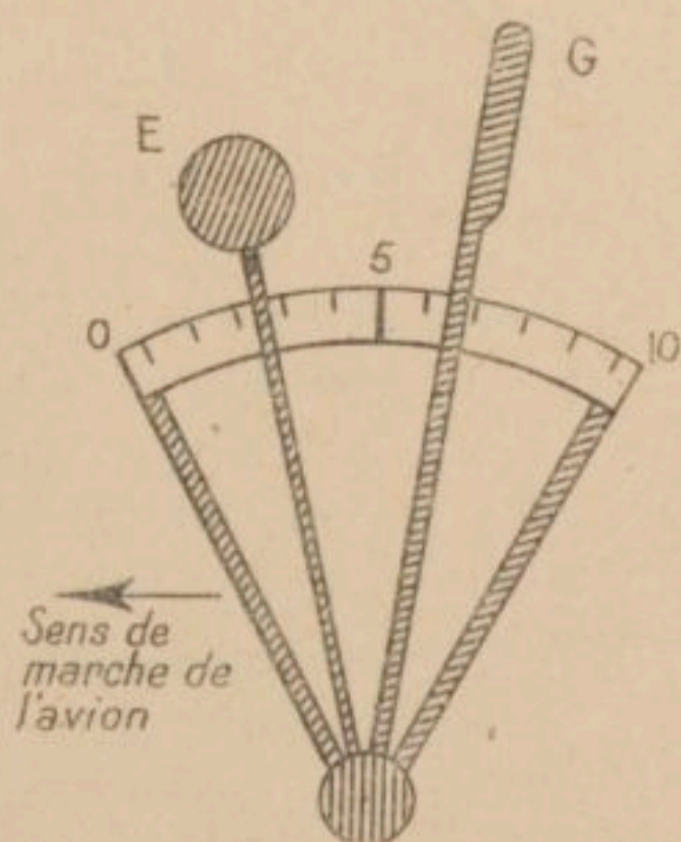


Fig. 28.

Mais alors pour s'en servir comme correcteur, il faut la pousser vers l'A au lieu de la tirer en B comme les correcteurs du type courant.

III. — ALLUMAGE.

Plusieurs conditions sont nécessaires pour que l'allumage, c'est-à-dire l'inflammation du mélange gazeux, se produise dans de bonnes conditions :

1^o *Mélange bien vaporisé et dans de bonnes proportions.*

C'est le rôle du carburateur de produire ce mélange.

2^o *Compression suffisante :*

a. *Elle ne doit pas être trop faible.* — En effet, la compression d'un gaz l'échauffant fortement, on a intérêt à en profiter pour faciliter l'allumage. On gagne également en puissance en augmentant $\frac{V+v}{v}$;

b. *Elle ne doit pas être trop forte.* — En effet, car elle offre une très grosse résistance au passage de l'étincelle. D'autre part, on risquerait d'avoir *auto-allumage*, c'est-à-dire inflammation spontanée des gaz par suite de leur grand échauffement, lequel se produit lorsqu'on atteint (avec l'essence comme combustible) une pression de compression de 7 à 9^{kg} par centimètre carré.

Pratiquement, on a, par exemple :

Hispano-Suiza 300 HP : Compression volumétrique $\frac{v}{V+v} = 5,2$;

Hispano-Suiza 300 HP : Pression de compression = 8^{kg}, 53.

3° *Chaleur d'allumage suffisante.* — C'est, en général, une étincelle électrique qui produit l'inflammation des gaz. Pour que l'allumage soit précis, il est nécessaire qu'elle soit chaude et surtout instantanée.

4° *Position rationnelle des inflammateurs et nombre suffisant de ceux-ci.* — Les inflammateurs doivent être autant que possible au centre du mélange pour que la combustion se propage dans tous les sens aussi vite. On peut même disposer plusieurs bougies par cylindre pour obtenir encore une meilleure combustion.

Dans le moteur à explosions du type courant actuel, l'étincelle qui jaillit aux bougies est produite par la *rupture* d'un *courant électrique* créé par un organe appelé *magnéto*.

Nous allons étudier d'abord ce que c'est qu'un *courant électrique*.

On peut comparer un courant électrique et un courant d'eau. Soient deux vases A et B placés à deux niveaux différents. Si nous mettons de l'eau dans A (*fig. 29*) et qu'une conduite réunisse A et B, il s'éta-

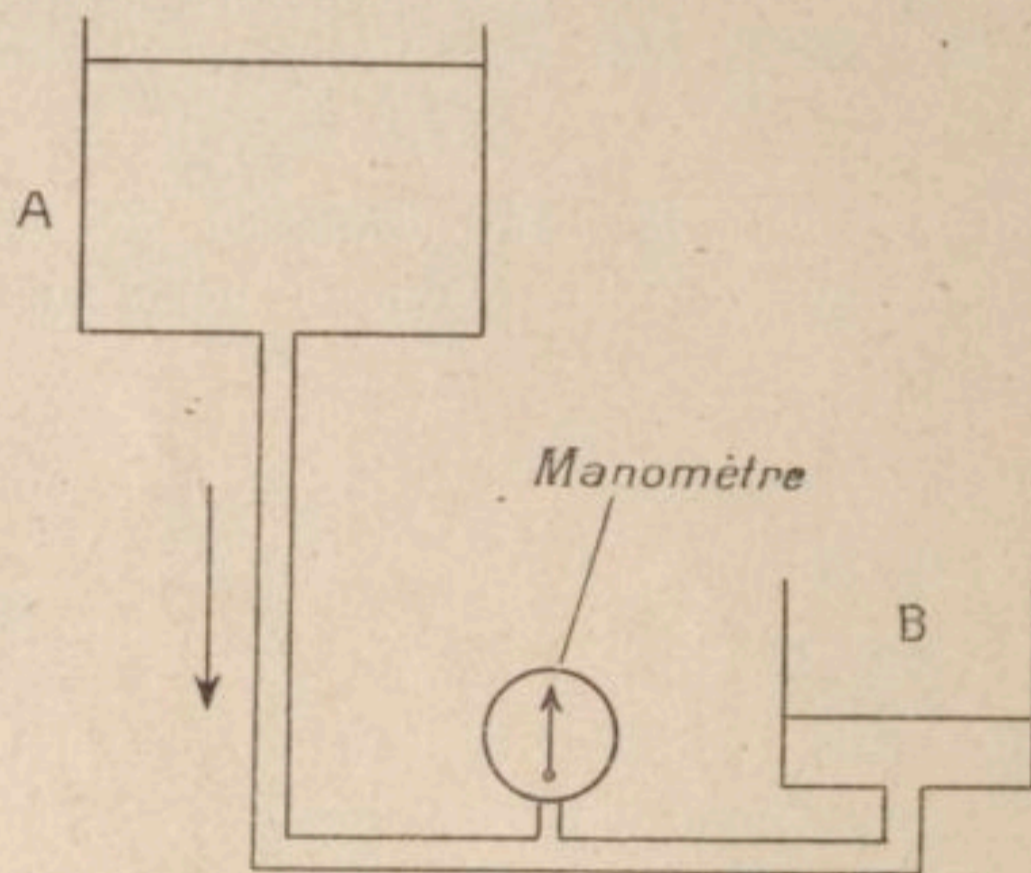


Fig. 29.

blira dans cette conduite ce qu'on appelle un *courant d'eau*, dont la vitesse est fonction de la différence de niveaux. Ce courant a une

certaine *intensité*, c'est-à-dire débite un nombre déterminé de litres. par exemple, dans une seconde.

En un point quelconque de la canalisation existe une certaine *pression* mesurée en kilogrammes par centimètre carré grâce à un appareil appelé manomètre; le courant a aussi un certain *sens*, celui de A vers B.

Considérons maintenant ce qu'on appelle une *source électrique* (pile, accumulateurs, etc.).

Cette source électrique possède deux points spéciaux appelés *bornes* (fig. 30).

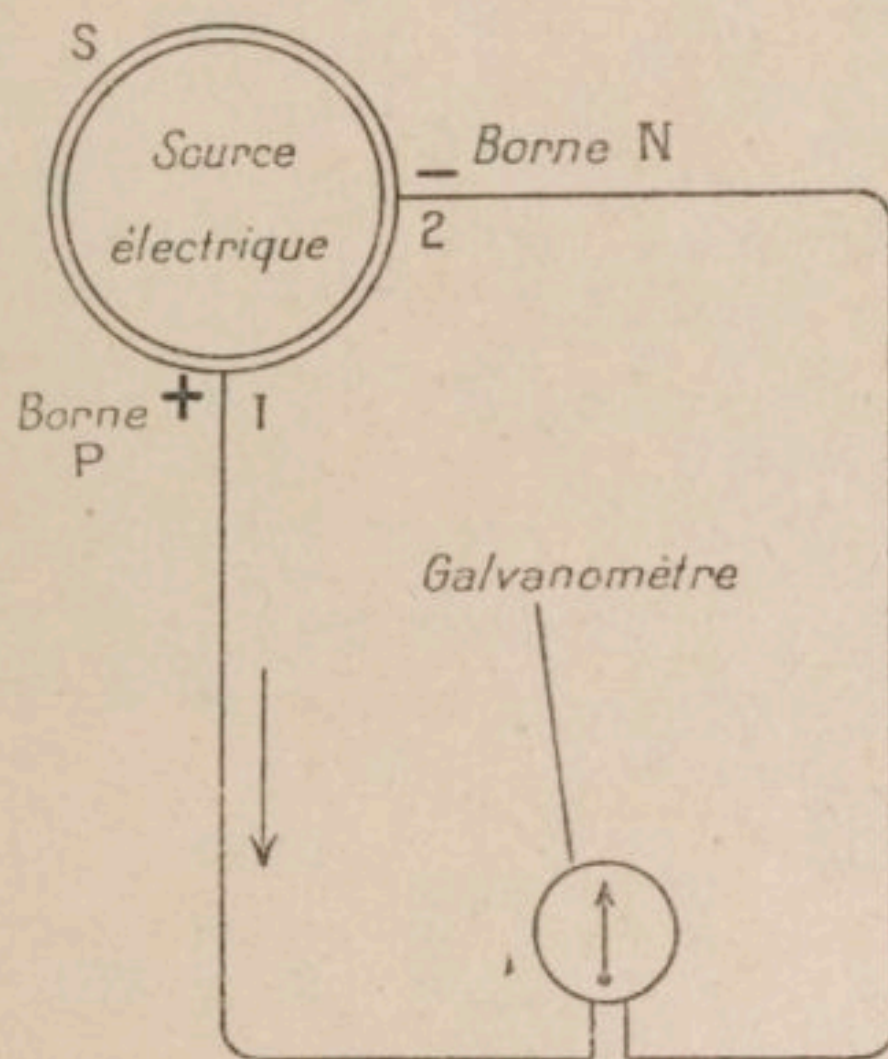


Fig. 30.

Si l'on réunit par un fil de cuivre les deux bornes, on forme ainsi un *circuit fermé* et l'on constate que ce circuit devient le siège d'un certain nombre de phénomènes qui décèlent la présence d'un *courant électrique*. Ce courant peut échauffer le fil conducteur (lampe électrique), ou décomposer l'eau acidulée, ou, si l'on coupe le fil en un point quelconque, produire entre les deux extrémités une étincelle. Au moyen d'un appareil appelé *galvanomètre*, on décèle facilement l'existence d'un courant. Une aiguille (*figure*) se déplace sur un cadran chaque fois qu'un courant passe dans l'appareil. Soit un galvanomètre en liaison avec un fil conducteur dont les extrémités 1 et 2 sont reliées aux deux bornes P et N d'une source électrique.

L'aiguille se déplace, par exemple, de gauche à droite. Fixons maintenant les deux fils de façon inverse, le fil 1 sur la borne N et le fil 2 sur P. Nous constatons que l'aiguille du galvanomètre se déplace de droite à gauche.

C'est ce qui prouve l'existence d'un sens du courant. Celui-ci, à l'extérieur de la source, va toujours de la borne positive vers la borne négative. Entre les deux bornes, existe ce qu'on appelle une *différence de potentiel ou tension* (correspondant à la pression produite par les niveaux d'eau), et qui s'évalue en *volts*. C'est ce qui donne lieu au courant électrique. Celui-ci a une *intensité* qui représente la quantité d'électricité qui passe dans le fil en 1 seconde. Elle s'évalue en *ampères*. Dans le cas de l'eau, plus la pression est grande, plus on peut avoir un jet d'eau de grande longueur. Dans le courant électrique, plus la tension sera élevée, plus il sera facile d'obtenir une forte étincelle.

Le courant a toujours tendance à retourner à sa source par le chemin le moins résistant.

On peut avoir différentes sortes de *conducteurs*. Ceux-ci n'ont pas tous la même qualité conductrice.

Bons et mauvais conducteurs :

1^o *Bons* : la plupart des métaux, fer, acier, cuivre, aluminium, bronze; l'eau, etc. Le cuivre est un excellent conducteur.

Les fils offrent au courant une résistance inversement proportionnelle à la surface de leur section.

2^o *Mauvais* : coton, bois, ébonite, caoutchouc, air, le mélange essence et air.

On conduit le courant aux bougies grâce à des fils bons conducteurs entourés de corps isolants. Ces fils sont appelés *fils de connexions*.

Avant de passer à l'étude de la magnéto proprement dite, nous allons étudier quelques phénomènes particuliers indispensables à connaître pour les explications suivantes.

Phénomènes magnétiques :

AIMANT. — C'est un corps qui a la propriété d'attirer le fer, soit naturellement comme certains minerais, soit artificiellement, c'est-à-dire après aimantation. Cette aimantation peut alors être *perma-*

nente (avec aimant en acier) ou *momentanée* (pour le fer doux ou fer pur). Dans ce dernier cas, dès que la cause d'aimantation a disparu, le fer doux cesse d'être aimanté. Il est facile de reconnaître, lorsqu'on a affaire à un aimant permanent, que cet aimant jouit de propriétés spéciales à chacune de ses extrémités.

Soit, par exemple, un aimant droit (fig. 31). Cet aimant placé sur

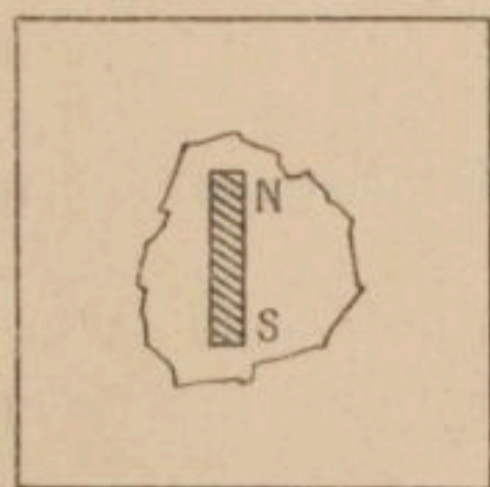


Fig. 31.

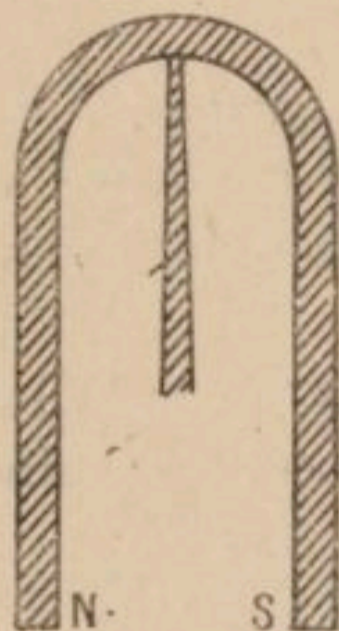


Fig. 32.

un bouchon de liège flottant sur l'eau s'orientera toujours de la même façon : une extrémité ira vers le pôle Nord, l'autre vers le

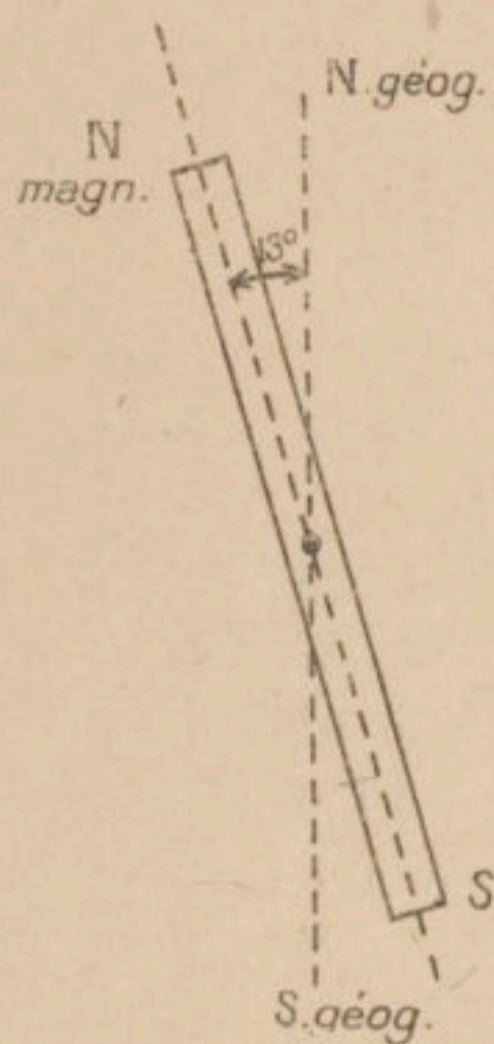


Fig. 33.

pôle Sud. La première prend le nom de pôle Nord, la seconde de pôle Sud.

Avec un aimant recourbé, ou *en fer à cheval*, nous aurons le moyen

de reconnaître le pôle Nord en supportant l'aimant au centre sur une pointe (*fig. 32*). Le pôle Nord ne s'oriente d'ailleurs pas exactement vers le pôle Nord géographique, mais sa direction fait avec celui-ci un angle appelé *déclinaison*, qui varie au cours des années et suivant les points du globe où l'on se trouve et qui est actuellement d'environ 13° vers l'Ouest dans nos régions (*fig. 33*).

Le pôle Nord de l'aimant indique donc le *pôle Nord magnétique*.

Spectre magnétique. — En disposant une feuille de papier sur un aimant droit ou en fer à cheval, posé à plat, on obtient en faisant tomber sur la feuille de la limaille de fer, ce qu'on nomme *un spectre magnétique*.

Les grains de limaille prennent l'aspect indiqué sur les figures ci-dessous. Les lignes ainsi marquées sont des *lignes de force* et elles

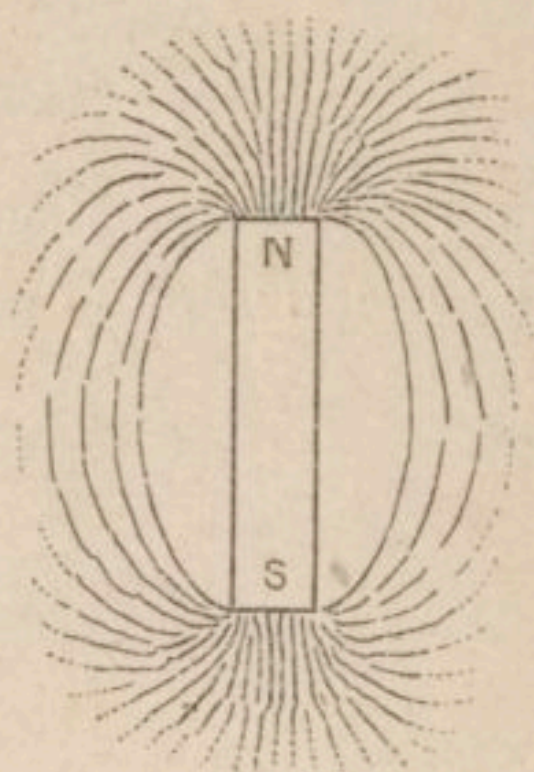


Fig. 34.

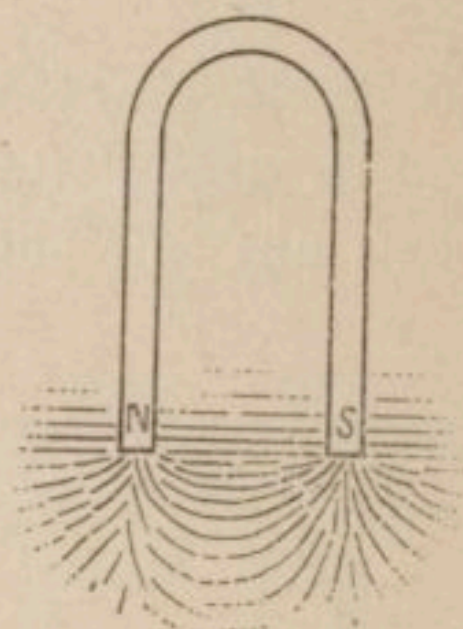


Fig. 35.

mettent en évidence l'existence d'un *flux magnétique* produit par l'aimant. Ces lignes ont pour effet de montrer la difficulté éprouvée par le flux pour passer d'un pôle à l'autre en traversant l'air. En effet, on les suit d'un bout à l'autre sur les parcours les plus courts, mais elles sont interrompues sur les parcours plus longs. *Le flux tend toujours à employer le plus court chemin.*

INDUCTION MAGNÉTIQUE. — 1^o Soit un enroulement de fil conducteur (*fig. 36*), sur lequel on a placé un galvanomètre. Ce fil n'est parcouru par aucun courant.

Si nous approchons un aimant, nous constatons que l'aiguille

du galvanomètre indique un courant appelé *courant induit*. Si nous faisons remuer l'aimant, le courant varie et *d'autant plus que les oscillations seront plus fortes et plus rapides*. Le courant cesse dès que

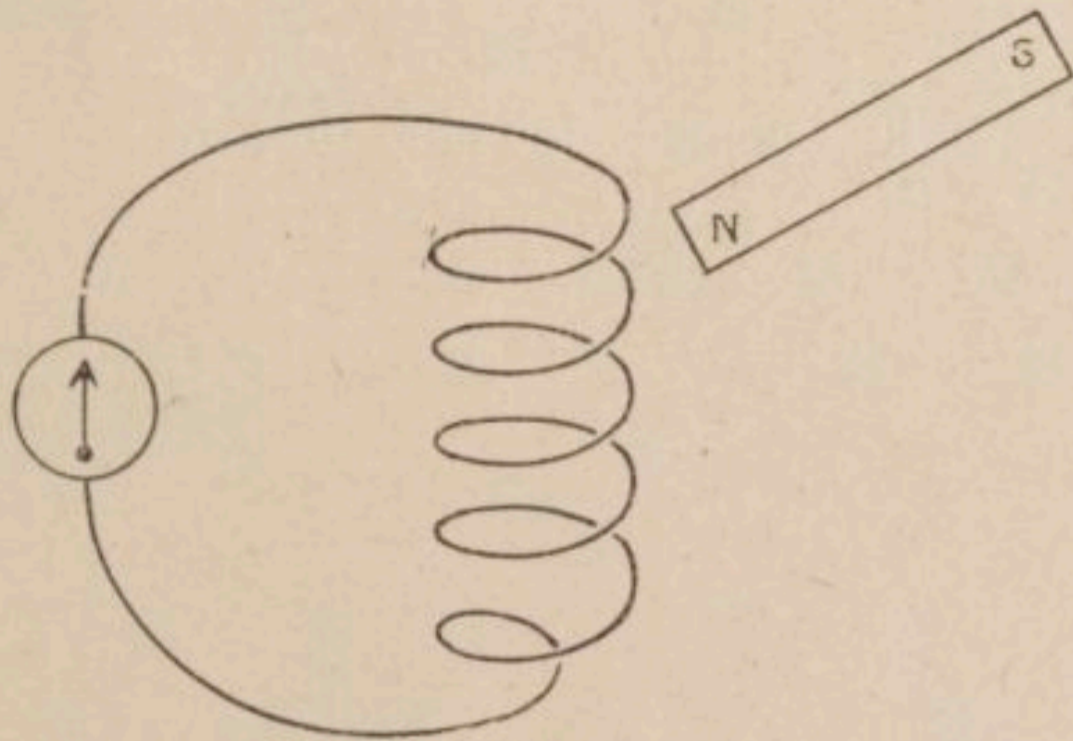


Fig. 36.

le mouvement cesse. Donc ce sont les variations du flux magnétique qui produisent le courant. Celui-ci est dû à une *force électromotrice dite d'induction*.

En mettant à travers *les spires* de fil un barreau de fer doux, on canaliserait le flux et le phénomène serait encore plus sensible. *Lorsqu'on retire brusquement l'aimant, le courant induit devient maximum*.

2^o Considérons un enroulement A et plaçons sur cet enroulement un galvanomètre. Soit un second enroulement B branché sur une source électrique S (fig. 37).

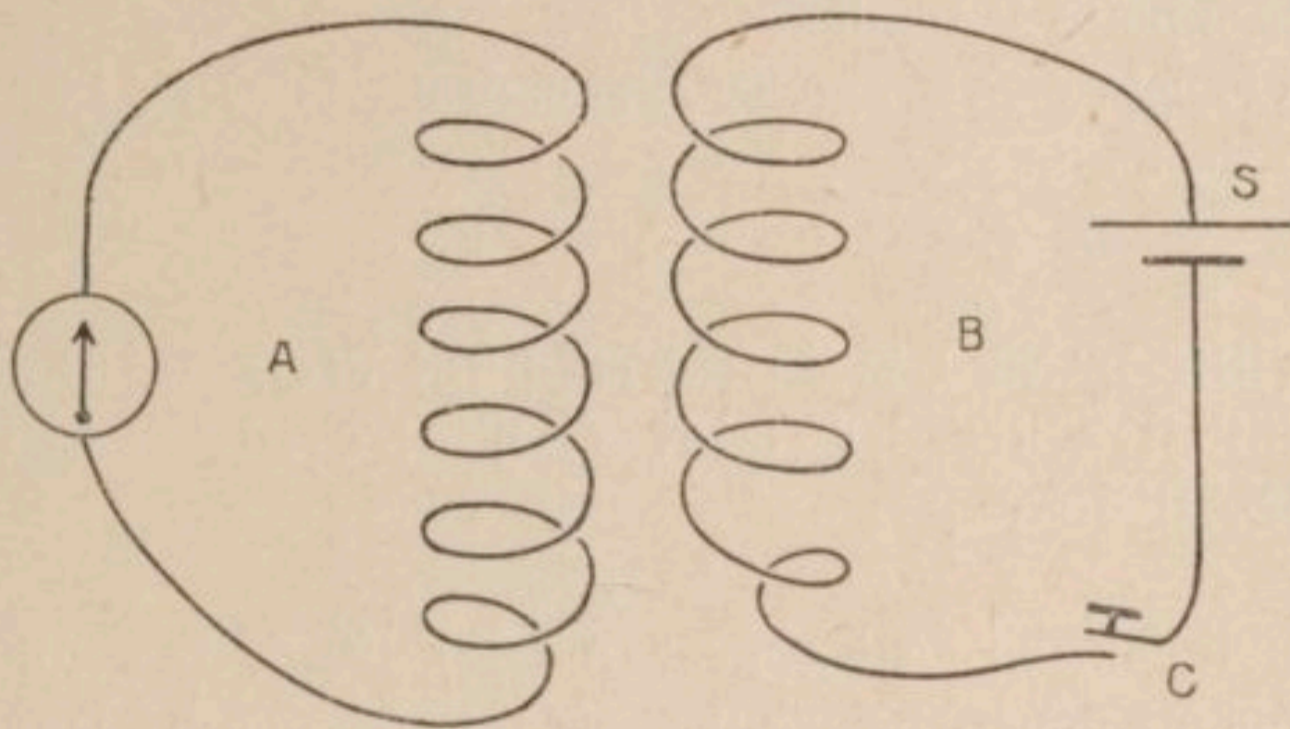


Fig. 37.

Plaçons sur B un contact C. Lorsque nous réunissons les deux parties du contact, dans B se produit un courant et aussitôt, par

induction *électromagnétique*, nous constatons un courant dans A.

Si nous augmentons brusquement le courant de B, celui de A augmente et *si nous coupons au contact C*, à ce moment le courant induit dans A devient *maximum*, puis il cesse brusquement. Ceci est donc analogue à l'expérience précédente. En effet, le courant de S produit dans B un flux magnétique dont on peut prouver l'existence au moyen de l'expérience suivante qui est la base de la fabrication des *électro-aimants*. Enroulons autour d'un barreau de fer doux un assez grand nombre de spires reliées à une source électrique S (*fig. 38*).

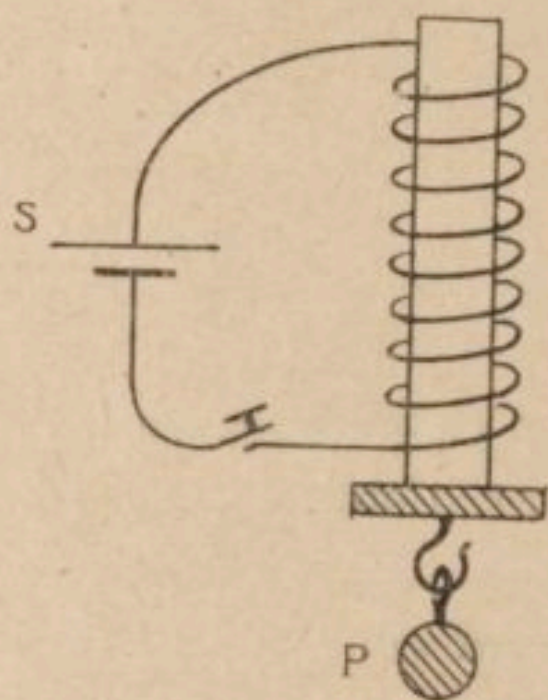


Fig. 38.

Dès que nous établirons le contact, le barreau sera aimanté instantanément par le flux produit par le courant et l'on pourra soulever un poids P. Dès que le courant sera coupé, le flux et l'aimantation cesseront, le poids P tombera.

Mais si le courant est régulier, l'aimantation durera, bien qu'il n'y ait pas variation.

CRÉATION DANS LA MAGNÉTO D'UN FLUX MAGNÉTIQUE INTERMITTENT ET D'UN COURANT DIT « COURANT PRIMAIRE ».

Soit un aimant en fer à cheval (*fig. 39*). Entre les deux branches de cet aimant, nous plaçons une pièce de fer doux à laquelle nous avons donné la forme représentée sur la figure 39 *bis*.

Sur ce fer doux, nous enroulons un certain nombre de spires telles que *a* isolées les unes des autres (*fig. 39* et 39 *bis*).

Entre le fer doux et les branches, nous ajoutons deux masses métalliques m et m' appelées *masses polaires*, de même forme que le barreau de fer doux mais concaves, de façon à permettre un passage facile des lignes de force des pôles au fer doux. Celui-ci est monté sur un axe O et peut tourner entre les masses polaires m, m' .

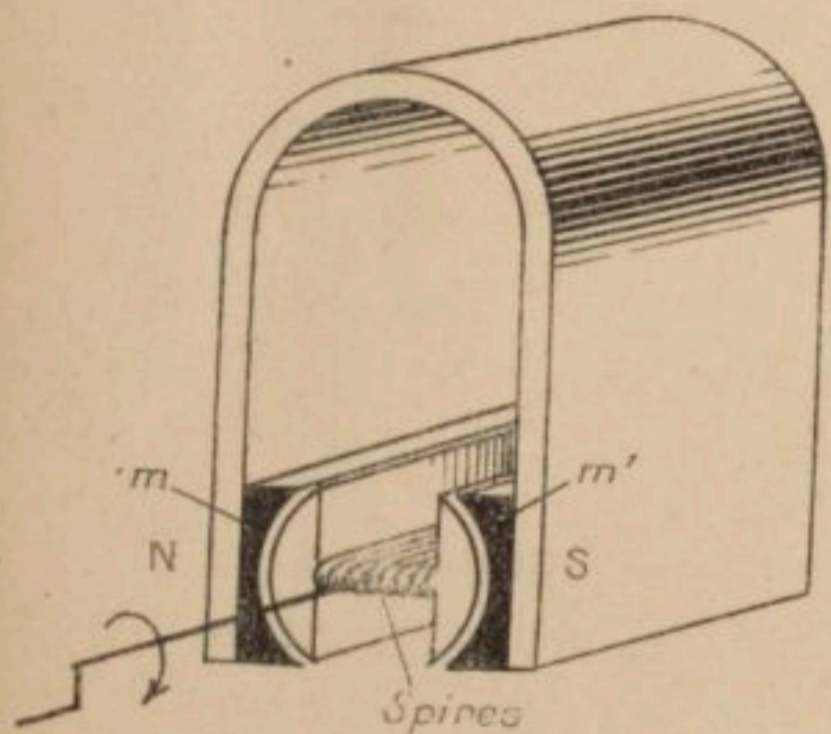


Fig. 39.

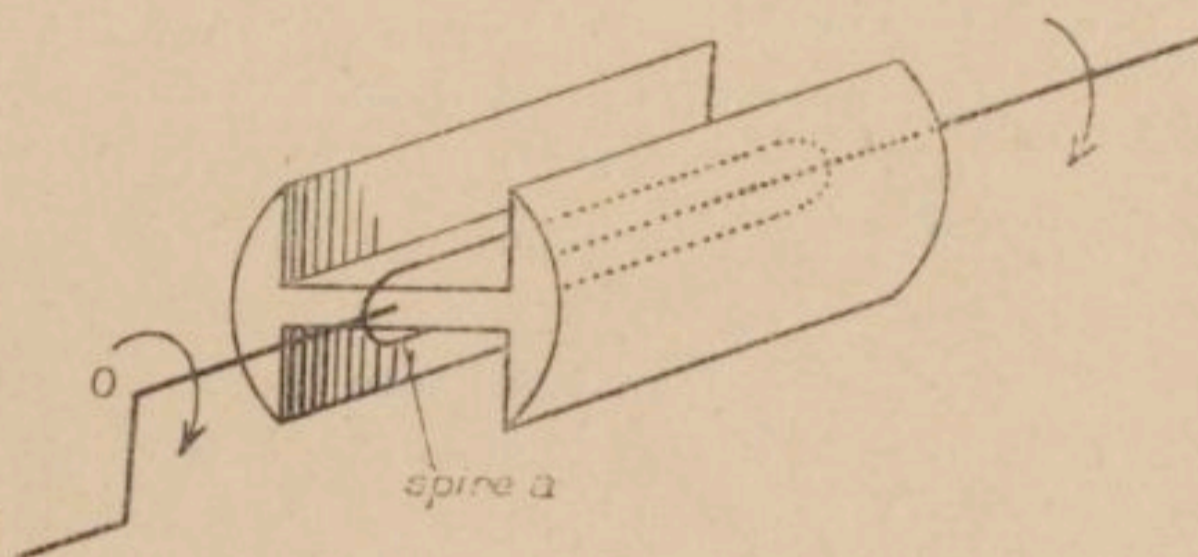


Fig. 39 bis.

L'espace compris entre les masses polaires et le fer doux est appelé *l'entrefer*. Il doit être aussi petit que possible.

Voyons maintenant ce qui se passe dans un tour complet du fer doux (celui-ci et son bobinage s'appellent *l'induit*).

L'induit est d'abord dans la position horizontale (fig. 40). Le flux

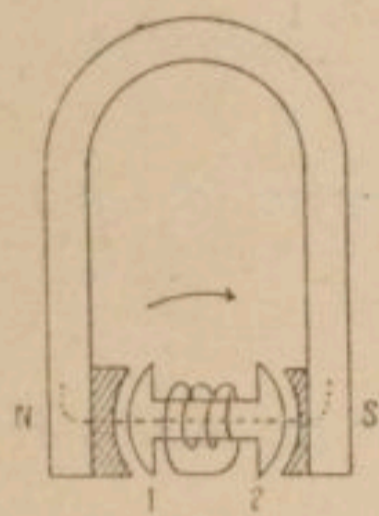


Fig. 40.

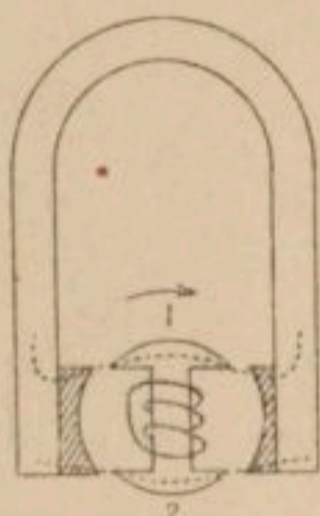


Fig. 41.

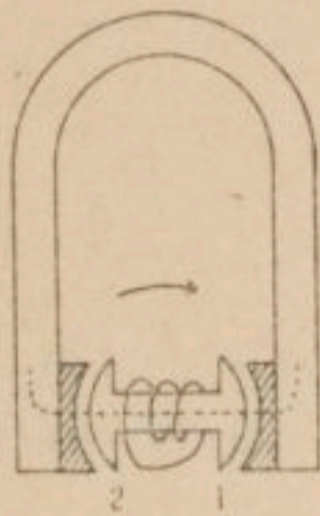


Fig. 42.

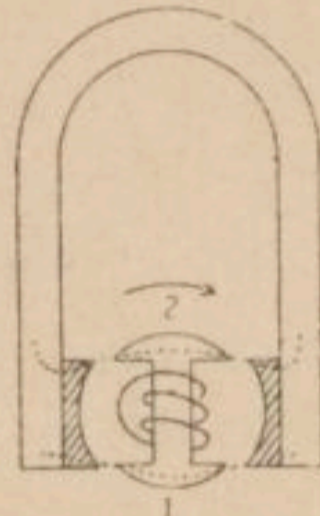


Fig. 43.

produit par *l'inducteur*, c'est-à-dire par l'aimant, passe du pôle N au pôle S en traversant l'induit de 1 vers 2 (suivant le pointillé). Le fer doux s'aimante : l'extrémité 1 devient un pôle S ; l'extrémité 2 un pôle N.

Il y a à ce moment le maximum possible de lignes de force embrassées par les spires.

Quand l'induit tourne d'un quart de tour (*fig. 41*), toutes les lignes de force passent par les extrémités de l'induit, le fer doux étant 20 000 fois plus *perméable* aux lignes de force que l'air.

Il y a donc à ce moment le minimum possible de lignes de force embrassées par les spires. Par suite des variations du flux entre les deux positions, prend naissance un courant induit dans les spires appelé *primaire*.

Quand l'induit tourne encore d'un quart de tour, il se retrouve horizontal (*fig. 42*). De nouveau les lignes de force traversent les spires et : *Il y a à ce moment encore un maximum possible de lignes de force embrassées par les spires.* Mais on remarque que, par suite de l'inversion des extrémités de l'induit par rapport à la figure 41, le flux passe maintenant de 2 vers 1.

Le fer doux s'aimante alors en sens inverse par rapport à la position de la figure 40 : l'extrémité 1 devient un pôle N, l'extrémité 2 un pôle S. Donc l'aimantation a changé de sens. Pour que ce changement puisse s'opérer brusquement, il était nécessaire de prendre du fer doux. Celui-ci, par suite de son aimantation, résiste au mouvement de rotation. Au moment où l'aimantation change, la résistance à la rotation cesse brusquement : c'est l'*arrachement*. Le changement de flux provoque dans l'enroulement un changement de sens du courant primaire. Celui-ci est donc un *courant alternatif*.

Quand l'induit aura tourné encore d'un quart de tour (*fig. 43*), il sera de nouveau vertical et le flux passera par les extrémités sans traverser les spires.

Il y a à ce moment encore une fois le minimum possible de lignes de forces embrassées par les spires.

En résumé, par tour de l'induit, on remarque :

Deux fois un flux maximum (*fig. 40 et 42* : induit horizontal-spires verticales).

Deux fois un flux minimum (*fig. 41 et 43* : induit vertical-spires horizontales).

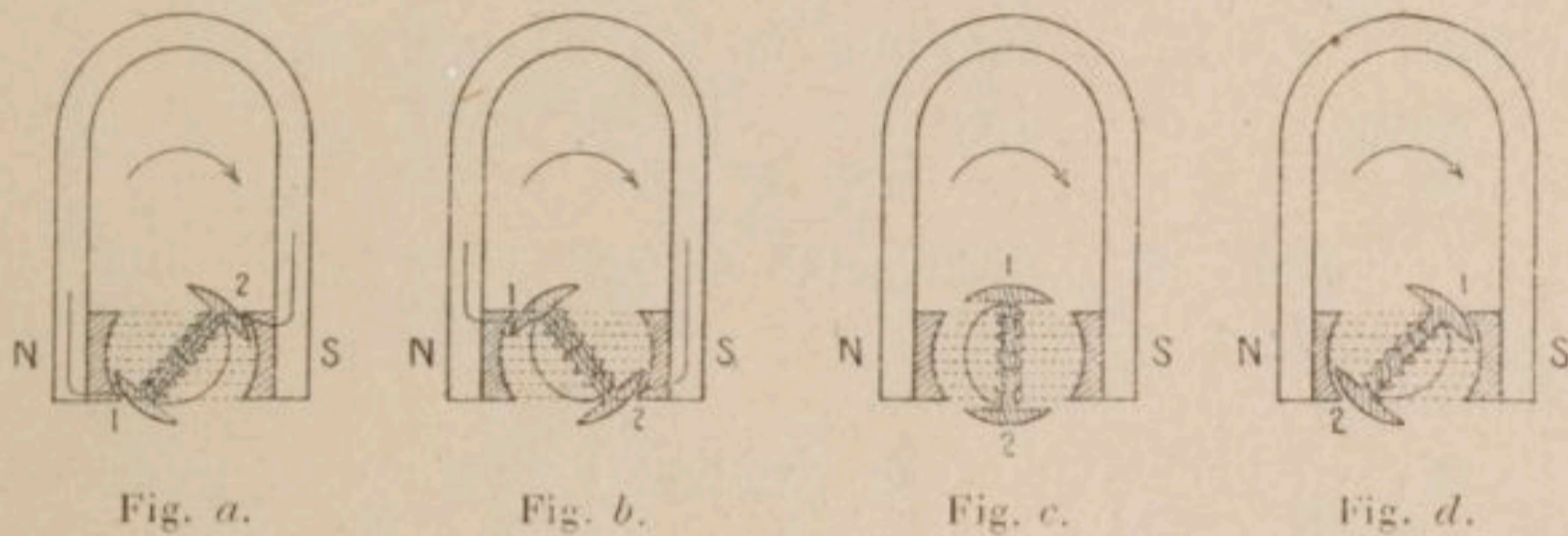
C'est dans ces deux dernières positions que le courant induit sera maximum.

En effet, considérons l'induit dans une position oblique *a*. La plus grande partie du flux passe à travers les spires car le flux passe d'un pôle à l'autre (ligne en trait plein), en traversant le fer doux. Une

petite partie du flux passe directement (lignes pointillées), donc traverse les spires en oblique.

Considérons d'abord la première partie du flux dont nous avons parlé. Nous remarquons que dans la position *a* presque tout le flux traverse les spires. De même, dans la position *b*, presque tout le flux traverse les spires. Donc, de *a* à *b*, la variation de flux est très faible pour une grande variation de position de l'induit.

Au contraire, si nous produisons le même mouvement au voisinage de la position verticale, nous remarquons que le flux qui passait de 1 à 2 (fig. *b*), et se trouvait à ce moment presque maximum, passe



ensuite de 2 à 1 (fig. *d*), après que l'induit est passé par la position verticale (fig. *c*), position dans laquelle le flux à travers les spires était nul. Donc, à la verticale, il se produit une très grosse variation de flux et le courant primaire sera donc maximum quand l'induit sera vertical.

Considérons maintenant la partie du flux qui passe directement. L'étude des phénomènes qui s'y rapportent nous amène à la même conclusion.

On peut s'en rendre compte très bien en considérant les deux figures suivantes :

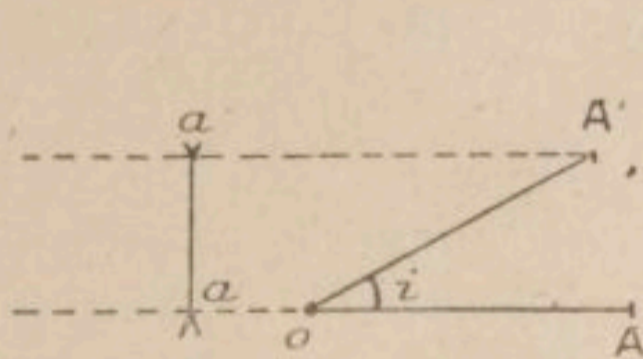


Fig. 44.

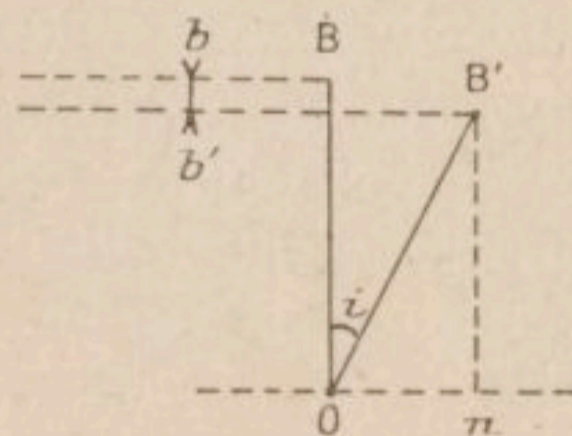


Fig. 45.

1° Soit une spire représentée dans un plan horizontal en OA (fig. 44), de façon que le plan de la spire soit parallèle au sens de passage

du flux. Il ne passera aucune ligne de force à travers la spire. Faisons-la tourner d'un angle i en OA' . Il passera alors à travers la spire une hauteur de flux représentée par aa' .

2^o Prenons maintenant la spire OB verticale (*fig. 45*), donc perpendiculaire au flux. Il passe à ce moment une hauteur de flux maximum représentée par la hauteur OB . Faisons-la tourner *du même angle* i que précédemment. Elle vient en OB' . A ce moment, il passe à travers la spire une hauteur de lignes de forces égales à $B'n$. La différence entre BO et $B'n$, soit $BO - B'n$ ou encore bb' , représente la variation du flux entre les deux positions OB et OB' . Donc, la variation du flux est beaucoup moins accentuée quand la spire est à la position verticale que lorsqu'elle est dans une position horizontale.

Or, ce sont les variations du flux à travers les spires qui produisent un courant induit. *C'est donc bien lorsque l'induit sera vertical que le courant induit sera maximum.*

Dans le circuit enroulé sur le fer doux, nous ne produisons qu'un courant à basse tension qui est insuffisant pour provoquer une étincelle à la bougie. Il est nécessaire de produire un courant à haute tension capable de franchir la distance entre les pointes de la bougie. Dans la magnéto, le courant prend le nom de *courant secondaire*. Il se forme, dans un circuit entourant le courant primaire, par induction électromagnétique. C'est le primaire qui induit, par ses variations même, un courant dans ce second circuit (expérience vue plus haut). Pour augmenter le plus possible la tension du secondaire, on emploie deux procédés :

1^o On coupe le primaire lorsqu'il est maximum, ce qui augmente l'induction du secondaire (expérience vue plus haut);

2^o On prend pour le *secondaire un fil fin et long*; en effet, ceci est comparable à ce qui se passe dans une canalisation d'eau. Lorsqu'on diminue, sur le circuit, le diamètre des conduites, la pression augmente. Ici c'est la tension qui augmente. Dans la pratique, une extrémité du primaire est reliée à la masse de la magnéto. Le primaire est de grosse section ($\frac{6}{10}$ à $\frac{8}{10}$ de millimètre de diamètre) et assez court (100 à 150^m de longueur). Son autre extrémité est reliée à la partie centrale d'une pièce appelée « *rupteur* » ayant pour but de couper le primaire lorsqu'il est maximum.

Le secondaire ($\frac{1}{10}$ de millimètre de diamètre et plusieurs kilomètres de longueur) a une de ses extrémités reliée au primaire, *donc il est par là relié à la masse*. Son autre extrémité conduit le courant à la bougie. Le courant passe sous forme d'étincelle et revient à la masse par le moteur.

Rupteur (fig. 46). — Le rupteur est, en général, porté sur l'axe

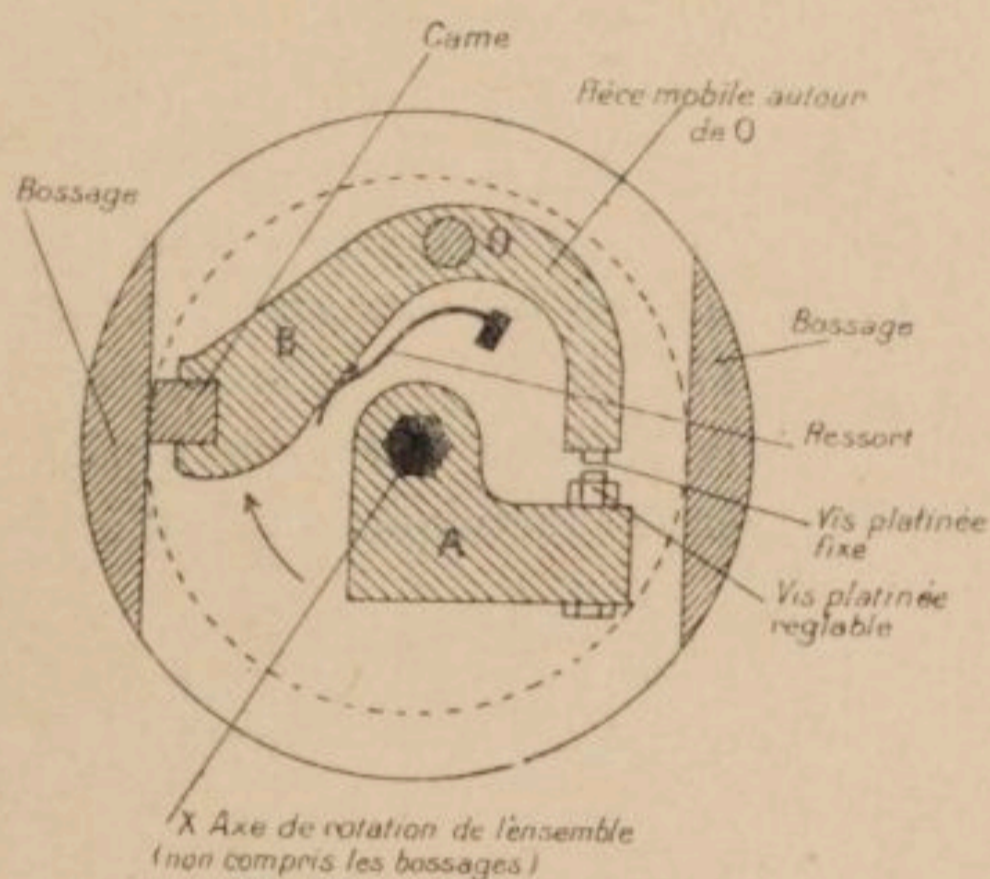


Fig. 46.

de l'induit X et tourne avec lui dans le sens de la flèche (suivant le pointillé). Il se compose :

1^o D'une pièce A fixe par rapport à l'induit et qui porte une *vis platinée réglable* ;

2^o D'une pièce B mobile autour d'un axe O et qui porte à une extrémité une seconde vis platinée, mais non réglable, et à l'autre extrémité une came.

Cette came vient appuyer deux fois par tour du rupteur sur des pièces appelées *bossages* qui sont fixées sur le corps de la magnéto et qui ne peuvent varier de position. Lorsque la came est en contact avec un bossage, la pièce B tourne autour de O et les deux vis s'écartent. Un ressort les rappelle ensuite en contact.

La pièce A, étant isolée de la masse, reçoit l'extrémité du courant primaire. La pièce B, reliée à la masse, joue le rôle d'interrupteur automatique. En effet, quand les deux vis sont en contact, le courant primaire passe de A à B et retourne à la masse. Quand elles sont

écartées, il y a *rupture du primaire et, par conséquent, production d'un courant secondaire* suffisant pour fournir une étincelle à la bougie. Mais lorsqu'il y a écartement des vis, il y a nécessairement étincelle entre les vis.

Le platine étant le métal qui résiste le mieux à l'usure produite par l'étincelle, on a recouvert les vis d'une pastille de platine d'où le nom de *vis platinées*.

L'écartement des vis platinées doit être à son maximum (came au milieu des bossages) d'environ $\frac{3}{10}$ à $\frac{4}{10}$ de millimètre.

Il a lieu deux fois par tour de l'induit, dans les deux positions où le courant primaire est maximum, c'est-à-dire quand l'induit est vertical. Il y aura donc deux fois par tour une étincelle à la bougie.

En réalité, d'ailleurs, on fait produire la rupture un peu après que l'induit est arrivé à la position verticale « par suite de l'existence d'une certaine inertie électrique des différents phénomènes d'induction ».

Le réglage du rupteur se fait par rapport à la position des pistons dans les cylindres. Si l'on considère un cylindre (*fig. 47*), la rupture

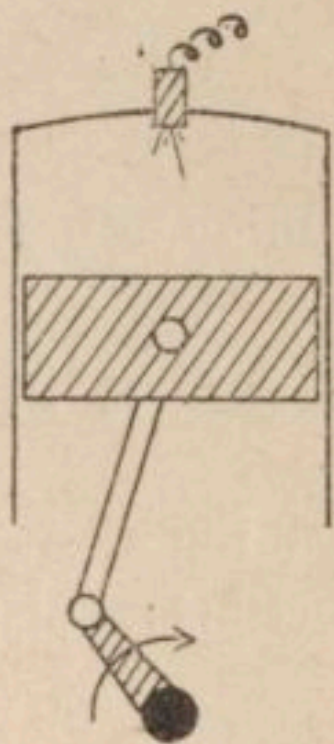


Fig. 47.

doit se produire avant que le piston ne soit arrivé au point mort haut. C'est ce qui constitue ce que nous avons appelé *l'avance à l'allumage*.

Bague collectrice. — C'est une sorte de roue métallique qui est portée par l'induit et tourne avec lui. Elle reçoit le courant secondaire par l'extrémité de l'enroulement. Un *charbon-balai fixe* prend le secondaire sur la bague et l'envoie à un organe appelé *distributeur*.

Distributeur (fig. 48). — C'est un disque en matière isolante. A son centre tourne un charbon frottant intérieurement sur des plots en

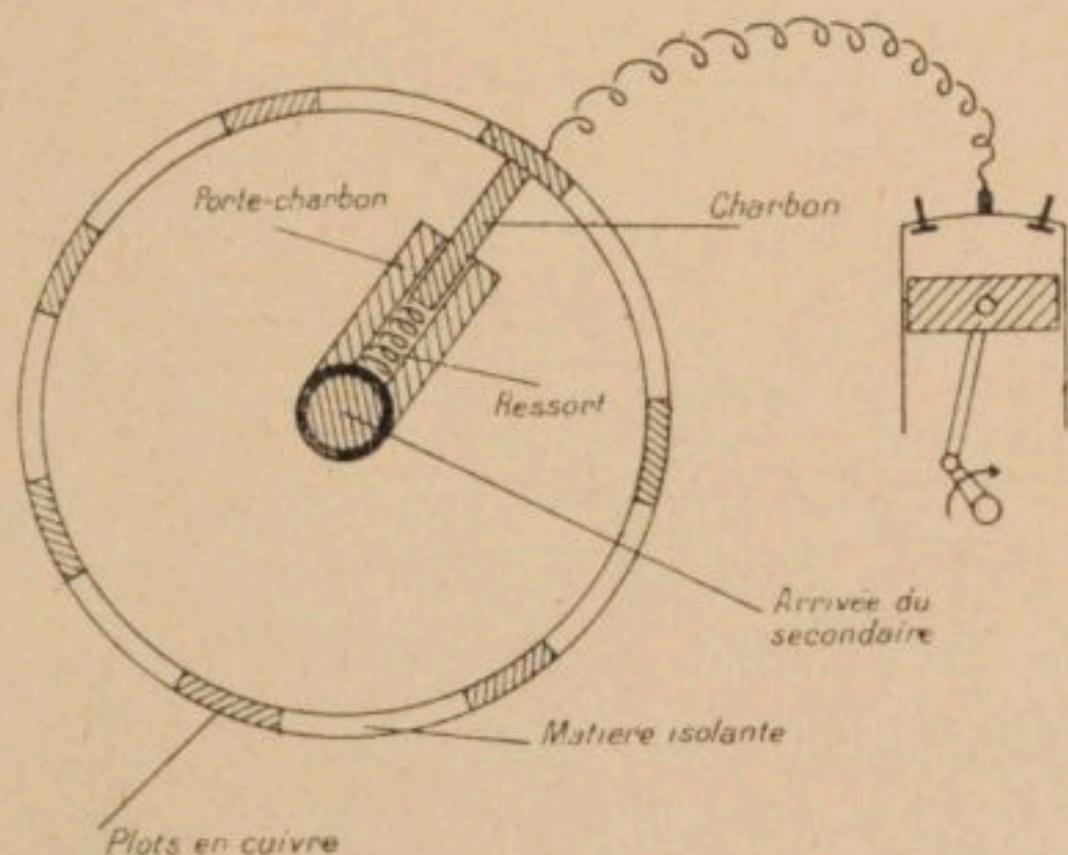


Fig. 48.

cuivre. Chaque plot est relié à une bougie par un fil isolé conducteur. Le courant secondaire venant de la bague collectrice arrive au centre du distributeur par le *porte-charbon* et passe au charbon par un *petit ressort intérieur* qui l'appuie constamment sur les plots. Chaque fois que le charbon est en contact avec un plot, le secondaire passe au fil et à la bougie correspondante et revient à la masse par le moteur.

Remarque. — Chaque plot correspondant à un cylindre, quand tous les plots ont reçu une fois le courant venant du charbon, tous les cylindres du moteur ont explosé. *Donc, le charbon du distributeur fait un tour par cycle.*

Résumé des parties essentielles de la magnéto à induit tournant :

1° *Deux aimants en fer à cheval* reposant sur un socle non magnétique. (C'est nécessaire pour que le flux passe par le fer doux de l'induit et non par la base.)

2° *Une masse de fer doux* appelée *induit* tournant entre les branches des aimants. Pour faciliter le passage du flux, les branches sont garnies de *masses polaires*.

3° *Un enroulement primaire* sur cet induit :

a. L'induit en tournant produit dans l'enroulement un courant à basse tension;

b. Le courant est le plus fort quand la variation du flux est maxi-

mum (position verticale de l'induit). On profite de ce moment pour couper le courant primaire.

4° *Un enroulement secondaire* sur le primaire. Il se produit par induction dans cet enroulement un courant secondaire par suite des variations de flux.

5° *Un rupteur* qui augmente la tension du secondaire en coupant le courant primaire.

6° *Un système de distribution* qui amène le secondaire à haute tension à la bougie.

Vitesse de rotation de l'induit. — Pour avoir la vitesse à laquelle doit tourner la magnéto, à induit tournant, il suffit de voir combien l'induit fait de tours pour une étincelle et de multiplier ce nombre de tours par le nombre de cylindres.

EXEMPLE : *Moteur Salmson 9 cylindres.*

Avec une magnéto à induit tournant, on a une étincelle en un demi-tour. Pour avoir 9 étincelles, il faudrait 9 demi-tours ou 4,5 tours pendant que le vilebrequin en ferait 2. Donc, rapport des vitesses :

$$\frac{4,5}{2} = 2 \frac{1}{4}.$$

L'entraînement de la magnéto se fait soit par le vilebrequin, soit par un arbre commandé par le vilebrequin ou l'arbre à cames, avec un accouplement élastique pour régulariser la marche.

Accessoires du courant primaire :

1° *Condensateur* (fig. 50). — Lorsqu'on rompt le courant primaire au rupteur, un courant de même sens, qu'on nomme *extra-courant de rupture*, prend naissance dans le circuit primaire. Cet extra-courant donnerait lieu à une étincelle qui rougirait et détériorerait les vis platinées rapidement, et occasionnerait une perte d'énergie en prolongeant, pour ainsi dire, le primaire après l'écartement des vis, d'où rupture moins brusque, secondaire ayant moins de tension et mauvaise étincelle.

C'est pourquoi on a monté en dérivation sur le primaire un appareil appelé *condensateur* formé de plaques d'étain isolées les unes des autres par du mica. Au moment de la rupture, le condensateur absorbe l'extra-courant et le restitue au moment du rapprochement des vis. C'est, en somme, un régulateur de courant. Il évite les fortes étincelles aux vis platinées et diminue ainsi leur usure.

2^o *Contact ou interrupteur.* — Il sert à couper l'allumage ou à l'établir, à la volonté du pilote. On dispose un fil conducteur ou *fil de masse* dont une extrémité est reliée à la vis platineée centrale au moyen d'un charbon frottant nommé *charbon de masse* (fig. 49), et l'autre extrémité à la masse.

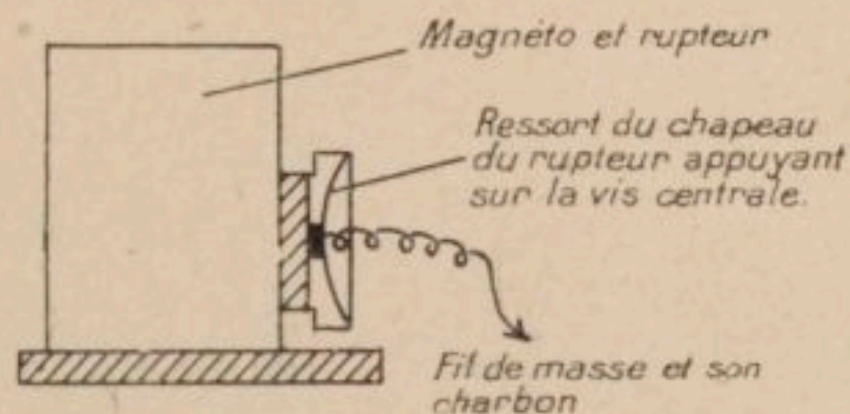


Fig. 49.

Ce fil présente sur son parcours un *contact ou interrupteur*.

Lorsque le mécanicien demande « *coupé* », on met le contact sur ce circuit. Le courant primaire passe alors à la vis centrale, mais retourne à la masse par le fil du contact, par conséquent sans passer par la seconde vis. Il ne peut donc y avoir de rupture et il ne se produit plus d'étincelle à la bougie.

Quand « on met le contact », on interrompt le circuit, au contraire, et le primaire passe à la masse par la seconde vis. Il y a donc rupture et étincelle.

Accessoires du courant secondaire :

Parafoudre (fig. 50). — Si l'étincelle ne peut jaillir à la bougie (trop d'écartement des pointes, fil cassé, encrassement par un corps non conducteur, etc.), le courant tendra à retourner à sa source en prenant le plus court chemin (court circuit), c'est-à-dire qu'il traversera les isolants recouvrant les fils et les brûlera (*magnéto grillée*). Pour éviter cet accident, on monte alors en dérivation sur le secondaire un *parafoudre*. Il est formé par un groupe de pointes métalliques dont les unes sont reliées à la masse et les autres au circuit. En cas d'impossibilité pour l'étincelle de jaillir aux pointes de la bougie, le courant passe d'un groupe à l'autre sous forme d'étincelle et retourne, par conséquent, à la masse. Il faut donc régler l'écartement des pointes de façon que, normalement, le courant éprouve plus de difficultés pour passer au parafoudre qu'à la bougie.

En pratique : écartement des électrodes de la bougie : $\frac{1}{10}$ de millimètre; écartement au parafoudre : 10^{mm} au maximum.

Si l'étincelle est capable de franchir les 10^{mm} du parafoudre alors qu'elle ne peut franchir 1 ou 2^{mm} aux bougies, c'est simplement par suite des difficultés de passage du courant avec la compression du cylindre.

Croquis schématique d'ensemble de la magnéto (fig. 50).

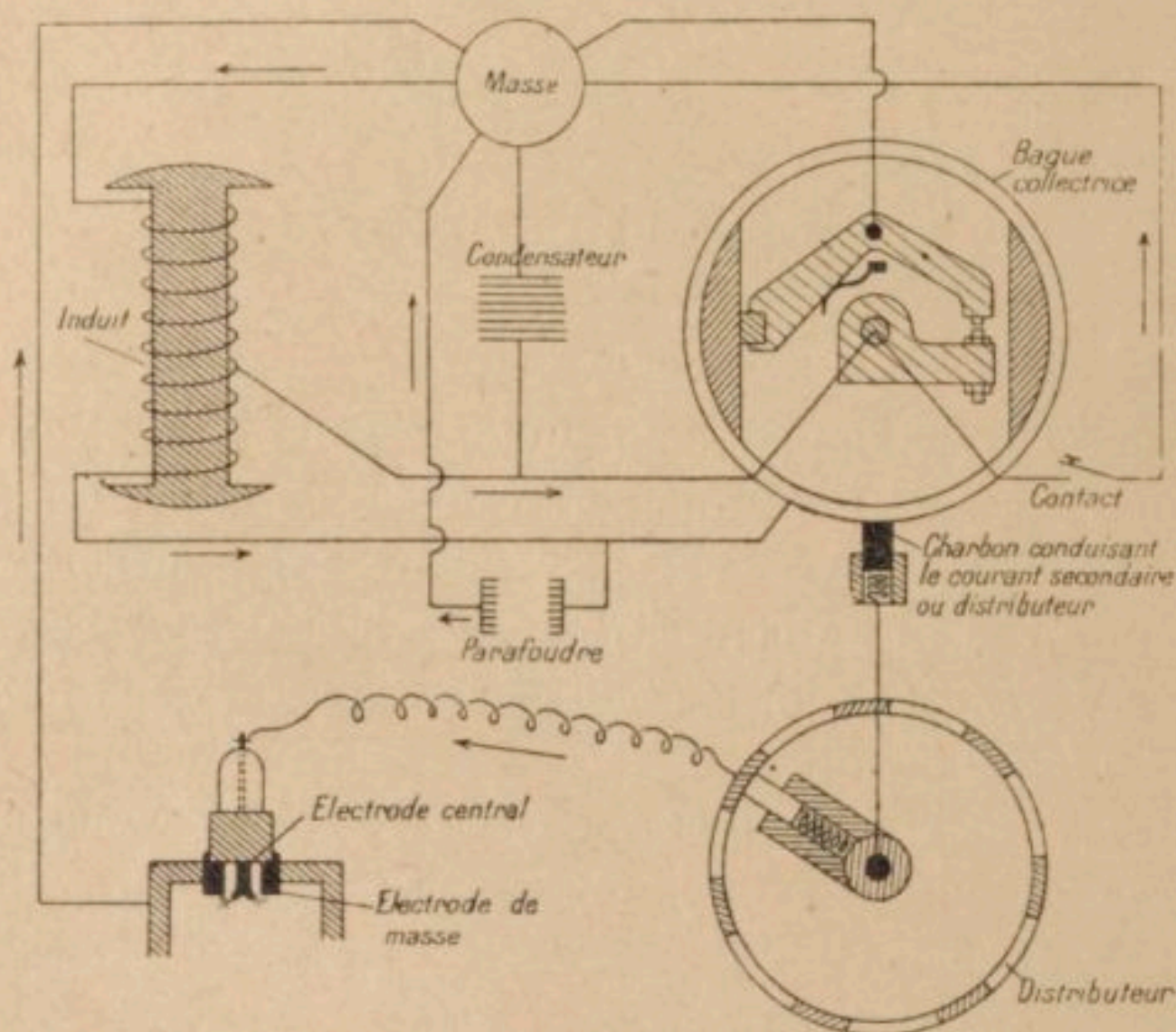


Fig. 50.

Remarque. — L'axe de l'induit doit concorder avec l'axe du rupteur.

Le courant primaire est représenté en trait fin.

Le courant secondaire est représenté en trait appuyé.

Cette magnéto, dite *magnéto à induit tournant*, donne donc deux étincelles par tour. Nous verrons plus tard qu'il existe des *magnétos à volets tournants* qui donnent quatre étincelles par tour.

Calage de la magnéto. — C'est l'opération qui consiste à bloquer la magnéto sur le moteur de façon que l'avance à l'allumage ait la valeur convenant au moteur. Il y a plusieurs opérations consécutives à effectuer.

1° *Mettre un cylindre en position d'allumage.* — Pour cela :

- a. Amener le cylindre au temps de compression;

b. Avec une tige de fer « pige », introduite dans le haut du cylindre par une petite ouverture réservée à cet effet, ou au moyen d'un indicateur *de fond de course* (voir fig. 51), on s'assure que l'on amène le piston au point mort haut;

c. On fait redescendre le piston *en faisant tourner le moteur en A* de la quantité indiquée par le constructeur. Cette quantité est indiquée suivant les cas en millimètres ou en degrés.

La pige doit redescendre de la quantité indiquée en millimètres.

Pour les degrés, on se sert d'un disque gradué en degrés qu'on fixe sur le vilebrequin.

Après ces opérations, le piston se trouve à la position qu'il doit occuper au moment de l'étincelle.

2° S'assurer que le courant arrivera bien jusqu'à la bougie. — Pour cela :

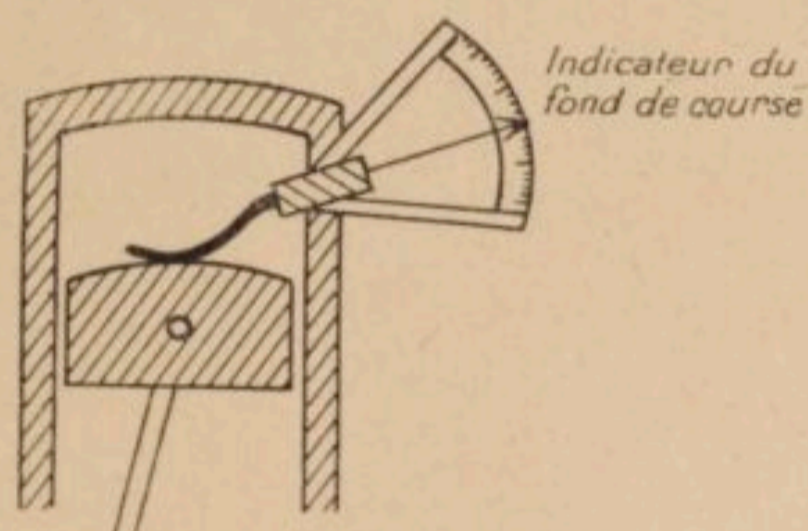


Fig. 51.

a. S'assurer que le charbon du distributeur se trouve bien en face du plot correspondant au cylindre considéré (fig. 52);

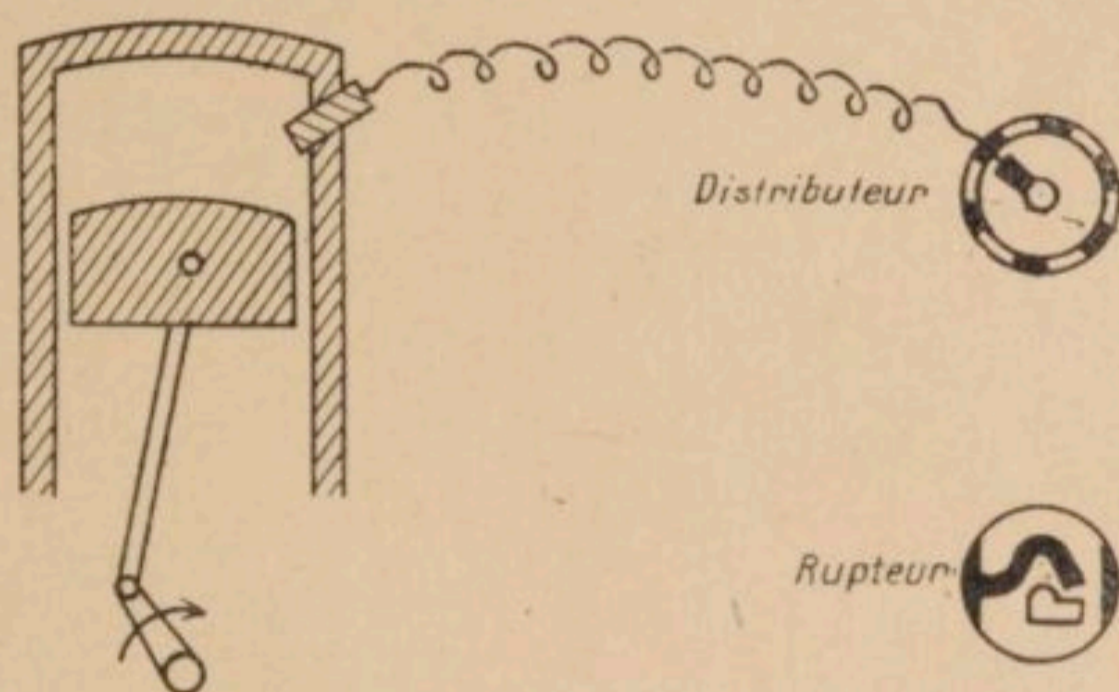


Fig. 52.

b. S'assurer que le cylindre est bien relié à ce plot.

3° *Mettre les vis platinées dans la position du DÉBUT de l'écartement.* — *Pour cela :*

a. Faire tourner légèrement en A la magnéto, à la main, et placer une feuille de papier mince (à cigarette), entre les vis du rupteur;

b. Faire tourner à la main la magnéto dans le sens de rotation normale jusqu'à ce qu'en tirant légèrement sur la feuille, elle se détache;

c. A ce moment précis, l'écartement des vis commence. C'est le moment où l'étincelle jaillira au cylindre. On engrène alors le pignon de la magnéto et son pignon de commande.

4° *On vérifie le réglage en faisant tourner le vilebrequin à la main.*

5° *Bloquer avec soin.*

Magnétos de départ. — Ce type de magnéto sert à mettre un moteur en marche sans le lancer à la main.

Ces magnétos sont réglées de façon à produire l'étincelle dans chaque cylindre lorsque le piston a déjà dépassé le P. M. H. (En effet, si l'on faisait produire l'allumage avec de l'avance, le moteur étant arrêté, celui-ci partirait à l'envers.)

On ajoute sur le distributeur d'une des magnétos principales une pièce en cuivre P (fig. 53), qui est fixée sur une couronne circulaire en cuivre F qui tourne en même temps que le charbon. Le charbon est isolé de cette bague. La pièce P est à une distance telle du charbon que, grâce à sa largeur, elle puisse toujours être en face du plot qui précède immédiatement celui sur lequel se trouve le charbon principal. Exemple : voir figure 53.

Cyl. 1 : Allumage normal.

Cyl. 6 : Position d'allumage normal dépassée.

Une borne spéciale B amène par frottement le secondaire venant d'une petite magnéto M située à portée du pilote. Cette magnéto est reliée à la masse. Elle possède une manivelle qui multiplie, grâce à des pignons dentés, la vitesse de rotation de l'induit. Quand le pilote tourne la manivelle, le courant secondaire arrive sur F, passe de P au fil de bougie du cylindre 6 et revient à la masse après avoir allumé le cylindre. Pour avoir un bon départ, il est préférable de couper les magnétos principales qui contrarieraient la magnéto de départ.

La pièce P se trouve, en général, formée de petites pointes passant très près des plots. Les pointes ayant la propriété de faciliter

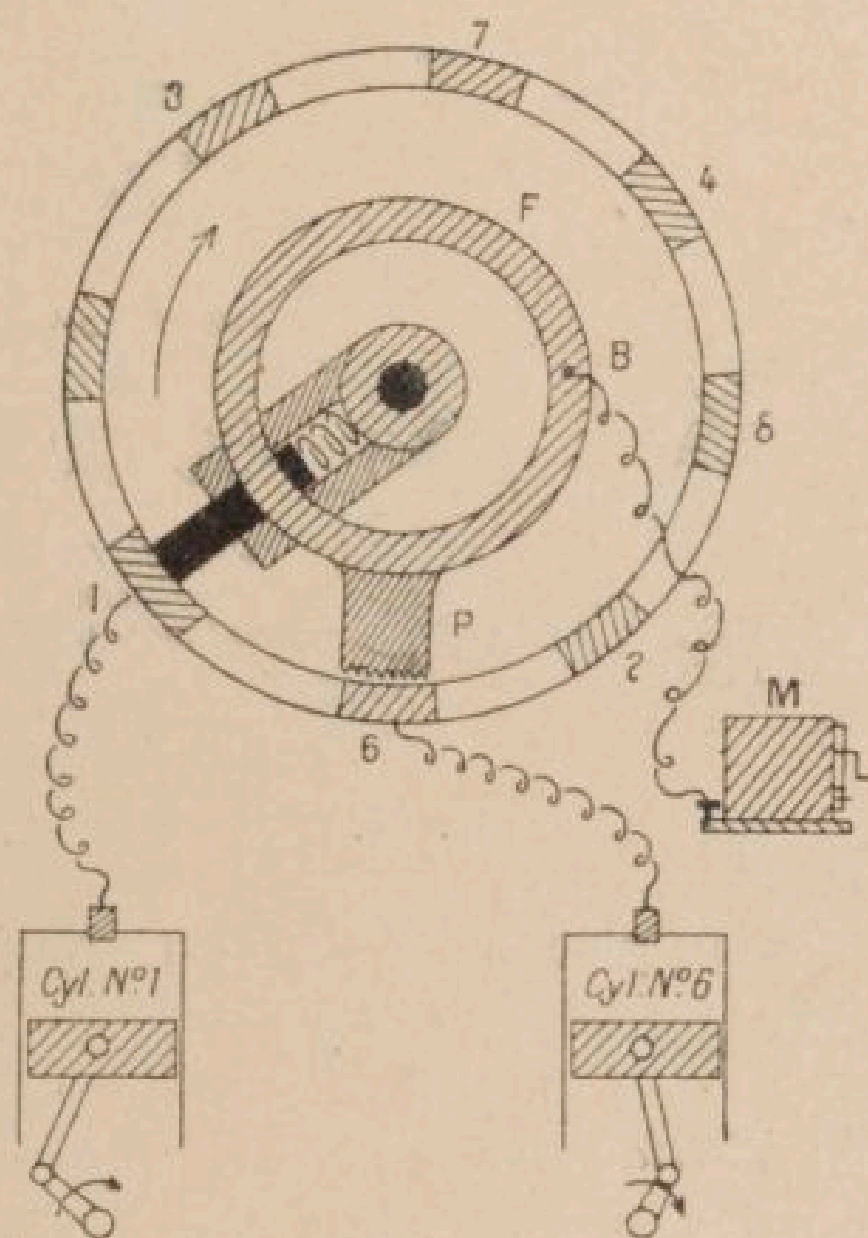


Fig. 53.

le passage du courant, celui-ci pourra franchir l'intervalle des pointes aux plots, tout en produisant en même temps une autre étincelle aux électrodes des bougies.

Avant de se servir de la magnéto de départ, on fait tourner le moteur à la main pour admettre des gaz.

Bougies. — Les parties essentielles sont les *électrodes*. Il y a deux sortes d'électrodes : les électrodes centrales (fig. 54), les électrodes de masse.

Les électrodes centrales sont reliées au fil secondaire venant du distributeur. Les électrodes de masse sont reliées à la masse par le filetage de la bougie. L'étincelle passe de l'électrode centrale aux électrodes de masse.

Le centre est constitué par un cylindre en matière isolante, traversé par une tige qui forme l'électrode centrale. Le corps de la bougie a la forme extérieure d'un écrou et se visse sur le cylindre.

Pour éviter les pertes de gaz entre le corps et l'isolant, on place un

joint en amiante que l'on presse fortement sur le corps de bougie au moyen du *presse-étoupe*. De même, pour éviter les fuites entre le

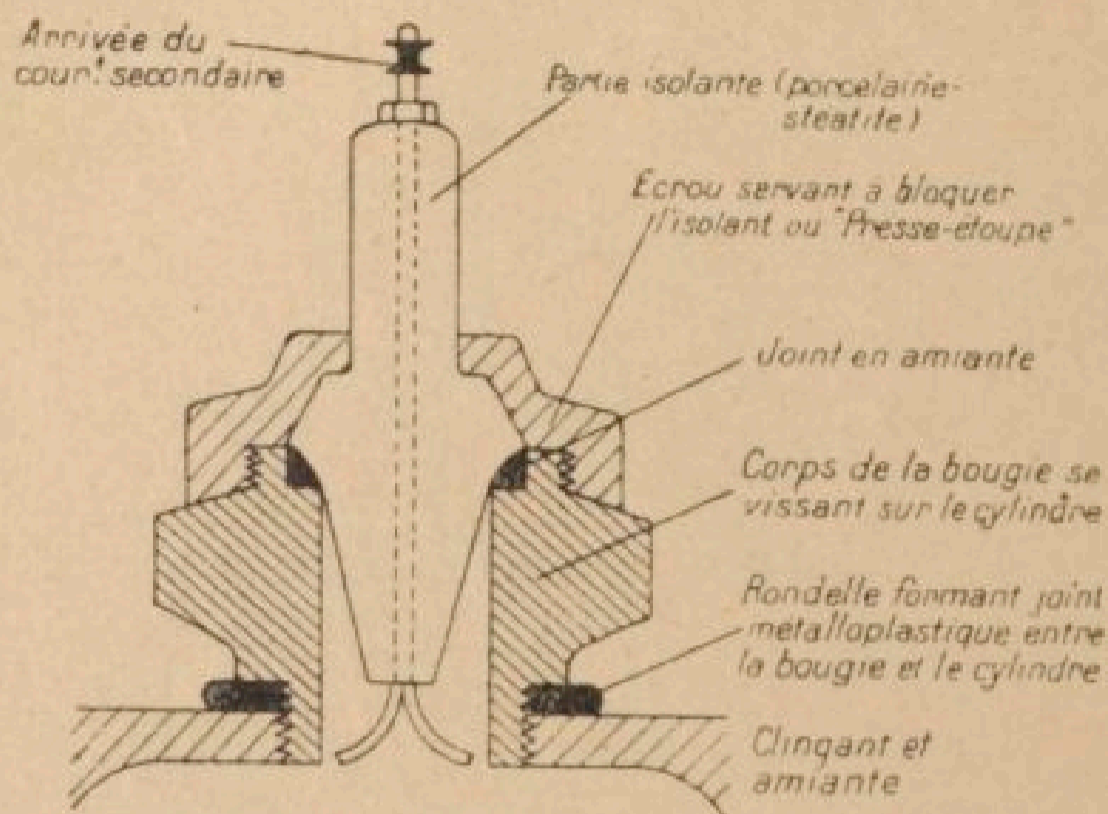


Fig. 54.

cylindre et la bougie, on place entre les deux un joint métalloplastique.

Conditions de bon fonctionnement :

Écartement convenable des électrodes : $\frac{4}{10}$ à $\frac{5}{10}$ de millimètre.

Pointes en bon état. Pas d'encrassement, aucun dépôt entre les pointes. Isolant toujours bon, quelle que soit la température. Cet isolant peut être du mica, de la porcelaine, de la stéatite, etc.; les diverses parties de la bougie ne doivent pas être portées au rouge (il y aurait auto-allumage). Aucune fuite de gaz entre le cylindre et l'extérieur (il y aurait une entrée d'air supplémentaire et une mauvaise compression); aucune fêlure de l'isolant entre la douille métallique et le centre, de façon à empêcher l'étincelle de jaillir à l'intérieur de l'isolant.

Fils de bougie. — Ils sont formés d'un certain nombre de petits brins métalliques recouverts d'un isolant très énergique. On doit pouvoir fixer les fils à la bougie ou les retirer instantanément.

Précautions à prendre. — Le mode d'attache des fils à la bougie doit être en très bon état. On ne doit pas garder des fils de bougie dont l'isolant est craquelé. Ne pas faire passer les fils de connexions sur des parties très chaudes, ou vibrantes, ou à angle vif.

En cas de non-observation de ces prescriptions, on risque d'abord d'avoir des ratés d'allumage, soit intermittents, soit permanents; ensuite L'INCENDIE si une étincelle passe à la masse avant la bougie, en rencontrant un peu d'essence.

IV. — GRAISSAGE.

Il a pour but de diminuer le frottement des surfaces métalliques mobiles en contact, par conséquent de les empêcher : 1^o de s'échauffer exagérément; 2^o de gripper par suite de la dilatation.

Le graissage s'effectue au moyen d'un *lubrifiant* (huile, graisse, etc.).

D'après la théorie admise en général, l'huile employée se sépare en trois couches :

- a. Une couche qui adhère à l'une des surfaces à lubrifier;
- b. Une deuxième couche qui adhère à l'autre surface en contact;
- c. Une troisième couche qui reste entre les deux premières pendant les mouvements des deux surfaces l'une contre l'autre (*fig. 55*).

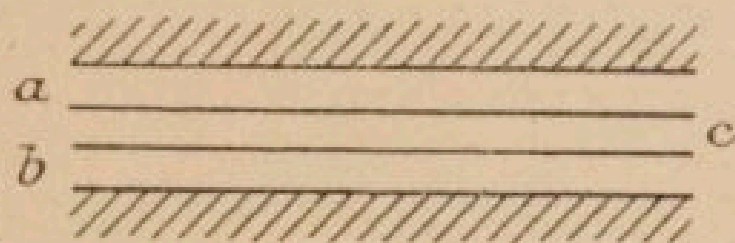


Fig. 55.

On substitue ainsi au frottement solide contre solide le frottement liquide contre liquide, qui est beaucoup moindre.

Qualités à exiger pour les huiles de graissage des moteurs. — Elles doivent avoir une grande *adhérence* pour résister autant que possible à la force centrifuge, par exemple. Leur *fluidité* doit être suffisante pour qu'elles puissent pénétrer partout facilement et s'étendre en couche mince ininterrompue sur les parties à lubrifier.

A cause du froid, il est nécessaire que leur *point de congélation* soit le plus bas possible. Elles doivent former le *minimum de cambouis* et de dépôt en brûlant de façon à éviter le collage des segments, l'encrassement des soupapes, etc. Elles doivent absorber de très faibles quantités d'essence, pour ne pas perdre leurs qualités lubrifiantes. Leur *action sur les métaux* qu'elles lubrifient doit être nulle

au point de vue chimique. Elles doivent également conserver leurs qualités lubrifiantes dans de très grandes limites de température, et ne pas s'enflammer facilement de façon à éviter des explosions dans le carter.

Les huiles employées en aviation peuvent être de deux sortes :

- 1^o Végétale;
- 2^o Minérale.

Huile minérale. — Elle est extraite par *distillation des pétroles bruts*.

Sa densité peut être comprise entre 0,890 et 0,920. Certaines huiles minérales restent fluides jusqu'à 10^o au-dessous de 0^o, d'autres seulement jusqu'à 0^o. Elles bouillent à des températures comprises entre 280 et 400^o. On leur incorpore parfois un peu de poussière de graphite (c'est-à-dire du carbone presque pur) qui a la propriété d'adhérer fortement aux surfaces frottantes en garnissant tous les pores et en produisant un glaçage permanent qui est susceptible de diminuer le frottement.

L'étanchéité donnée par les segments devient meilleure et, par suite, on risque moins l'encrassement des bougies.

Huile végétale. — Elle résiste bien à la chaleur. Son point d'inflammation est vers 300^o. Sa viscosité varie moins vite avec l'élévation de température que pour l'huile minérale. Elle a un pouvoir lubrifiant plus élevé également.

Actuellement, on tend de plus en plus à remplacer l'huile minérale par l'huile végétale.

La principale huile végétale employée est l'*huile de ricin*. Elle offre de très gros avantages; en particulier, elle est extrêmement visqueuse et cette viscosité varie peu avec la température.

Elle a été surtout employée dans les moteurs rotatifs où la force centrifuge développée nécessitait une huile adhérent très fortement.

Elle se fige seulement vers 15^o au-dessous de 0, ce qui est un énorme avantage pour l'aviation. Elle offre, en outre, pour les rotatifs, dans lesquels l'admission des gaz se fait dans le carter, c'est-à-dire en contact avec l'huile, l'avantage d'être très peu miscible avec l'essence et de ne pas donner, en brûlant, de résidus solides.

Enfin, son emploi est particulièrement indiqué, car elle est une huile nationale.

Sa densité est environ 0,96.

Principe du graissage. — Actuellement, tous les moteurs d'aviation sont graissés *sous pression, par pompe.*

Le carter possède, en général, au fond, un grand filtre qui le sépare en deux parties, l'une supérieure, l'autre inférieure. Cette dernière peut servir de réservoir à l'huile.

L'huile y est prise par une pompe située au fond du carter et qui ne risque pas de se désamorcer, étant en charge. La pompe envoie l'huile aux endroits à lubrifier : paliers du vilebrequin, têtes de bielles, pieds de bielles, cylindres, arbre à cames, pignons, etc. La quantité en excédent retombe dans le carter inférieur en passant à travers le filtre, et se trouve reprise par la pompe.

Le graissage constituant absolument la partie vitale dans un moteur, on a cherché à améliorer encore les frottements pour diminuer les risques de pannes et augmenter le rendement du moteur.

D'une façon générale, il y a deux méthodes principales :

1° Mettre des *roulements à billes* quand on le peut. C'est ce qu'on fait dans certains moteurs où le vilebrequin est supporté par des roulements à billes. En aviation, il est toujours indispensable d'avoir en bout du vilebrequin, des *butées à billes* pour supporter l'effort de traction de l'hélice. On place également des roulements à billes sur les arbres à cames, les axes d'induit de magnéto, etc. *On transforme ainsi les frottements de glissement en frottements de roulement.*

2° Quand deux surfaces en contact doivent glisser l'une sur l'autre, les fabriquer avec deux métaux de duretés différentes.

En effet, quand les deux surfaces sont de même nature, les aspérités, qui existent toujours, même sur des surfaces parfaitement usinées, s'accrochent et s'usent réciproquement en produisant un frottement considérable. Au lieu que si l'une des surfaces est plus dure que l'autre, ses aspérités creusent leur chemin dans l'autre et de façon à former une surface de contact régulière. La couche d'huile interposée devient ainsi d'égale épaisseur.

C'est cette raison qui fait que les paliers des vilebrequins reposent sur des pièces appelées *coussinets* en métal beaucoup plus tendre que l'acier du vilebrequin.

Ces coussinets peuvent être principalement de deux sortes :

1° Coussinets en bronze; 2° coussinets en *régule*.

Avantages et inconvénients du bronze. — Le frottement obtenu avec le bronze n'est pas élevé et le rendement, par conséquent, est bon; mais, d'autre part, la température de fusion étant élevée pour le bronze (900°), le plus léger défaut de graissage risque tout de suite de provoquer un grippage. Mais, par suite de sa dureté, le bronze s'use beaucoup moins vite que les autres métaux constituant les coussinets. Cette qualité présente d'ailleurs une contre-partie : le rodage du moteur (opération consistant à faire tourner le moteur lentement après son montage pour égaliser toutes les parties frottantes en contact) est long. Mais c'est un petit inconvénient.

Avantages et inconvénients du régule. — Le régule, ou métal blanc antifricition, est à base d'étain. Le frottement obtenu est plus élevé qu'avec le bronze, donc donne un moins bon rendement. Mais le rodage est plus vite effectué. De plus, la température de fusion étant moins élevée que pour le bronze (500 à 600°), le métal blanc abaisse les risques de grippage en cas de mauvais graissage. Mais sa durée est moins considérable et l'on est, par suite, obligé plus fréquemment, soit de resserrer les coussinets, soit de les changer.

Différents types de pompes. — Il y a quatre types principaux :

- 1^o Pompes à palettes;
- 2^o Pompes à piston;
- 3^o Pompes à engrenages;
- 4^o Pompes à cylindre oscillant.

1^o *Pompe à palettes (fig. 56).* — Le corps de pompe P a son axe

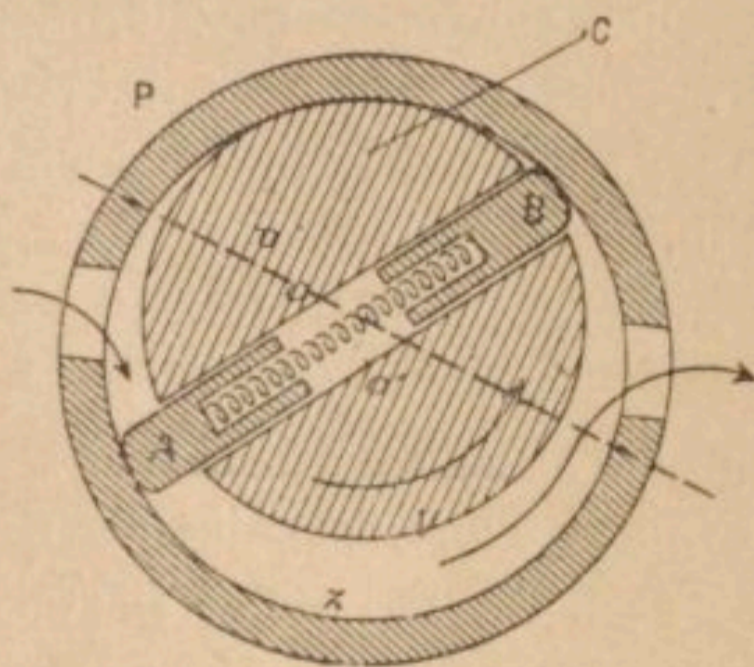


Fig. 56.

en un point O' . Deux orifices sont percés dans le corps, l'un pour l'entrée d'huile, l'autre pour la sortie (voir les flèches.) Un axe de

commande C, qui est fendu sur une partie de sa longueur, reçoit deux petites pièces A et B qui coulisent à l'intérieur de la fente. L'axe C tourne autour d'un point O, désaxé par rapport au corps de pompe P. Une paroi intérieure de la pompe a même axe que le corps de pompe, c'est-à-dire O'.

Les deux pièces ou *palettes* A et B, qui sont toujours poussées vers l'extérieur par un ressort, s'appliquent constamment sur la paroi Z. Il en résulte que dans la pompe existent deux chambres dont les volumes sont variables suivant la position des palettes A et B.

Sur la figure, par exemple, on a au-dessus de AB un volume φ , et au-dessous, un volume V supérieur.

La pompe tournant dans le sens de la flèche, lorsque les palettes se trouvaient dans la position du trait pointillé, l'huile remplissait le volume V. Par suite de la rotation, le volume φ diminue progressivement et l'huile, incompressible, est obligée de s'évacuer.

Le même phénomène se reproduit dans la position symétrique.

2° *Pompe à piston (fig. 57).* — Un pignon denté P, recevant son

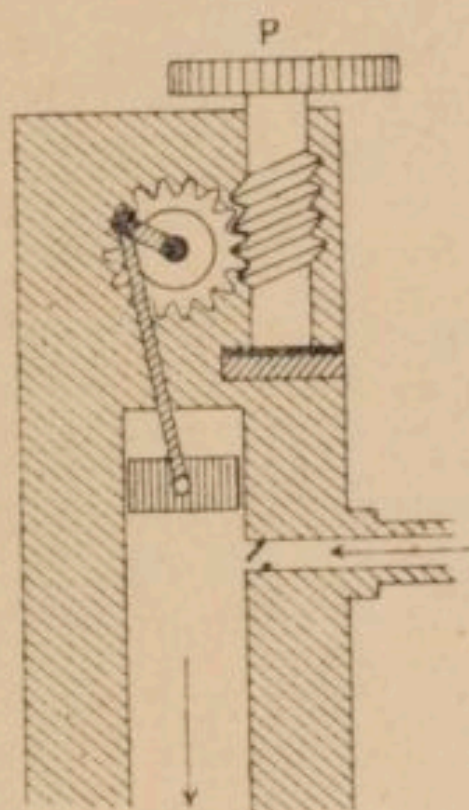


Fig. 57.

mouvement de rotation du moteur entraîne un manchon hélicoïdal qui actionne une roue dentée portant un petit vilebrequin. Ce vilebrequin actionne un piston qui aspire et qui refoule successivement l'huile au moyen d'un clapet.

3° *Pompe à engrenage (fig. 58).* — Deux pignons engrènent l'un avec l'autre dans le corps de la pompe. L'huile qui arrive à la pompe

dans le sens de la flèche est entraînée par les dents vers l'extérieur des pignons et se trouve refoulée dans une conduite spéciale.

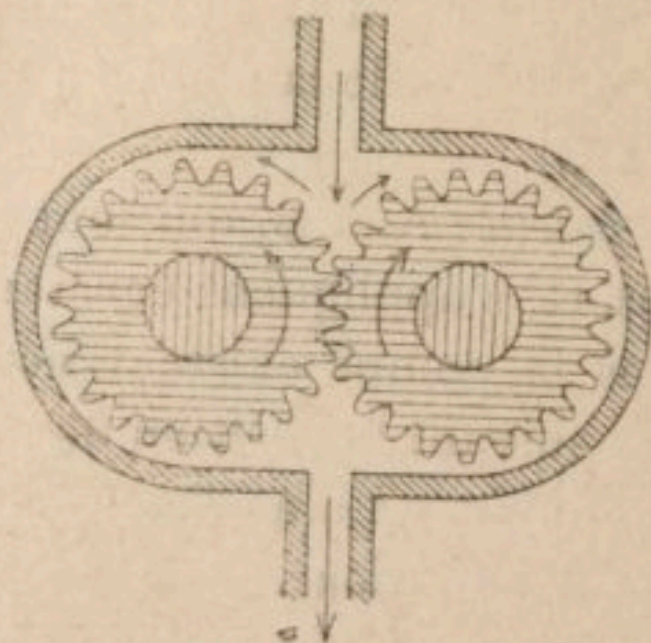


Fig. 58.

4° *Pompe à cylindre oscillant* (fig. 59). — Une roue R commande le mouvement de la pompe. Elle porte un têtôn, qui, en tournant,

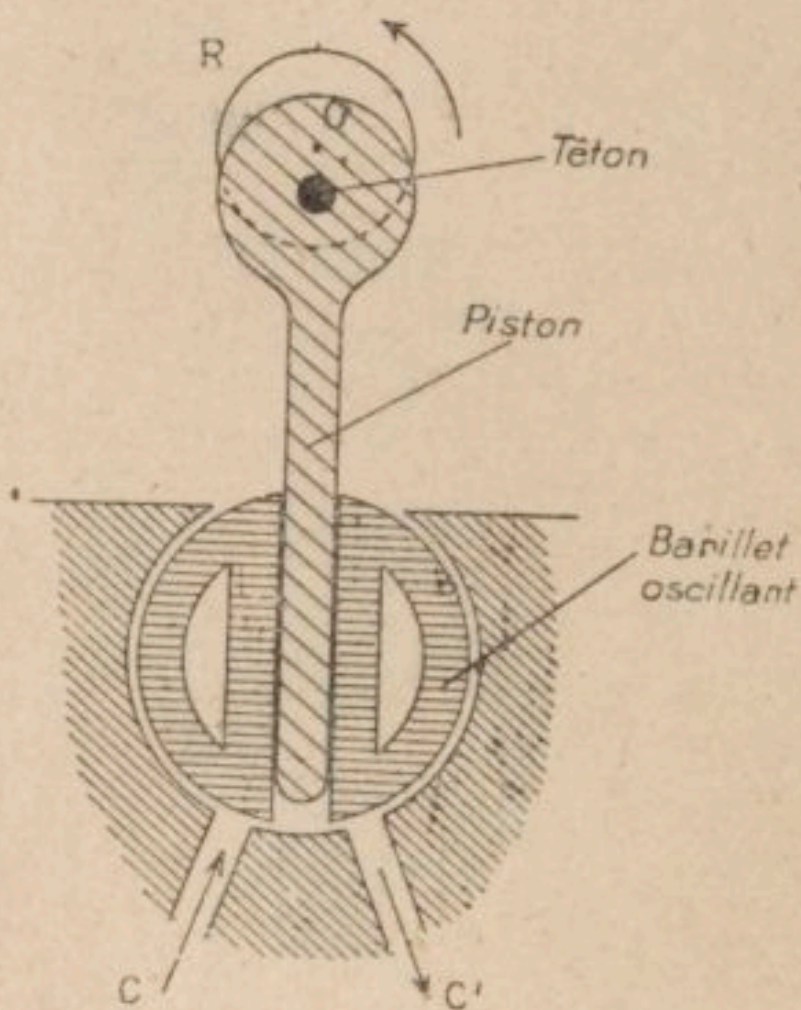


Fig. 59.

entraîne la tête du piston. Celui-ci coulisse dans un véritable cylindre faisant partie d'une pièce circulaire appelée *barillet oscillant* qui tourne autour d'un axe fictif. Cet axe est le centre d'une partie fixe qui reçoit le barillet, lequel porte tout autour à frottement doux.

Lorsque le têtôn tourne avec la roue d'entraînement R dans le sens de la flèche, le barillet oscille et découvre une canalisation C.

Le piston monte et aspire l'huile. En continuant le mouvement, la conduite C est bouchée par la rotation du barillet et une canalisation C' est découverte, par où le piston chasse l'huile.

Tous les types de pompe vus ci-dessus reçoivent leur mouvement d'arbres et de pignons commandés par le vilebrequin ou l'arbre à cames.

La première, la deuxième et la quatrième pompe décrites donnent des circulations d'huile par *pulsations*, tandis que la pompe à engrenages donne une circulation continue.

On vérifie le fonctionnement des pompes à l'huile au moyen de *cloches à huile*, ou avec des *manomètres*.

Cloches à huile. — On branche sur la canalisation d'huile une cloche en verre C (*fig. 60*); à chaque pulsation de la pompe, l'huile

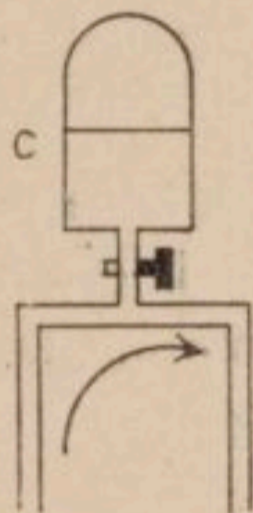


Fig. 60.

passant dans la canalisation remplit en partie la cloche, puis baisse immédiatement après. Si l'on voit les pulsations se produire, c'est donc que la circulation fonctionne. Un robinet sert à isoler la cloche (*figure*) à volonté. Un système analogue est installé par exemple sur les moteurs Salmson et sur les rotatifs.

Quand les pulsations sont trop rapprochées les unes des autres ou qu'on a affaire à une pompe à engrenages, la pression d'huile est vérifiée grâce au manomètre. Celui-ci, dont nous verrons le fonctionnement dans le chapitre « Instruments de bord », donne les indications sur un cadran gradué devant lequel se déplace une aiguille. Les chiffres du cadran montrent la pression d'huile en *kilogrammes par centimètre carré*. D'une façon générale, lorsqu'on met un moteur en marche, l'huile étant froide, et par conséquent épaisse, provoque une très grosse pression dans les tuyauteries et s'étend mal sur les parties à graisser. Il est donc dangereux d'accélérer. Au fur et à

mesure que le moteur chauffe, la pression diminue, l'huile devient plus fluide et l'on ne doit accélérer en grand que lorsque la pression est descendue entre deux limites indiquées sur le cadran de façon visible, par exemple entre 2 et 5^{kg}; 2 et 5 étant marquées d'un trait de couleur (*fig. 61*). Actuellement les moteurs sont munis d'un clapet

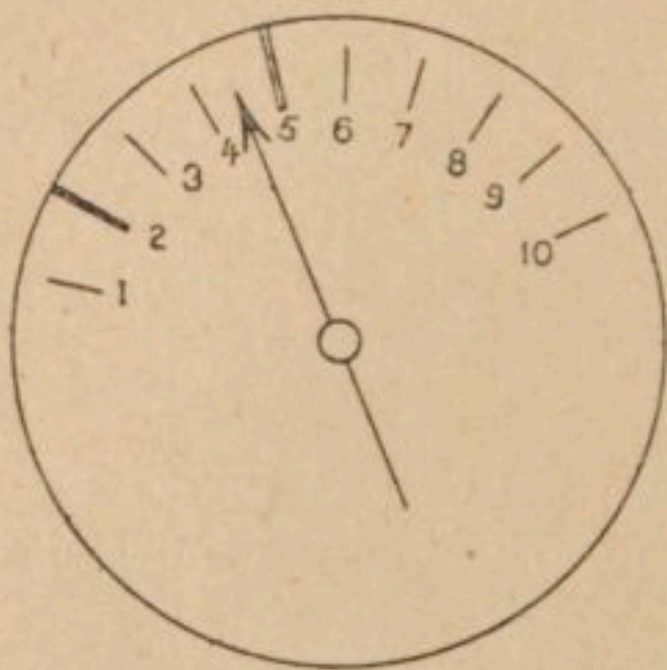


Fig. 61.

limiteur de pression qui supprime le danger d'éclatement des tuyauteries dont on a parlé. Mais il est néanmoins nécessaire, pour la sécurité, de faire chauffer le moteur doucement pour laisser le temps à l'huile de s'étendre partout.

Remarque. — En cas de dérèglement du compte-tours, si le pilote connaît le rapport entre le nombre de tours du moteur et le nombre de pulsations de la cloche à huile, cette dernière peut alors servir de compte-tours.

Les pompes à huile tournent d'ailleurs toujours beaucoup moins vite que le moteur. Par exemple, sur le *Salmson*, il se produit un coup de piston pour 15 tours du vilebrequin.

Graissage du vilebrequin, des cylindres, des axes de pistons, etc. — L'huile refoulée par la pompe est envoyée dans de petites rampes rr_1r_2 qui la conduisent aux paliers du vilebrequin (*fig. 62*) $P_1 P_2 P_3$. Entre le carter et les paliers, elle pénètre dans les coussinets qui sont percés à cet effet d'un petit trou dans leur milieu (*figure*). De ce trou central divergent un certain nombre de petites rainures marquées dans le métal du coussinet (*fig. 63*) et appelées *pattes d'araignées*. Elles servent à lubrifier tout le palier du vilebrequin en répartissant également l'huile tout autour. Il faut, d'ailleurs, remarquer

que ces pattes ne doivent pas arriver jusqu'aux bords des coussinets pour que l'huile, en pression, ne s'échappe pas.

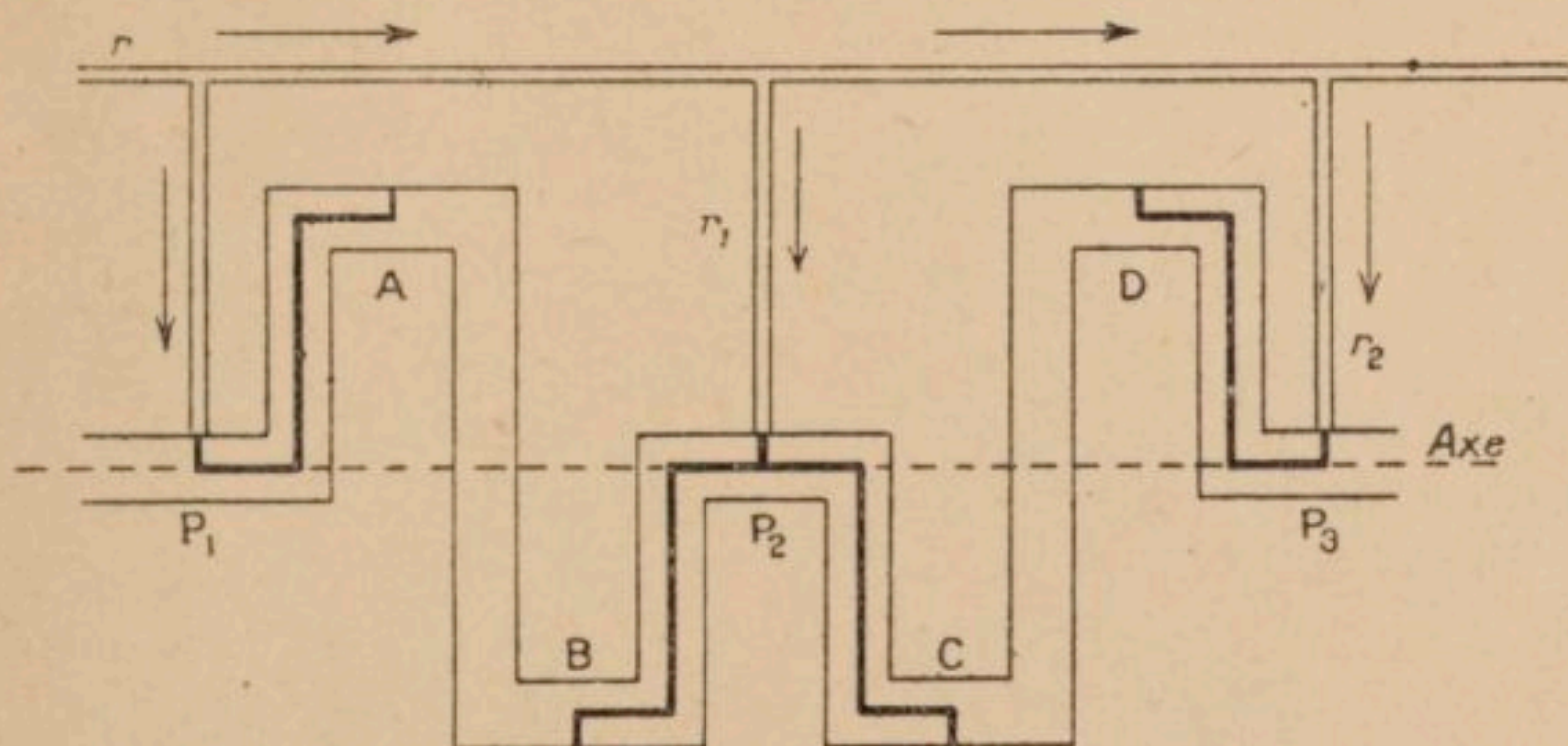


Fig. 62.

Le vilebrequin, comme le montre la figure 62, a été foré dans ses paliers et dans ses coudes. Les trous de chaque palier viennent successivement coïncider avec les trous d'amenée d'huile des coussinets.

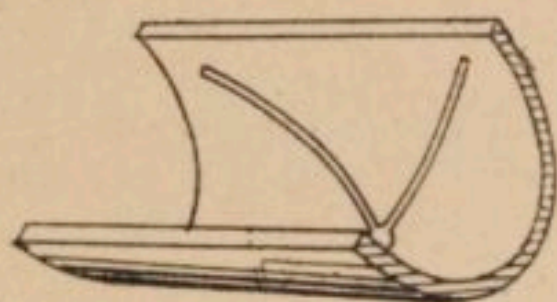


Fig. 63.

L'huile pénètre à l'intérieur de l'arbre et s'en va aux manetons ABCD sous l'influence de la force centrifuge. Par des trous graisseurs convenablement percés, elle s'échappe et graisse les portées des têtes de bielles. Elle s'y répand sur toute leur largeur. Sur certains moteurs l'excès d'huile se trouvant aux têtes de bielles est projeté par force centrifuge de façon à graisser les cylindres et les pistons. Quelquefois, les axes de pieds de bielles sont graissés par une canalisation percée à l'intérieur du corps de bielle. L'huile y pénètre de la même façon qu'elle pénètre dans le vilebrequin. Parfois, l'huile arrive jusqu'au pied de bielle en glissant extérieurement au corps. Les axes de piston peuvent être graissés également au moyen de l'huile projetée sur les cylindres. Cette huile est recueillie dans une gorge du piston qui la conduit par de petites canalisations jusqu'à l'axe. Les portées d'axes de pieds de bielles sont également munies de pattes d'araignées.

Graissage des arbres à cames (fig. 64). — Quand les arbres à cames sont situés au-dessus des rangées de cylindres, on peut prendre

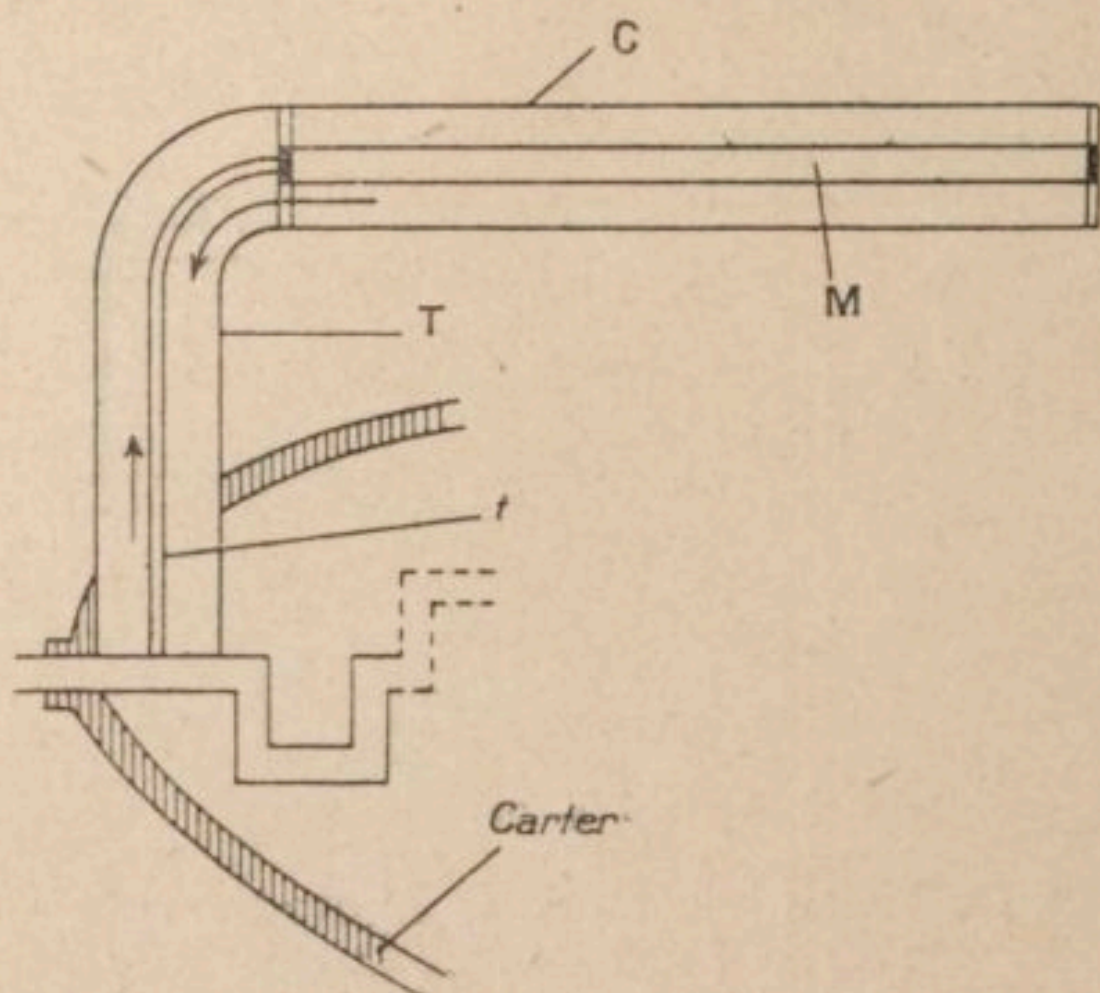


Fig. 64.

l'huile, sous pression, par exemple à l'extrémité du vilebrequin. Cette huile est amenée à l'extrémité des arbres à cames M qui sont forés sur toute leur longueur. De petits trous laissent filtrer l'huile sur les paliers de l'arbre à cames. Une partie, grâce à de petites rainures spéciales, graisse également les axes de galets de culbuteurs et les galets eux-mêmes. Tout l'excès d'huile retombe dans un *carter d'arbre à cames* C (fig. 64) et retourne au moteur en passant dans un gros tube T entourant le petit tube d'arrivée t. Avant de retourner à la pompe, l'huile retombante est filtrée dans le grand filtre du fond du carter.

Graissage des culbuteurs. — Ils sont souvent graissés simplement par de la graisse consistante (Salmson).

Graissage des queues de soupapes. — C'est une partie très délicate. Étant données les chaleurs supportées par les soupapes, le graissage y est presque impossible. Mais généralement, le métal très dur des soupapes *se glace* avec le frottement continu et ne grippe pas.

Graissage des magnétos. — Il a très rarement besoin d'être effectué.

Les roulements à billes de l'induit permettent de diminuer beaucoup l'échauffement. On se contente, en général, de quelques gouttes d'huile fluide, versées dans un petit graisseur spécial, toutes les 15 ou 20 heures de marche.

V. — REFROIDISSEMENT.

L'explosion développant dans les cylindres une température de plus de 1500°, il est indispensable de refroidir le moteur pendant la marche. Il faut, en particulier, pouvoir : 1° Maintenir les chambres d'explosion à un maximum de 500°. En effet, au-dessus de 500°, on risquerait d'avoir auto-allumage. De plus, les soupapes se voileraient trop facilement ; les bougies risqueraient d'être détériorées, etc. 2° Maintenir la température, au-dessous des chambres d'explosion, à un maximum de 300° environ. En effet, c'est à peu près la température d'inflammation des huiles de graissage, et, par conséquent, la lubrification n'existerait plus, le moteur gripperait. De plus, il peut y avoir *collage* des segments à fond de gorge par l'huile carbonisée et formation d'un courant de gaz brûlés, entre le piston et le cylindre, capable de détériorer complètement le cylindre, la bielle, etc.

Il existe deux systèmes de refroidissement :

- 1° Refroidissement par air ;
- 2° Refroidissement par eau.

1° **Refroidissement par air.** — Il peut être obtenu de plusieurs façons :

a. Par escargot et ventilateur, c'est-à-dire deux organes chargés de souffler de l'air sur les cylindres, ceux-ci étant en partie capotés et disposés les uns derrière les autres (moteur en V Renault 80 HP). Ce système permet d'avoir un aussi bon refroidissement pour les cylindres R que pour les cylindres A, l'air soufflé étant canalisé jusqu'aux cylindres R par le capotage. Par conséquent, il n'y a pas inconvénient à employer la disposition en V dans ce mode de refroidissement. Le fait d'avoir un moteur capoté diminue un peu la résistance à l'avancement, et les chances de pannes en cas de pluie.

D'autre part, cette disposition par escargot et ventilateur présente l'inconvénient de compliquer le moteur, d'augmenter le poids et les chances de pannes provenant du refroidissement par air (il peut y avoir, en effet, rupture du ventilateur, ou déclavetage, etc.). Et de plus, la puissance absorbée pour faire tourner le ventilateur est très sensible.

b. Sans ventilateur, mais avec un capotage spécial canalisant l'air sur les cylindres de façon à pouvoir également adopter la disposition de cylindres *en ligne* (exemple : moteur Sergant).

c. Lorsqu'on veut assurer le refroidissement de façon parfaite et uniforme sur tous les cylindres, sans employer aucun des moyens précédents, on refroidit les cylindres par courant d'air direct provenant de l'hélice et de la marche de l'avion. Mais dans ce cas, pour qu'il n'y ait pas de cylindres favorisés, il est indispensable de placer les cylindres répartis autour d'un même point. On a alors la disposition *en éventail* ou *en étoile*. Et dans ce cas, le moteur est entièrement à l'air libre (Anzani, Clerget, Le Rhône, « Jupiter » Gnôme et Rhône, etc.).

D'une façon générale, chaque fois qu'il s'agit du refroidissement par air, les cylindres sont munis *d'ailettes* (fig. 65). Celles-ci aug-

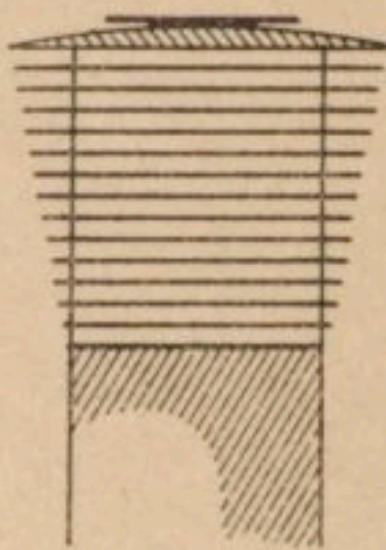


Fig. 65.

mentent la surface radiante du cylindre et, par conséquent, favorisent le refroidissement. Elles doivent être en plus grand nombre ou tout au moins de plus grandes dimensions autour de la chambre d'explosion et de la soupape d'échappement.

Dans les moteurs fixes, on fait les ailettes en fonte. Elles viennent de fonderie avec le corps de cylindre et sont très rugueuses. La fonte a un très bon pouvoir émissif. La rugosité des ailettes augmente

encore beaucoup le refroidissement, car elle augmente la surface de refroidissement. De plus, la couleur foncée de la fonte brute favorise beaucoup l'évacuation de la chaleur. Il faut donc bien se garder de polir les ailettes d'un cylindre à refroidissement par air sous prétexte de diminuer la résistance à l'avancement.

Dans les moteurs rotatifs, le refroidissement étant meilleur par suite de la rotation qui ajoute son effet à celui de la translation et, d'autre part, la force centrifuge exigeant des résistances très élevées pour les cylindres, ceux-ci, de même que les ailettes, sont en acier. Mais alors, *les ailettes sont polies* pour diminuer la résistance à l'avancement.

Actuellement, la majorité des moteurs à refroidissement par air sont des moteurs fixes en étoile.

Avantages et inconvénients du refroidissement par air (c). — Le fonctionnement est assuré d'une façon très simple. Donc pas de pannes en général à craindre de ce côté. Bien que les cylindres en fonte à ailettes soient lourds, on gagne cependant appréciablement du poids. Le moteur étant chaud rapidement, on peut partir assez vite. Il n'y a pas à s'inquiéter de faire le plein d'eau, donc gain de temps et pas de crainte de gelée en hiver.

D'un autre côté, et c'est là la grosse infériorité des moteurs à ailettes, ce refroidissement n'est pas très régulier. En effet, il dépend beaucoup de la température extérieure (hiver ou été), le moindre changement dans l'allumage ou la carburation susceptible d'augmenter la température risque d'amener un grippage, car on ne dispose d'aucun contrôle de la température et d'aucun organe de réglage. La partie *V* des cylindres refroidit toujours moins que la partie *R*, et, par conséquent, il y a des différences de dilatation et fatigue du métal. On risque l'ovalisation des cylindres et, par suite, une mauvaise étanchéité.

2° **Refroidissement par eau.** — Il peut être obtenu de plusieurs façons :

a. Par thermo-siphon. — On entoure tous les cylindres d'une enveloppe appelée *chemise d'eau* dans laquelle une certaine quantité d'eau s'échauffe au contact des parois et, par conséquent, diminue la chaleur des cylindres. L'eau chaude est ensuite dirigée, *par suite*

de sa faible densité, vers un radiateur muni à sa partie supérieure d'un petit réservoir d'eau (fig. 66). Elle s'y refroidit, descend par

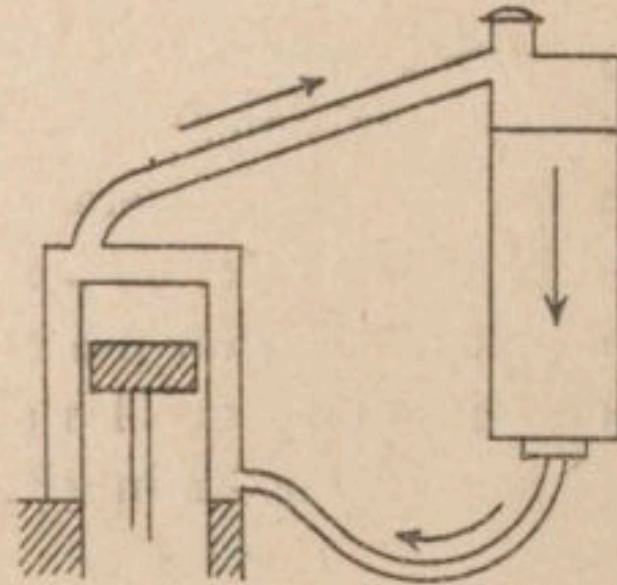


Fig. 66.

suite de son augmentation de densité et retourne au cylindre, *par la partie inférieure*. Le refroidissement exige, avec ce principe, une énorme quantité d'eau incompatible avec les moteurs employés en aviation, la circulation étant très lente.

b. Par pompe. — C'est le système employé presque uniquement à l'heure actuelle. Son fonctionnement est le suivant : Le

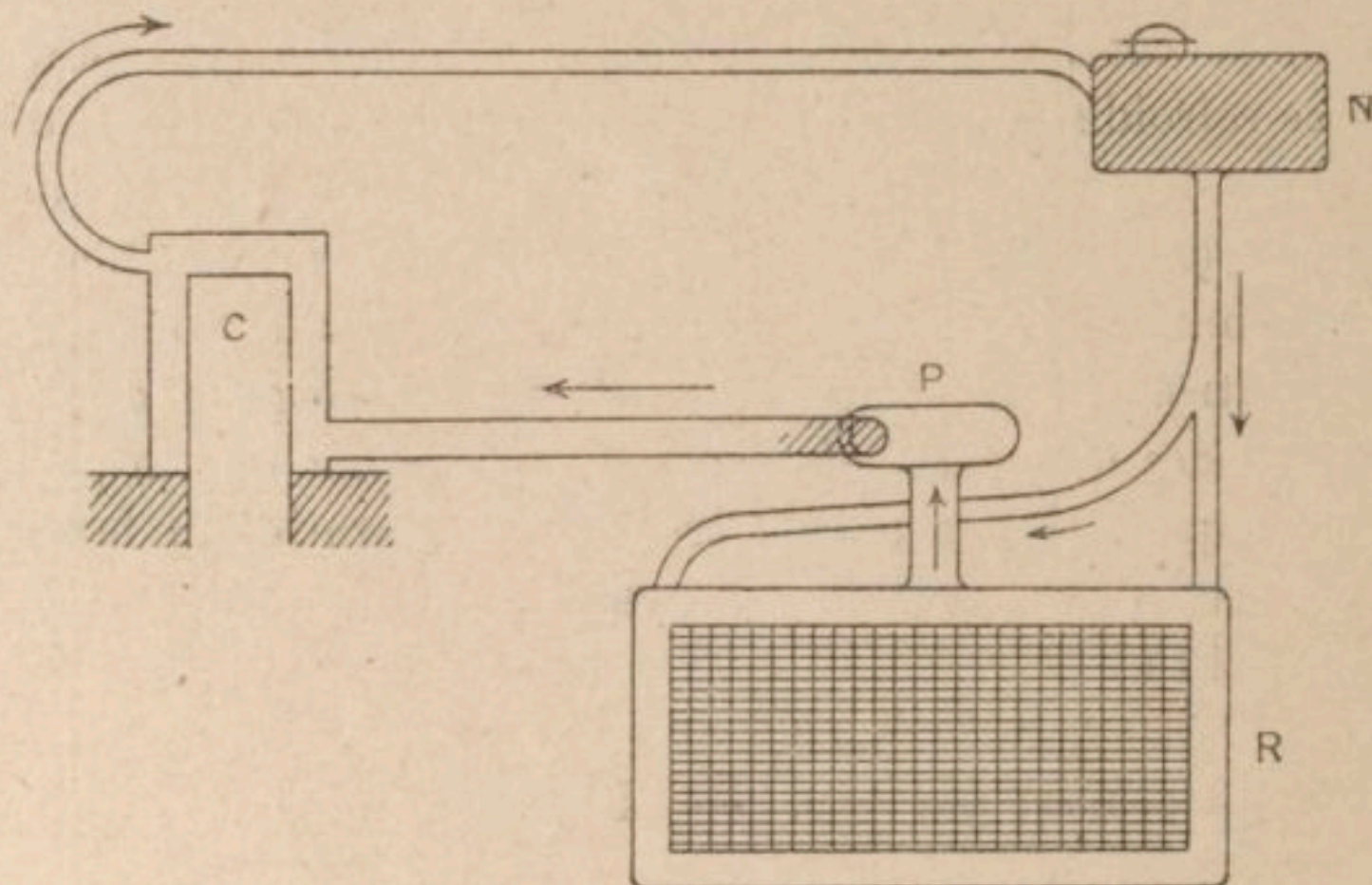


Fig. 67.

cylindre C est, comme tout à l'heure, entouré d'une chemise d'eau. La partie supérieure du cylindre est reliée par une canalisation à une nourrice d'eau N qui se trouve en charge sur un radiateur R.

Au-dessus du radiateur se trouve la pompe à eau P qui reprend l'eau refroidie venant de R et la renvoie au cylindre, à la partie inférieure. La circulation d'eau, grâce à la pompe, est beaucoup plus rapide que précédemment et le refroidissement mieux assuré avec une quantité d'eau relativement très faible.

Avantages et inconvénients du refroidissement par eau. — Le refroidissement est beaucoup plus régulier qu'avec l'air. Les cylindres étant entourés par l'eau, toutes les parties refroidissent de la même façon. Le refroidissement dépend beaucoup moins de la température extérieure et peut être réglé grâce aux *volets de radiateur*. On a ainsi le moyen de maintenir toujours la température de l'eau de façon à obtenir constamment le meilleur rendement. Cette température est généralement d'environ 75°. Mais, en pratique, on vole souvent vers 60 ou 65° (à ce sujet, voir « Instruments de bord »).

Le refroidissement par eau présente cependant aussi de gros inconvénients : poids sérieux en plus provenant de la pompe, des tuyauteries, du radiateur, de l'eau, etc. (environ 120 à 180^g d'eau par cheval). Risqués de pannes supplémentaires provenant du fonctionnement de la pompe, de son entraînement, de la plus ou moins bonne qualité des joints de tuyauteries. Les canalisations peuvent se boucher et, en particulier, le radiateur dont les tubes peuvent être *entartrés* très facilement si l'on a employé de l'eau calcaire. Celle-ci forme petit à petit un dépôt qui peut obstruer la circulation. Normalement, on devrait donc toujours prendre de l'eau bouillie, ou de l'eau de pluie, pour *faire le plein*. Celui-ci doit être fait avec grand soin et aussi complet que possible pour éviter les *poches d'air*. Lorsqu'une poche d'air se forme (c'est-à-dire que la circulation d'eau n'est plus établie sur tout le parcours régulièrement), il peut arriver qu'une partie d'un cylindre ne soit plus refroidie, et alors le thermomètre qui renseigne sur la température du moteur « s'affole » et saute entre des points extrêmes brusquement. Il est indispensable à ce moment d'arrêter le moteur si l'on veut éviter un grippage.

En hiver, on a l'inconvénient d'avoir un moteur long à chauffer, et le risque de voir l'eau geler dans les conduites en les faisant éclater, d'où la nécessité absolue de vidanger les réservoirs d'eau et les radiateurs à l'arrêt par grands froids. De toute façon, on introduit dans

l'eau une proportion d'environ 25 à 30 pour 100 de glycérine pour diminuer les chances de gel.

Pompes à eau. — Elles peuvent être de trois types différents :

- a. Centrifuges ;
- b. A engrenages ;
- c. A palettes.

Les deux dernières sont presque abandonnées, à cause de leur faible débit.

Tous les moteurs actuels ont une pompe *centrifuge* (fig. 68).

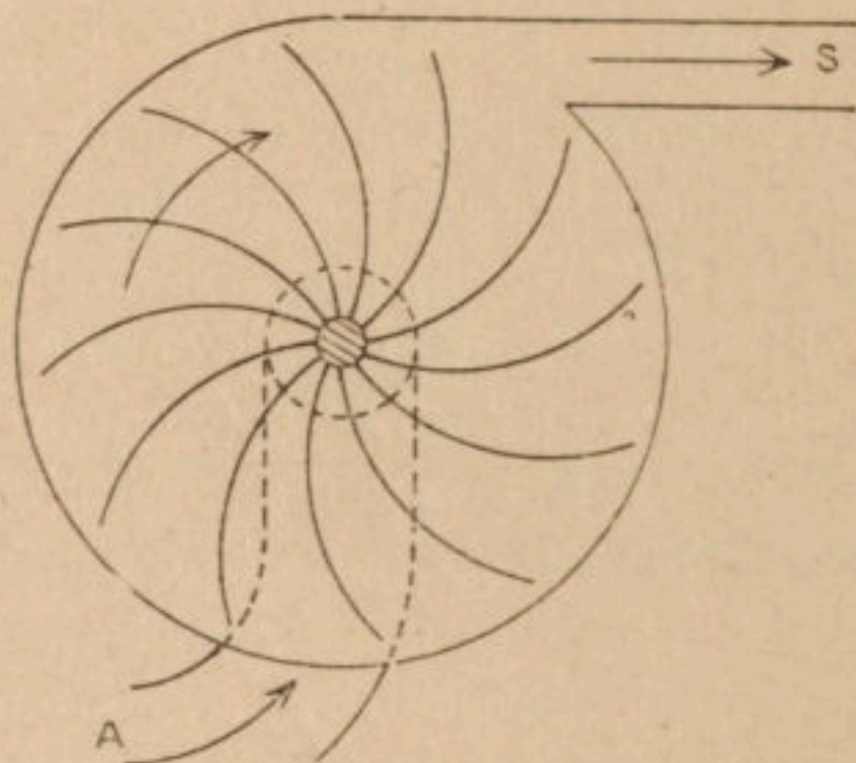


Fig. 68.

Dans ces pompes, l'arrivée d'eau se fait par le centre en A, et le départ par une canalisation S qui prend sur la périphérie. Au centre tourne une roue munie de palettes courbes, analogues aux *aubes* d'un navire à vapeur de modèle ancien. L'eau est chassée par la force centrifuge vers le pourtour par suite de la rotation des ailettes dans le sens de la flèche et sort par la périphérie. Pour éviter le désamorçage, il est prudent de mettre toujours en charge une certaine quantité d'eau sur la pompe. Les canalisations ne doivent présenter que le minimum de coudes nécessaire. Lorsque les coudes sont vers le bas, on risque des dépôts ; lorsqu'ils sont vers le haut, au contraire, on risque des poches d'air. Pour diminuer le plus possible les risques de pannes provenant de tuyauteries bouchées, on dispose au bouchon de remplissage du réservoir un filtre qui retient les impuretés.

Les pompes possèdent souvent une vitesse minimum possible, en dessous de laquelle elles n'assurent plus le fonctionnement, cette vitesse étant voisine du régime ralenti des moteurs. Pour cette raison, on les fait tourner, en général, plus vite que le moteur. Par exemple, sur le Salmson, la pompe tourne environ 1,5 fois plus vite que le vilebrequin.

Circulation de l'eau dans les radiateurs. — Dans certains radiateurs, l'extérieur forme une sorte de cadre creux. Des tubes analogues à AB (fig. 69) sont encastrés horizontalement de façon

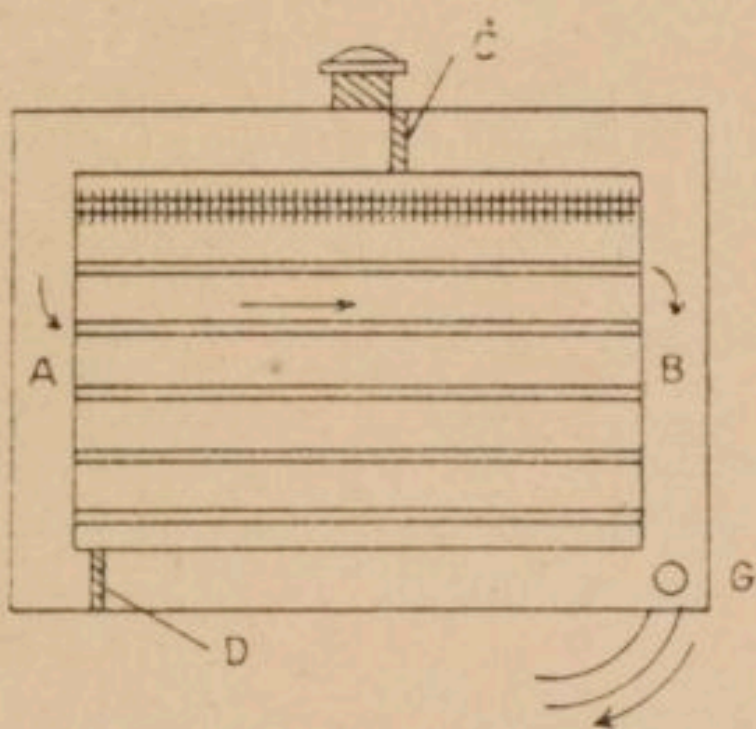


Fig. 69.

qu'une extrémité A reçoive l'eau qui entre au radiateur et que l'autre extrémité B déverse cette eau dans la partie opposée.

Des cloisons C et D empêchent l'eau de suivre un chemin différent. L'eau qui passe dans les tubes se refroidit bien par suite d'une quantité de petites ailettes dans lesquelles sont enfilés les tubes. L'eau retourne vers la pompe par une canalisation G.

Dans les radiateurs dits *nids d'abeilles*, le radiateur est constitué par un ensemble de petits tubes dont les deux extrémités ont été embouties en forme d'hexagone comme ci-après (fig. 70).

Tous ces tubes sont soudés les uns aux autres par les parties élargies et forment alors un ensemble représenté figure 71. Le radiateur étant constitué avance dans le sens de la flèche F. L'air circule dans tous les tubes d'un bout à l'autre. L'eau circule dans tous les espaces qui restent libres entre les parties cylindriques des tubes. Vu de face, le radiateur a l'aspect de la figure 72.

Les tubes peuvent être en cuivre ou en laiton.

On a cherché à diminuer la résistance à l'avancement des radiateurs pour pouvoir augmenter sensiblement la vitesse des avions.

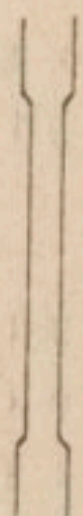


Fig. 70.

On a alors fabriqué les radiateurs à lames (par exemple, les radiateurs Lamblin).

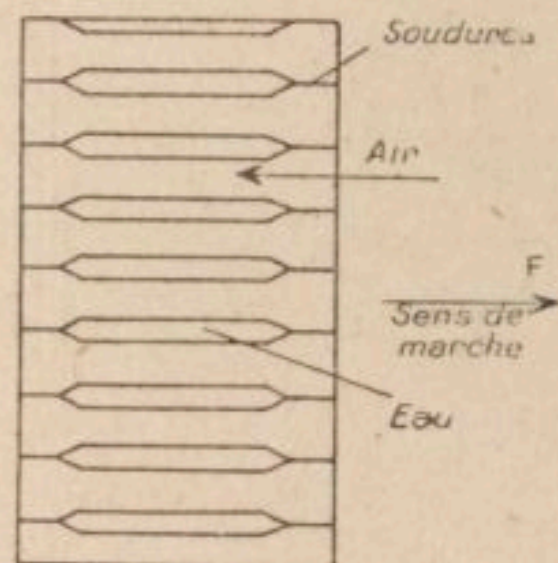


Fig. 71.

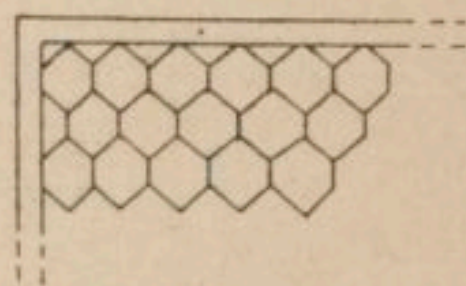


Fig. 72.

Le cadre extérieur a été réduit et, vu de face, le radiateur se présente comme ci-dessous (fig. 73). Vu de profil, on voit deux collec-

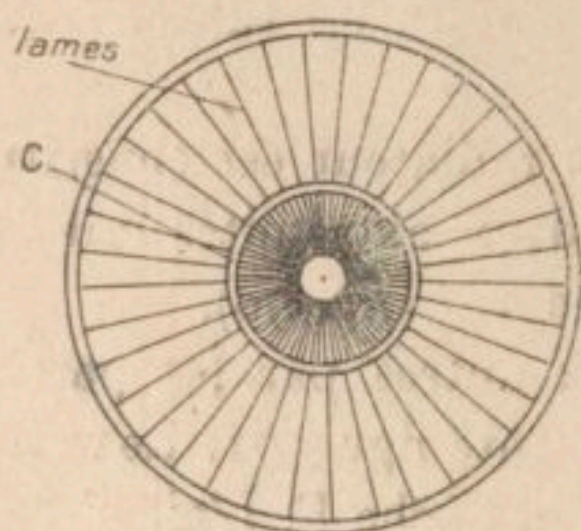


Fig. 73.

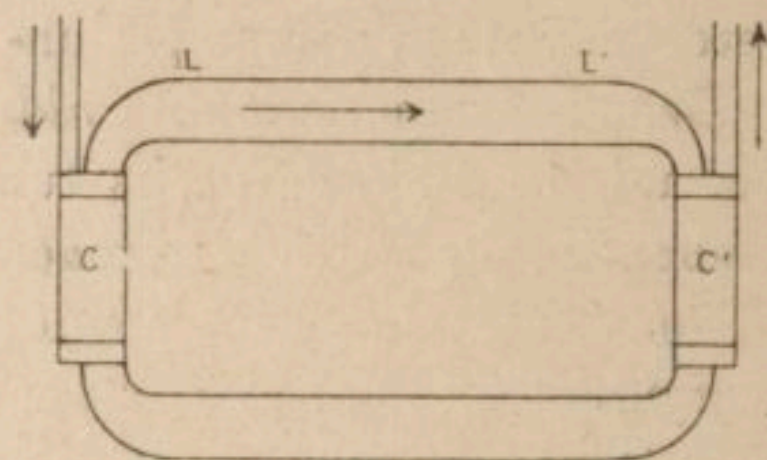


Fig. 73 bis.

teurs C et C' sur lesquels sont soudées les lames creuses LL' (fig. 73bis). L'eau passe alors dans les lames, et l'air tout autour. Les radiateurs peuvent d'ailleurs être à lames sans être de la forme ci-contre. C'est

ainsi que pour le *refroidissement de l'huile* des moteurs, on donne souvent au fond du carter inférieur la forme d'un radiateur à lames (fig. 74). On s'arrange souvent également pour disposer le réservoir

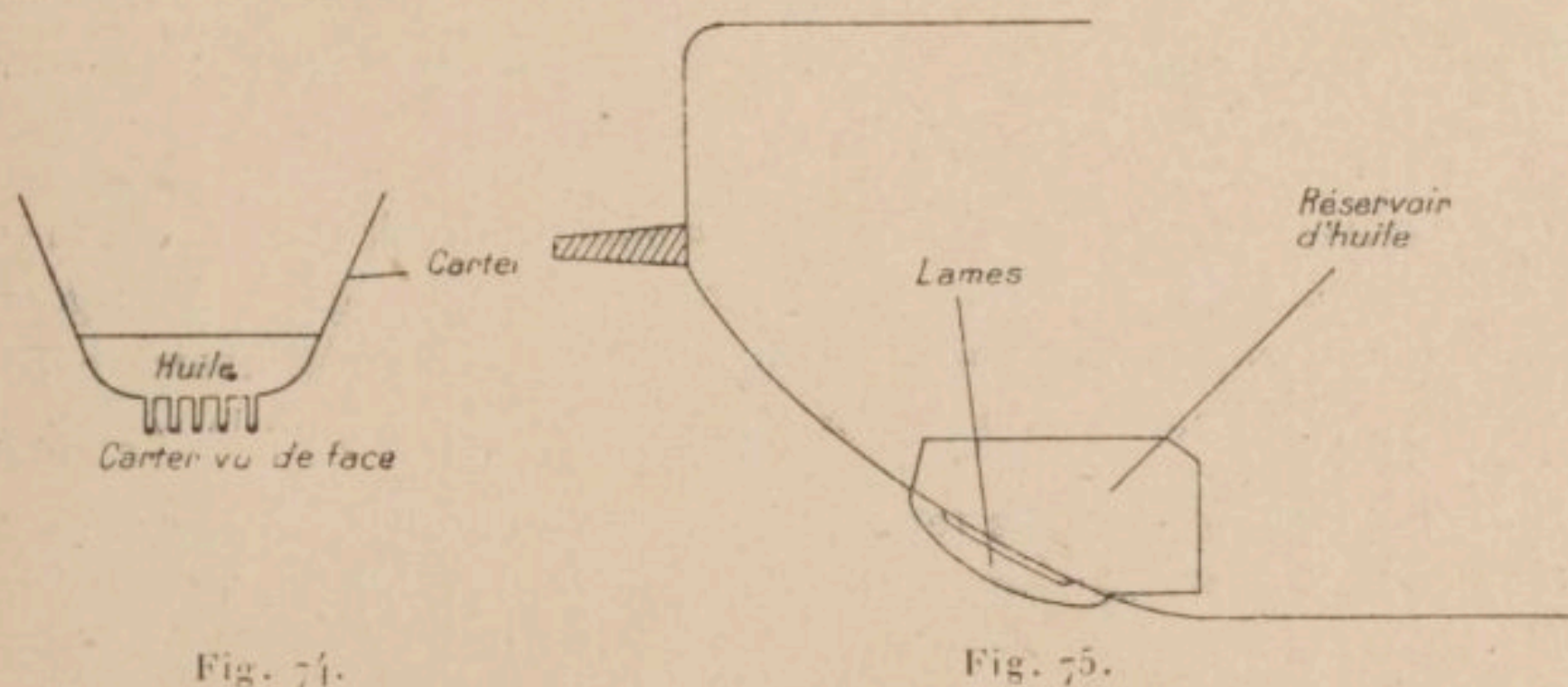


Fig. 74.

Fig. 75.

d'huile à la partie inférieure et à l'*v* du fuselage de façon à pouvoir refroidir l'huile en donnant au réservoir lui-même la forme d'un radiateur à lames. C'est ce qu'on a fait, par exemple, sur le Nieuport 29 C-1 (fig. 75).

Remarque. — Le refroidissement par eau est, en somme, un refroidissement à la fois par eau et par air puisque l'eau réchauffée par les cylindres est elle-même refroidie par l'air dans le radiateur.

VI. — LES PANNES.

Nous verrons successivement :

- 1^o Les pannes provenant de la distribution;
- 2^o Les pannes provenant de la carburation;
- 3^o Les pannes provenant de l'allumage;
- 4^o Les pannes provenant du graissage;
- 5^o Les pannes provenant du refroidissement;
- 6^o Pannes diverses.

1^o **Pannes provenant de la distribution.** — Si l'on constate que toute la distribution est dérégulée de la même quantité, c'est qu'il y a eu mauvais remontage de l'arbre à cames ou des arbres à

comes qui sont alors décalés d'un certain nombre de degrés par rapport à leurs positions normales (démonter et remonter convenablement).

Le mauvais réglage des tiges de culbuteurs a également un effet marqué sur la marche du moteur. Les tiges peuvent être trop longues ou trop courtes.

a. Trop longues. — *Admission fermant mal* : Mauvaise compression et risque d'incendie par retour de flammes (refaire le réglage des tiges).

Échappement fermant mal : Mauvaise aspiration. Mauvaise compression. Explosions dans le pot d'échappement (refaire le réglage).

b. Trop courtes. — Les temps d'admission ou d'échappement sont trop courts, donc mauvais rendement (refaire le réglage).

Lorsqu'il y a des *GRAINS de culbuteurs* (fig. 76), leur réglage peut

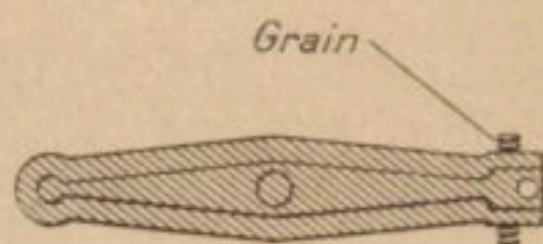


Fig. 76.

également être déficient et présenter les mêmes inconvénients que la mauvaise longueur des tiges.

Pour tous les jeux à laisser entre les tiges et les culbuteurs, ou entre les queues de soupapes et les grains, ou pour le réglage des avances et retards des soupapes, se reporter aux notices des constructeurs.

Les tiges de culbuteurs peuvent être également grippées dans leurs guides.

2^o **Pannes provenant de la carburation.** — Il peut y avoir plusieurs cas :

A. *L'essence ne sort pas aux gicleurs.*

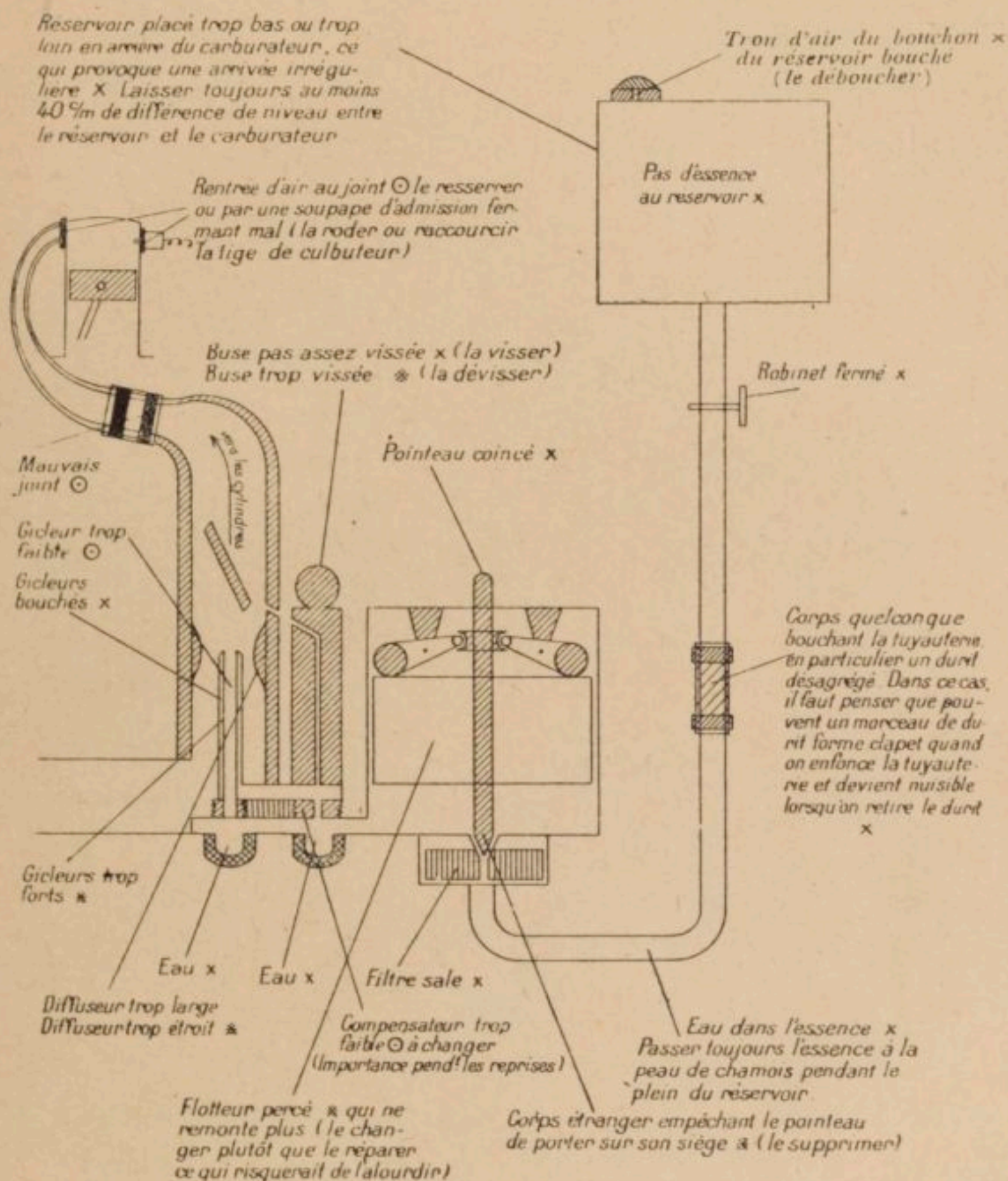
Consulter alors sur le tableau C ci-contre, pannes ×.

B. *Il y a des explosions au carburateur.*

Consulter alors sur le tableau C ci-contre, pannes ⊙.

C. Il y a excès d'essence.

Consulter alors sur le tableau C ci-dessous, pannes :|:.



Ta bleau C.

3^o Pannes provenant de l'allumage. — Il peut se présenter trois cas principaux :

A. Il y a des étincelles au secondaire, mais pas aux bougies.

Conclusion. — La panne ne provient donc pas de la magnéto : Chercher alors sur le reste du circuit; consulter alors sur le tableau A, pannes x.

B. Il n'y a pas d'étincelle au secondaire.

Conclusion. — La panne provient de la magnéto : Chercher sur le tableau A pannes ⊙.

C. On ne peut plus arrêter le moteur par le contact : Chercher sur le tableau A, pannes :|:.

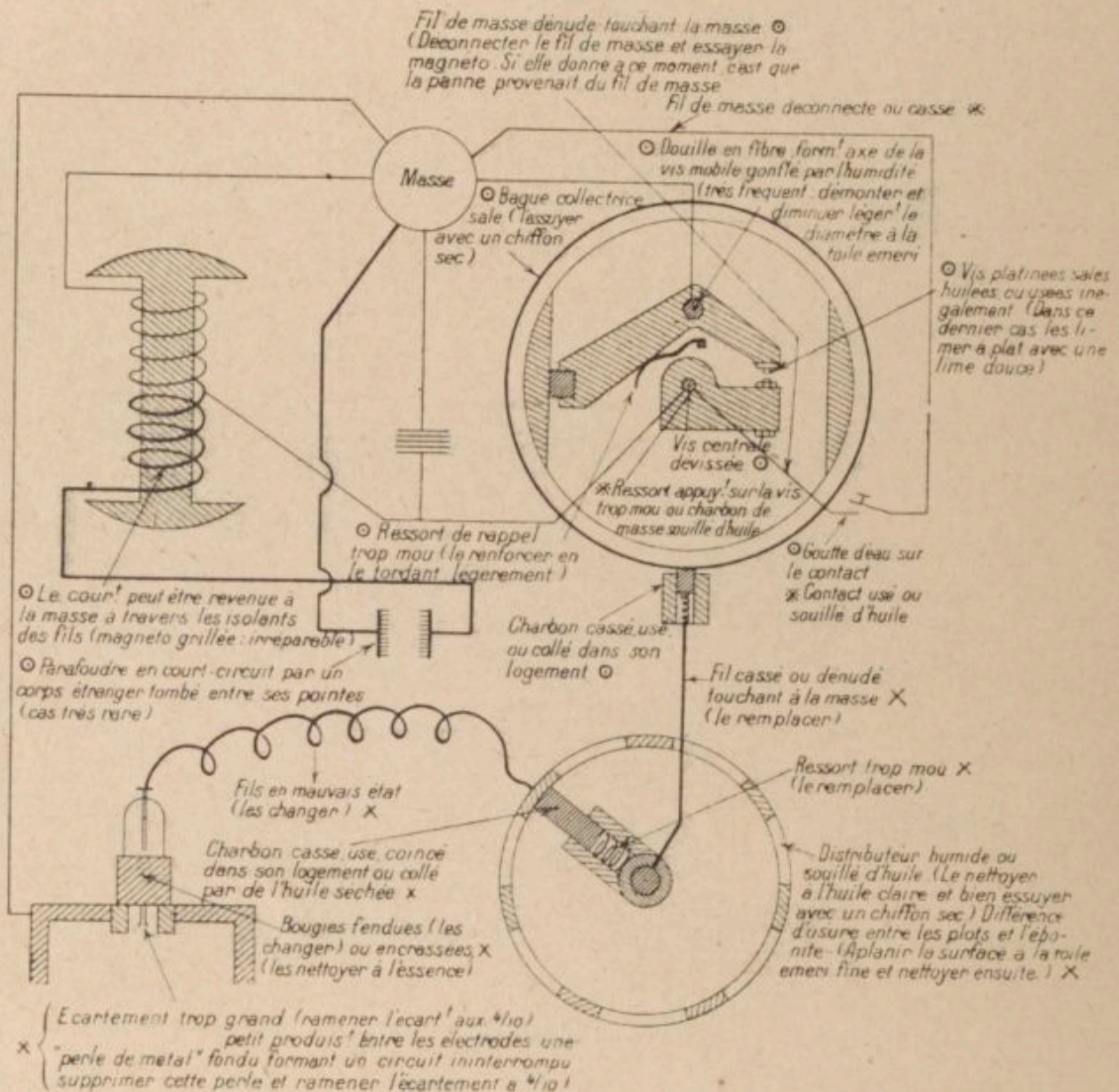


Tableau A.

4° Pannes provenant du graissage. — Il peut se présenter trois cas principaux. Pour chacun d'eux on risque le grippage.

A. Il y a absence complète de graissage : Consulter alors sur le tableau G, pannes X.

B. *Il y a mauvais graissage* : Consulter alors sur le tableau G pannes ⊙.

C. *Il y a des pertes d'huile* : Consulter alors sur le tableau G pannes ⊗.

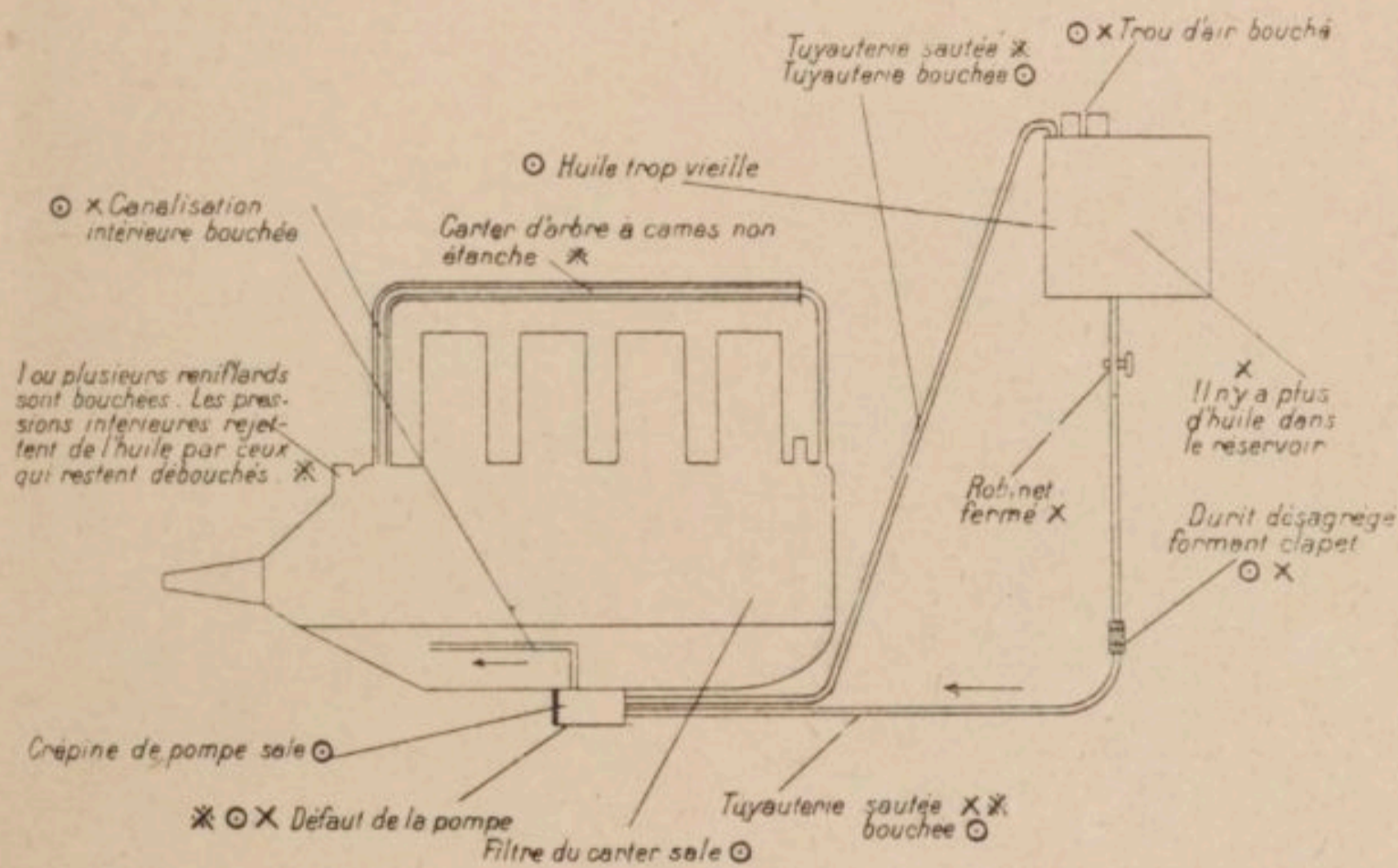


Tableau G.

5^o **Pannes provenant du refroidissement.** — Le refroidissement pouvant être assuré soit par ailettes, soit par circulation d'eau, il faut envisager les deux cas.

Dans le cas du refroidissement par air, on place parfois en hiver de petites tôles entourant une partie de certains cylindres. L'air aspiré par le carburateur se dirige vers celui-ci en passant entre ces tôles et les cylindres où il se réchauffe. Il peut se faire qu'en été on ait oublié d'enlever les réchauffeurs. Par suite, le moteur chauffe, résiste et peut gripper.

Les ailettes peuvent également avoir été construites pour un bon refroidissement en hiver et se trouver insuffisantes pour l'été.

Dans le cas du refroidissement par eau, consulter le tableau R.

Il peut se produire deux cas principaux :

A. *La circulation ne se fait pas du tout* : Consulter alors sur le tableau R pannes ×.

B. La circulation existe, mais le moteur refroidit mal, ou chauffe progressivement, ou brusquement : Consulter alors sur le tableau R pannes ⊙.

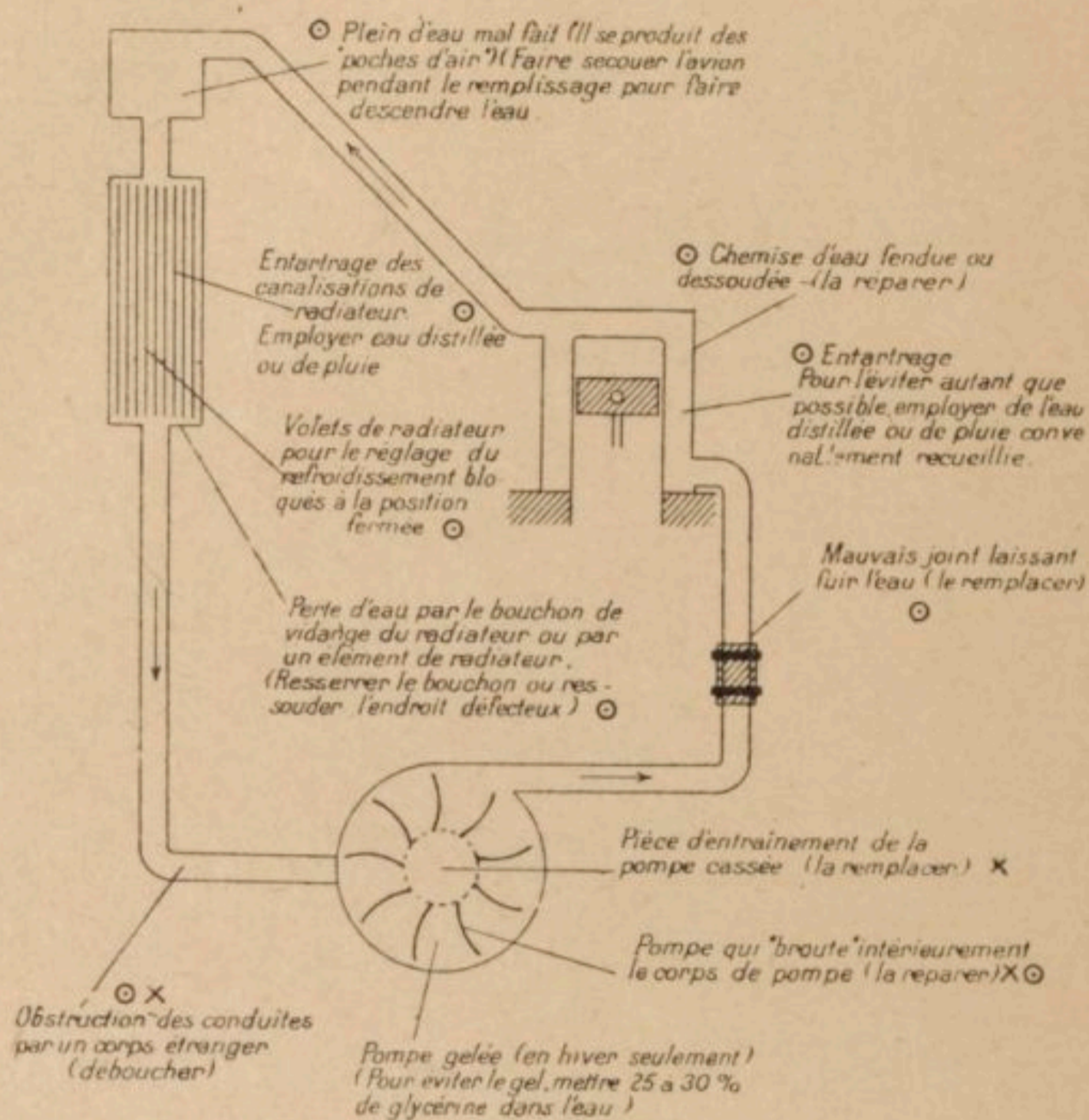


Tableau R.

6° Pannes diverses. — Segments collés à fond de gorge par de l'huile brûlée ou ayant tous leurs fentes du même côté (on les dégomme en introduisant un peu de pétrole dans les cylindres).

Pièce cassée (arbre, transmission, ressort, soupape, pignon, etc.).

Piston crevé.

Cylindre ovalisé par l'effort du piston.

Fuite d'eau dans un cylindre (dans ce cas, on voit de l'eau à l'échappement).

Recherche des pannes. — La question des pannes comprend trois phases :

1° On constate une anomalie;

- 2° On diagnostique suivant l'anomalie constatée;
 3° On remédie au défaut constaté.

Nous allons voir les différentes anomalies que l'on peut observer le plus fréquemment.

A. *Le moteur refuse de fonctionner.*

Se rendre compte alors s'il paraît normal à tourner à la main.

a. *S'il est normal.*

Diagnostic. — Défaut d'allumage (consulter tableau A, pannes × et ⊙); défaut de carburation (consulter tableau C, pannes ×); erreur dans la distribution (après un remontage) (*voir* les pannes de distribution).

b. *S'il est dur à tourner.*

Diagnostic. — Arbre grippé (consulter tableau G, pannes × et ⊙); arbre grippé (chercher quelle est la pièce grippée); segments collés, gommés (*voir* pannes diverses, dégommer avec du pétrole); pièce cassée (engrenages, arbres, pignons-ressorts de soupape, etc.) (la changer).

En hiver : gel dans la circulation d'eau (consulter tableau R) (panne de la pompe).

c. *S'il n'y a pas de compression dans certains cylindres.*

Diagnostic. — Consulter « pannes diverses », et de plus, il peut y avoir : joint qui fuit (bougies, par exemple), tige de soupape grippée dans son guide (consulter tableau G, pannes × et ⊙).

B. *Le moteur part, mais s'arrête après quelques tours.*

Diagnostic. — Défaut de carburation (consulter tableau C, pannes ×); défaut d'allumage (consulter tableau A, pannes × et ⊙).

C. *Le moteur donne des retours au départ.*

1° *Avec un moteur froid :*

Diagnostic. — Trop d'avance à l'allumage (la diminuer);

2° *Avec un moteur chaud :*

Diagnostic. — Trop d'avance à l'allumage ou auto-allumage (les gaz s'enflamment spontanément par suite de la trop grande température des chambres d'explosion).

D. *Le moteur cogne.*

- 1^o *Bruit constant ;*
- 2^o *Au ralenti surtout ;*
- 3^o *Bruit intermittent.*

Diagnostic. — 1^o Jeu aux têtes ou aux pieds de bielles (moteur à reviser); 2^o excès d'avance à l'allumage; 3^o augmentation brusque de la compression par suite d'un dépôt dans le cylindre des résidus de la combustion (cylindres et pistons à nettoyer).

E. *Le moteur a des ratés.*

Ceux-ci peuvent être de deux sortes :

a. *Ratés bruyants.* — Ce sont les plus fréquents.

Diagnostic. — *Défaut d'allumage :* Les gaz non enflammés dans les cylindres explosent à l'échappement au contact des gaz brûlés des autres cylindres. Les ratés peuvent être alors : 1^o intermittents; 2^o permanents.

1^o *Ratés intermittents. Diagnostic.* — Les fils de bougie, ou le fil de masse, ou le fil amenant le secondaire au distributeur peuvent être dénudés et toucher à la masse de temps à autre sous l'effet des vibrations. Vérifier aussi l'état du charbon du distributeur (il peut être cassé, les deux parties viennent en contact de temps à autre), les bougies, et le distributeur qui peut être sale.

2^o *Ratés permanents.* — Consulter sur le tableau A les causes pouvant produire un allumage défectueux dans un cylindre en particulier, pannes X.

Pour trouver pendant que le moteur tourne le ou les cylindres qui ne donnent pas, mettre directement à la masse la ou les bougies de chaque cylindre, successivement, au moyen d'un ou de deux tournevis. Lorsque le son du moteur change, c'est que le cylindre sur lequel on opère donne. Dans le cas où l'on se trouve sur le cylindre défectueux, la puissance ne baisse aucunement. Il n'y a donc pas allumage (changer alors les bougies ou les fils de bougie).

Les ratés bruyants peuvent provenir aussi d'une soupape d'échappement qui ferme mal. Les gaz sont chassés pendant la compression et explosent à l'intérieur.

b. Ratés silencieux.— Ils peuvent également être intermittents ou permanents. Ils sont le plus souvent permanents.

Diagnostic. — Absence totale de carburation dans certains cylindres pouvant provenir d'une soupape d'admission qui ne s'ouvre plus, ou d'une tubulure bouchée. Si c'est un moteur en V ayant, par exemple, un carburateur par rangée de cylindres, consulter les pannes × du tableau C pour la rangée de cylindres défectueux.

F. Le thermomètre monte progressivement.

Diagnostic. — Défaut de refroidissement (consulter tableau R, pannes ⊙); défaut de graissage (consulter tableau G, pannes ⊙); défaut de carburation (consulter tableau G, pannes ⊙ et :|:).

G. Le thermomètre monte brusquement.

Diagnostic. — Défaut de refroidissement (création de « poches d'air », voir tableau R); défaut de graissage (consulter tableau G, pannes ×).

H. Le thermomètre tombe brusquement à zéro.

Diagnostic. — Le tube du thermomètre s'est détaché (dans ce cas, atterrir dès que possible pour réparer).

I. Il y a des claquements à l'échappement.

Diagnostic. — Défaut d'allumage dans certains cylindres (se reporter aux ratés bruyants vus précédemment; excès d'essence (consulter le tableau C, pannes :|:); si l'excès est plus accentué, on a des fumées noires.

J. Le moteur ne donne pas sa puissance.

Diagnostic. — Défaut d'allumage (consulter tableau A, pannes × et ⊙. Ces causes de pannes peuvent, en effet, produire un manque total d'allumage ou un allumage défectueux). De plus, avance trop faible. Défaut de carburation (consulter sur le tableau C les pannes

⊙ et ∴ pouvant produire une carburation défectueuse, manque ou excès d'essence). Erreur dans la distribution (après un remontage), par exemple, avance à l'échappement trop faible ou trop forte. Défaut de refroidissement (consulter tableau R, pannes ⊙). Ce manque de refroidissement provoque une augmentation du frottement). Défaut de graissage (consulter tableau G, pannes ⊙). Défaut au pot d'échappement : pot trop petit ou encrassé. Les gaz ne peuvent plus sortir assez librement.

K. *Le moteur s'arrête brusquement en l'air.*

Diagnostic. — Défaut total d'allumage (consulter tableau A, pannes × et ⊙); défaut total de carburation (consulter tableau C, pannes ×).

L. *Il y a auto-allumage.*

Diagnostic. — *Trop de compression* : Ceci peut se produire brusquement par suite de la formation dans le cylindre d'un dépôt de résidus de la combustion.

Trop grande température.

M. *Il y a du retour au carburateur.*

Diagnostic. — Défaut de carburation (manque d'essence ou excès d'air. Consulter tableau C, pannes ⊙). Mauvais joints à l'aspiration ou aux bougies. Mauvais réglage de la distribution (voir pannes de distribution).

N. *Le moteur s'arrête et repart.*

Diagnostic. — Défaut d'allumage intermittent (consulter tableau A, pannes susceptibles de se produire par intervalles). Défaut de carburation (consulter tableau C, pannes ×).

VII. — ENTRETIEN ET RÉGLAGE.

Les points principaux à entretenir sont :

Carburation. — Filtre du carburateur (faire toujours le plein avec une peau de chamois); tuyaux d'évacuation du trop plein d'essence au carburateur; joints des pipes d'admission.

Allumage. — Propreté des distributeurs et des vis platinées; état du charbon du distributeur et de son ressort; état de conservation des fils de bougie et de leurs attaches aux bougies; état des bougies (propreté, écartement des électrodes); écartement des vis platinées.

Graissage. — Vérifier toujours avant les vols s'il y a assez d'huile au carter et au réservoir; changer complètement l'huile au bout d'environ 10 heures de marche; nettoyer la crépine de pompe à huile toutes les 4 ou 5 heures. Quand le moteur est démonté pour révision (toutes les 50 heures environ), nettoyer les canalisations intérieures, filtrer toujours l'huile pendant le remplissage.

Refroidissement. — Faire le plein d'eau avec de l'eau bouillie autant que possible. En hiver, mélanger 25 à 30 pour 100 de glycérine. Lorsque le froid est vif, vidanger tous les soirs le radiateur.

Pour le réglage du moteur. — Suivre en tous points les instructions données par les constructeurs dans les notices.

a. Distribution. — Laisser les jeux indiqués : par exemple, $\frac{29}{100}$ de millimètre à l'admission entre les poussoirs et les queues de soupapes, le moteur étant froid. D'autre part, régler les arbres à cames pour obtenir les avances et retards indiqués pour les soupapes.

b. Carburation. — On donne, par exemple, comme indications :
Diffuseur : 42 (diamètre en millimètres);
Gicleur : 190 (diamètre en centièmes de millimètre);
Compensateur : 200 (diamètre en centièmes de millimètre).

c. Allumage. — On donne, par exemple : avance = 22° .

d. Graissage. — Les pompes doivent donner, par exemple : $4k_p$ au centimètre carré.

Remarque. — Les notices indiquant également le régime du moteur, le réglage doit donner un régime très voisin de celui indiqué. Sinon rechercher les causes de manque de puissance.

ADDITIF AU COURS PROPREMENT DIT.

Avance à l'allumage. — Théoriquement, il faudrait donner de plus en plus d'avance à mesure que la vitesse de rotation augmente.

Mais on a remarqué que la magnéto donnait automatiquement une augmentation d'avance à l'allumage quand le régime augmentait. En effet, la tension du courant secondaire est d'autant plus accentuée que la vitesse est plus grande. La chaleur de l'étincelle augmente alors et l'explosion est plus rapide. Cette particularité améliore la souplesse du moteur. Cependant, si l'on veut obtenir de plus grands écarts de réglage, il est nécessaire de pouvoir faire varier à volonté l'avance *pendant la marche*. Il existe pour cela plusieurs principes :

1^o *Changer la position des bossages du rupteur par rapport à l'induit, ce qui change le moment de la rupture, donc l'allumage;*

2^o *Changer la position des inducteurs par rapport au pignon d'entraînement de la magnéto, ce qui entraîne en même temps un changement de position des bossages par rapport à l'induit;*

3^o *Changer la position de l'induit par rapport au pignon d'entraînement de magnéto, ce qui modifie également la rupture.*

Premier principe. — La pièce qui porte les bossages est mobile autour d'un axe qui coïncide avec celui du rupteur (*fig. 77*). Une patte M

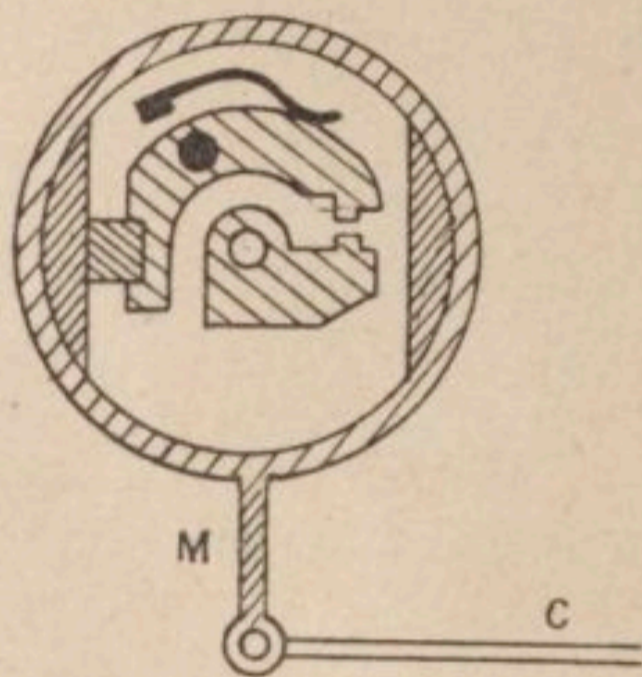


Fig. 77.

entraîne les bossages et les fait osciller lorsqu'on agit sur la commande C. La rupture est donc plus ou moins avancée et peut varier à volonté. Mais ce principe n'est pas excellent. En effet, la rupture se produit alors *lorsque l'induit n'est pas dans la position donnant le maximum de variation de flux embrassé par les spires, donc le maximum de primaire*. Le rendement n'est donc pas parfait.

Deuxième principe. — La magnéto repose alors, en général, sur une

base semi-circulaire et se trouve bloquée sur la partie correspondante du moteur au moyen d'une bride (fig. 78). Pour changer l'avance à l'allumage, on desserre la bride et l'on fait osciller la magnéto pour l'amener, par exemple, dans la position de la figure 79. Le rupteur

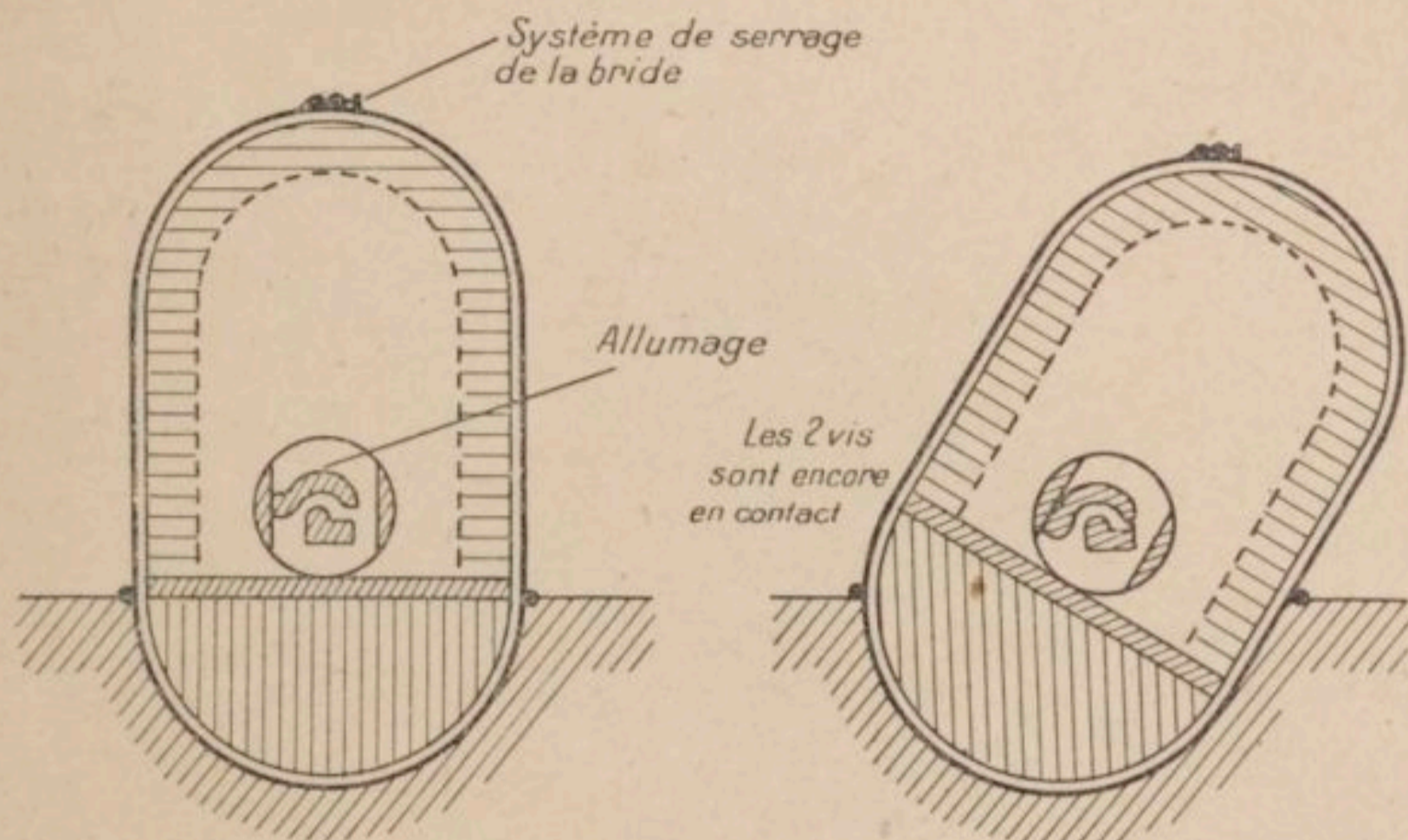


Fig. 78.

Fig. 79. — « Retard à l'allumage ».

qui se trouvait en position d'allumage à la figure 78, devra donc tourner encore d'un certain nombre de degrés pour se trouver de nouveau à la rupture dans la position 2 puisque les bossages ont tourné avec la masse de la magnéto. Ce principe a l'avantage de faire varier l'avance en gardant toujours un *rendement maximum* pour l'étincelle puisque *l'induit se trouve forcément dans sa bonne position au moment de la rupture*. Mais, d'une façon générale, ce système n'est pas encore appliqué pendant la marche.

Troisième principe (fig. 80). — Le mouvement est transmis à la magnéto par un pignon P portant un cylindre sur lequel a été tournée une vis à très grand pas. Le cylindre est entouré par un manchon hélicoïdal qui s'emboîte exactement sur la vis, et qui porte tout autour une sorte de couronne extérieure. Une pièce, sorte de fourchette F, permet de déplacer le manchon d'R en R ou inversement. Pendant ce mouvement, le manchon exécute, par conséquent, un mouvement de rotation. A l'extrémité du manchon s'encastre une pièce M qui est fixée sur l'induit et qui lui donne son mouvement. La distance entre la partie M et le pignon P est invariable. Le manchon,

lorsqu'il est déplacé par la fourchette, s'emboîte plus ou moins profondément sur M, pendant qu'il la fait tourner.

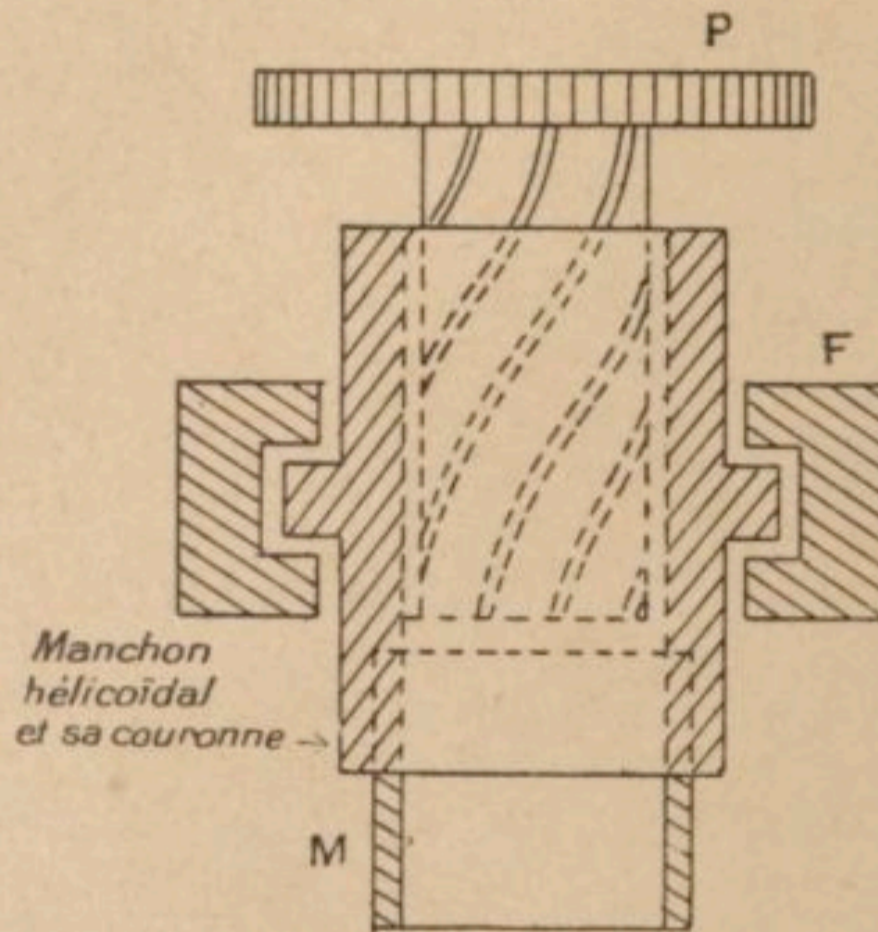


Fig. 80.

Avec ce principe, on a donc également un rendement maximum pour l'étincelle puisque la rupture se produit toujours dans une position favorable de l'induit. Ce système est appliqué sur beaucoup de moteurs et permet le réglage de l'avance pendant la marche.

Magnéto à volets tournants. — Dans ce type de magnéto, l'induit est fixé dans la position verticale.

Sa position est invariable. Deux volets en fer doux, diamétralement opposés, et ayant la forme circulaire, tournent autour de l'induit, entre celui-ci et les masses polaires.

Dans les positions des figures 81, 83, 85, 87, le flux magnétique passe d'un pôle à l'autre en se servant des volets et traverse complètement l'induit. D'où *maximum possible de lignes de forces embrassées*. (Le trait pointillé indique le parcours du flux.)

Dans les positions 82, 84, 86, 88, le flux magnétique passe d'un pôle à l'autre par les volets *sans traverser l'induit*. D'où *minimum possible des lignes de force embrassées*.

Comme pour la magnéto à induit tournant, c'est à ce moment que le courant induit primaire devient maximum. On aura donc pour un seul tour de volets quatre étincelles au lieu de deux.

L'avantage de ces magnétos, qui sont d'ailleurs constituées exac-

tement d'après les mêmes principes que les autres, réside dans la possibilité de les faire tourner deux fois moins vite que les magnétos

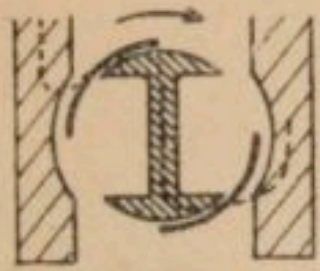


Fig. 81.

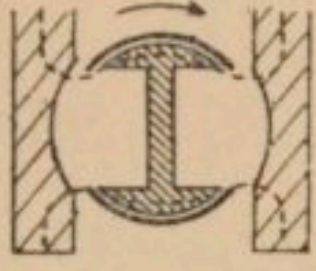


Fig. 82.

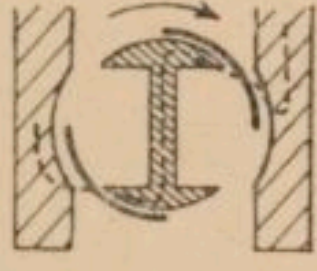


Fig. 83.

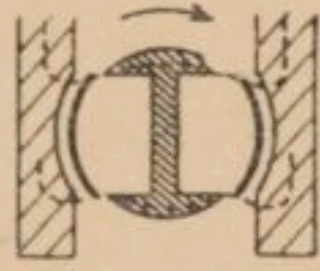


Fig. 84.

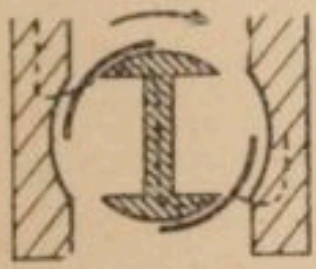


Fig. 85.

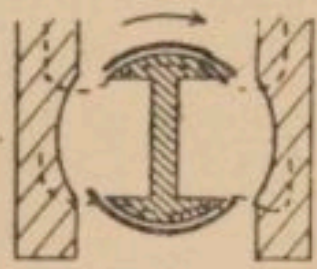


Fig. 86.

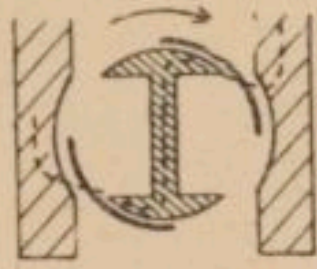


Fig. 87.

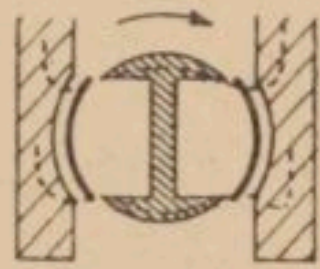


Fig. 88.

à induit tournant, pour un même moteur. Ainsi, une magnéto à volets tournants, alimentant un moteur à 8 cylindres en V Renault, tournerait à la même vitesse que le vilebrequin.

Ordre d'allumage des cylindres d'un moteur. — Comme base de l'ordre d'allumage des cylindres, on considère :

- 1^o La recherche d'une bonne régularité dans les explosions;
- 2^o La recherche d'un bon équilibrage;
- 3^o La recherche d'une bonne carburation.

L'ensemble de ces considérations conduit aux ordres suivants :

a. *Moteur à 4 cylindres en ligne* (fig. 89). — Les cylindres sont

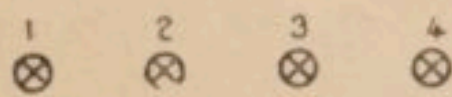


Fig. 89.

numérotés dans l'ordre normal et s'allument, en général, suivant les deux ordres suivants : soit 1, 2, 4, 3; soit 1, 3, 4, 2.

Ce dernier ordre est préférable pour la carburation.

b. *Moteur à 8 cylindres en V* (fig. 90). — Les cylindres sont numérotés comme l'indique la figure.

Pour se rappeler l'ordre d'allumage, il suffit d'ajouter 4 à chaque numéro de cylindre du moteur à 4 cylindres en ligne.

Si l'on prend le premier ordre : 1, 2, 4, 3, en ajoutant 4 à chaque

numéro, on obtient l'ordre 5, 6, 8, 7, qui représente l'allumage de la deuxième rangée du cylindre.

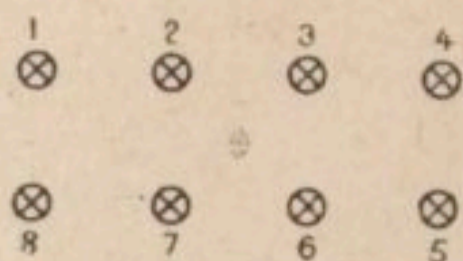


Fig. 90.

Comme on doit faire allumer pour l'équilibrage du moteur, chaque rangée l'une après l'autre, on obtient l'ordre 1, 5, 2, 6, 4, 8, 3, 7.

c. Moteur à 6 cylindres en ligne (fig. 91). — Les cylindres sont

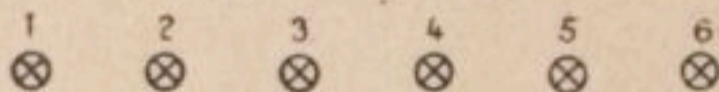


Fig. 91.

numérotés comme l'indique la figure et s'allument, en général, suivant les deux ordres suivants :

Soit 1, 5, 3, 6, 2, 4 (cas le plus fréquent);

Soit 1, 3, 5, 6, 4, 2.

d. Moteur à 12 cylindres en V (fig. 92). — Les cylindres sont

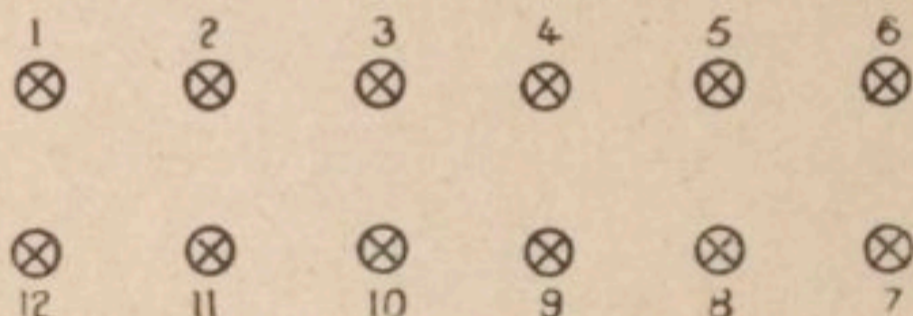


Fig. 92.

numérotés comme l'indique la figure.

Pour se rappeler l'ordre d'allumage, il suffit d'ajouter 6 à chaque numéro de cylindre du moteur à 6 cylindres en ligne.

Si l'on prend le premier ordre 1, 5, 3, 6, 2, 4, en ajoutant 6 à chaque numéro, on obtient l'ordre suivant : 7, 11, 9, 12, 8, 10, qui représente l'allumage de la deuxième rangée de cylindres. Comme on doit faire allumer, pour l'équilibrage du moteur, chaque rangée l'une après l'autre, on obtient l'ordre 1, 7, 5, 11, 3, 9, 6, 12, 2, 8, 4, 10.

En prenant le second ordre du 6 cylindres, on obtiendrait un second ordre d'allumage du 12 cylindres en V.

e. *Moteur en étoile fixe, ou rotatif, avec un seul coude.* — Dans ce cas, tous les cylindres sont sur un même plan perpendiculaire à l'axe du moteur. *Le nombre de cylindres est impair.* En effet, si le nombre était pair, on pourrait faire allumer tous les cylindres les uns après les autres dans leur ordre naturel, mais alors, au bout d'un tour, *tous auraient explosé*, ce qui est contraire au cycle à 4 temps. En faisant allumer un cylindre sur deux, *ce seraient toujours les mêmes qui exploseraient.* Donc, c'est impossible. Avec un nombre impair, au contraire, en faisant allumer les cylindres un sur deux, au bout de deux tours, *tous ont explosé et le cycle est complet.* L'ordre d'allumage pour un rotatif, par exemple, à 9 cylindres (le Rhône), sera 1, 3, 5, 7, 9, 2, 4, 6, 8, les cylindres étant numérotés dans l'ordre normal de la figure ci-dessous (fig. 93).

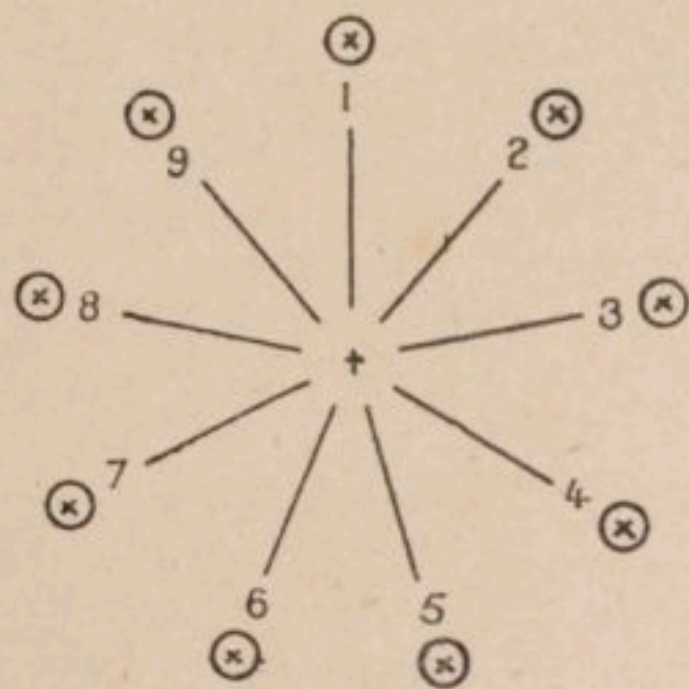


Fig. 93.

Pour un moteur fixe disposé d'une façon semblable comme le Salmson 260 HP, par exemple, l'ordre est exactement le même.

j. *Moteur en étoile, avec deux manetons.* — Dans ce cas, on a un nombre de cylindres pair, à condition que ce nombre soit le double d'un nombre impair.

Les cylindres sont alors groupés sur deux plans perpendiculaires à l'axe du moteur, et légèrement décalés l'un par rapport à l'autre, chaque groupe comprenant la moitié du nombre total de cylindres, et correspondant à l'un des deux coudes.

Exemple. — L'Anzani 60 HP, 6 cylindres, comprend deux groupes de 3 (nombre impair).

Un premier groupe : cylindres n^{os} 1', 3', 5' ;

Un deuxième groupe : cylindres n^{os} 2, 4, 6.

Ils s'allument alors dans l'ordre 1', 2, 3', 4, 5', 6 pour un sens de rotation inverse (*fig. 94*),

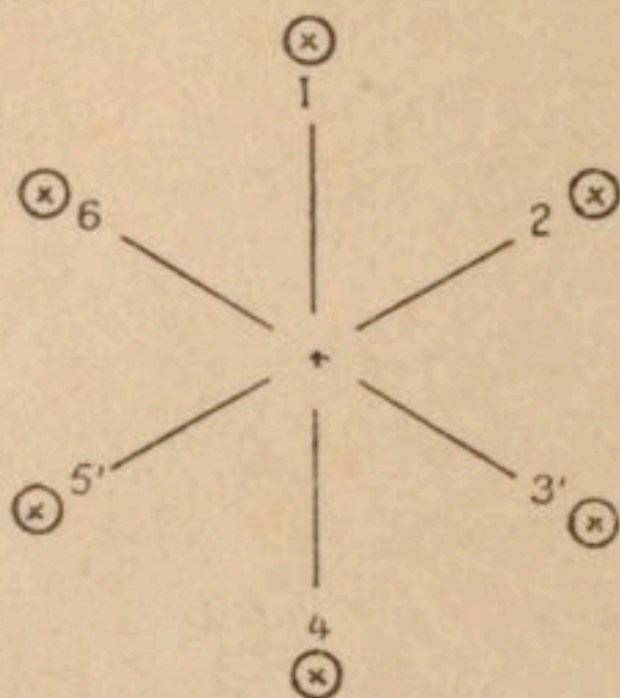


Fig. 94.

Forme des vilebrequins et calage des cylindres. — *a. Deux cylindres en ligne.* — On devrait avoir *une explosion par tour*. Donc les deux coudes dans le même plan comme sur la figure ci-dessous (*fig. 95*).

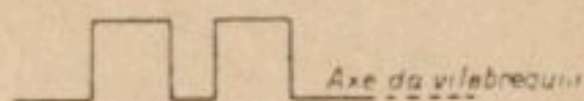


Fig. 95.

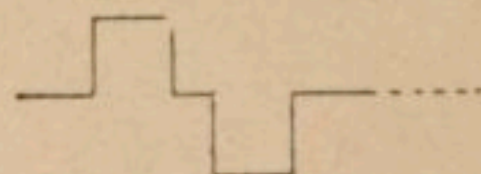


Fig. 95 bis.

Mais, pour des raisons d'équilibrage, on préfère avoir un vilebrequin comme sur la figure 95 bis qui donne une irrégularité d'explosions.

b. Quatre cylindres en ligne. — Par suite de l'ordre d'allumage vu précédemment, le vilebrequin doit comprendre des coudes calés de façon à pouvoir correspondre à quatre explosions par deux tours ou *une explosion par 180°*. On aura donc la figure ci-dessous (*fig. 96*).



Fig. 96.

c. Six cylindres en ligne. — Par suite de l'ordre d'allumage vu précédemment, le vilebrequin doit correspondre à 6 cylindres explosant en deux tours, soit *une explosion par 120°*. On aura trois plans de

deux coudes chacun calés à 120° . De face et de profil, on aura la figure ci-dessous (fig. 97).

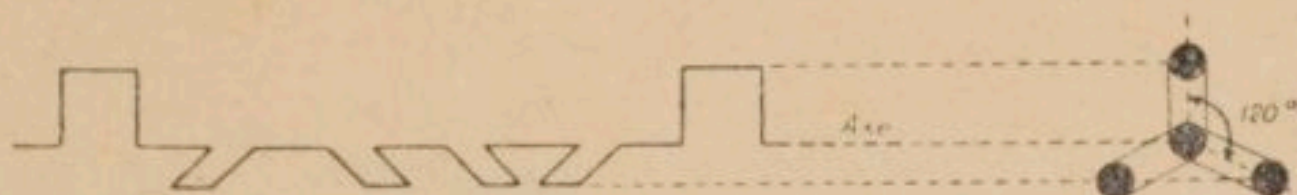


Fig. 97.

d. *Six cylindres en V.* — On doit avoir huit explosions en deux tours, soit *une explosion* par 90° . On est conduit à caler les deux rangées de cylindres à 90° et à prendre le même vilebrequin que pour un 4 cylindres (fig. 98).

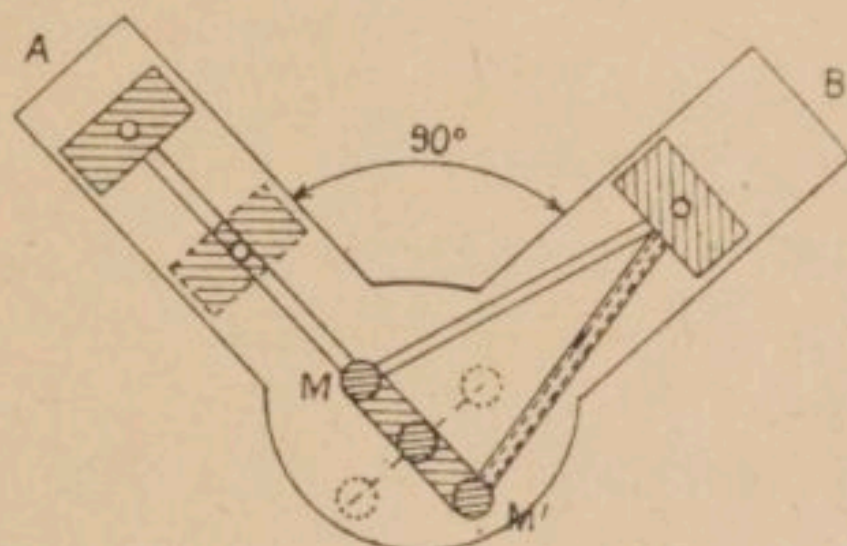


Fig. 98.

Dans la rangée A se trouve, par exemple, un cylindre au début de la détente, correspondant au groupe de manetons M; 90° après, il doit y avoir une explosion dans B. Ce sera le second maneton du groupe M qui se trouvera en position. Les coudes seront donc dans la position en pointillé. Et 90° après, M' se trouvera en face de A.

e. *Douze cylindres en V.* — On doit avoir douze explosions en deux tours, soit *une explosion* par 60° . On peut alors caler les deux rangées de cylindres à 60° et prendre le même vilebrequin que pour un 6 cylindres (fig. 99).

Dans la rangée A se trouve, par exemple, un cylindre au début de la détente, correspondant au groupe de manetons M_1 ; 60° après, il doit y avoir une explosion dans B. Ce sera le second maneton du groupe M_1 qui se trouvera en position. Les coudes étant calés à 120° , il pourra se produire dans A une autre explosion 60° après dans un cylindre correspondant au groupe de manetons M_2 , le sens de rotation étant celui de la flèche.

Remarque. — Il n'est pas indispensable de caler les cylindres d'un 8 cylindres en V à 90° ou les cylindres d'un 12 cylindres en V à 60° ; ainsi, le moteur Renault 130 HP et 12 cylindres en V a ses rangées

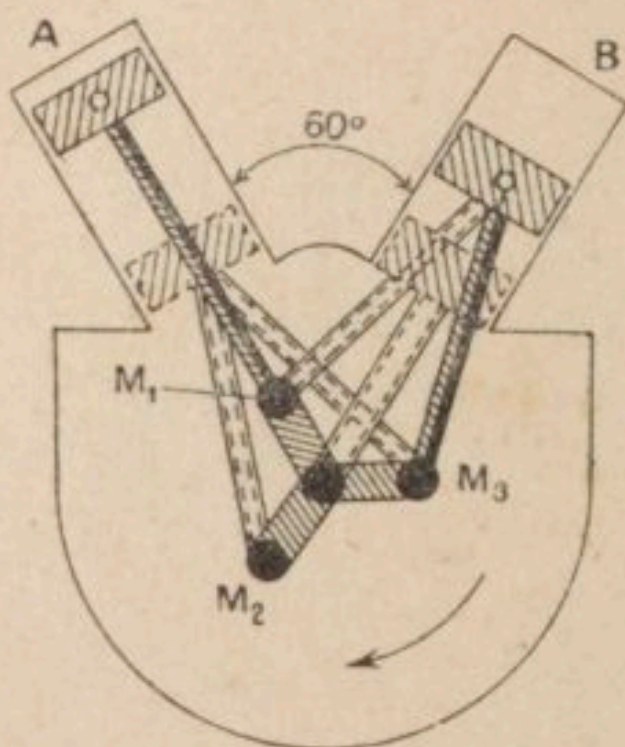


Fig. 99.

calées avec un angle de 90° et le 300 HP Renault 12 cylindres, ses rangées calées à 50° . Mais alors l'allumage doit être réglé de façon spéciale. On ne peut plus employer des magnétos à douze plots. Chaque groupe est alimenté par une ou deux magnétos à six plots. Les explosions ne se font plus régulièrement.

Embiellage des moteurs. — Le problème de l'embiellage se complique lorsqu'on doit accoupler plusieurs bielles sur le même maneton.

Le cas le plus courant du moteur en V se résout par les systèmes suivants :

1^o *Embiellage à bielle maîtresse et biellette* (exemple : moteur

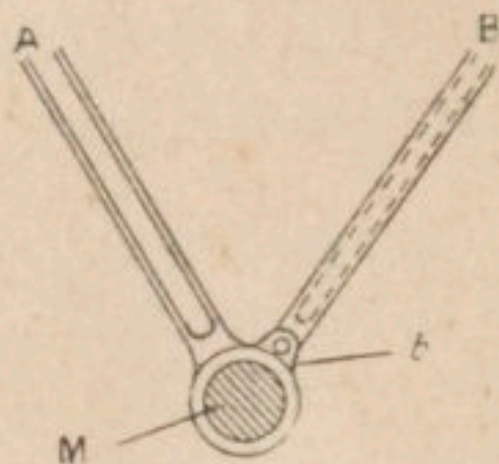


Fig. 100.

Renault 300 HP). — Une bielle A est articulée sur le maneton M et porte sur toute sa longueur. Elle porte un bossage *b* sur lequel

vient s'articuler la bielle B. Dans un moteur ayant cet embiellage, une rangée de cylindres comprend toutes les bielles A (bielles maîtresses), l'autre rangée comprenant les biellettes. Ce système présente l'inconvénient de donner une course inégale dans les deux rangées de cylindres.

Il peut être généralisé pour les moteurs en étoile (fig. 101).

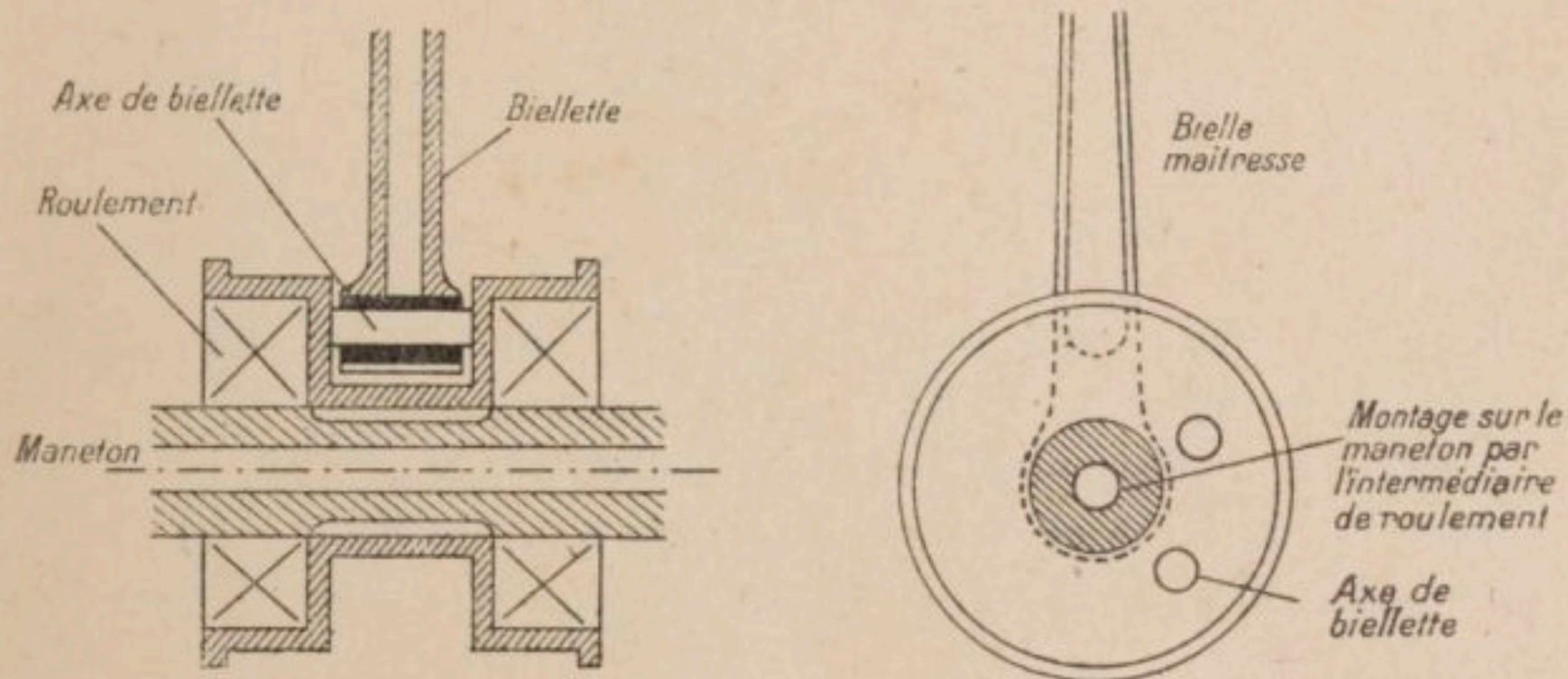


Fig. 101.

2^o Embiellage à fourche (fig. 102). — Les deux bielles travaillent

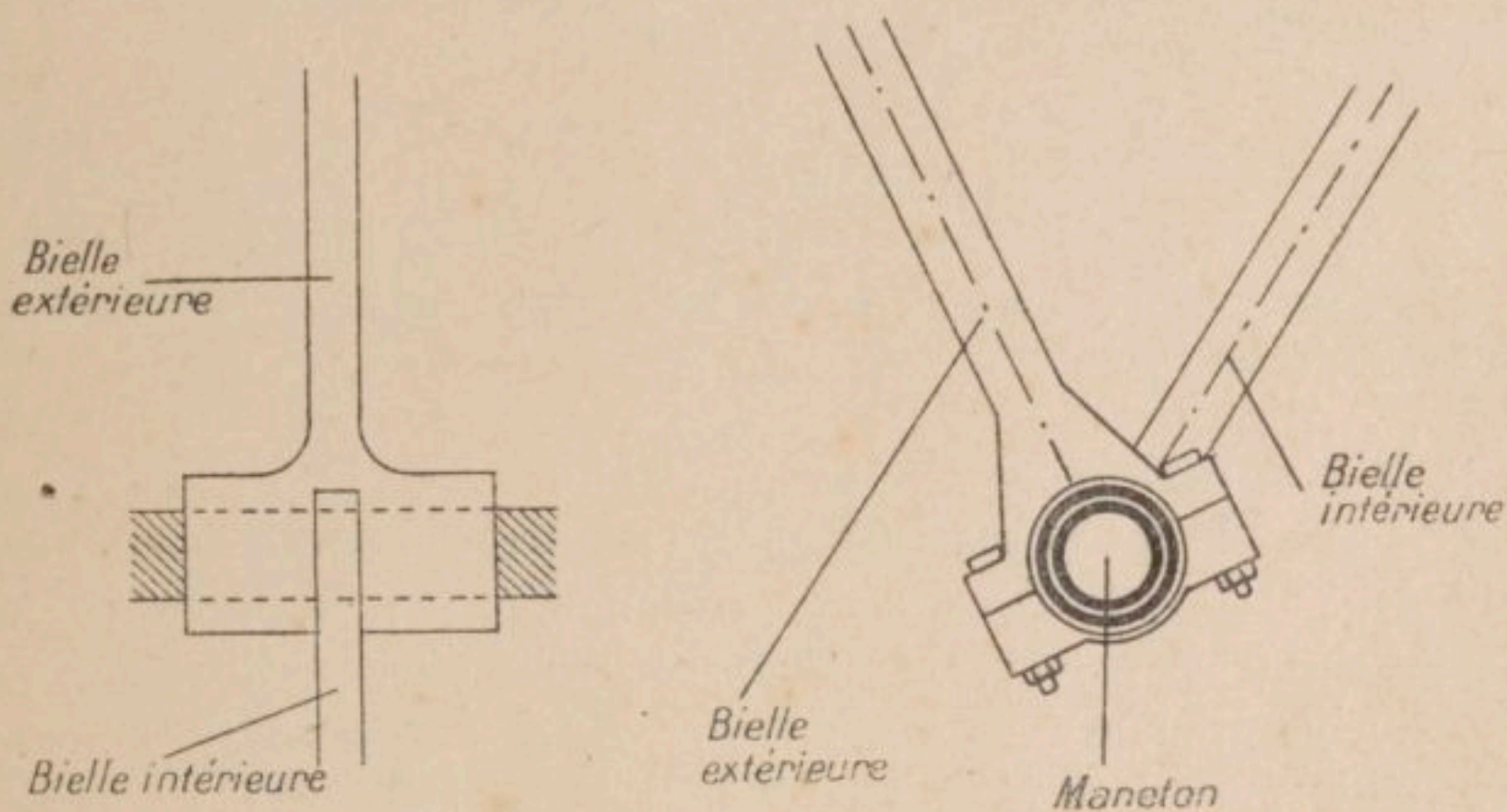


Fig. 102.

dans l'axe du maneton. La bielle intérieure est, en somme, une bielle ordinaire directement attelée au maneton.

La bielle extérieure est attelée sur la bielle intérieure.

La course est la même dans les deux rangées de cylindres.

3^o *Embiellage à « talons » (le Rhône) (fig. 103).* — Autour du maneton unique, sont situées des sortes de coquilles qui supportent

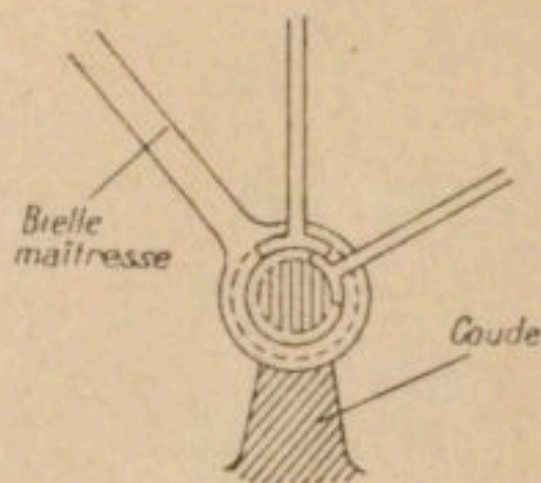


Fig. 103.

l'effort des bielles, lesquelles, munies de *talons*, travaillent toutes dans l'axe et glissent les unes par rapport aux autres.

L'une des bielles, plus forte que les autres, est fixée invariablement à la couronne centrale, et porte le nom de *bielle mère ou maîtresse*. Sans elle, toutes les bielles se coinceraient les unes contre les autres.

Alimentation des moteurs en essence. — Il existe plusieurs façons d'alimenter les moteurs en essence :

- 1^o Avec un réservoir en charge;
- 2^o Avec un réservoir sous pression;
- 3^o Avec un « exhausteur » fonctionnant par dépression;
- 4^o Avec une pompe prenant l'essence du réservoir pour l'envoyer au carburateur.

1^o *Réservoir en charge.* — Chaque fois que c'est possible, l'emploi du réservoir en charge est préférable aux autres systèmes. On applique simplement le principe des vases communicants, en reliant directement le réservoir au carburateur, situé à un niveau inférieur. (C'est le principe appliqué sur presque tous les petits appareils légers ne nécessitant pas de grandes quantités de combustible.)

2^o *Réservoir sous pression.* — Lorsque, pour une raison quelconque, on préfère disposer le réservoir plus bas que le carburateur, on peut employer ce système (fig. 104).

Dans ce cas, le bouchon B de remplissage du réservoir doit être hermétique. Au-dessus de l'essence débouche un tuyau *p* qui com-

munique, d'autre part, avec une pompe à air fonctionnant avec le moteur. L'air est donc comprimé au-dessus de l'essence.

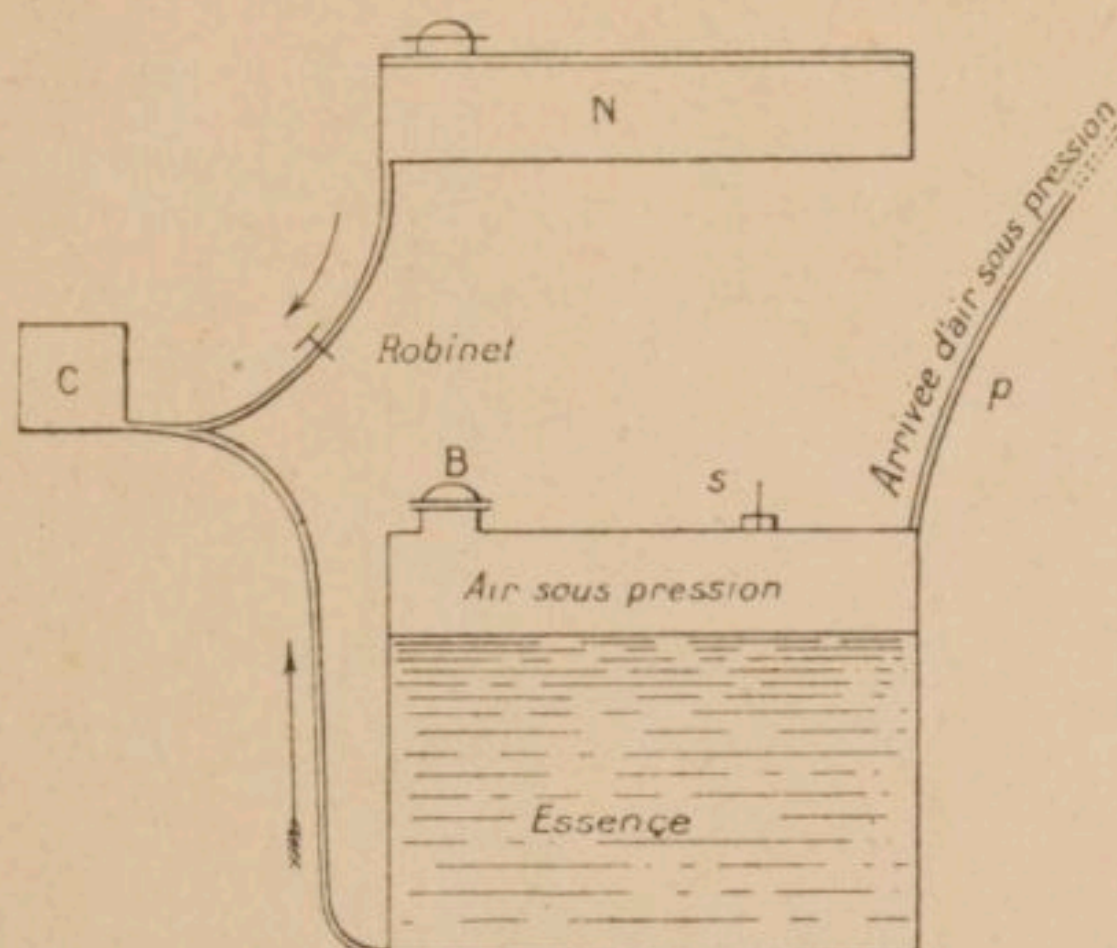


Fig. 104.

Celle-ci est conduite par un tuyau au carburateur C. De plus, on dispose, en général, une nourrice dont l'essence s'écoule par le principe des vases communicants jusqu'au carburateur lorsqu'on la met en communication avec celui-ci.

On ne fait cette opération que lorsque le réservoir principal est vide.

Il est indispensable de munir le réservoir d'une soupape S pour le cas où la pression d'air devient trop forte. Ce système tend à disparaître.

3° *Exhausteur*. — Une sorte de grosse trompe de Venturi, située à l'extérieur de l'avion, comme une trompe d'indicateur Badin, produit une dépression dans un tube qui plonge dans le réservoir. Comme précédemment, l'essence aspirée est envoyée à une nourrice munie d'une conduite allant au carburateur et d'une autre servant de trop-plein. La disposition est donc sensiblement la même. (Employé sur Nieuport 29 C-1.)

4° *Pompe à essence*. — La pompe de beaucoup la plus employée à l'heure actuelle est la pompe A.M.

La disposition d'ensemble est encore la même, en général, que

ci-dessus. La pompe aspire l'essence du réservoir, situé plus bas que le carburateur. Elle la refoule généralement dans une nourrice ou dans un autre réservoir situé plus haut que le carburateur. De là, l'essence coule vers le carburateur. Il y a aussi un trop-plein. Mais la pompe A.M. peut être branchée directement sur le carburateur sans nourrice ni trop-plein intermédiaires. Nous verrons plus loin pourquoi.

On a cherché à supprimer complètement l'inconvénient qu'avaient les pompes à essence, à palettes, à engrenages, etc. Pour ces pompes, le graissage était rendu très difficile du fait de la circulation d'essence.

Dans la pompe A.M. (fig. 105), une enveloppe extérieure M porte

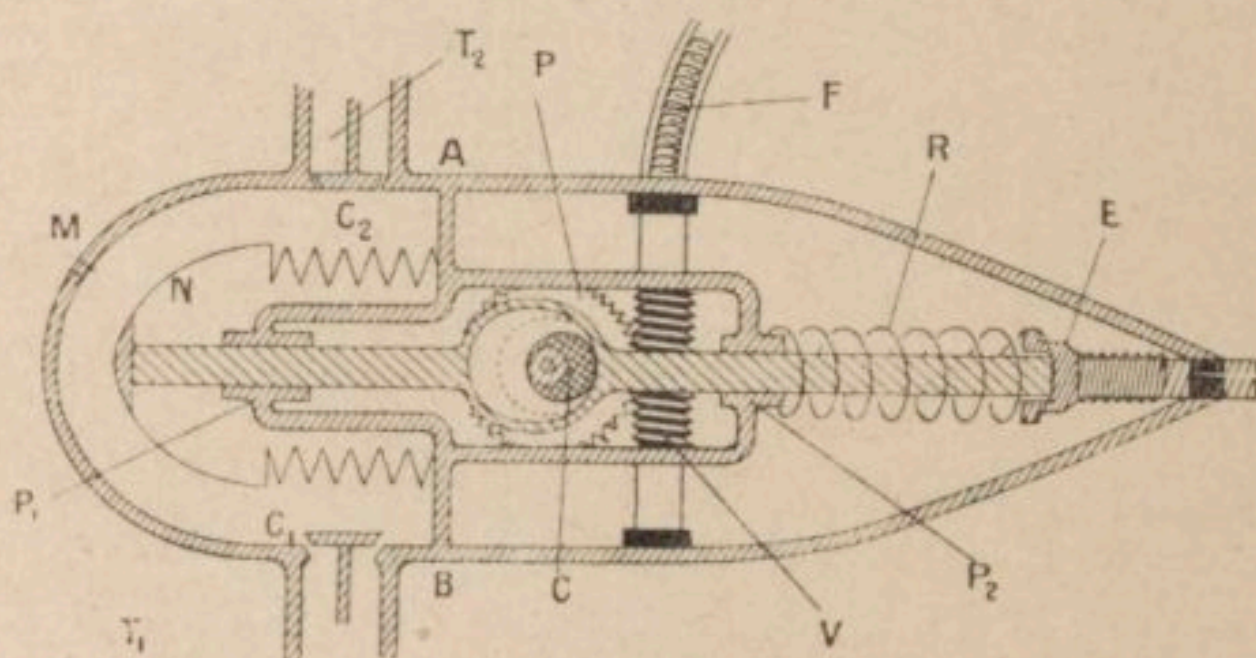


Fig. 105.

deux clapets C_1 et C_2 s'ouvrant et se fermant dans le même sens. Dans l'intérieur de l'enveloppe se trouve une vis sans fin V commandée par un flexible F, prenant son mouvement, en général, sur l'arbre à cames.

La vis sans fin engrène sur un pignon denté P portant une came C. Celle-ci, en tournant, produit le mouvement alternatif de gauche à droite ou de droite à gauche, d'une sorte de bielle qui coulisse dans deux paliers P_1 et P_2 . Cette bielle porte, en effet, un cadre dans lequel peut se loger la came. L'avant de la bielle est fixé à une sorte de calotte semi-sphérique N qui fait partie d'un soufflet métallique en accordéon, dont l'arrière est fixé d'une façon très étanche sur une paroi AB séparant la pompe en deux compartiments. Toute la partie de la pompe comprenant des organes en mouvement, c'est-à-dire toute la partie à droite de AB baigne dans l'huile. L'arrière de la bielle porte un écrou E qui peut être avancé ou reculé sur le filetage de la bielle.

Un ressort R a ses deux extrémités fixées, l'une sur le palier P₂, l'autre sur l'écrou E qui sert ainsi au réglage de la tension du ressort.

Fonctionnement de la pompe A.M. — Quand le moteur tourne, le flexible entraîne la vis sans fin, dans le pignon et sa came. Celle-ci, à un moment donné, vient frapper la partie \mathfrak{R} du cadre et provoque, par conséquent, le mouvement de la bielle de gauche à droite (sur la figure). Dans ce mouvement se produisent simultanément trois choses distinctes :

- 1^o L'extension du ressort R;
- 2^o La compression du soufflet;
- 3^o L'aspiration de l'essence par le tuyau d'aspiration T₁ (par suite du vide produit par le tassement de l'accordéon).

L'essence se répand entre le soufflet et l'avant de la pompe A.M.

Quand le mouvement continue, le ressort, qui tend toujours à coller la bielle contre la came, ramène la bielle vers la gauche. Il y a donc dans cette période :

- 1^o Détente du ressort;
- 2^o Extension du soufflet;
- 3^o Refoulement de l'essence par le tuyau d'évacuation T₂.

Automatisme. — Si l'essence ne peut être évacuée par le tuyau T₂, par suite du remplissage de la cuve à niveau constant, et de toute la tuyauterie conduisant l'essence de la pompe au carburateur (ceci dans le cas où la pompe est branchée directement sur le carburateur), au moment où la came continue à tourner et se trouve vers la gauche (position inverse de la figure), le ressort R n'a pu comprimer l'essence et le soufflet reste comprimé sur lui-même, ce qui n'empêche nullement la rotation de la came.

La pompe cesse donc de fonctionner, mais la came, elle, tourne suivant le pointillé sans entraîner la bielle. Et cela, jusqu'à ce que la quantité d'essence ayant diminué légèrement, le ressort ait pu étendre un peu le soufflet, ce qui permet à la came de revenir en contact avec la bielle. *Il n'y a donc pas besoin de trop-plein ni de nourrice.*

Consommation des moteurs. — *Les moteurs fixes* consomment approximativement 250^g d'essence au HP-heure, et 25^g d'huile au HP-heure.

Ces chiffres varient avec la vitesse de rotation, surtout en ce qui concerne l'essence.

Les moteurs rotatifs consomment un peu plus; en particulier, plus d'huile, car celle-ci qui est rejetée vers l'extérieur par la force centrifuge ne peut être récupérée. De plus, elle joue un rôle de combustible (admission du mélange dans le carter).

Petites réparations courantes. — Rodage des soupapes. — Lorsqu'une soupape ne porte plus bien sur son siège, il est indispensable de la roder. Pour cela, on prépare de la potée d'émeri (avec de l'émeri en poudre, un peu d'huile et de pétrole), de façon à avoir une sorte de bouillie. On l'interpose, en petites quantités entre les soupapes et leurs sièges une fois les cylindres démontés (*fig. 106*).

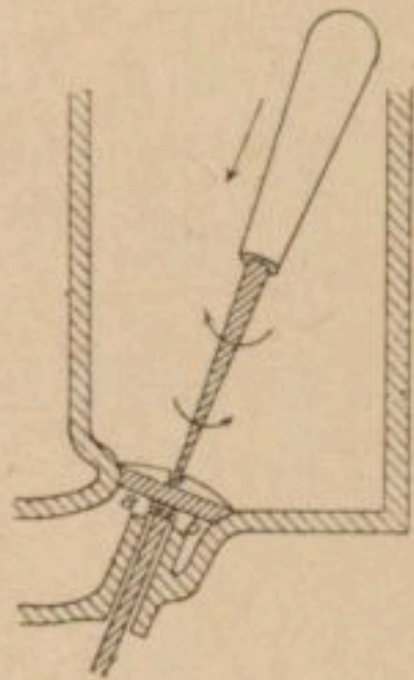


Fig. 106.

Avec un tournevis introduit dans le cylindre, et encastré dans la fente de la soupape, on fait tourner celle-ci dans les deux sens *et en la changeant souvent de place*, ce qui est facilité en interposant un petit ressort de décollage en *ab*.

Lorsque le siège et la soupape sont parfaitement polis, le contact est devenu complètement étanche (ce qu'on vérifie avec de l'essence).

Rupteur de la magnéto. — L'axe en fibre de la vis formant interrupteur se gonfle avec l'humidité et coince la pièce. Les vis restent alors en permanence écartées. Démontez le rupteur, et frottez l'axe en fibre à la toile émeri pour diminuer son diamètre.

Fils de circuit électrique coupés. — En principe, les remplacer.

En cas de force majeure, faire une réparation de la façon suivante : couper franchement le fil de façon à séparer même l'isolant extérieur à l'endroit mauvais. Supprimer, sur chaque morceau, une longueur d'environ 3 à 4^{cm} d'isolant. Gratter le fil conducteur pour bien le nettoyer. Tordre les deux bouts l'un sur l'autre solidement. Recouvrir ensuite la réparation de *chatterton*.

Principe de mesure de la puissance des moteurs. — *Frein de Prony* (fig. 107). — Soit O le centre de l'arbre du moteur. Suppo-

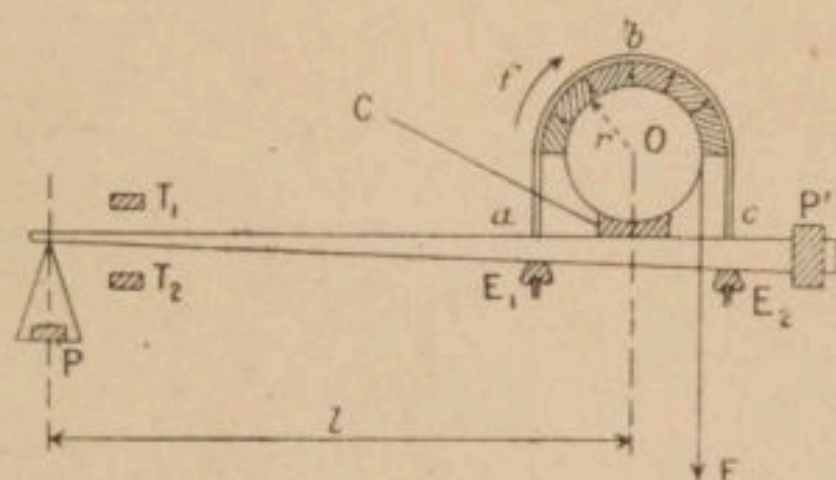


Fig. 107.

sons le sens de rotation comme la flèche. On dispose autour de l'arbre une lame souple de fer *abc* et entre cette lame et l'arbre, des cales de bois. Les extrémités de la lame peuvent être serrées à volonté grâce à des écrous E_1 et E_2 qui prennent leur appui sur un levier horizontal qu'on empêche de se rapprocher de l'axe O grâce à une autre cale en bois C. Le moteur étant au repos, et la bande non serrée, on équilibre le levier au moyen d'un poids P' pour qu'il se maintienne horizontal entre deux taquets T_1 , T_2 . Le moteur étant mis en route, on serre progressivement les écrous E_1 , E_2 . Le levier tend alors à être entraîné comme la flèche. On le voit se coller contre le taquet T_1 . Le moteur ayant tendance à emballer à mesure qu'on augmente l'admission des gaz, on serre de plus en plus les écrous jusqu'à ce que le régime voulu soit obtenu, en même temps qu'on dispose dans la balance d'extrémité du levier un poids P grâce auquel le levier se maintient en équilibre entre les deux taquets. A ce moment, le travail de frottement sur le frein égale le travail utile fourni par le moteur.

Soient P le poids mis dans le plateau;

l la longueur du bras de levier jusqu'en O;

n le nombre de tours du moteur (mesuré en général par minute);

r le rayon de l'arbre moteur.

Le frottement sur les cales agit comme une force F tangente à l'arbre moteur.

Le levier étant en équilibre, c'est que les moments des forces F et P par rapport à O sont égaux. Si l'on évalue ces deux quantités, on a donc

$$F \times r = P \times l.$$

Dans un tour complet de l'arbre, le travail de frottement

$$T_f = 2\pi r \times F;$$

mais comme $F \times r = P \times l$, on a

$$T_f = 2\pi P l,$$

et pour n tours-minute

$$T_f = 2\pi P l n,$$

Cette expression représente aussi le travail utile.

Pour avoir la puissance en kilogrammètres-seconde, il suffit de diviser par 60; on a donc

$$P = \frac{2\pi P l n}{60} \text{ kilogrammètres-seconde.}$$

Et pour avoir la puissance en chevaux-vapeur, il suffit de diviser cette quantité par 75. Le résultat final est donc

$$P = \frac{2\pi P l n}{60 \times 75}.$$

Soient

$$P = 100^{\text{kg}},$$

$$l = 1^{\text{m}},$$

$$n = 1500 \text{ tours-minute.}$$

On aura comme puissance

$$P = \frac{2\pi \times 100 \times 1500}{60 \times 75} = 209^{\text{CV}}, 3.$$

En aviation, on utilise plutôt le « banc-balance » dont le principe est analogue à celui du frein de Prony.

Banc-bascule. — Le moteur est monté sur un banc pouvant osciller autour d'un axe O coïncidant avec l'arbre vilebrequin. Celui-ci porte un moulinet (*fig. 108*), muni de deux plaques offrant à la rotation

une résistance totale R . Le couple tend à faire basculer le moteur dans le sens F si la rotation a lieu dans le sens F' . On empêche le mouvement grâce à un poids P accroché à l'extrémité d'un levier L . Soient l le bras de levier, r le rayon du cercle décrit par les plaques.

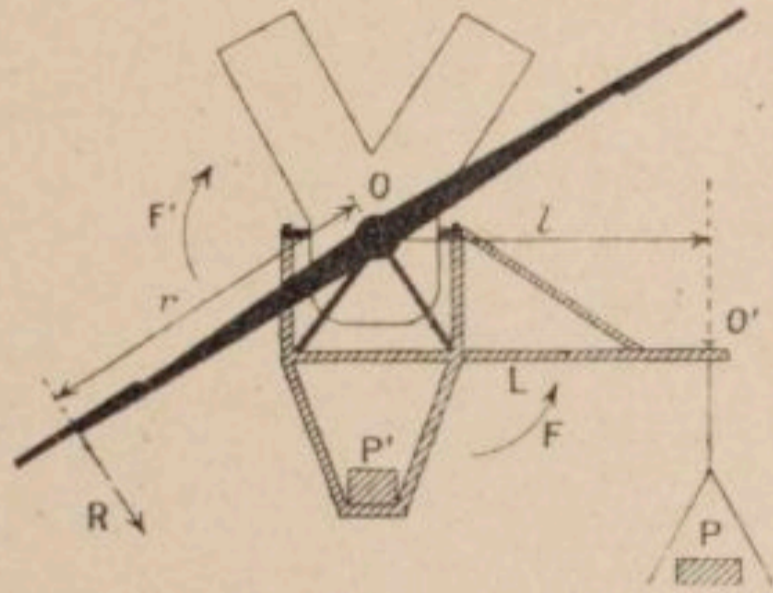


Fig. 108.

Quand le banc se maintient en équilibre, c'est que le couple moteur est égal au couple résistant. Donc

$$R \times r = P \times l.$$

On a comme précédemment :

$$\text{Travail en 1 tour} = R \times 2\pi r,$$

$$\text{Travail en } n \text{ tours-minute} = R \times 2\pi r \times N,$$

$$\text{Travail en } n \text{ tours-seconde} = \frac{R \times 2\pi r \times N}{60}.$$

En chevaux :

$$T = \frac{R \times 2\pi r \times N}{60 \times 75};$$

mais

$$R \times r = P \times l,$$

donc

$$T = \frac{2\pi P l n}{60 \times 75}.$$

Maintien de la puissance des moteurs malgré l'altitude. — Par suite de la diminution de la densité de l'air lorsqu'on monte, les moteurs diminuent de puissance au fur et à mesure que l'altitude augmente, et cela proportionnellement à la densité. On a cherché à remédier à cet inconvénient.

1° Par l'emploi des moteurs surcomprimés, c'est-à-dire de ceux

dans lesquels la valeur de $\frac{V+v}{v}$ a été augmentée, afin d'augmenter la puissance. Mais dans ce cas, il est recommandé de ne pas ouvrir les gaz en grand près du sol, ce qui fatiguerait énormément le moteur. De plus, l'augmentation sérieuse de la compression provoque l'auto-allumage et nécessite l'emploi, avec les moteurs surcomprimés, du benzol en remplacement de l'essence, jusqu'à ce que la densité de l'air ait suffisamment diminué. Lorsqu'on gagne en altitude, on ouvre de plus en plus les gaz, ce qui permet, par conséquent, de maintenir la puissance constante dans une certaine mesure.

2° *Par l'emploi du turbo-compresseur Rateau.* — Une turbine qui fonctionne sous l'action des gaz d'échappement comprime de l'air sous le carburateur, et permet de garder, malgré l'altitude, une alimentation semblable à celle qui existe au sol.

Grâce au maintien de la puissance en altitude, on peut, en combinant ces procédés avec l'usage des hélices à pas variable (*voir Cours Avion*), parvenir à des vitesses horizontales maxima beaucoup plus considérables que celles obtenues normalement.

Procédé pour augmenter la compression et la puissance sans risquer l'auto-allumage. — En employant pour le moteur un autre combustible : le benzol (provenant de la distillation de la houille), dont la vapeur s'enflamme à plus haute température que celle de l'essence, il est possible d'augmenter la compression sans avoir l'auto-allumage. Mais le benzol se cristallise à 5°. Par de grands froids, il faut lui ajouter de l'essence de façon à reporter la température de congélation à moins de 0°.

LECTURE DE LA CARTE.

Principaux termes à connaître. — Sur la sphère représentant la Terre, considérons la ligne des pôles N.S. qui est l'axe de rotation. Le plan passant à égale distance des deux pôles, et perpendiculaire à l'axe N.S., coupe la Terre suivant un grand cercle qui est le *cercle équatorial EE'*.

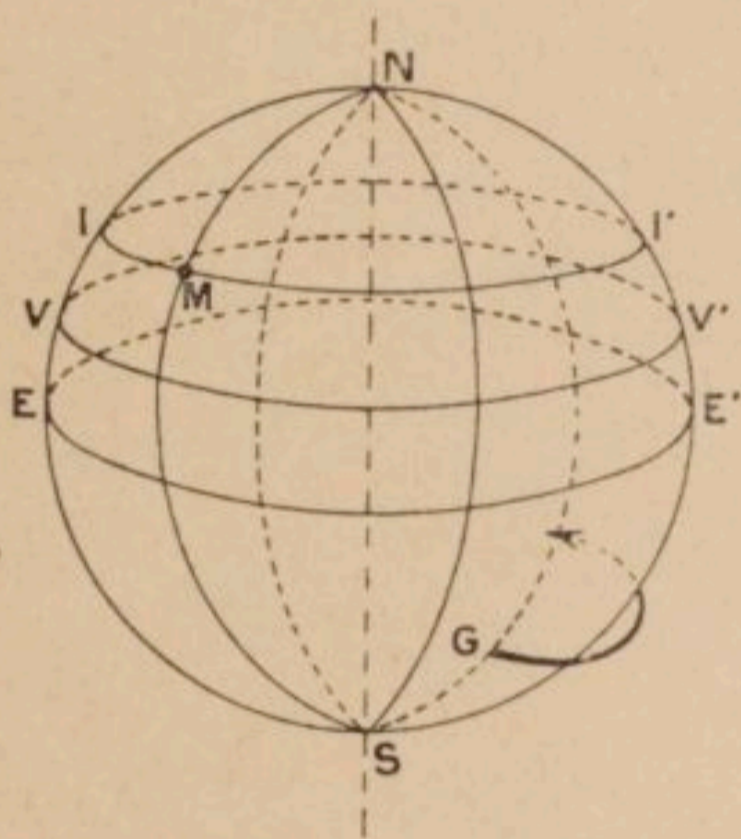


Fig. 1.

Le plan de ce cercle s'appelle *plan de l'équateur*.

Divisons le centre équatorial en 360° et faisons passer par chaque degré un demi-plan contenant la ligne N.S. Nous couperons ainsi la sphère suivant 360 demi-cercles qui représenteront ce qu'on nomme les *méridiens*, par exemple le méridien NGS. Divisons le méridien NGS en 180° et faisons passer par chaque degré un plan qui sera parallèle au plan de l'équateur. Nous couperons ainsi la sphère suivant 180 cercles qui représenteront ce qu'on nomme les *parallèles*, par exemple LE parallèle VV'.

Les méridiens et les parallèles déterminent pour chaque point de la Terre ce qu'on nomme ses *coordonnées géographiques*. Celles-ci sont de deux sortes : *la longitude et la latitude*.

Longitude. — Elle s'exprime par les méridiens. Elle se compte de 0 à 180° à partir d'un méridien origine (en général, celui qui passe par Greenwich, près de Londres, et qui sera, par exemple, le méridien NGS). Elle prend le nom *Est* ou *Ouest* suivant que le point considéré est à l'Est ou à l'Ouest du méridien origine. Le point M sur la figure 1 sera, par exemple, à 45° de longitude *Ouest*.

Latitude. — Elle s'exprime par les parallèles. Elle se compte de 0 à 90° à partir de l'équateur et prend le nom *Nord* ou *Sud*, suivant que le point considéré se trouve dans l'hémisphère Nord ou dans l'hémisphère Sud. Le point M sur la figure 1 sera, par exemple, à 37° de latitude *Nord* et les coordonnées géographiques du point M seront :

45° longitude Ouest et 37° latitude Nord.

Carte au 1/200 000^e. — C'est la carte généralement employée en aviation. Sur cette carte, 1^{cm} représente, par conséquent, 200 000^{cm} c'est-à-dire 2^{km}.

Planimétrie sur la carte au 200 000^e. — La planimétrie est la représentation des différentes caractéristiques d'une région : fleuves, bois, routes, etc., telles que les aperçoit le pilote à la hauteur rationnelle d'un voyage.

Indications essentielles intéressant le pilote.

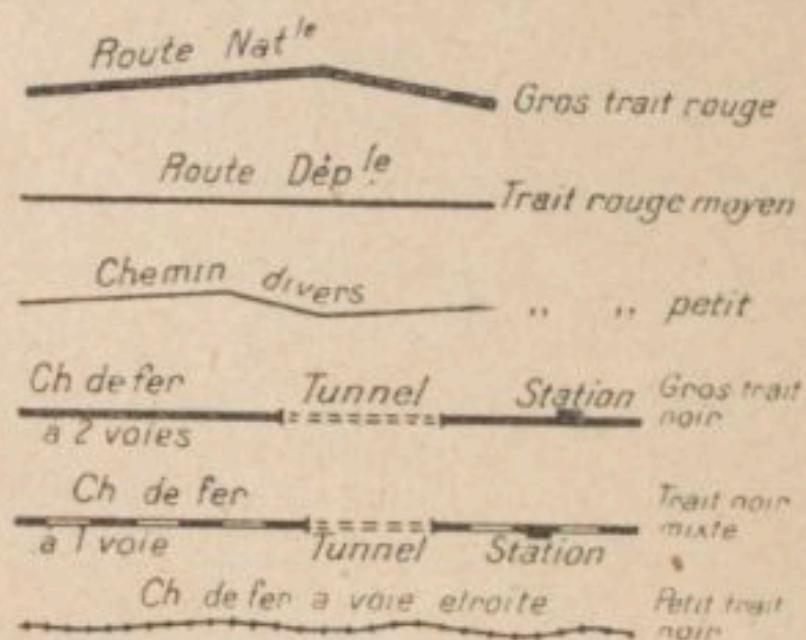


Fig. 1 bis.

Remarque. — Les noms de villes, cantons, etc., lieux remarquables, sont tous écrits parallèlement à la ligne Ouest-Est. Les

noms de fleuves, rivières, forêts, canaux, etc. sont écrits suivant la configuration du sol. En particulier, les noms de fleuves suivent la courbure du fleuve.

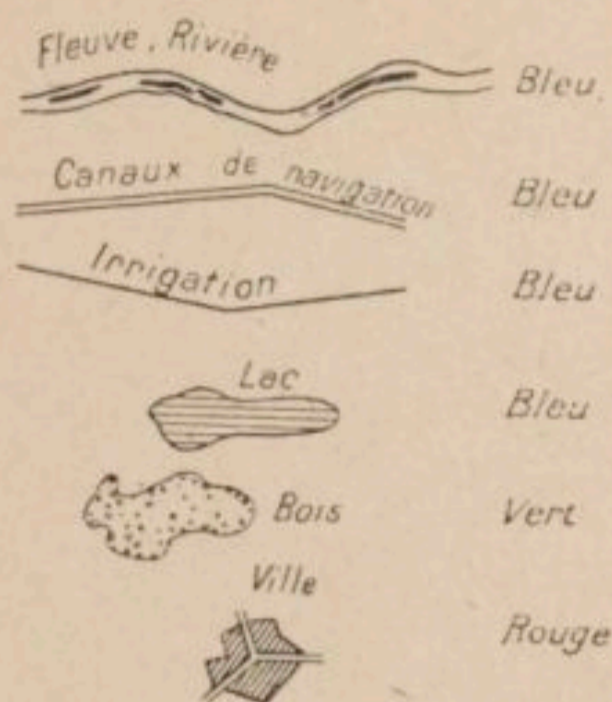


Fig. 1 ter.

Nivellement ou altimétrie sur la carte au 1/200 000^e. — L'altimétrie est la représentation du relief du sol sur la carte. Le relief sur la carte au 1/200 000^e est représenté grâce aux *courbes de niveau* et aux teintes (sur certaines cartes, on peut le représenter au moyen de teintes seules; sur d'autres, grâce aux hachures dont les traits, plus ou moins serrés, indiquent un pays plus ou moins accidenté).

Courbes de niveau. — On coupe le sol par des plans horizontaux équidistants les uns des autres. La distance verticale d'un plan quelconque au niveau de la mer se nomme *la cote*. Le premier plan coupant le sol au-dessus du niveau de la mer pris pour base a pour cote 20, c'est-à-dire que sa distance verticale au niveau de la mer égale 20^m. La distance constante séparant deux plans consécutifs se nomme *équidistance*. Celle-ci est indiquée en bas des cartes. Elle est, en général, de 20^m; on lui donne une valeur de 40^m quand le pays est accidenté. En prenant une équidistance quelconque, *les cotes des plans seront toujours des multiples de l'équidistance*. Ce sont les traces des plans sur le sol qui forment les *courbes de niveau*. Celles-ci sont donc des lignes formées par la réunion de tous les points ayant même cote. Elles ne sont pas cotées sur la carte. Seuls, sont cotés, en général, les points culminants ou les points les plus bas. Ce sont eux qui permettent de trouver les cotes des courbes de niveau.

Différents aspects du sol à représenter. — 1^o *Mamelon* (fig. 2). — La courbe de cote la plus élevée est au centre. Le point le plus haut

du mamelon, seul coté dans la pratique, se trouve au centre et possède une cote supérieure à la courbe centrale.

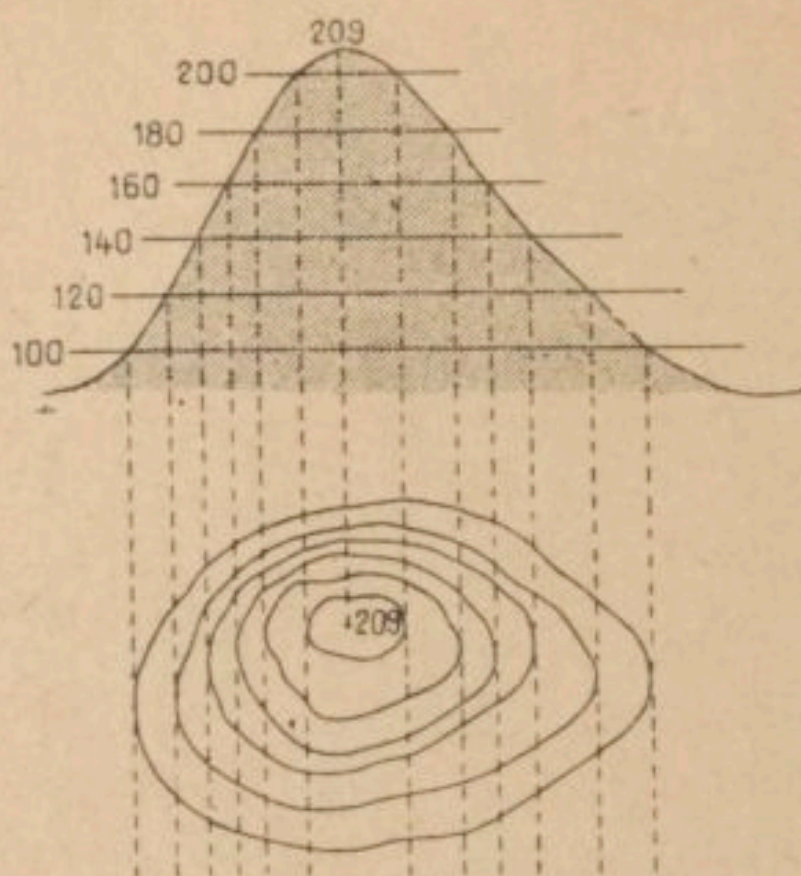


Fig. 2.

2° *Cuvette* (fig. 3). — La courbe de cote la plus élevée est à l'extérieur.

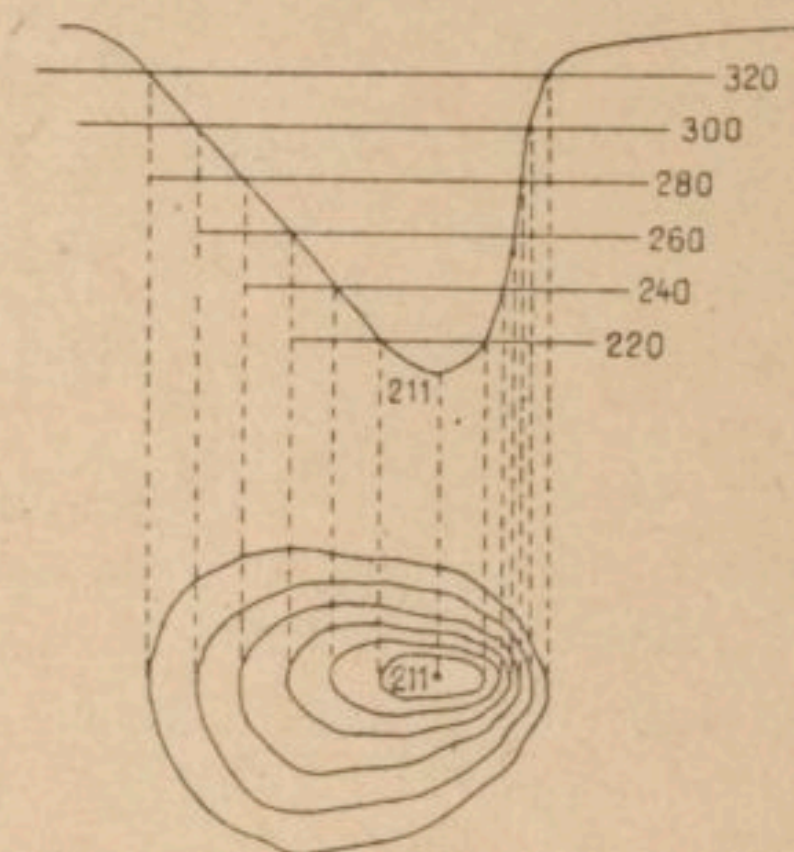


Fig. 3.

Le point le plus bas de la cuvette, seul coté dans la pratique, se trouve au centre et possède une cote inférieure à la courbe centrale.

3° *Versant* (fig. 4). — Comme pour les figures précédentes, on remarque que plus les courbes de niveau sont rapprochées les unes des autres, plus la pente du terrain est accentuée.

L'examen de l'écartement des courbes permet donc de se rendre compte des pentes.

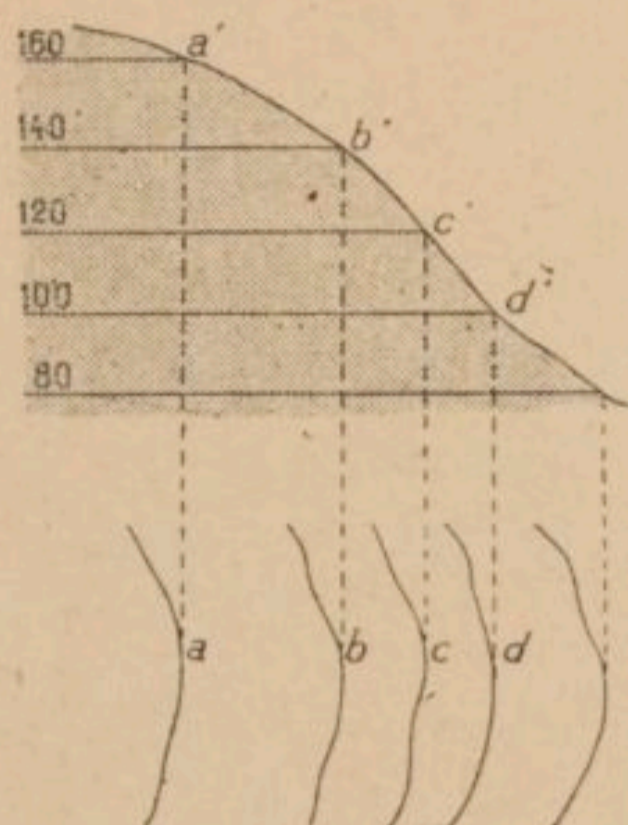


Fig. 4.

La pente sera beaucoup plus douce de *a* à *b* que de *c* à *d*.

4^o Vallée (fig. 5). — C'est la rencontre de deux versants. Les

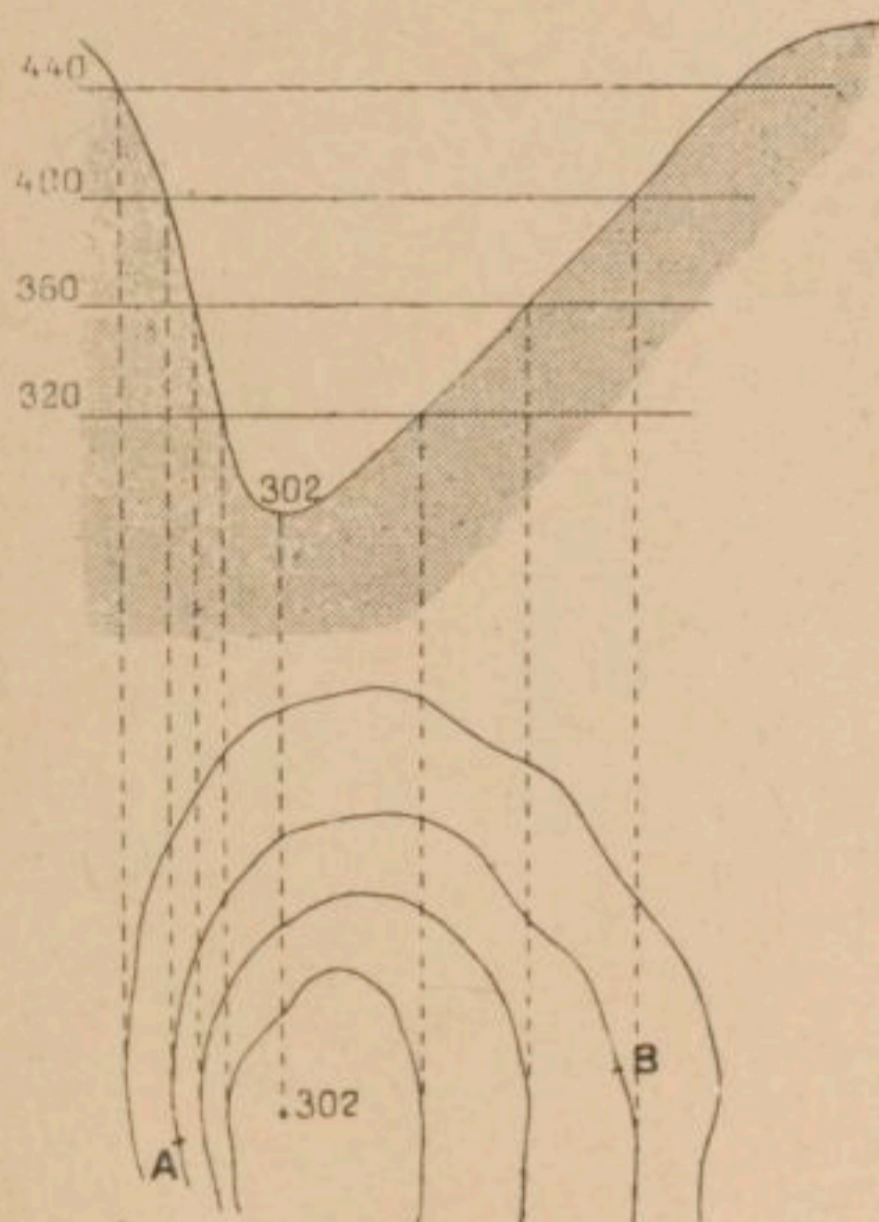


Fig. 5.

courbes de cote les plus élevées sont à l'extérieur. Un point situé

dans le fond de la vallée a une cote inférieure à la courbe voisine. De part et d'autre du point coté (302, par exemple), les courbes de niveau de même rang ont même cote (par exemple, deux points A et B situés sur la troisième courbe à droite de 302 et à gauche de 302 ont pour cote 400). Ceci est intéressant à remarquer puisque sur la carte, la vallée peut ne pas être représentée par des lignes de niveau fermées. On peut avoir la représentation de la figure 6, où la jonc-

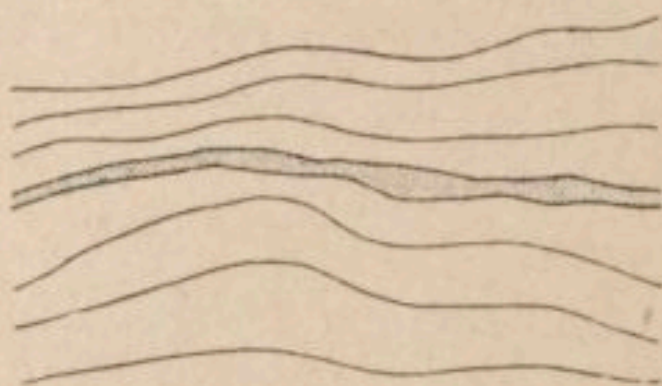


Fig. 6.

tion des deux versants formant le début de la vallée n'est pas encore réalisée.

Si un cours d'eau suit la vallée, il est à une cote inférieure aux dernières courbes des versants.

5° *Conffuent* (fig. 7). — C'est la jonction de deux vallées. S'il y a

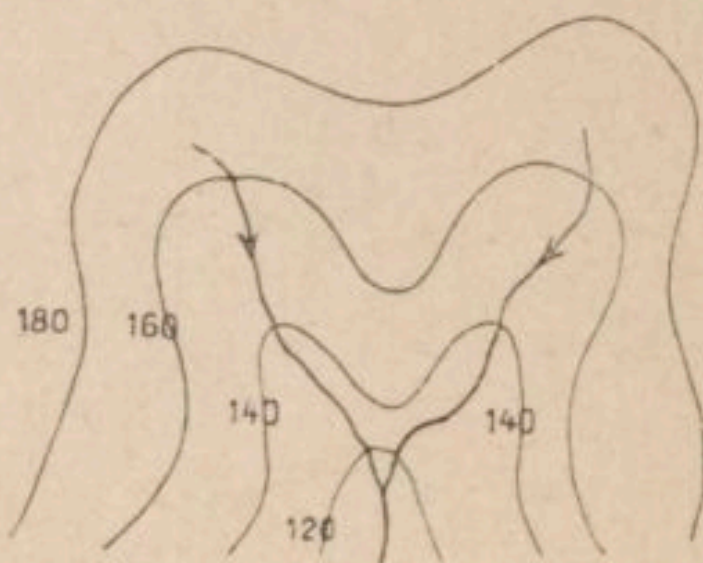


Fig. 7.

des cours d'eau dans ces vallées, l'examen du sens dans lequel elles coulent permet de déduire les cotes des courbes de niveau.

6° *Col* (fig. 8). — C'est l'ensemble de deux versants et de deux vallées. Le point le plus haut du col a une cote inférieure à la

courbe la plus basse des versants et supérieure à la courbe la plus haute des vallées.

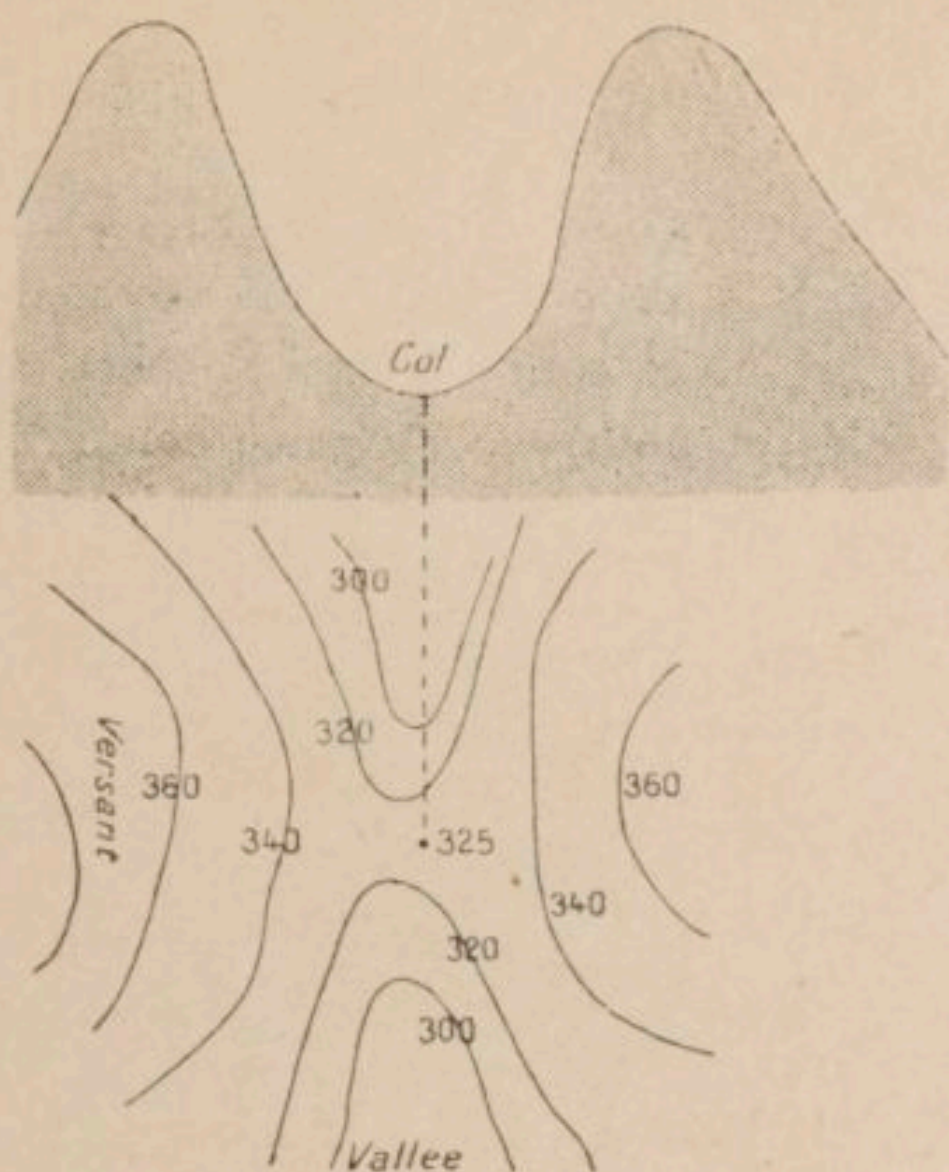


Fig. 8.

Courbes intercalaires. — Lorsqu'on veut représenter le sol entre deux courbes de niveau principales, on se sert des lignes interca-

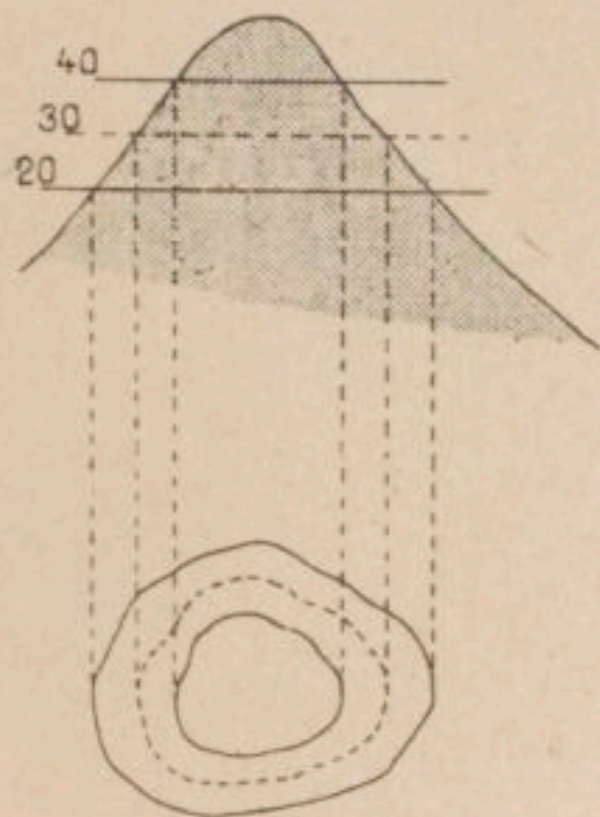


Fig. 9.

lares qui se trouvent à mi-distance de l'équidistance, c'est-à-dire 10^m si l'équidistance est de 20^m ; 20^m si elle est de 40^m . On les repré-

sente en pointillé pour ne pas les confondre avec les principales (*fig. 9*).

En se basant sur les indications précédentes, la marche des rivières, les étangs, les cotes principales, on peut, en général, trouver soit la cote d'un point quelconque, soit l'aspect approximatif du terrain.

Remarque. — Les indications données par les courbes de niveau ne servent que pendant la préparation d'un voyage, donc seulement en dehors du vol. Le pilote connaît ainsi l'aspect général du terrain qu'il aura à survoler et pourra à l'avance connaître les principales régions possibles pour un atterrissage. De plus, en cas de brume ou de brouillard pendant le voyage, le pilote saura, par les cotes, jusqu'à quelle altitude il sera prudent de descendre dans la brume. Si le sol n'apparaît pas lorsque l'altimètre indique une altitude voisine des cotes les plus fortes de la région, le pilote devra reprendre un peu de hauteur et se diriger en ligne droite vers une direction déterminée en pensant aux cotes les plus élevées dans cette direction.

Dans un grand voyage, il pourra être indispensable d'employer une autre carte à très grande échelle, par exemple au 1/1 000 000^e, pour ne pas être obligé de dérouler à chaque instant la carte; et l'on se servira alors de la carte à petite échelle pour identifier les points de repère.

En avion, le meilleur moyen pour se diriger facilement est de placer la carte dans le porte-carte de façon qu'on voit le terrain dans le même sens que sur la carte. Les points de repère principaux (croisement d'une rivière avec une route nationale, groupe d'étangs, bois isolé dans un pays nu, etc.) devront être marqués d'une croix au crayon. Le temps mis pour aller d'un point de repère au suivant aura été marqué approximativement avant le départ en tenant compte de la vitesse de l'avion et de celle du vent. On devra marquer également à côté du trajet suivi, et de loin en loin, une rose des vents bien visible permettant de s'orienter facilement.

Pour le cas où, obligé de partir sans boussole, on voudrait s'orienter, il n'y aurait qu'à utiliser l'orientation par le Soleil si c'est possible.

Orientation par le Soleil. — Le Soleil se trouve en toutes saisons dans la même direction à la même heure (*fig. 10*). Il est toujours : au Nord, à minuit; au Nord-Est, à 3^h; à l'Est, à 6^h; au Sud-Est,

à 9^h; au Sud, à midi; au Sud-Ouest, à 15^h; à l'Ouest, à 18^h; au Nord-Ouest, à 21^h.

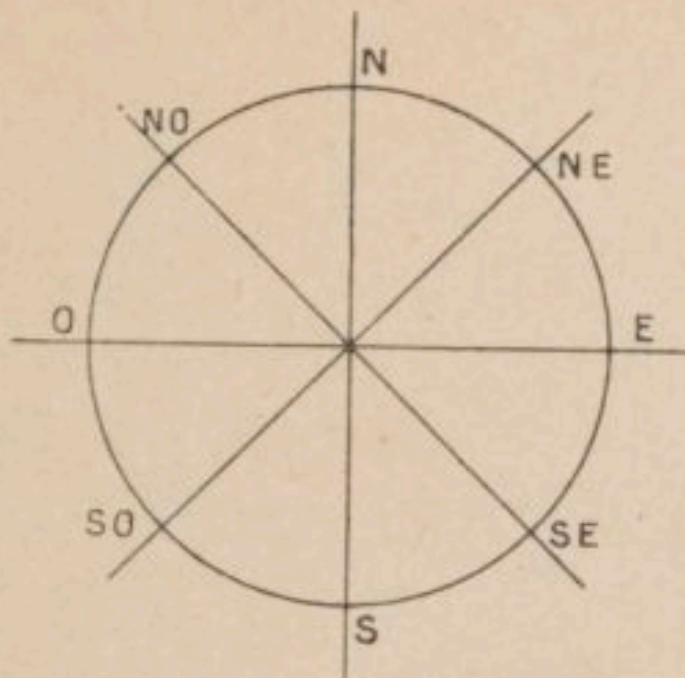
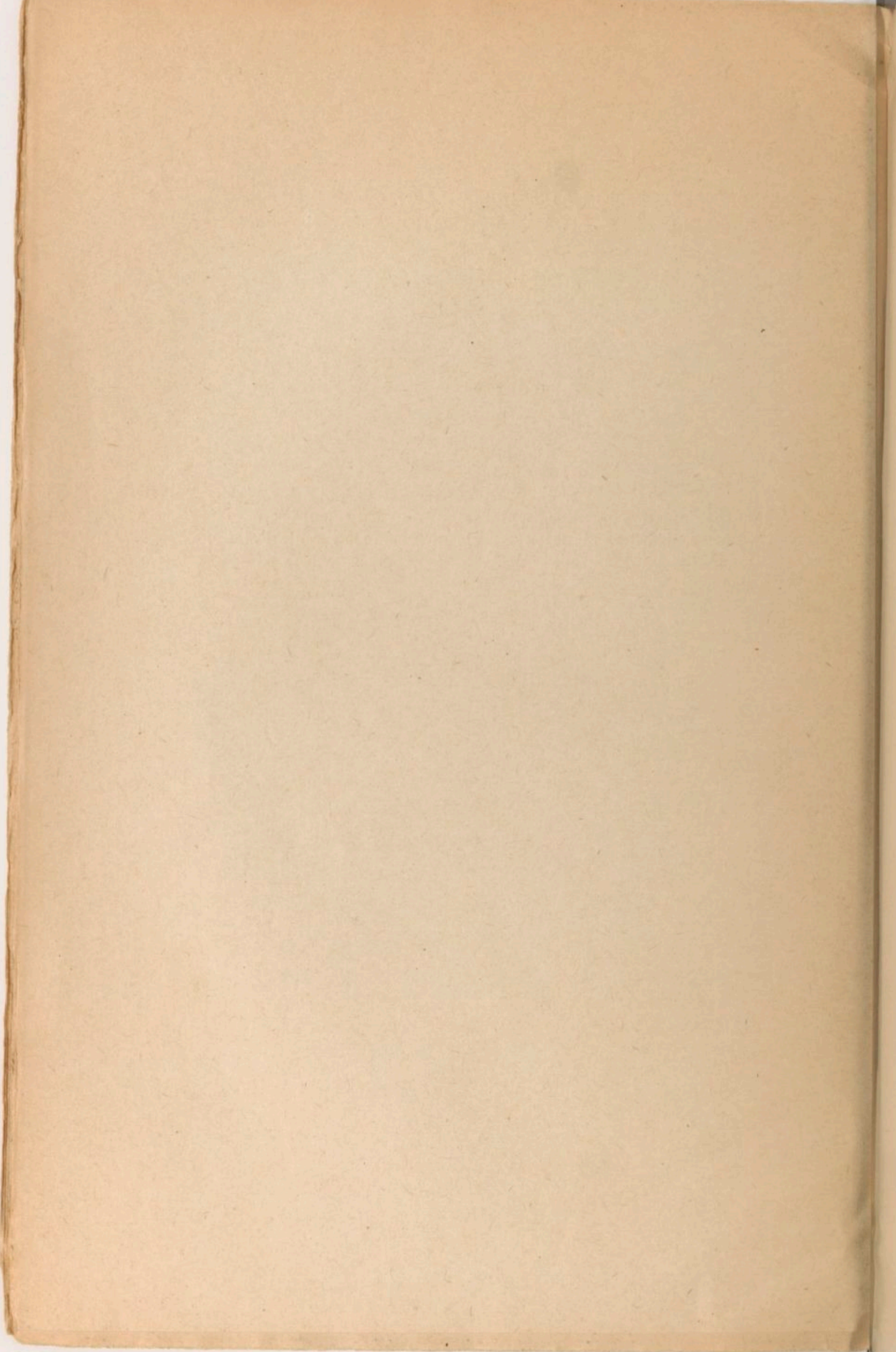


Fig. 10.

Il suffit donc de consulter l'heure pour trouver l'orientation.
La nuit, le Nord serait donné par la direction de l'étoile Polaire.





MÉTÉOROLOGIE.

C'est l'étude des phénomènes atmosphériques.

Tous ces phénomènes ont pour point de départ *la chaleur solaire*.

Température. — Le Soleil envoie sur la Terre une certaine quantité de chaleur qui donne à tous les corps une certaine *température*. Cette température s'évalue en *degrés*; en général, ce sont des *degrés centigrades*; l'évaluation se fait au moyen du thermomètre-centigrade. Celui-ci, généralement constitué par un tube très fin, terminé par une boule contenant du mercure qui se dilate lorsque sa température augmente, est gradué de la façon suivante : on le plonge dans la glace fondante; le mercure s'arrête à une certaine hauteur appelée zéro°. On le plonge ensuite dans un récipient contenant de l'eau en ébullition; le mercure s'arrête à une hauteur appelée cent°. L'intervalle entre 0 et 100 est divisé en 100 parties. Chacune est un degré. On se sert alors du thermomètre pour évaluer en particulier la température de l'air. Les températures intéressantes sont surtout les températures extrêmes : la plus basse et la plus haute trouvées dans une même journée. Ces températures sont inscrites automatiquement par les *thermomètres à minima ou à maxima*.

Si l'on mesure la température toutes les heures pendant une même journée, par un ciel serein, on constate que celle-ci est *maximum vers 3^h de l'après-midi en été, vers 2^h en hiver*. Elle diminue ensuite progressivement jusque *vers 4^h du matin*, moment à partir duquel elle recommence à augmenter.

On remarque que la température est maximum nettement après le passage du Soleil à son point le plus haut, car la chaleur reçue après ce moment est plus considérable encore que la chaleur perdue par rayonnement.

Température moyenne. — Si l'on prend dans une journée 24 fois la

température (toutes les heures, par exemple), on a 24 nombres généralement différents. En en prenant la moyenne, on obtient la *température moyenne* de la journée. On pourrait de la même façon obtenir la température moyenne d'une année pour différentes régions. La température moyenne est d'environ 10° à Paris. Elle augmente quand on se rapproche de l'équateur et diminue quand on se rapproche des pôles. Elle varie, sous une même latitude, avec les vents régnants, le voisinage des océans, les montagnes, etc.

Si l'on réunit par une ligne, sur une carte, tous les points ayant même température moyenne, on obtient une *ligne isotherme*.

Action du Soleil sur les différents éléments. — La quantité de chaleur reçue aux pôles est beaucoup plus faible que celle reçue à l'équateur. Ceci tient à ce que les rayons solaires qui arrivent aux pôles (pendant 6 mois consécutifs) y parviennent très obliquement et traversent donc beaucoup d'air. Ils perdent alors leur chaleur par rayonnement. Ceux de l'équateur y tombent, au contraire, presque perpendiculairement à la surface du sol. Lorsque l'air est sec, il s'échauffe très peu, et la chaleur des rayons solaires arrive presque entièrement jusqu'au sol. Sa température augmente beaucoup, et, par rayonnement, il échauffe les couches d'air voisines. Celles-ci diminuent comme densité et montent pendant que d'autres les remplacent, venant des régions supérieures. C'est ce qui produit les *courants ascendants et descendants*, appelés *remous de chaleur*.

C'est pour cette raison qu'il est recommandé, en été surtout, de voyager en avion de préférence le matin de bonne heure, ou tard le soir.

Le sol, qui s'échauffe vite dans le jour, se refroidit également vite pendant la nuit.

L'eau, au contraire, a beaucoup plus de mal à s'échauffer, mais aussi beaucoup plus de mal à se refroidir. Elle tend à garder longtemps la même température. Elle régularise la température et agit, en somme, comme un *volant de chaleur*. Et cela aussi bien à l'état de vapeur qu'à l'état liquide. On dit qu'elle a une *chaleur spécifique* supérieure à celle du sol ou à celle de l'air.

Climats continentaux et marins. — 1° En hiver, les terres se refroidissent rapidement, tandis que les océans conserveront beau-

coup de la chaleur reçue pendant l'été. Le raisonnement inverse s'appliquerait à l'été. Donc :

Les mers seront plus chaudes que les continents en hiver et plus froides en été.

2° Lorsque des vents chargés d'humidité pénètrent sur le continent, il peut se produire, sous certaines conditions (dont nous reparlerons plus loin), des pluies. Ces pluies modifieront alors la température :

Elles abaisseront la température en été;

Elles l'élèveront en hiver.

3° Au fur et à mesure que les vents humides qui viennent des mers pénètrent dans les continents, ils perdent peu à peu leur humidité. L'influence du « volant de chaleur » dont nous avons parlé, disparaissant :

Les variations de température seront plus considérables dans l'intérieur des continents que sur le bord de la mer.

Ces trois remarques expliquent la différence entre les climats continentaux et les climats marins. Les premiers peuvent avoir d'énormes différences de température : 70° au-dessous de 0 en Sibérie en hiver; 50° au-dessus de 0 au Sahara (à l'ombre). La pluie y est rare.

Les seconds n'ont pas d'écarts de température aussi accentués. Et il y pleut beaucoup.

Variation de la température avec l'altitude. — La température décroît au fur et à mesure qu'on s'élève. Elle reste sensiblement stationnaire (voisine de 60° au-dessous de 0) à partir de 11000^m.

Dans les premières centaines de mètres, elle décroît d'environ 0°, 6 par 100^m. Cette décroissance s'accroît au delà de 5000^m et peut atteindre 0°, 7 par 100^m.

Pression barométrique. — Nous avons vu, au « Cours Avion » que la pression barométrique moyenne, prise au niveau de la mer, était de 1^{kg}, 033 par centimètre carré.

Pour connaître la pression atmosphérique, on emploie, soit les baromètres *anéroïdes* (fonctionnement semblable aux altimètres, voir Cours Avion, Instruments de bord), soit les *baromètres enre-*

gistres. Ces derniers sont seuls intéressants à consulter, car ce qu'il est intéressant de savoir en météorologie, ce sont les *variations des pressions*, que n'indiquent pas les premiers.

La pression atmosphérique varie en un même lieu constamment dans une même journée. Elle varie également avec l'altitude. L'air étant un gaz tend toujours à occuper un volume de plus en plus grand quand la pression diminue ou que la température augmente.

Quand on s'élève dans l'atmosphère, la pression diminue du poids de la colonne d'air qui se trouve en dessous. Le calcul montre que *chaque fois qu'on monte de 1^m, on perd $\frac{1}{8000}$ de la pression initiale*. Ceci donne une idée de la couche atmosphérique. En effet, considérons une droite AB. Prenons le quart de AB, soit AC (fig. 11).

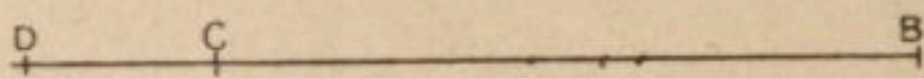


Fig. 11.

Prenons ensuite le quart de AC, soit AD; nous voyons qu'en continuant nous prendrons toujours des quarts, *mais que nous n'arriverons jamais en A*. C'est ce qui se passe pour l'atmosphère. Chaque fois que nous nous élèverons de 1^m, nous aurons une pression qui sera toujours une certaine fraction de la précédente, mais nous n'aurons jamais une pression nulle. L'ATMOSPHÈRE EST DONC INFINIE ET N'A PAS DE LIMITE SUPÉRIEURE.

De plus, chaque fois que nous nous élèverons de 1^m, nous aurons une variation de pression qui sera toujours une certaine fraction de la pression précédente, mais cette pression diminue quand on s'élève, donc :

La variation de pression pour 1^m sera d'autant plus faible que l'altitude sera plus élevée.

La diminution, dans les premières centaines de mètres, est d'environ 10^{mm} de mercure par 100^m. A 5500^m, la pression est deux fois plus faible qu'au sol.

Comparaison de la pression en différents points. — Si l'on veut pouvoir comparer la pression en un même instant à deux points d'altitudes différentes, il faut ramener ces pressions à ce qu'elles seraient si l'altitude était 0. C'est la *réduction des pressions au niveau de la*

mer. Cette réduction est opérée dans les bureaux météorologiques.

Variation de la pression dans une journée. — Par suite de la diminution de densité de l'air chauffé, la pression atmosphérique est plus faible entre 9^h du matin et 14^h en janvier, et entre 8^h 30^m et 16^h 30^m en juillet. Ces variations de pression, *régulières*, sont, d'ailleurs, excessivement faibles (1^{mm} de mercure en été, quelques dixièmes de millimètre en hiver). Les variations de pression les plus importantes, *irrégulières*, dépendent du *temps*.

Distribution de la pression sur le globe. — Les continents étant plus froids que les océans en hiver, l'air y est plus dense. En été, les continents sont plus chauds que les océans, et l'air situé au-dessus d'eux se dilate et se déverse en partie sur les mers. On a donc, en général :

En hiver : fortes pressions sur les continents; faibles pressions sur les mers.

En été : fortes pressions sur les mers; faibles pressions sur les continents.

Lignes isobares. — Sur une carte, on peut réunir par des lignes tous les points ayant même pression barométrique. Ces lignes sont alors appelées *lignes isobares*. On les trace, en général, pour les points différant de 5^{mm} de mercure.

Ces lignes d'égale pression ressemblent aux courbes de niveau des cartes, dont nous avons déjà parlé.

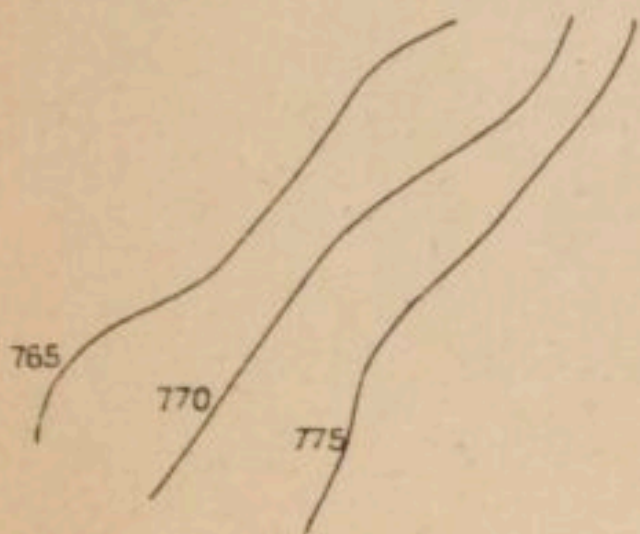


Fig. 12.

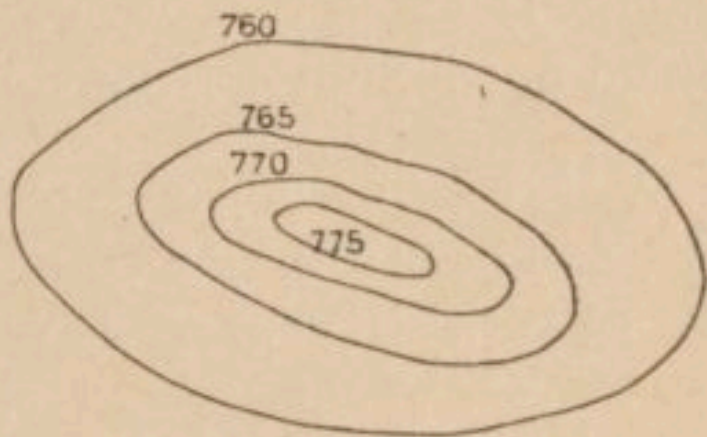


Fig. 13.

Elles déterminent nettement des sens de pression croissante ou décroissante (fig. 12 et 13).

Les lignes isobares peuvent se présenter de deux façons différentes :

1^o (*fig. 14*) Les pressions les plus fortes sont à l'extérieur de la

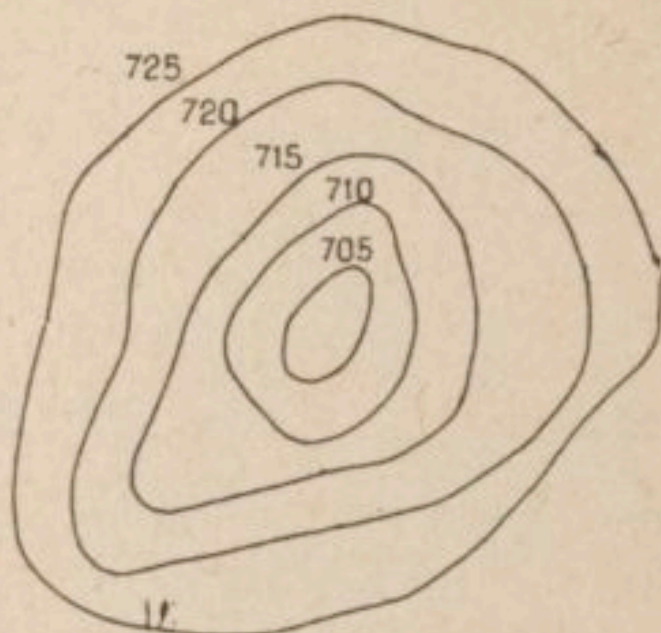


Fig. 14.

figure. Dans ce cas, on a affaire à un centre de *dépression*. C'est ce qu'on appelle un *cyclone* ;

2^o (*fig. 15*) Les pressions les plus fortes sont à l'intérieur de la

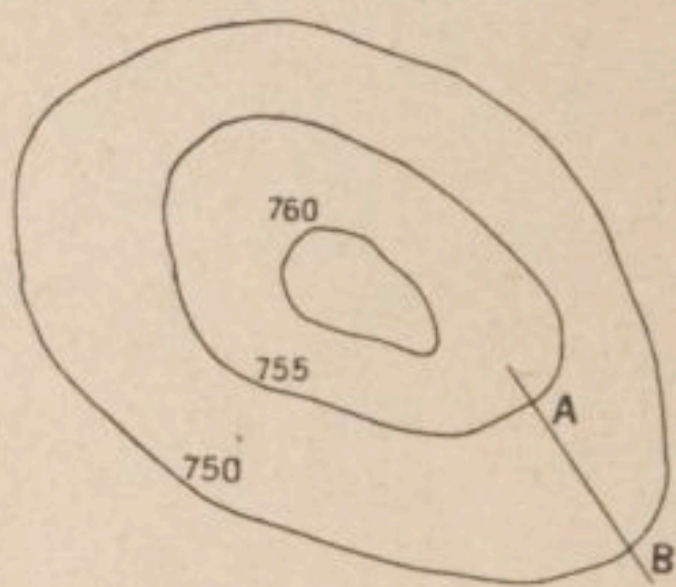


Fig. 15.

figure. Dans ce cas, on a affaire à un centre de pression. C'est ce qu'on appelle un *anticyclone*.

On remarque que, d'une façon générale, les lignes isobares sont beaucoup plus rapprochées les unes des autres dans le cyclone que dans l'anticyclone.

Gradient. — C'est le rapport qui existe entre la différence de pressions (en millimètres de mercure) de deux courbes voisines et la distance qui les sépare comptée en degrés de latitude, et mesurée sur la perpendiculaire commune aux deux courbes.

Ainsi, sur la figure 15, de A à B, existe une différence de pression $755 - 750 = 5^{\text{mm}}$. Nous trouvons, à l'échelle, que sur la carte la longueur AB, perpendiculaire aux deux courbes, vaut, par exemple, 280^{km} . On sait que 1° de latitude vaut 111^{km} ($40\,000 : 360^{\circ}$). Dans 280^{km} , il y aura $\frac{280}{111} = 2^{\circ},5$ environ. Le gradient sera égal à $\frac{5}{2^{\circ},5} = 2$.

Humidité atmosphérique. — Une partie de l'eau qui est à la surface du globe (océans, fleuves, lacs), échauffée par le Soleil, se transforme en vapeur. Cette vapeur est invisible et remplace une partie de l'air. Sa densité étant plus faible que celle de l'air, il s'ensuit que la densité de l'atmosphère diminue. C'est pourquoi l'air est généralement sec quand le baromètre est élevé et inversement.

La quantité de vapeur d'eau que peut contenir l'atmosphère varie énormément avec la température. Plus la température est élevée, plus il peut y avoir de vapeur d'eau. Dans tous les cas, à une certaine température correspond une certaine quantité de vapeur d'eau qui peut être contenue. Lorsque cette quantité est atteinte, aucun supplément de vapeur n'est possible, on dit que l'air est *saturé*. Par suite de la plus grande quantité de vapeur d'eau que peut admettre l'air chaud, dans nos régions : *l'air est beaucoup plus humide en été qu'en hiver*. Mais les condensations de vapeur d'eau, qui forment les nuages, le brouillard, etc., sont beaucoup plus rares en été parce que le point de saturation est assez éloigné par suite de la température élevée.

Hygromètre. — C'est un instrument qui permet de connaître le degré d'humidité de l'atmosphère. Il est basé sur l'allongement d'un cheveu dans l'air humide et son raccourcissement dans l'air sec. Les variations de longueur sont transmises à une aiguille qui se déplace sur un cadran.

Les nuages. — Ils peuvent se former de trois façons :

1° *Par abaissement de la température.* — La saturation est atteinte, et une partie de la vapeur d'eau se condense sous forme de petites gouttes d'eau qui constituent le nuage (c'est ainsi qu'en hiver, il se forme de la buée sur les vitres d'un appartement chauffé). Dans le

cas où une dépression barométrique se produit, l'air se détend et se refroidit. La saturation peut être atteinte.

2^o *Augmentation de la quantité de vapeur d'eau.* — Si la saturation est atteinte et qu'il y ait encore production de vapeur d'eau, une partie de celle-ci se condense.

3^o *Par mélange d'une couche d'air chaud et d'une couche d'air froid.* — Cette dernière abaisse la température de la première et la saturation peut être atteinte, d'où condensation, bien que pour chacune d'elles le point de saturation ne soit pas atteint.

Ceci explique la formation des nuages dans un ciel serein.

Les nuages peuvent se classer en différentes catégories :

DÉNOMINATION.	CARACTÉRISTIQUES.	INDICATIONS.	ALTITUDE.
Cirrus.....	Blanc ténu, en petites plumes ou pinceaux légers. Isolés ou en longues bandes.	Premiers formés après le beau temps annoncent le vent.	9 à 12 000 ^m
Cirro-Stratus..	Voile diffus laissant apercevoir les cirrus.	Produit le halo. Signe de trouble.	8000 ^m
Cirro-Cumulus..	Petites balles. Flocons sans ombre, en groupes ou en files. Ciel <i>moutonneux</i> .	Pluie dans les 48 heures.	7 à 8000 ^m
Alto-Cumulus...	Balles et flocons plus gros et ombrés. Ciel <i>pommelé</i> .	Changem ^t de temps.	5 à 7000 ^m
Strato-Cumulus.	Bourrelet de nuages sombres couvrant tout le ciel (surtout en hiver), lui donnant un aspect <i>ondulé</i> .	Temps douteux.	4000 ^m
Cumulus.....	Épais et arrondis. Balles cotonneuses, d'un blanc vif à l'extérieur. Plus sombres au centre.	Annoncent le beau temps, sauf s'ils s'effrangent sur les bords. En ce cas : pluie.	1500 à 3000 ^m
Cumulo-Nimbus..	Masses considérables, en montagne. En haut, texture fibreuse. En bas, gros nuages gris.	Précèdent de peu les giboulées, orages, chutes de grêle.	1400 à 4000 ^m
Nimbus.....	Nuages sombres à bords déchirés en couches épaisses.	Pluie ou neige.	du sol à 1500 ^m

Différents phénomènes météorologiques. — *Brouillard.* — Ce n'est

qu'un nuage au ras du sol. Il se forme par la condensation de la vapeur d'eau contenue dans une couche d'air chaud lorsque la température de cette couche diminue en passant sur un sol froid (c'est ce qui se produit souvent le matin après une belle nuit claire pendant laquelle le sol s'est refroidi en rayonnant sa chaleur).

Un courant d'air froid passant au-dessus d'une masse d'eau peut condenser également la vapeur qui s'en dégage.

Pluie. — Lorsque les gouttes de la condensation formant un nuage sont petites, elles flottent pour ainsi dire dans l'air à la manière des poussières. Leur chute est très lente. D'autre part, il est possible que les gouttes qui se trouvent à la partie inférieure du nuage s'évaporent de nouveau au contact des couches d'air lorsque celles-ci deviennent assez chaudes, tandis que la partie supérieure du nuage grossit par suite de nouvelles condensations dans un air froid. Dans ce cas, il n'y a donc pas chute des gouttes d'eau jusqu'au sol. Au contraire, si la condensation a été énergique en altitude, les gouttes d'eau, plus grosses, tombent sans avoir le temps de s'évaporer et arrivent jusqu'au sol, formant la *pluie*.

La quantité d'eau qui tombe en un certain laps de temps en un lieu déterminé est évaluée grâce au *pluviomètre* (*fig. 16*). C'est un

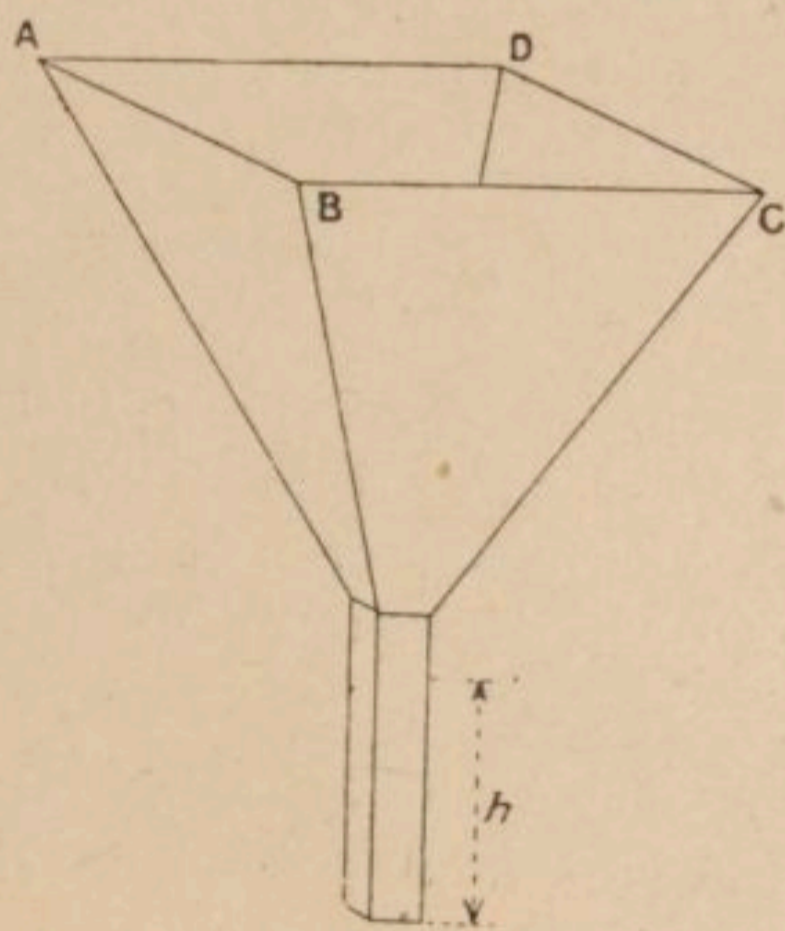


Fig. 16.

appareil ayant à peu près la forme d'un entonnoir. La surface supérieure ABCD est connue, par exemple, 1 m^2 . La partie inférieure,

très petite et fermée au fond, a une surface de section connue également, par exemple 3cm^2 . Supposons qu'en un certain temps, il soit tombé dans le fond du pluviomètre une hauteur d'eau de 30cm . Le volume d'eau contenu en bas sera donc : $3 \times 30 = 90\text{cm}^3$. C'est ce volume qui est tombé, en réalité, sur ABCD. Il faut donc le répartir sur la surface ABCD. Cette surface étant égale à 1m^2 ou $10\,000\text{cm}^2$, il faudra, pour avoir 90cm^3 répartis sur $10\,000\text{cm}^2$, une hauteur égale à $\frac{90}{10\,000} = 0\text{cm}, 009$, soit $\frac{9}{100}$ de millimètre.

C'est ce qu'on appelle la *hauteur d'eau* tombée. Cette hauteur varie avec les pays. Elle est plus grande dans les régions équatoriales (3m d'eau par an) que dans certaines régions tropicales de part et d'autre de l'équateur ($0\text{m}, 30$ par an) et que dans nos régions (environ 50 à 80cm par an).

A mesure qu'on s'enfonce dans les terres, les vents chargés d'humidité en perdent une partie et la hauteur d'eau diminue. Les pays situés très loin des mers peuvent alors se dessécher complètement et former les déserts.

Neige. — Quand les gouttes d'eau de condensation se produisent dans un air au-dessous de 0° , elles se congèlent et forment *la neige*.

Grêle. — Quand la condensation est plus brutale, il peut se former, d'une façon analogue, des grêlons. Pour que ceux-ci puissent devenir gros, il est nécessaire qu'il existe des courants ascendants violents capables de les maintenir un certain temps en l'air.

Verglas. — Lorsqu'une pluie subite tombe sur un sol au-dessous de 0° , elle gèle aussitôt et recouvre tout d'une couche de glace.

Rosée. — Quand une nuit est claire et calme, le sol perd par rayonnement une grande partie de sa chaleur. Il peut y avoir condensation de la vapeur d'eau contenue dans les couches inférieures d'air. C'est la rosée qui forme la *gelée blanche* dans le cas où l'abaissement de température est assez grand.

Orage. — C'est un trouble momentané de l'atmosphère pendant lequel on remarque la formation de cumulo-nimbus, pouvant provoquer de la pluie, de la grêle, un coup de vent et aussi des éclairs et du tonnerre.

Un orage a lieu généralement aux heures chaudes de la journée, parce qu'il est provoqué par des courants ascendants. On peut

généralement le prévoir plusieurs heures à l'avance (changement d'aspect des nuages, baromètre, etc.). C'est alors un *orage de chaleur*.

Il existe aussi les *orages de dépression*, qui se produisent à proximité d'un « cyclone » lorsqu'il existe de violents courants ascendants.

Grain. — Il est caractérisé par *a*, augmentation brusque de l'intensité du vent, et changement de direction (le vent change de direction, en Europe, généralement dans le sens des aiguilles d'une montre); *b*, pluie abondante; *c*, le vent reprend petit à petit sa direction et son intensité primitive.

Il n'y a jamais de grain dans un régime anticyclonique.

VENTS. — La vitesse du vent peut varier énormément. On enregistre quelquefois des vents de 120 ou 130^{km} à l'heure. Sa direction est essentiellement variable.

En altitude, par exemple, elle peut être opposée à celle existant près du sol.

On désigne toujours la direction d'un vent par la direction d'où il vient; exemple : un vent E est un vent qui vient de l'Est.

En général, sa vitesse augmente à mesure qu'on s'élève au-dessus du sol parce que les obstacles rencontrés par les molécules d'air (vallées, bois, collines, etc.) diminuent.

Dans nos régions, le vent est généralement faible ou nul le matin près du sol, et croît peu à peu jusque vers 1^h de l'après-midi, puis décroît jusqu'au coucher du Soleil.

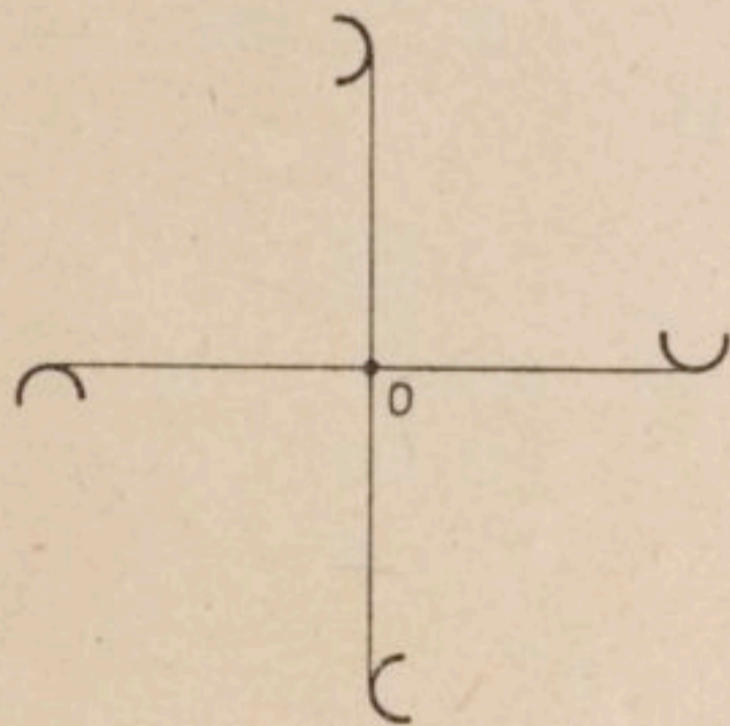


Fig. 17.

On mesure sa vitesse près du sol au moyen de l'*anémomètre*. C'est un appareil (*fig. 17*) formé de deux branches soudées à 90° et por-

tant à chaque extrémité une cuillère destinée à recevoir l'action du vent. Un pivot est situé au centre O , fixé sur un axe vertical, les branches pouvant alors tourner dans un plan horizontal. Un appareil enregistre la vitesse de rotation qui renseigne ainsi sur la vitesse du vent.

Le vent prend naissance entre deux points dès qu'existe une différence de pression entre ces deux points. C'est ce qui se passe lorsqu'on veut gonfler un pneu de bicyclette. Il existe dans la pompe une certaine pression et dans le pneu une pression inférieure. Il se produit alors un courant allant de la pompe vers le pneu. Dans l'atmosphère, *le vent aura donc toujours tendance à aller d'un centre de haute pression vers un centre de basse pression.*

Le Soleil est la cause des vents. L'origine des vents est, en effet, un appel d'air dû aux vides relatifs créés par les courants ascendants d'air chaud. Si l'on considère le globe, il existe des contrées surchauffées et des régions froides. Au-dessus des régions surchauffées, l'air se dilate et monte dans les régions supérieures. Il se déverse sur les régions froides. Pendant ce temps, par suite de l'ascension de l'atmosphère des régions chaudes, il se produit une diminution de pression dans ces régions, et l'air des contrées froides vient combler ce vide partiel (*fig. 18*).

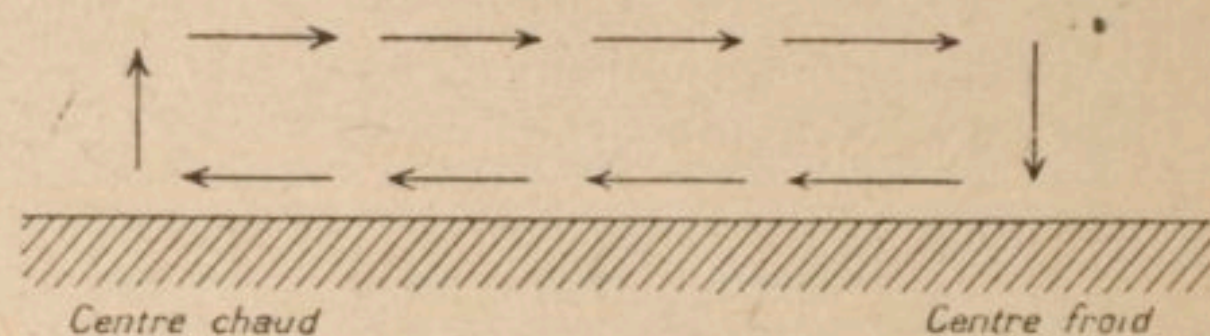


Fig. 18.

Il y aura donc à la partie supérieure un courant chaud allant des centres chauds aux centres froids, et à la partie inférieure un courant froid allant des centres froids aux centres chauds.

Alizés et contre-alizés. — L'équateur, sur la Terre, représentera le centre chaud. Les pôles seront les centres froids. Nous aurons alors des vents chauds allant de l'équateur vers les pôles à la partie supérieure de l'atmosphère, et des vents froids allant des pôles vers l'équateur à la partie inférieure de l'atmosphère.

Considérons seulement l'hémisphère Nord. Par suite de la rota-

tion de la Terre, le vent chaud, au lieu d'aller en ligne droite vers le pôle, est dévié *vers sa droite*, et lorsqu'il passe dans nos régions, sa direction est SO-NE. *C'est le contre-alizé du SO* (fig. 19). A mesure qu'il se rapproche du pôle Nord, il se rapproche peu à peu du sol. C'est le vent dominant dans nos régions. Il est humide puisqu'il vient de l'Atlantique et amène, en général, des pluies persistantes. Il est froid en été et chaud en hiver.

Également, par suite de la rotation de la Terre, le vent froid, au lieu de venir en ligne droite du pôle Nord vers l'équateur est dévié *vers sa droite*, et lorsqu'il passe dans nos régions, sa direction est NE-SO. *C'est l'alizé du NE* (fig. 19). Il est sec (l'atmosphère est claire lorsqu'il souffle). Il est chaud en été, froid en hiver.

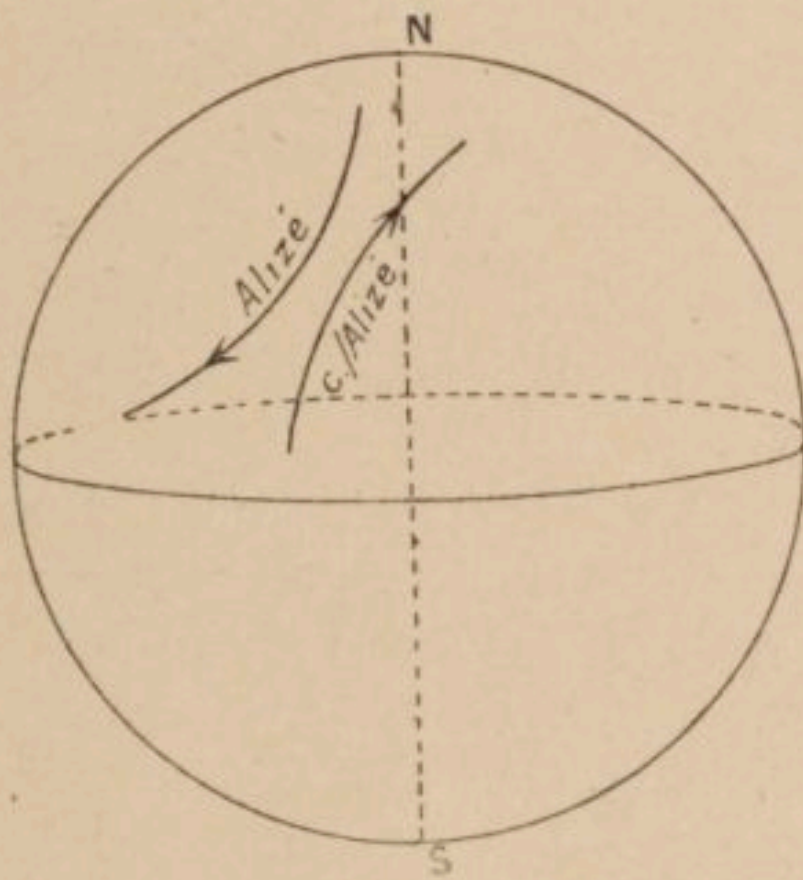


Fig. 19.

Dans l'hémisphère Sud, la déviation du vent serait inverse de l'hémisphère Nord. Ces déviations proviennent de ce que les vitesses circonférentielles des points du globe sont de plus en plus petites à mesure que l'on se rapproche des pôles.

Les vents ayant d'autres directions ont également leurs caractéristiques. Ainsi, le vent N est froid, les vents O et NO ont les mêmes caractéristiques que le vent SO, mais sont plus froids. Le vent E ressemble au vent NE. Les vents SE et S, rares et instables, précèdent généralement le mauvais temps. Ils amènent souvent des orages.

Cartes météorologiques. — Tous les jours, les bureaux météo-

rologiques dressent des cartes de régions très étendues (toute l'Europe, par exemple), sur lesquelles on porte un certain nombre d'in-

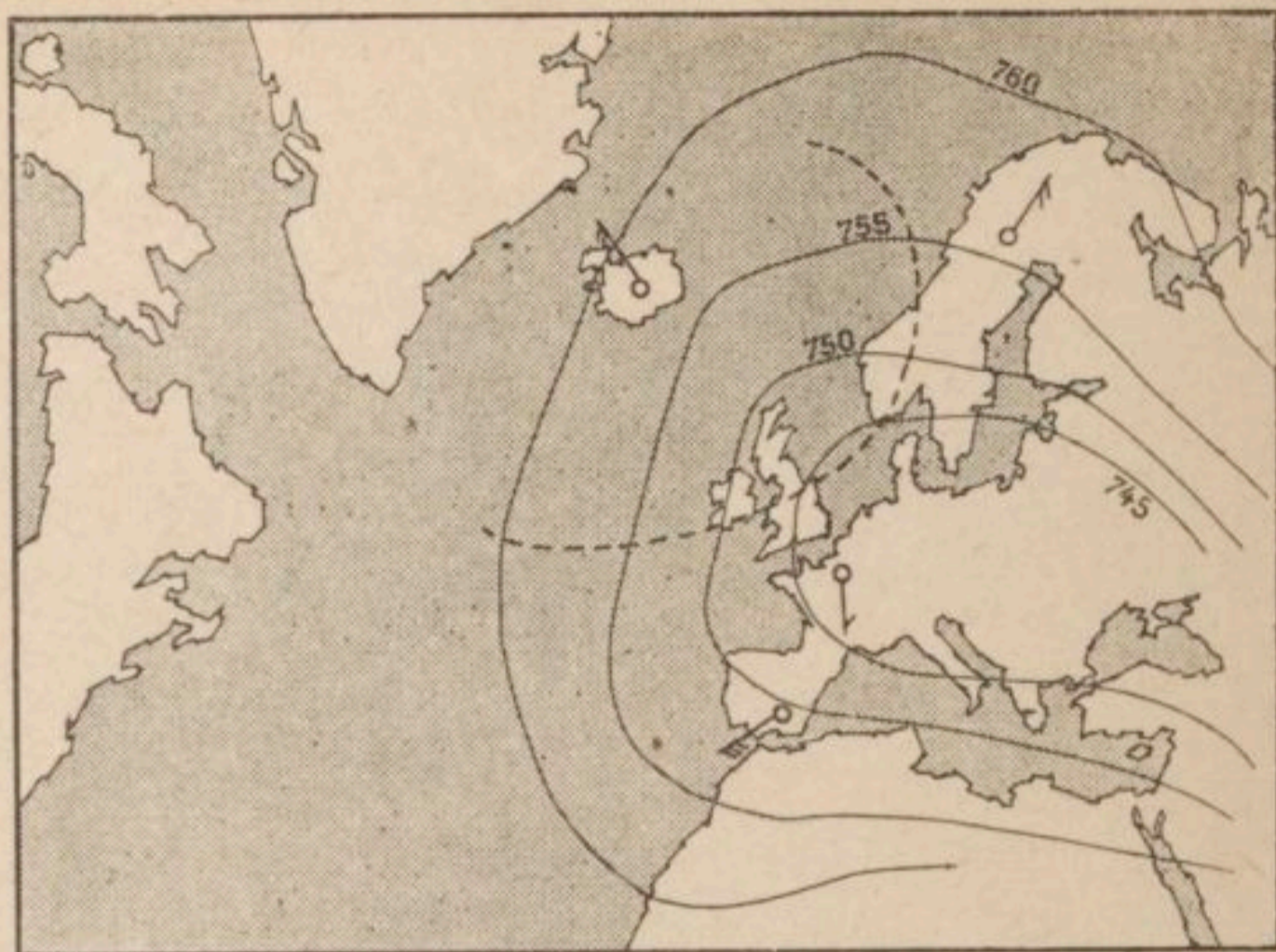


Fig. 20.

dications : lignes isobares, lignes d'égale variation barométrique depuis la veille (marquées en pointillé), direction et force du vent sur une quantité de régions, etc. Ces indications sont utiles pour la préparation des voyages en avion et pour la prévision du temps. L'examen de ces cartes permet, en particulier, de suivre la marche des anticyclones et des cyclones.

Pennes. — La direction et la vitesse du vent sont indiquées sur les cartes par de petites flèches dirigées vers la direction *d'où vient le vent*. Ces petites flèches portent des *pennes* dont le nombre indique la vitesse du vent en mètres-seconde. Pour connaître cette vitesse, il suffit de se reporter à l'*échelle de Beaufort*. Ainsi :

	indique un vent SO de 4 mètres-seconde
	» E de 8 »
	» S de 10 »
	» E de 12 »

Prévision du temps. — La prévision du temps est basée sur

l'examen des déplacements des dépressions, et sur les indications données par le thermomètre, le baromètre, l'hygromètre, l'aspect des nuages, etc.

1^o *Déplacement des dépressions.* — L'examen des cartes montre dans quelle direction un cyclone se déplace. Considérons une dépression (fig. 21), se déplaçant dans une direction SO-NE. Une ville V

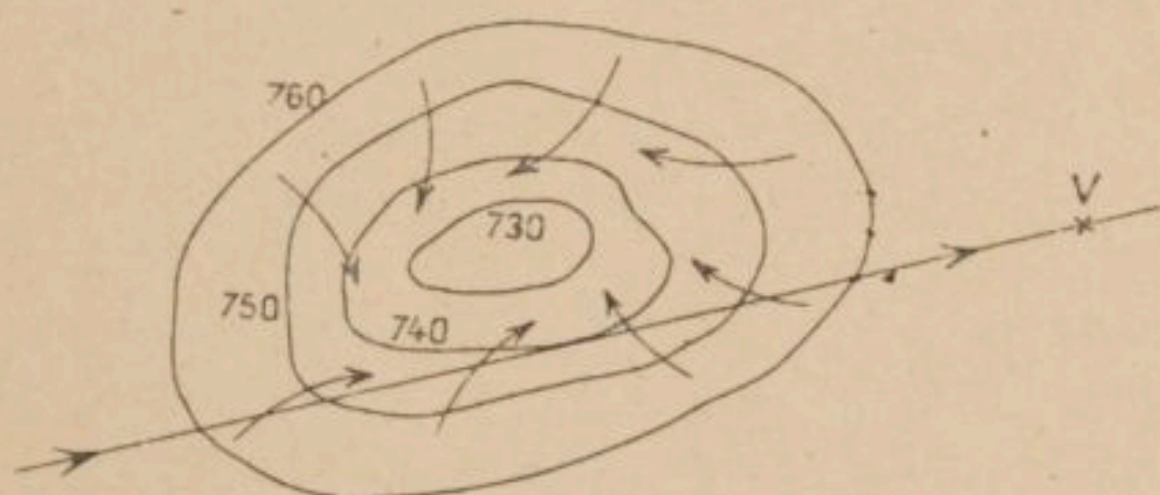


Fig. 21.

se trouvera sur le chemin de la dépression et de telle façon que le centre de la dépression passe au nord de V.

Nous avons vu que le vent était dévié vers sa droite dans l'hémisphère Nord. Or, dans le cyclone, les vents vont nécessairement de l'extérieur vers l'intérieur. *Ils sont convergents.* Mais, étant tous déviés vers leur droite, *ils semblent alors tourner en sens inverse des aiguilles d'une montre* (ce serait l'inverse pour un anticyclone). On voit sur la figure que la ville V recevra des vents successivement : E — S-E — S — S-O — O, c'est-à-dire que les vents changeront de sens *en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre.* Les vents reçus vers la fin : S-O et O, amèneront avec eux des pluies et du mauvais temps persistant.

Supposons qu'une ville ait vu passer la dépression au Sud. Elle aurait reçu successivement des vents : S-E — E — N-E, qui lui auraient amené un temps beau et sec.

Quelle que soit la route suivie par la dépression, il sera toujours possible de faire le même raisonnement.

Le gradient, dont nous avons déjà parlé, donne des indications sur la force du vent. En effet, le vent peut être considéré comme glissant d'une courbe isobare à la suivante. La vitesse sera donc d'autant plus grande que les lignes seront plus serrées pour une

même différence de pression, c'est-à-dire que le gradient sera plus fort.

2^o *Thermomètre.* — Le tableau suivant peut être consulté :

Montée	{	Au printemps ou en été.....	Beau temps
		En automne ou en hiver.....	Pluie
Baisse	{	Au printemps ou en été.....	Pluie
		En automne ou en hiver.....	Beau temps

3^o *Baromètre.* — Nous avons vu que les seuls baromètres intéressants pour la prévision du temps étaient les baromètres enregistreurs.

Ce sont les variations de pression qui peuvent fournir des renseignements. De l'examen de ces variations, on déduira le temps probable. On peut donc se baser, en général, sur le tableau suivant :

Montée	{	lente	{ dans le beau temps.....	Temps beau
			{ dans le mauvais temps..	Temps se remet au beau
	{	Brusque	{ dans le beau temps, suivi	Temps médiocre
			{ d'une baisse rapide...	
		{ dans le mauvais temps..	La pluie persiste	
Baisse	{	lente	{ dans le beau temps.....	Mauvais temps éloigné
			{ dans le mauvais temps..	Pluie persistante
	{	Brusque	{ dans le beau temps, suivi	Orage. Tempête
			{ d'une petite hausse...	
		{ dans le mauvais temps..	Aggravation du mauvais temps	

On remarque que toute variation brusque est mauvaise.

4^o *Hygromètre.* — Si l'on consulte l'hygromètre le matin d'une journée de beau temps, et ensuite dans le début de l'après-midi, par suite de la grosse différence de température entre les deux lectures, l'atmosphère devrait contenir beaucoup plus d'humidité la seconde fois que la première. Si donc l'hygromètre marque deux graduations peu différentes, *c'est que l'atmosphère est presque saturée.* On a donc des chances de voir apparaître bientôt la pluie.

Prévision des orages de chaleur. — On les prévoit quelques heures à l'avance au moyen des nuages en particulier.

Au-dessus de quelques cumulus, se forment des cirrus en longues bandes, qui bientôt se transforment en cirro-cumulus, puis ensuite en alto-cumulus, fréquemment accompagnés d'un voile de cirro-stratus, ou d'un voile d'alto-stratus gris précédant la formation des cumulo-nimbus cuivrés. L'air est devenu, entre temps, plus chaud et lourd; le baromètre est descendu et, avant les premières gouttes de pluie, les arbres sont secoués par de brusques rafales de vent.

Les orages peuvent être prévus également par l'examen du baromètre qui indique alors, en général, une baisse précédée d'une hausse faible, mais extrêmement brusque, appelée *crochet d'orage*.

Utilisation des renseignements météorologiques pour la préparation d'un voyage. — Les anticyclones étant plus stables, plus lents dans leurs déplacements et maintenant généralement un temps sûr, le pilote d'avion aura intérêt, lorsque cela lui sera possible, à attendre pour exécuter un voyage une période d'anticyclone. La consultation des cartes météorologiques lui servira à connaître à l'avance la direction et la force des vents dans tout le parcours. Il pourra y avoir intérêt, par exemple, à monter à 2500^m, plutôt qu'à rester à 1000 ou 1200^m, parce qu'à 2500^m peut régner un vent marchant dans le même sens que l'avion. La carte météorologique permet donc de calculer approximativement la durée du voyage.

Avant le départ, il sera bon de téléphoner si possible aux différents points du parcours pour savoir si les conditions atmosphériques sont bonnes, et si les prévisions présentent une sécurité suffisante dans le cas d'un grand voyage.

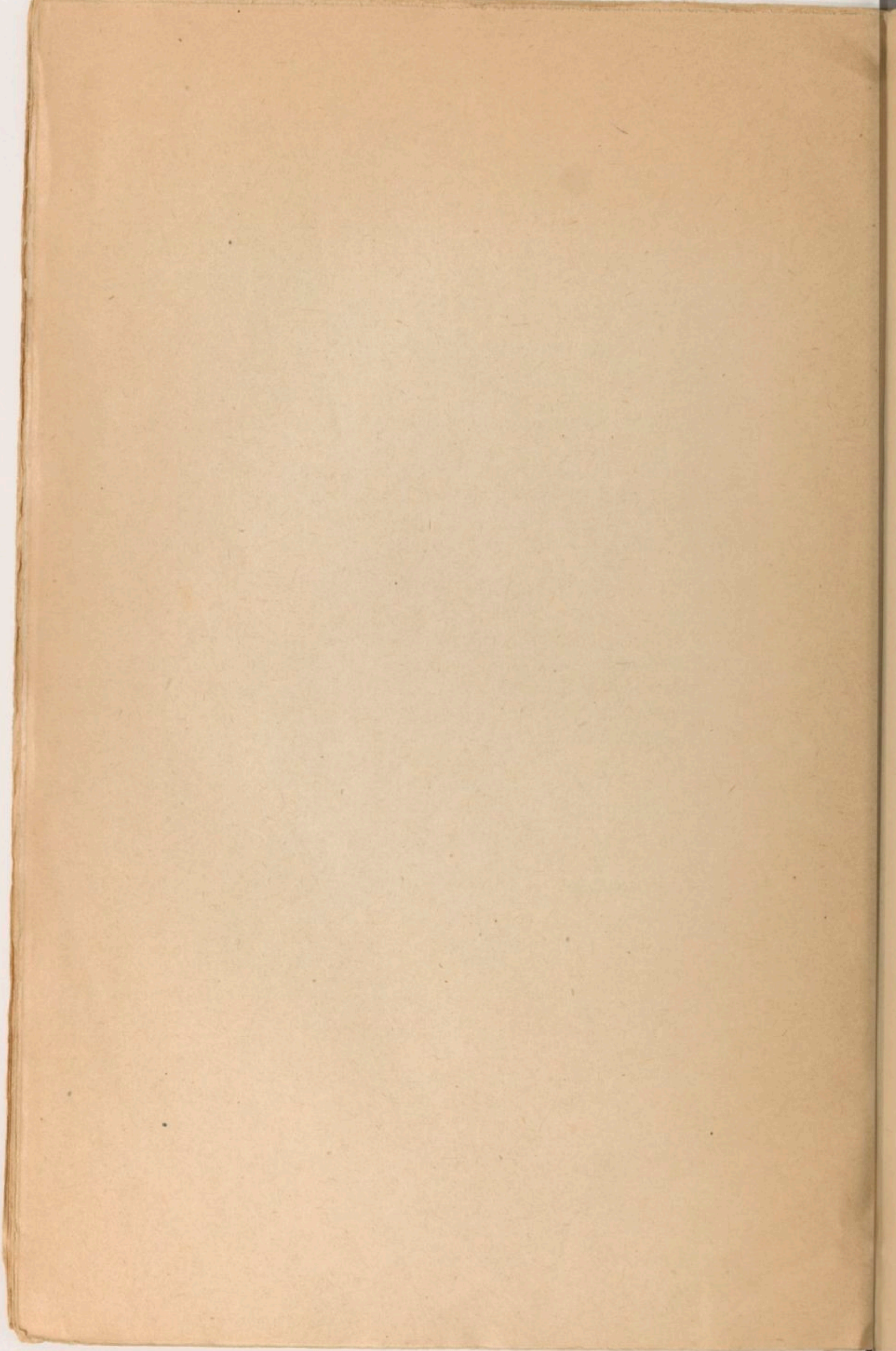


TABLE DES MATIÈRES.

	Pages.
AVANT-PROPOS.....	V
PRÉFACE.....	VII
AVIONS.	
I. <i>Aérodynamique.</i> — Généralités.....	2
Pression atmosphérique.....	14
Résistance de l'air.....	16
Finesse d'un avion.....	32
Équilibre d'un avion en vol.....	33
II. <i>Application de l'aérodynamique aux avions</i>	41
Amélioration des ailes.....	41
» du reste de l'avion.....	45
Stabilité d'un avion.....	49
III. <i>Action du vent sur l'avion</i>	62
IV. <i>Hélice</i>	67
V. <i>Construction des avions</i>	77
Coefficient d'essai statique.....	90
VI. <i>Instruments de bord</i>	94
Boussole.....	103
<i>Additif au Cours proprement dit</i>	111
MOTEURS.	
<i>Généralités</i>	119
Segments, Course, Compression, etc.....	120
Principe du cycle à quatre temps.....	124
Réglage des soupapes dans la pratique.....	126
Volant. Poids et encombrement des moteurs ..	128
I. <i>Organes de distribution</i>	131
II. <i>Carburation</i>	133
Importance d'une bonne proportion.....	134
Carburateurs simples. Défauts constatés avec ceux-ci.....	135
Différentes solutions de la carburation.....	139

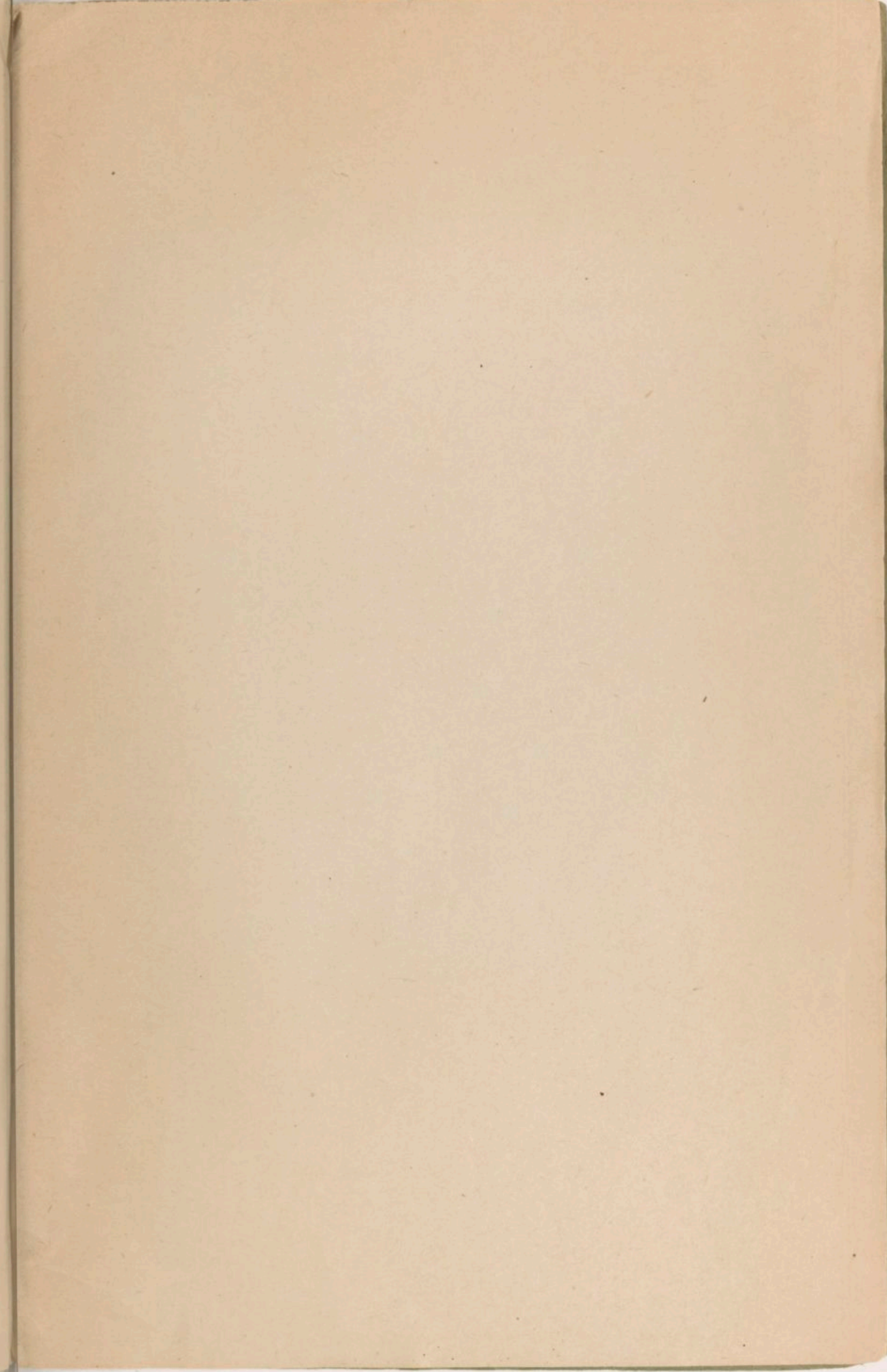
	Pages
Principe du carburateur Zénith.....	139
Bloc-Tube Tampier.....	145
III. <i>Allumage</i>	147
Phénomènes magnétiques.....	150
Création du courant primaire dans la magnéto.....	154
Organes de la magnéto. Calage. Magnéto de départ.....	164
IV. <i>Graissage</i>	169
V. <i>Refroidissement</i>	179
VI. <i>Les pannes</i>	187
Recherche des pannes.....	192
VII. <i>Entretien et réglage</i>	196
<i>Additif au Cours proprement dit</i>	197
Avance à l'allumage. Magnétos à volets tournants.....	197
Ordre d'allumage. Forme des vilebrequins. Calage des cylindres.	201
Embiellage.....	206
Alimentation des moteurs en essence. Pompe A.M.....	208
Consommation. Petites réparations courantes.....	211
Principe de mesure des puissances des moteurs.....	213
Maintien de la puissance en altitude.....	215

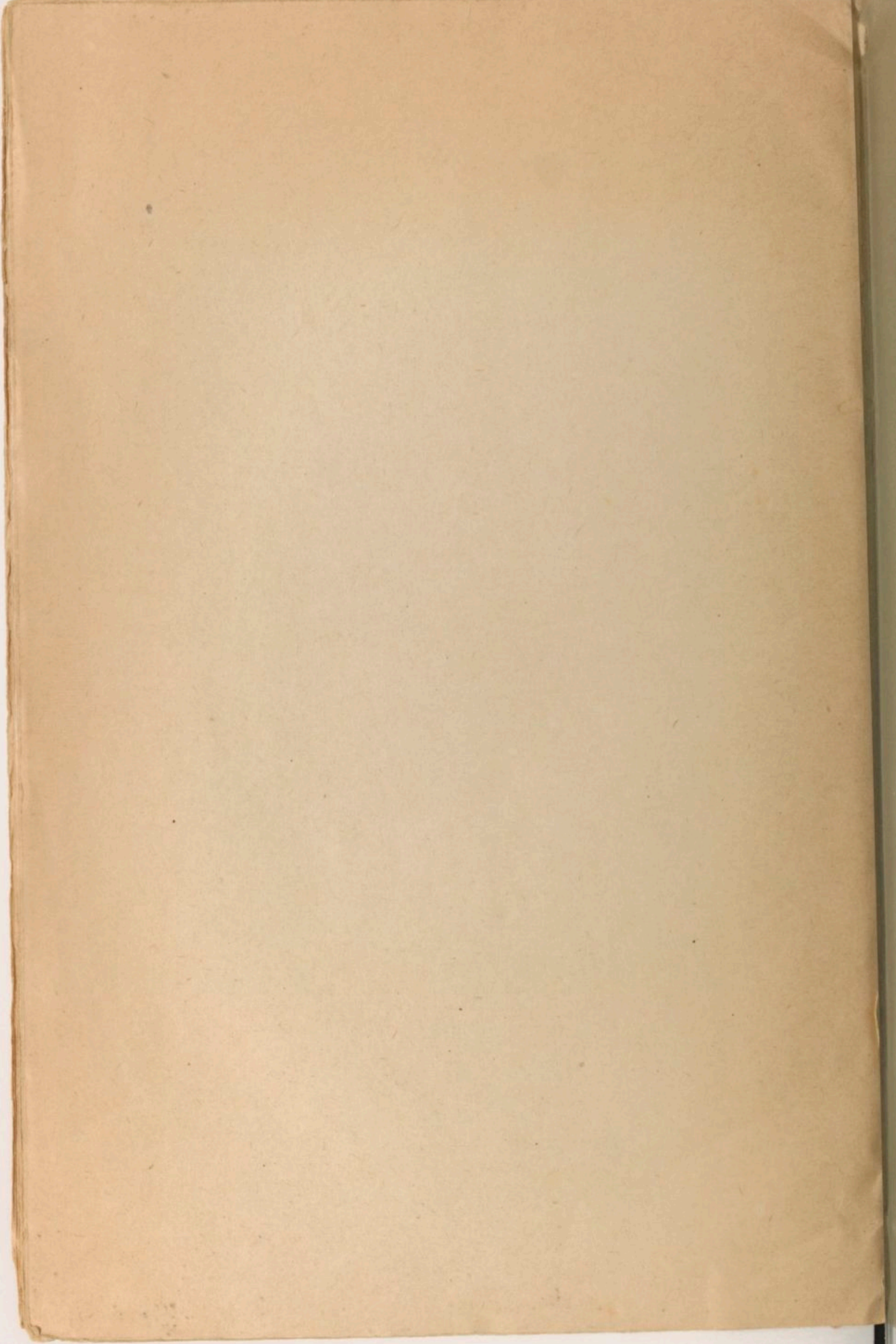
CARTES.

<i>Généralités</i>	217
--------------------------	-----

MÉTÉOROLOGIE.

<i>Généralités</i>	227
Température. Pression. Lignes isobares. Humidité.....	227
Nuages. Différents types de nuages.....	233
Phénomènes météorologiques. Cartes.....	234
Prévision du temps.....	240





LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS et C^{ie}

55, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, PARIS (6^e)

Envol dans toute l'Union postale contre mandat-poste ou valeur sur Paris.
Frais de port 10 % en sus. (Chèques postaux : Paris 29323.) R. C. Seine : 22520.

- BOILÈVE (M.)**, Professeur à l'École supérieure d'Aéronautique. — **Application de la résistance des matériaux au calcul des Avions.** Un vol. in-8 (25 × 16) de VIII-242 pages, avec 162 figures; 1921.. 30 fr.
- BRÉGUET (Louis)**, Ingénieur-Constructeur. — **Le Vol à voile dynamique des oiseaux, Analyse des effets des pulsations du vent sur la résultante aérodynamique moyenne d'un planeur.** Un volume in-8 (23 × 14) de xv-60 pages, avec figures dans le texte; 1924..... 8 fr.
- COURQUIN (A.) et DUBEDAT (G.)**, Ingénieurs. — **Technique et Pratique de la Magnéto à haute tension. Détail de ses applications à l'aviation et à l'automobile.** Un vol. in-16 double couronne (180-115) de 116 pages, avec 37 figures dans le texte; 1920..... 6 fr.
- DRZEWIECKI (S.)**, Ingénieur. — **Théorie générale de l'hélice. Hélices aériennes et hélices marines.** Un vol. in-8° raisin (250 × 162) de VII-184 pages, avec 43 figures dans le texte, 9 planches et 4 tables hors texte; 1920..... 20 fr.
- DUVAL (A.-B.)**, Lieutenant de vaisseau de réserve, Pilote-Aviateur et **HÉBRARD (L.)**, Capitaine au 21^e Régiment d'Aviation, Pilote-Aviateur. — **Traité pratique de navigation aérienne.** Un volume in-4 de 60 p., avec 103 figures; 1922..... 6 fr.
- JOUKOWSKI (N.)**, Professeur à l'Université de Moscou. — **Bases théoriques de l'Aéronautique : Aérodynamique.** Cours professé à l'École impériale technique de Moscou. Traduit du russe par S. DRZEWIECKI, Ingénieur. In-8 (25-16) de XVIII-230 pages, avec 140 fig.; 1916. 22 fr.
- LAFON (Ch.)**, Commandant breveté aéronaute militaire, Licencié ès Sciences. — **Etude sur le Ballon captif et les Aéronefs marins.** Un volume in-8 raisin (25 × 16) de 208 pages, avec 21 figures et 2 planches; 1922..... 20 fr.
- LAINÉ (André)**, Officier Pilote de Réserve, Professeur à l'Aéronautique-Club. — **Ce que tout Aviateur doit savoir.** Préface de M. PAINLEVÉ, Membre de l'Institut; nouvelle édition, revue et augmentée. Un volume in-8 cartonné (23 × 14) de XII-173 pages, avec figures..... 12 fr.
- LANCHESTER (F.-W.)**. — **Le vol aérien. Aérodynamique.** Traduit de l'anglais sur la 2^e édition, par le commandant C. BENOIT. Volume in-8 (23-14) de XVII-478 pages, avec 208 figures et une planche; 1916. 28 fr.
- MARGOULIS (W.)**, Ancien directeur du Laboratoire Eiffel. — **Les Hélicoptères.** — Un vol. in-8 de 92 pages, 21 planches et figures; 1922..... 10 fr.
- ROY (Maurice)**, Ingénieur au Corps des Mines. — **Sur la Théorie des surfaces portantes.** Un volume in-8 écu (20 × 13) de 132 pages avec 52 figures (*Collection Scientia*, n° 39); 1923..... 12 fr.