

P. PÈPE

INGÉNIEUR CIVIL DE L'AÉRONAUTIQUE
CHEF DU BUREAU D'ÉTUDES
DES CHANTIERS AÉRO-MARITIMES DE LA SEINE



PRÉCIS D'HYDRAVIATION

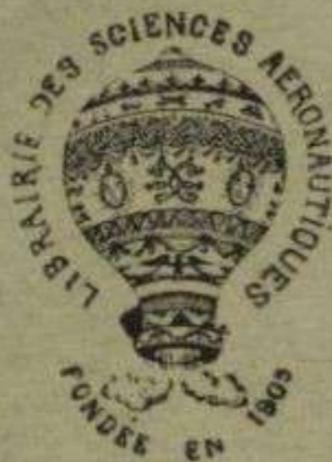
**Cours de l'École Technique d'Aéronautique
— et de Construction automobile —**

ILLUSTRÉ DE 147 FIGURES

Préface de François DENHAUT

INGÉNIEUR-CONSTRUCTEUR

TOME I



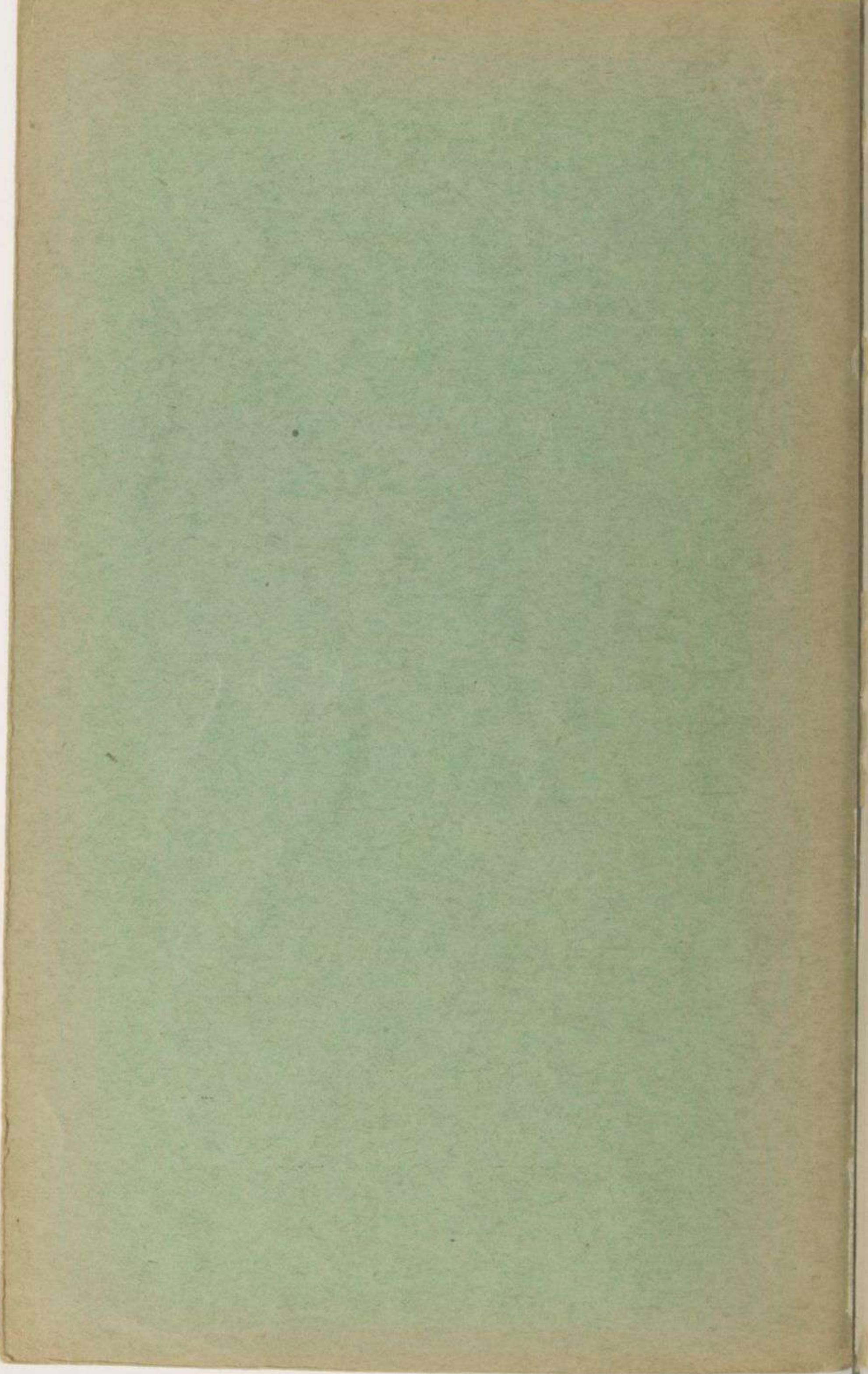
LIBRAIRIE DES SCIENCES AÉRONAUTIQUES

FONDÉE EN 1905

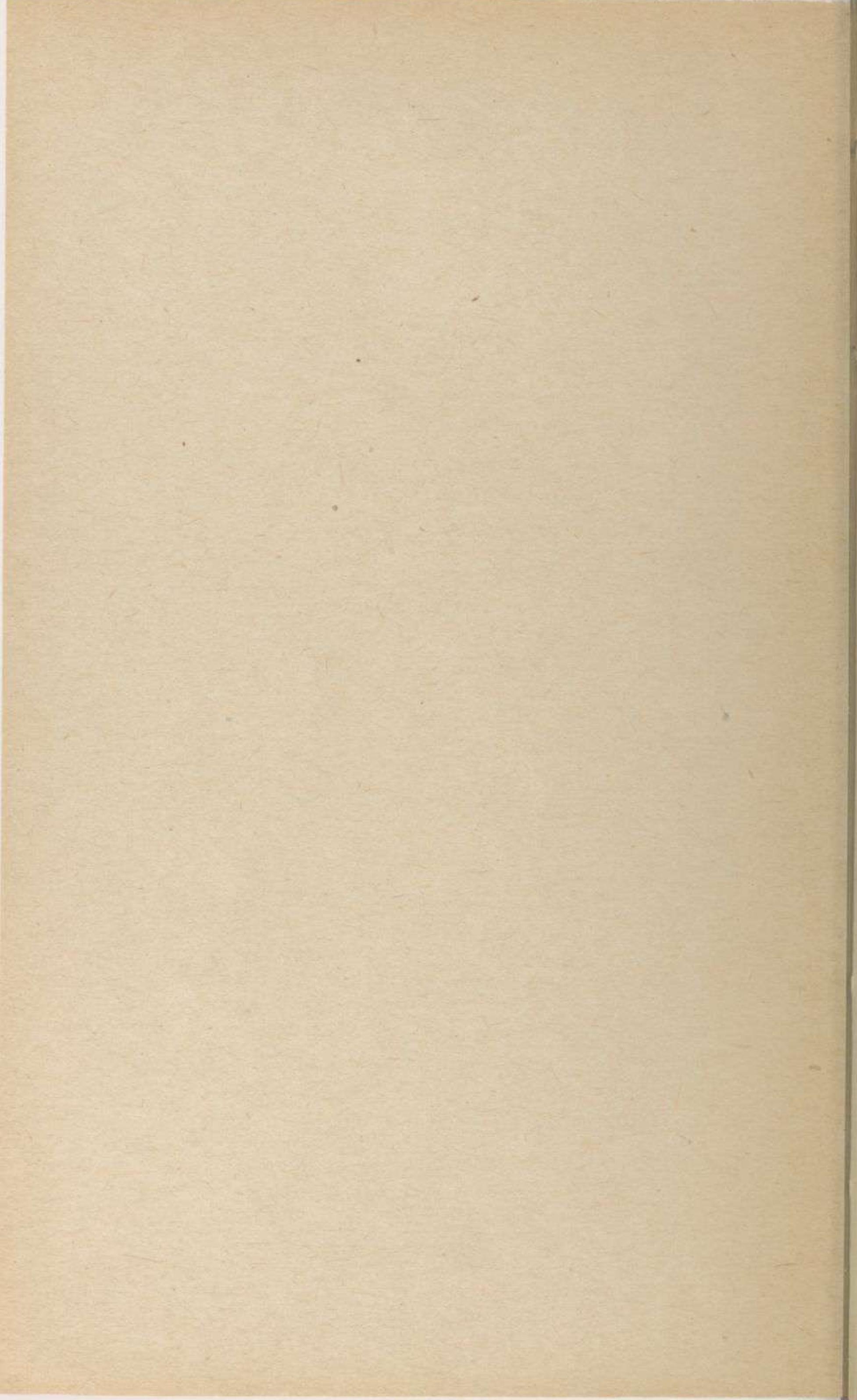
F.-Louis VIVIEN, LIBRAIRE-ÉDITEUR

— 48, Rue des Écoles — PARIS (V^e) —

1931



HYD/1993-PEP-1



PRÉCIS
D'HYDRAVIATION

DANS NOTRE COLLECTION A 12 FRANCS

- DESGRANDSCHAMPS (R.-G.), ingénieur. — **Précis d'aérodynamique**. 12 »
- SABLIER (G.). — **Manuel pratique de construction des planeurs** 12 «
- HAMEL (G.-R.), ancien instructeur technique à l'École d'aviation, navigateur aérien. — **Éléments de navigation aérienne pratique**. 12 »
- GASTOU (R.), officier aviateur de réserve, préface de M. Louis Bréguet, ingénieur constructeur, président de la Société française de Navigation aérienne. — **L'Hélice aérienne à pas constant, à pas variable, théorie, expérimentation. Calcul. Fabrication.** — 2 vol. 24 »
- PÈPE (P.), ingénieur civil de l'aéronautique, chef du Bureau d'études des Chantiers Aéro-Maritimes de la Seine. — **Précis d'Hydraviation**, cours de l'École technique d'Aéronautique et de Construction automobile. — 2 vol. 24 »
-

- BILBAULT, ingénieur E. S. A. de la Société Nieuport-Astra. — **Utilisation pratique de la polaire logarithmique pour le calcul des performances des avions**. 10 »
- DESGRANDSCHAMPS (R.-G.). — **Calcul et construction des avions légers**.
- 1^{re} partie. *Calcul aérodynamique*. 10 »
- 2^e partie. *Calcul des efforts* : en préparation.
- 3^e partie. *Calcul de résistance* : *Technologie et construction* : en préparation.

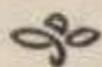
- IDRAC (P.), répétiteur à l'École Polytechnique. — **Études expérimentales sur le vol à voile** au lieu même des grands oiseaux voiliers (vautours, albatros, etc.), son application au vol à voile humain. 20 »
-

En préparation dans notre collection à 12 francs :

- LAINÉ (A.). — **Manuel pratique de pilotage**.
- ROBERT (G.), ingénieur civil de l'aéronautique. — **La Photo aérienne. Matériel de prise de vue et travail aérien**.
- GRAFFIGNY (H. De), ingénieur. — **L'Exploration de la Haute Atmosphère et de l'Espace interplanétaire**.

P. PÈPE

INGÉNIEUR CIVIL DE L'AÉRONAUTIQUE
CHEF DU BUREAU D'ÉTUDES
DES CHANTIERS AÉRO-MARITIMES DE LA SEINE



PRÉCIS D'HYDRAVIATION

**Cours de l'École Technique d'Aéronautique
— et de Construction automobile —**

ILLUSTRÉ DE 147 FIGURES

Préface de François DENHAUT

INGÉNIEUR-CONSTRUCTEUR

TOME I



LIBRAIRIE DES SCIENCES AÉRONAUTIQUES

FONDÉE EN 1905

F.-Louis VIVIEN, LIBRAIRE-ÉDITEUR

— 48, Rue des Écoles — PARIS (V^e) —

1931

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

Copyright by F.-Louis VIVIEN 1931.

TABLE DES MATIÈRES

TOME I

INTRODUCTION

CHAP.	I. — Définitions	1
—	II. — Généralités	6

PREMIÈRE PARTIE

FORMES ET FLOTTAISONS

CHAP.	I. — Formes de fond nécessitées par le décollage.	9
—	II. — Formes de fond nécessitées par l'amerrissage	13
—	III. — Notions d'hydrostatique.	16
—	IV. — Plans des formes.	19
—	V. — Calcul des flottaisons	23

DEUXIÈME PARTIE

MÉCANIQUE DE L'HYDRAVION

CHAP.	I. — Équilibre de l'hydravion immobile à flot.	39
—	II. — Équilibre de l'hydravion en mouvement à flot.	45
—	III. — Équilibre de l'hydravion en vol.	48
—	IV. — Équilibre de l'hydravion au décollage . .	53

TROISIÈME PARTIE

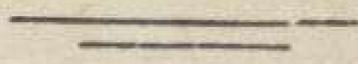
TRACÉ DES CARÈNES D'HYDRAVION

CHAP.	I. — Conditions de volume et d'habitabilité. .	59
—	II. — Conditions de décollage.	61
—	III. — Conditions de navigabilité.	67
—	IV. — Les projets d'hydravion.	71
—	V. — Essais au bassin des carènes	74

QUATRIÈME PARTIE

CONSTRUCTION DES SYSTÈMES FLOTTEURS

CHAP.	I.	—	Le problème constructif.	79
—	II.	—	Efforts s'exerçant sur les systèmes flotteurs.	82
—	III.	—	Systèmes de construction.	97
—	IV.	—	Échantillonnage du système flotteur. . .	101



PREFACE

Il y a dix ans, j'avais le plaisir de préfacer le livre « *L'Hydravion* », où mon ami Desmons faisait le point des connaissances encore bien incertaines et discutées sur la question.

Depuis ce temps, les techniciens ont travaillé et je crois que le moment est venu où l'on peut avec certitude établir des bases de calculs sur le problème très complexe de l'hydravion.

M. PÈPE, chef du Bureau d'Études de la Maison C. A. M. S. depuis six ans (et ses débuts dans cette spécialité sont bien plus anciens) s'est chargé de réaliser cette œuvre en publiant avec l'autorisation du Directeur M. Bardin, les conférences qu'il fait chaque année à l'École Technique d'Aéronautique et de Construction Automobile ainsi que les travaux pratiques proposés aux élèves.

Il s'agissait, en quelques séances, de mettre de jeunes ingénieurs à même de rendre des services immédiats comme calculateurs ou dessinateurs dans un bureau d'Études.

A ce titre, les exposés théoriques sont réduits au minimum indispensable et le calcul intégral n'a pas été abordé; par contre, les considérations pratiques donnant lieu à un résultat numérique ou graphique ont reçu le développement maximum pouvant être assimilé en peu de temps par des esprits déjà absorbés par d'autres enseignements.

On peut dire que ce petit ouvrage condense les données utiles très éparpillées dans les Revues Françaises et Étrangères ainsi que dans les bureaux d'Études.

Ce n'est évidemment pas un traité complet ni parfait. Il constitue cependant une excellente initiation pour tous ceux que l'Hydravion intéresse; son étude leur donnant des connaissances pratiques très appréciables, qui leur permettront d'aborder, sinon de résoudre tous les problèmes que pose à l'heure actuelle la technique de l'Hydravion.

François DENHAUT,
Ingénieur-constructeur,
Inventeur de l'hydravion à coque.

Neuilly-sur-Seine, 14 janvier 1931.

NOTE DE L'AUTEUR

M. Hurel, ingénieur en chef des Chantiers Aéromaritimes de la Seine, a bien voulu m'autoriser à utiliser certains passages de la rédaction que j'avais faite des remarquables conférences qu'il professait à l'ancienne École Supérieure d'Aéronautique. Je lui en adresse mes plus vifs remerciements.

INTRODUCTION

GÉNÉRALITÉS ET DÉFINITIONS

CHAPÎTRE PREMIER

DÉFINITIONS

1. Hydravion. — Avion qui prend son essor de l'eau (décollage) et revient s'y poser (amerrissage).

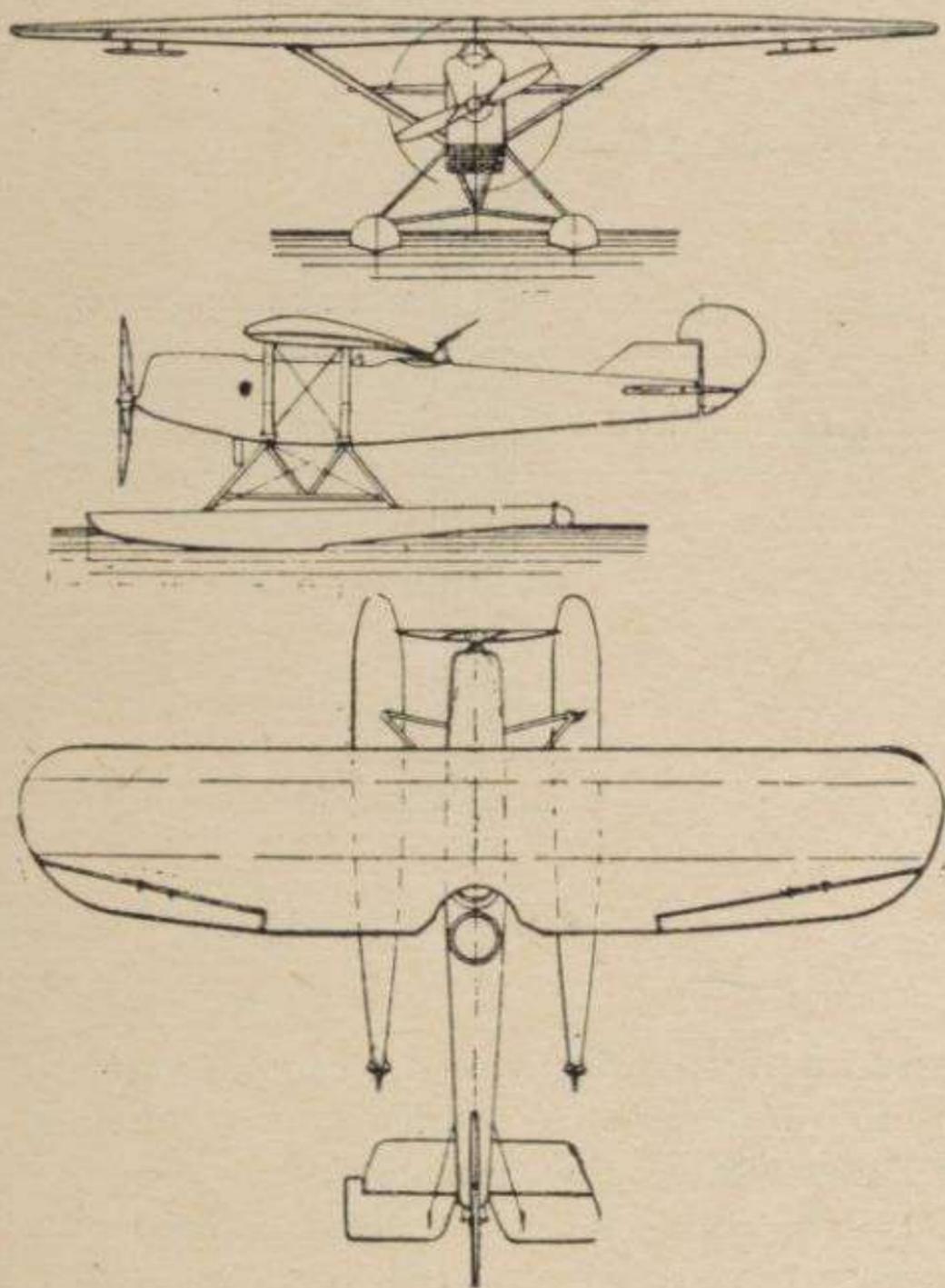


FIG. 1. — Bréda A. 7.
(Cliché « Le Document Aéronautique ».)

L'hydravion *amphibie* peut, par surcroît, atterrir et repartir de la terre (Voir fig. 3 et 5).

L'avion *marin* décolle normalement de terre, mais peut exceptionnellement amerrir sans pouvoir décoller à nouveau.

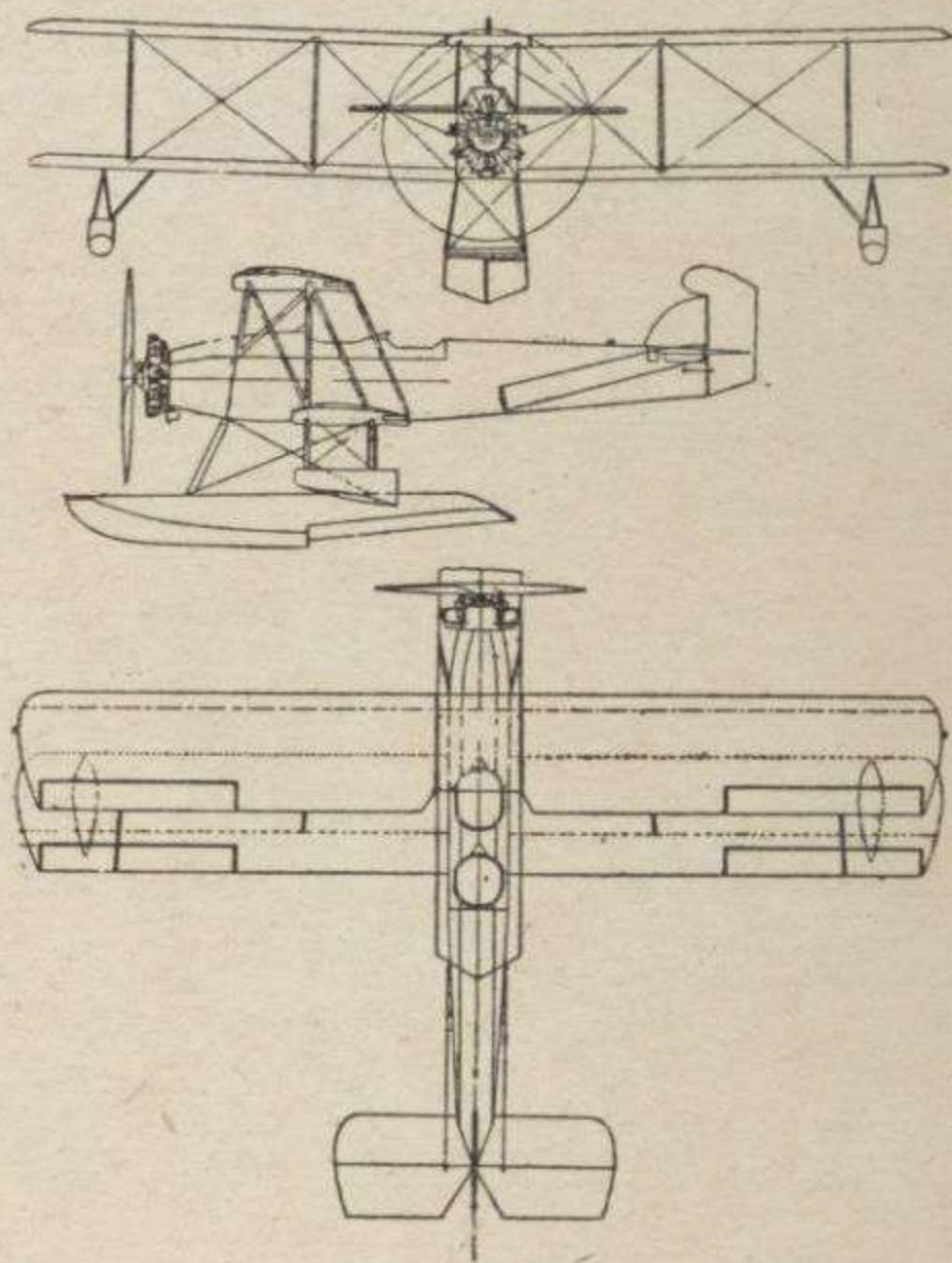


FIG. 2. — Curtiss Fliedgling.

2. Types d'hydravions. — A *coque* (contient les passagers et l'équipement), à *flotteurs* (ne contient rien en principe, quelquefois de l'essence).

Si, sur un appareil terrestre on remplace chaque roue par un flotteur, on a le type dit à *deux flotteurs en catamaran*, (du nom d'une embarcation indienne) (Bréda A-7, voir fig. 1).

On peut confondre ces deux flotteurs en un seul (*hydravion à flotteur central*), à condition d'ajouter au bout des ailes des ballonnets assurant la stabilité (Curtiss Fliedgling, voir fig. 2).

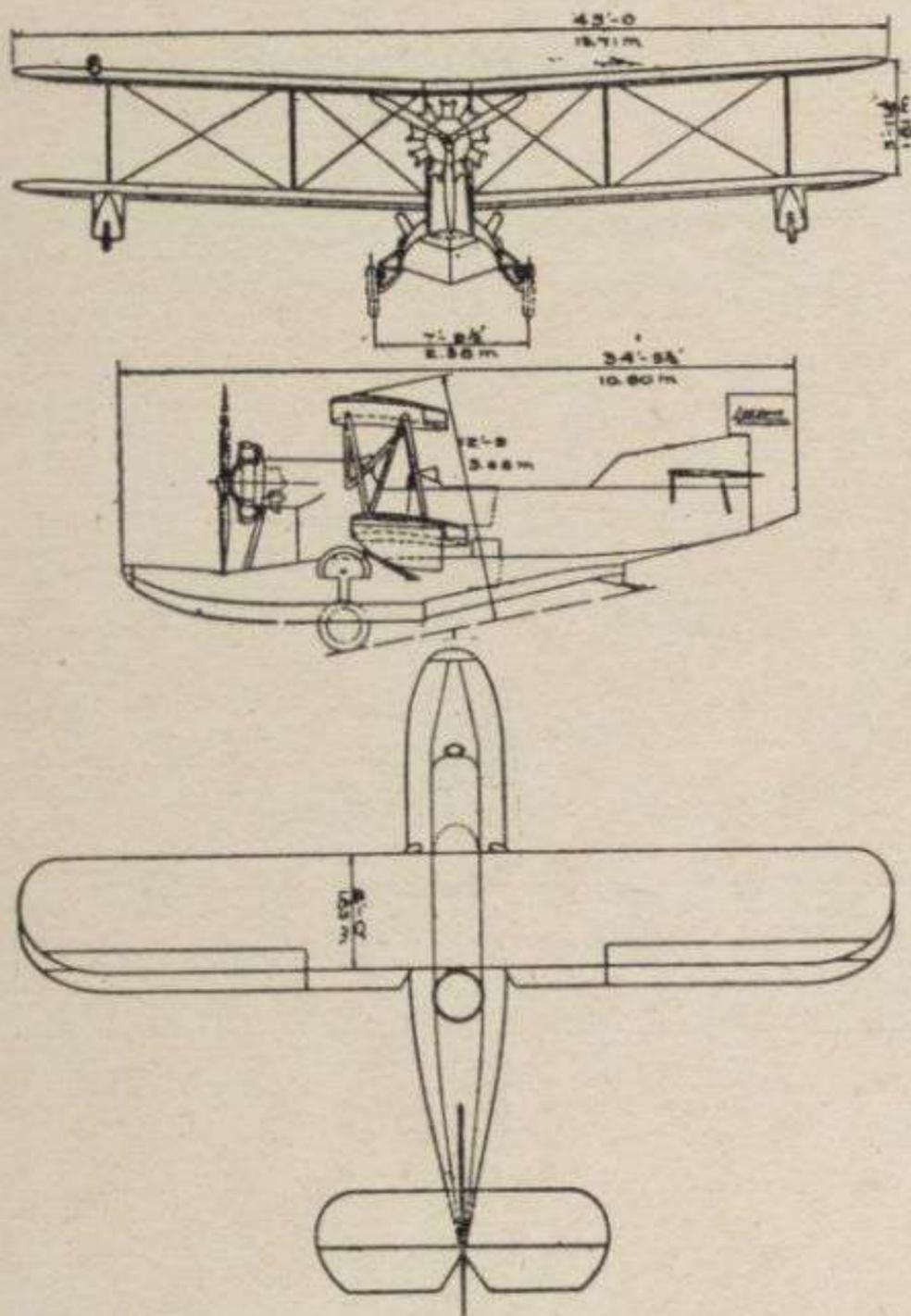


FIG. 3. — Lœning O. L. 8.
(Cliché « Le Document Aéronautique ».)

On peut accoler le flotteur central au fuselage de manière à augmenter l'habitabilité qui a pour hauteur la distance entre le fond de coque et le sommet du fuselage, c'est l'appareil à *coque fuselage* (Lœning O. L. 8, fig. 3).

Si on loge uniquement les passagers et l'équipement dans le système flotteur, on a l'appareil à *coque*, le fuselage disparaissant (Cams 37, fig. 4).

La coque peut être *longue* (portant les empennages) ou *courte* (dans ce cas les empennages sont réunis à la

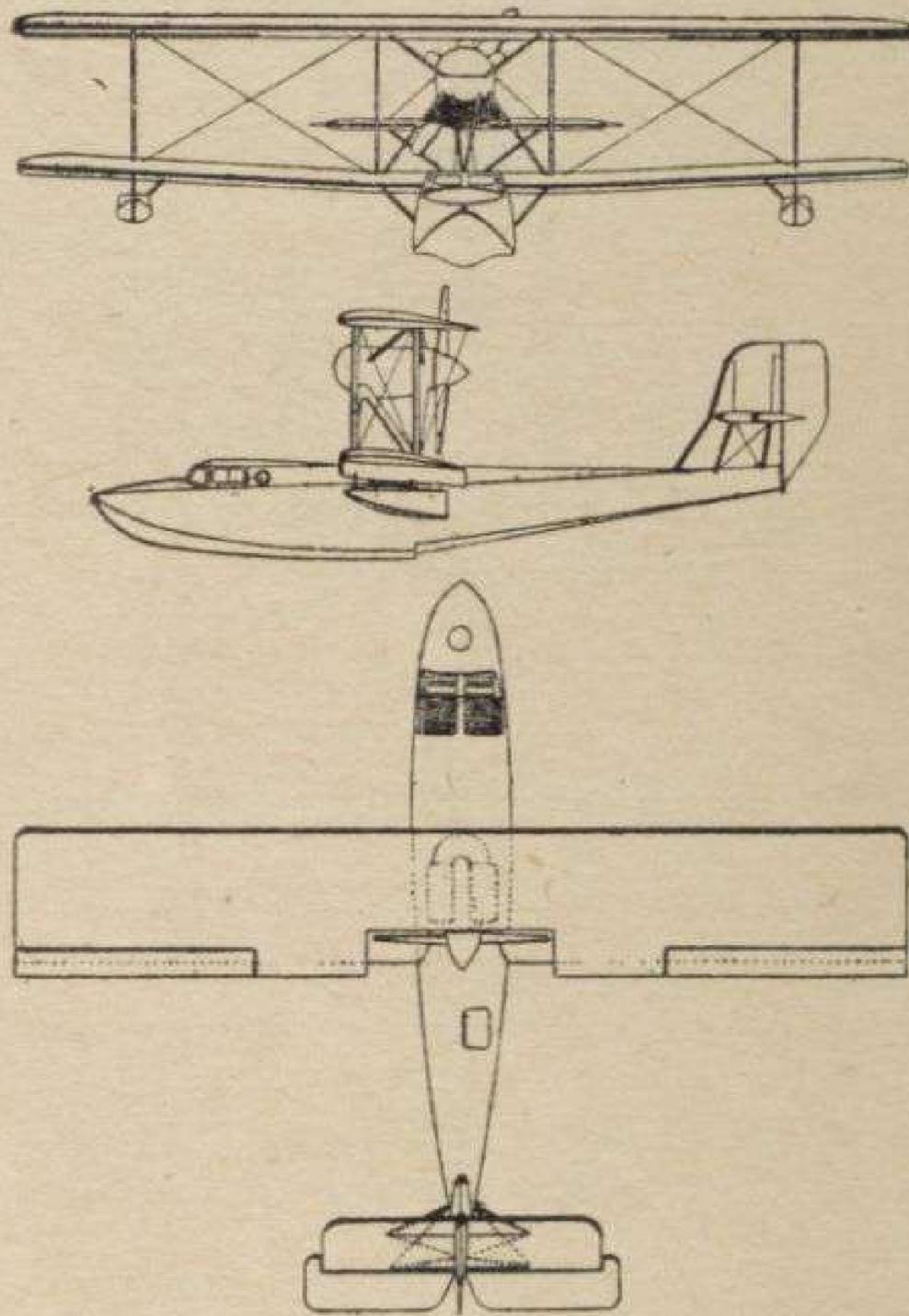


FIG. 4. — Cams 37.

(Cliché « Le Document Aéronautique ».)

coque par des poutres de réunion) (Sikorsky S. 38, fig. 5).

Enfin, on peut avoir les appareils à *deux coques* (Savoia 55) constituant le système flotteur, et réunies à l'empennage par des poutres de réunion (fig. 6).

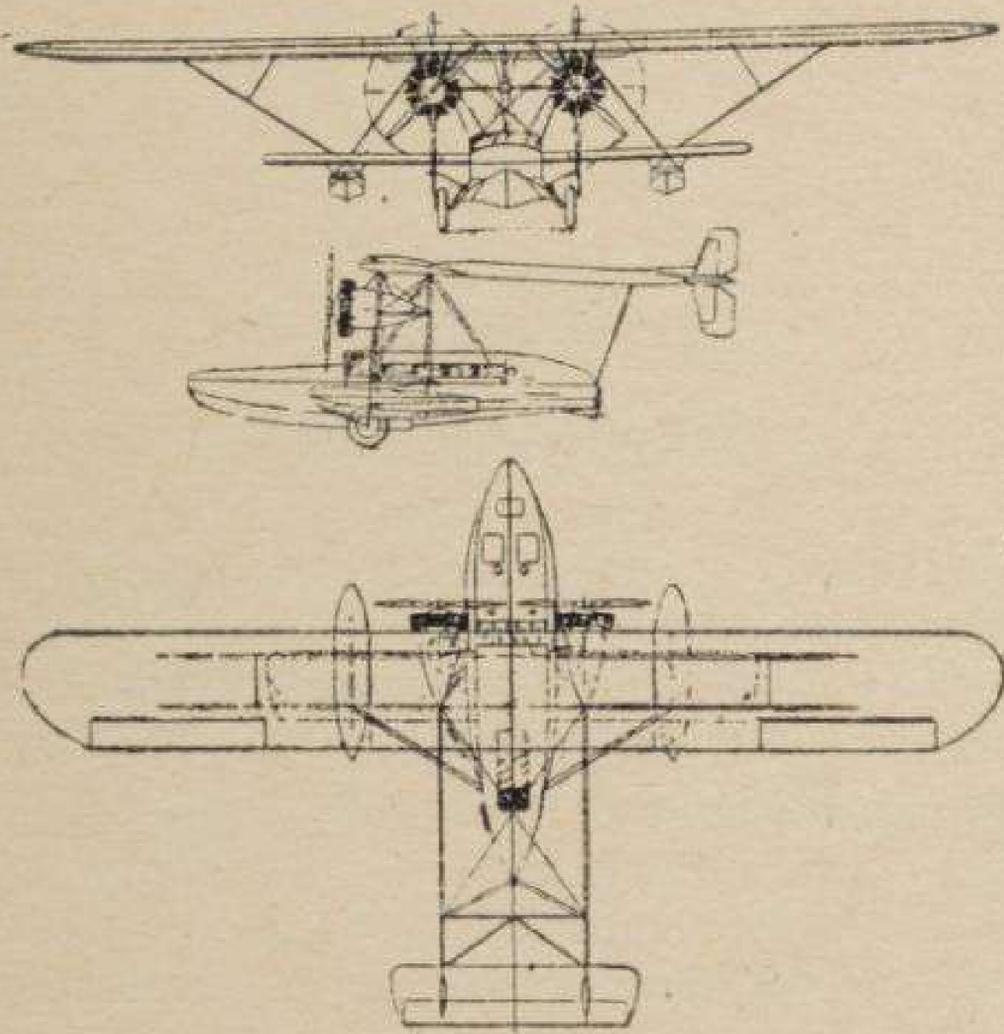


FIG. 5. — Sikorsky S. 38.

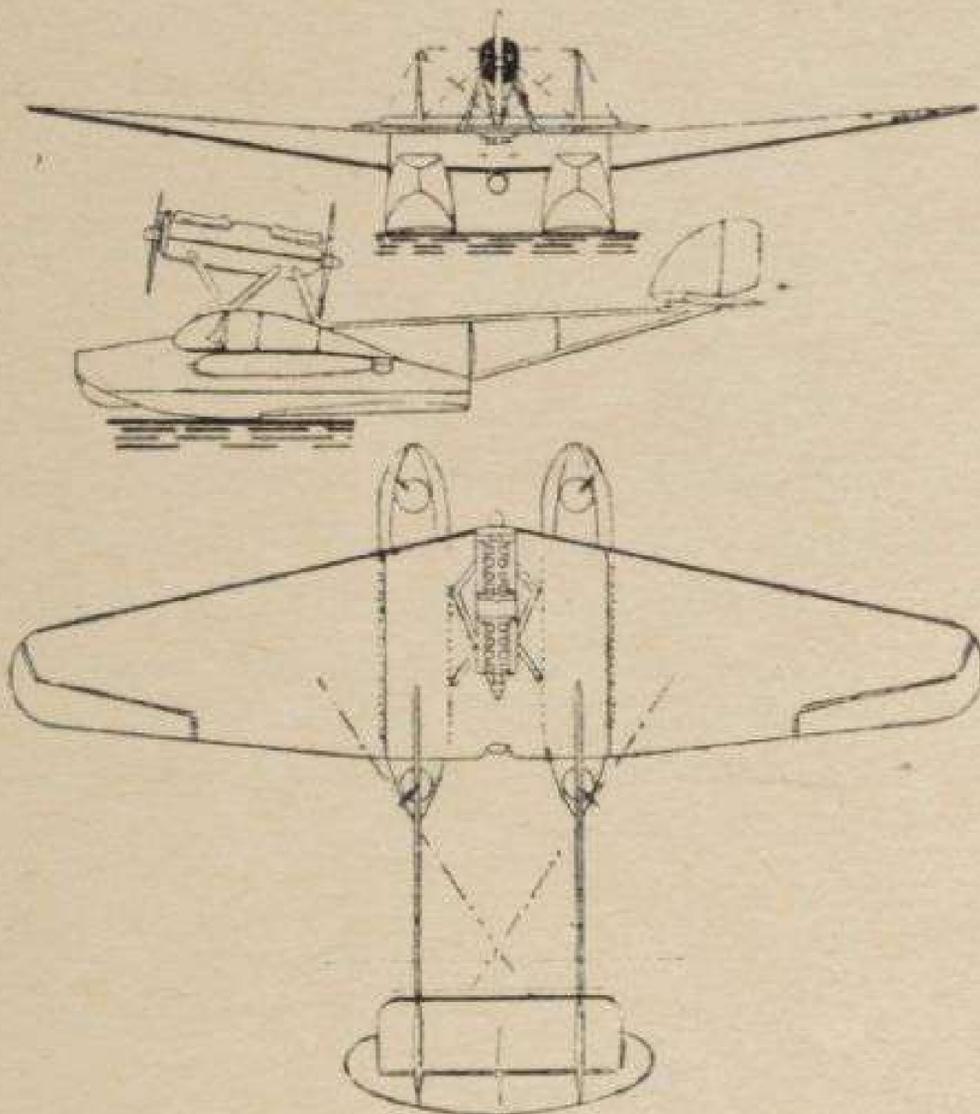


FIG. 6. — Savoia 55.

(Clichés « *Le Document Aéronautique* ».)

CHAPITRE II

GÉNÉRALITÉS

1. Historique. — Le premier hydravion ayant décollé est français : appareil marin *Fabre* muni de *flotteurs* (1912).

Le premier hydravion *à coque* ayant décollé est français, biplan à coque centrale Denhaut, pilote Denhaut (1912).

2. Inconvénients de l'hydravion. — Poids à vide très élevé par suite de la présence du système flotteur, ce qui le rend inférieur au terrestre multimoteur (Charge utile de 25 à 40 % inférieure pour la même puissance).

Finesse moins grande, le système flotteur ayant un grand encombrement et des formes peu favorables.

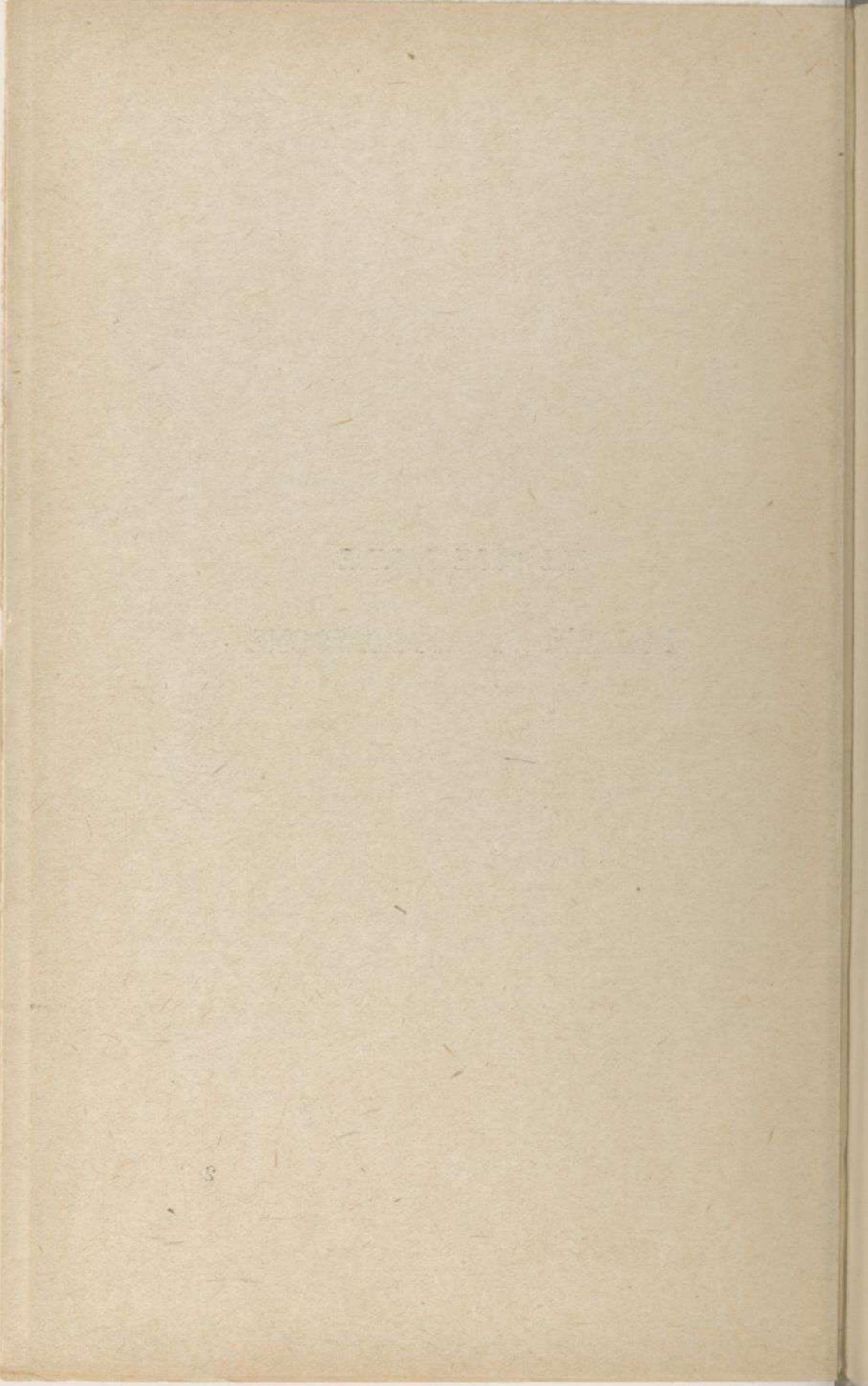
3. Avantages de l'hydravion. — Sécurité considérable en cas de panne, qu'il se mette en dérive pour réparer, ou rejoigne la côte à puissance réduite comme un navire.

Suppression des terrains d'atterrissage remplacés par des plans d'eau faciles à trouver, illimités (mer), ne nécessitant pas d'entretien ni de servitudes spéciales. Cette dernière considération permet de dire que les appareils de très gros tonnage seront toujours des hydravions.

4. État actuel. — L'avion très perfectionné ne s'améliore que très lentement. L'hydraviation, beaucoup moins étudiée jusqu'ici, se développe d'une manière remarquable. Bientôt elle permettra l'exploitation des grandes routes intercontinentales qui sont des routes marines.

PREMIÈRE PARTIE

FORMES ET FLOTTAISONS



CHAPITRE PREMIER

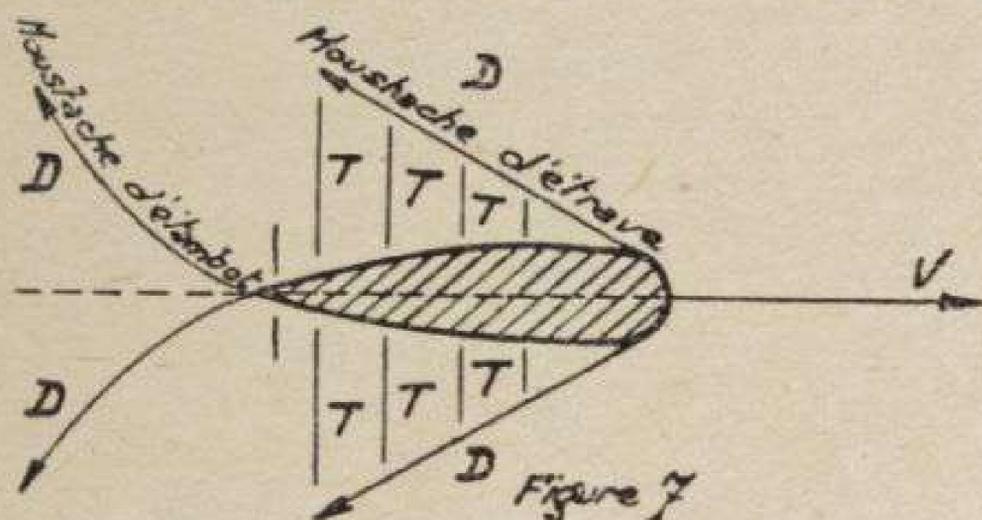
FORMES DES FONDS NÉCESSITÉES PAR LE DÉCOLLAGE

1. Résistance à l'avancement des carènes. — Elle ne ressemble en rien à celle de l'aile plongée dans l'air, ni même du corps complètement immergé (sous-marin).

On se trouve, en effet, à la surface de séparation de deux fluides, eau et air, le plus lourd se trouvant par dessous.

La résistance d'une coque remorquée dans un liquide est due à la vitesse (résistance hydrodynamique) et se décompose en trois parties :

1° Résistance propre de forme (négligeable pour un corps fuselé à la vitesse du décollage);



2° Résistance de frottement : $R_f = \phi \Sigma^2 V^2$,
où ϕ est un coefficient fonction de la nature et de la
longueur de la partie immergée,

Σ^2 est la surface mouillée,

V la vitesse du déplacement.

3° Résistance de rencontre, due aux vagues divergentes D et transversales T , qui est proportionnelle à V^4 (fig. 7).

Cette résistance n'existe pas dans le cas des corps com-

plètement immergés et, étant proportionnelle à la 4^e puissance de la vitesse, augmente *très rapidement* avec la vitesse.

Il s'ensuit qu'une carène ayant les formes habituelles des navires ne pourra quitter l'eau car, même avec un moteur très puissant, la résistance à l'avancement sera telle que l'appareil ne pourra prendre la vitesse minima nécessaire à la sustentation.

2. Déjaugeage. — On a eu l'idée de donner aux fonds de coque une forme telle que la résistance totale à l'avancement ait une résultante hydrodynamique oblique, se décomposant en une traînée nuisible et en une portance qui donne une sustentation à l'hydravion (hydroportance).

Si cette forme est tout simplement un plan disposé presque parallèlement au plan de l'eau, avec un angle d'attaque de quelques degrés, on constate alors le phénomène de *déjaugeage*. Sous la poussée de l'eau, la coque émerge progressivement, ce qui diminue sa résistance à l'avancement au fur et à mesure que la vitesse croît.

L'angle de meilleure finesse d'une telle surface est de + 3°.

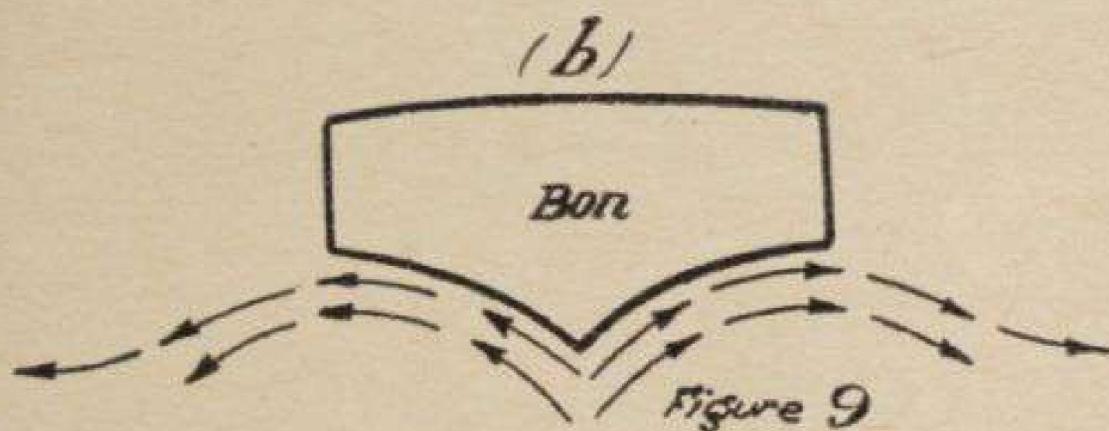
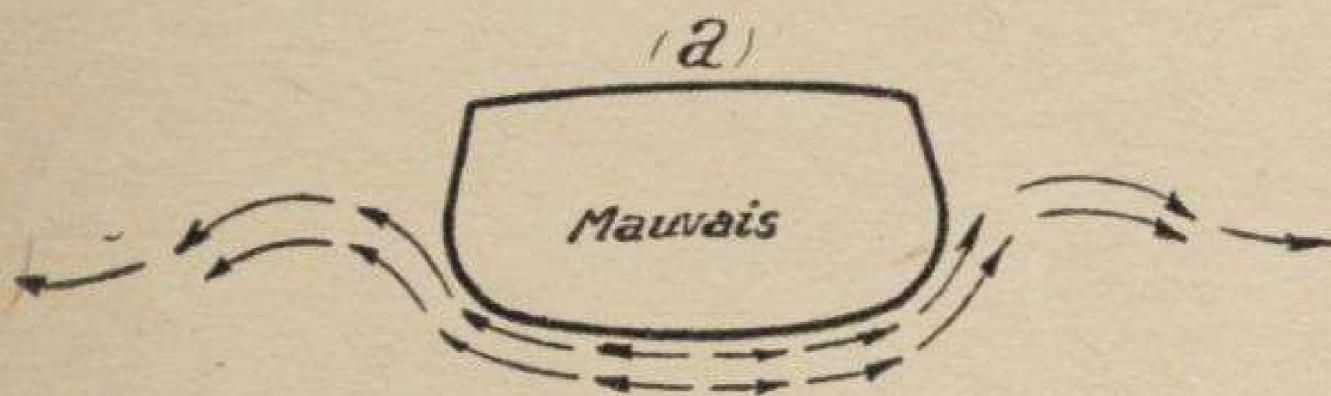
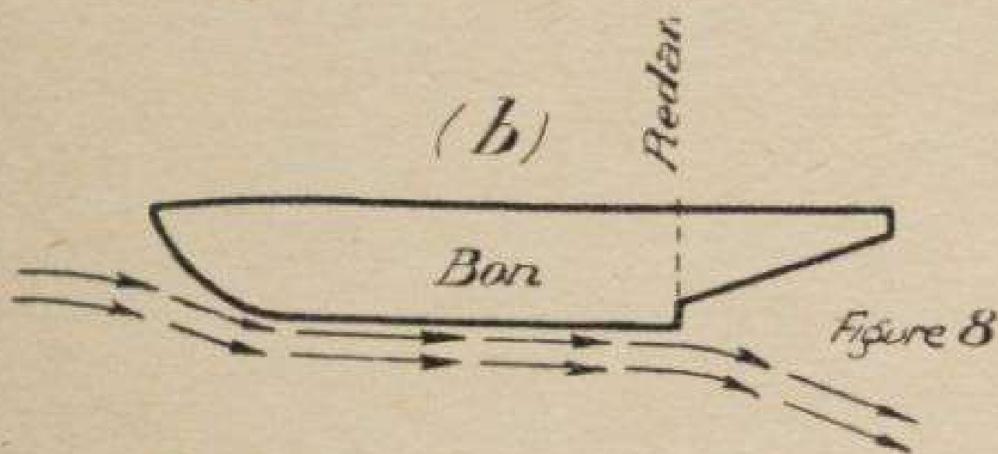
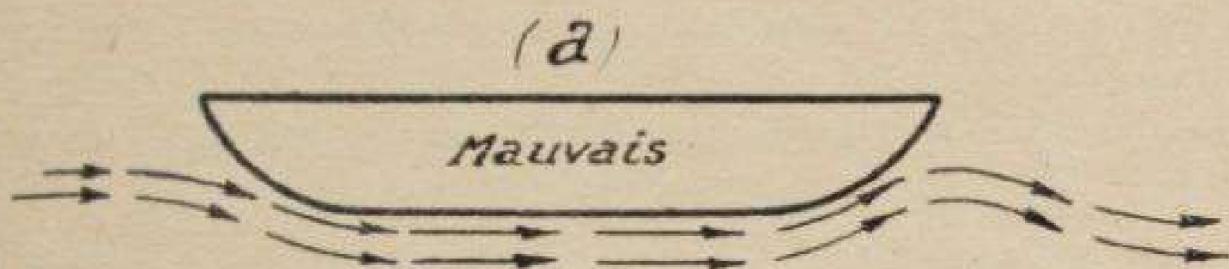
On arrive à une certaine vitesse où la coque est tangente à la surface de l'eau (hydroplanage).

Sa résistance n'est plus qu'une résistance de frottement très faible, et la vitesse s'accroît très rapidement jusqu'à la valeur de la vitesse minima de sustentation. Dès que cette valeur est dépassée, l'appareil quitte la surface de l'eau.

3. Redan. — Il faut éviter que la succion de l'eau, provoquée par l'adhérence et la capillarité de l'eau sur le plan constituant le fond de coque ne fasse enfoncer l'arrière de l'appareil, ce qui empêcherait le décollage (fig. 8a).

Pour cela, on termine la surface hydroportante par une arête vive appelée *redan* grâce à laquelle les filets d'eau sont rejetés vers le bas, ce qui donne par réaction une sustentation (fig. 8b).

Il faut éviter de perdre le bénéfice de l'action du redan par des formes arrières trop voisines de l'eau, qui pourraient s'immerger en cas de variation d'incidence, aussi



l'arrière des coques et flotteurs devra toujours être nettement dégagé vers le haut.

4. Formes transversales. — Dès que se forment des vagues divergentes, les filets liquides s'échappent sur le côté et le même effet de succion se reproduit (fig. 9a). Il en résulte qu'une forme arrondie permet l'adhérence

de l'eau et nuit au déjaugeage. Les formes habituelles des navires (dues à des raisons de stabilité) ne pourront convenir et on est conduit à des fonds ayant des bords angulaires (fig. 9b).

5. Conclusion. — Les systèmes flotteurs d'hydravions sont caractérisés *par des arêtes vives sur l'arrière et sur les côtés de la surface d'action hydrodynamique.*

CHAPITRE II

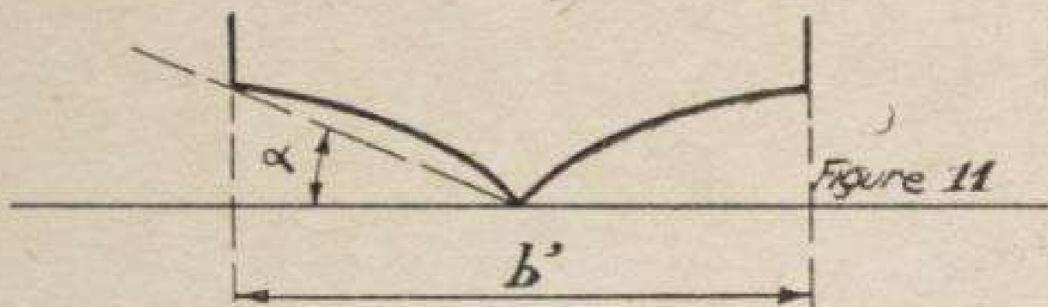
FORMES DE FOND NÉCESSITÉES PAR L'AMERRISSAGE

1. Allure de l'amerrissage. — C'est celle de l'atterrissage de l'avion. Toutefois, le pilote doit agir plus énergiquement sur le stabilisateur.

Il faut cabrer l'appareil au voisinage du contact avec l'eau et le poser sur son redan. En effet, en le posant sur la queue, on aurait un pivotement brutal, puis un choc qui le ferait rebondir.

Si le redan est bien placé, l'appareil s'aligne, après un léger pivotement, sur la ligne définie par le redan et la queue.

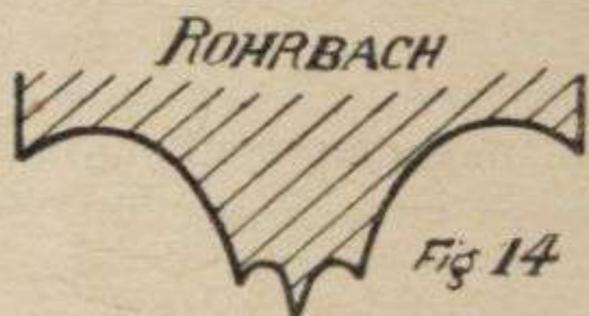
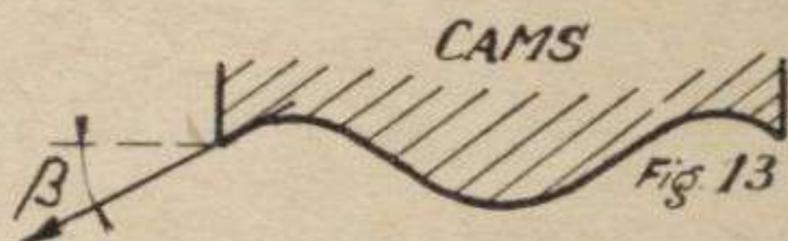
2. Second redan. — Certains constructeurs placent entre ces deux points un second redan qui crée une seconde surface hydrodynamique dont l'action piqueuse diminue la valeur du moment cabreur dû au premier redan (Voir 2^e partie, chap. IV), donc l'effort total et donne un équilibre stable à l'appareil pendant sa course sur l'eau, puisqu'il est appuyé sur deux points.



3. Amortissement des formes transversales. —

Les fonds plats ont un bon rendement au décollage et sont simples à construire. Mais, par mer agitée, ils encaissent des efforts considérables.

On a donc imaginé, pour les gros appareils, d'amortir les chocs en constituant le fond par deux plans inclinés symétriques dont l'arête forme une quille saillante (fig. 10). Par contre, la réaction verticale étant diminuée, il y a lieu d'élargir un peu le fond par rapport à ce qu'il serait s'il était plat.



Puis, on a rendu ces plans inclinés légèrement concaves pour mieux rejeter les filets d'eau vers le bas et leur faire suivre un trajet analogue à celui de l'air sur les ailes d'avion (fig. 11).

On a ainsi réalisé des amortissements allant jusqu'à $\alpha = 30^\circ$ en élargissant la coque de telle sorte que :

$$b' = \frac{b}{\cos^2 \alpha}$$

b étant la largeur d'une coque à fond plat.

Mais pratiquement des formes de courbures judicieuses ont un rendement analogue au fond plat et on élargit les coques beaucoup moins que ne l'indique la formule.

On cherche à ralentir la pénétration initiale par un amortissement étagé qui diminue la valeur du choc sur les parties latérales (fig. 12, 13, 14).

Fréquemment un angle de renvoi d'eau vers le bas, dont la valeur peut atteindre $\beta = 10^\circ$ au redan, est prévu pour améliorer le trajet des filets d'eau (fig. 13).

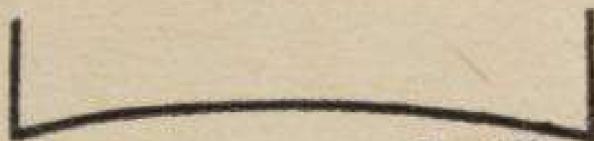
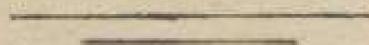


Fig. 15

On a également essayé des formes simplement concaves (fig. 15). Leur hydroportance est très bonne, mais elles n'amortissent pas les chocs et leur emploi reste limité aux petits appareils.

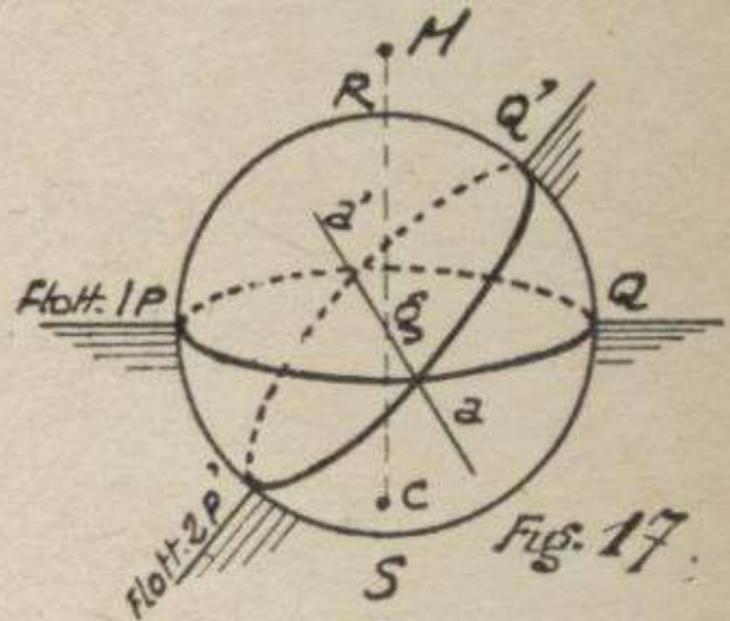
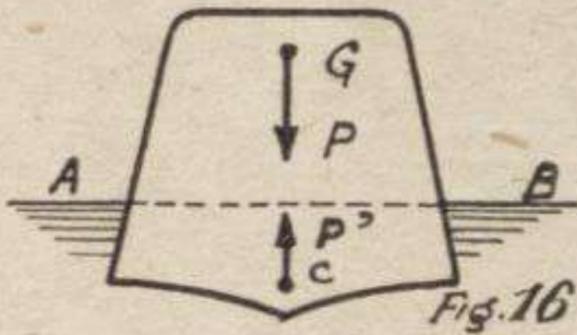


CHAPITRE III

NOTIONS D'HYDROSTATIQUE (1)

1. Principe d'Archimède. — Tout corps *immobile* totalement ou partiellement plongé dans un liquide *tranquille* reçoit de la part de ce liquide une poussée verticale :

- 1° Dirigée de bas en haut;
- 2° Dont l'intensité est égale au poids du volume de liquide déplacé;
- 3° Dont le point d'application (centre de poussée C) est le centre de gravité du volume déplacé.



2° Équilibre d'un corps flottant. — La poussée hydrostatique (ou Archimédienne) et le poids du corps flottant doivent être (fig. 16) :

- a) *Égales.* — Dans l'eau douce (densité = 1) le volume immergé est exprimé par le même nombre que le poids (un hydravion de 4.000 kgs déplace 4 mètres cubes), d'où le nom de *déplacement* qu'on lui donne.

(1) Pour les démonstrations, voir FÉLIX, *Théorie du Navire* (Challamel, éditeur).

Dans l'eau de mer (densité = 1,026), le volume immergé est un peu plus faible. Un hydravion passant de la mer en rivière s'enfoncera un peu.

b) *Directement opposées.* — L'orientation au repos ou *assiette* du corps flottant est celle pour laquelle le centre de gravité et le centre de poussée sont sur la même verticale.

3. Définitions (fig. 17). — *Plan de flottaison* : Plan du niveau de l'eau à l'extérieur.

Ligne de flottaison : Intersection du plan de flottaison avec la surface extérieure du flotteur (Pa Qa'P).

Aire de flottaison : Aire limitée dans le plan de flottaison par la ligne de flottaison (aire Pa Qa'P).

Carène : Partie immergée du corps limitée au plan de flottaison.

Volume de carène : Volume immergé (PSQ).

Centre de carène : Centre de gravité du volume de carène (C).

Isocarènes : Carènes de même volume (PSQ et P'SQ').

Réserve de flottabilité : Volume non immergé du corps (P. R. Q.).

Tirant d'eau. — Distance du point le plus bas S au plan de flottaison.

4. Métacentre. — Point M autour duquel tourne le flotteur pour passer de la flottaison (1) à la flottaison isocarène (2) infiniment voisine. C'est le centre de courbure de la courbe décrite par le centre de poussée C.

On appelle *rayon métacentrique* MC la distance entre le métacentre M et le centre de carène C. Il a pour valeur le quotient par le volume immergé, du moment d'inertie de l'aire de flottaison par rapport à l'axe passant par le centre de gravité g de l'aire de flottaison :

$$MC = \frac{I_{aa'} \text{ de la surface (Pa Qa'P)}}{\text{volume PSQ}}$$

qui s'écrit : $R = \frac{I}{V}$.

Il y a une infinité de rayons métacentriques, dont deux particuliers correspondant aux axes principaux d'inertie de l'aire de flottaison. A l'axe longitudinal correspond le

plus petit métacentre, à l'axe transversal le plus grand métacentre.

Dans cette rotation de la flottaison (1) à la flottaison (2), le plan de flottaison tourne autour de l'axe passant par le centre de gravité de l'aire de flottaison ou *axe d'inclinaison*.

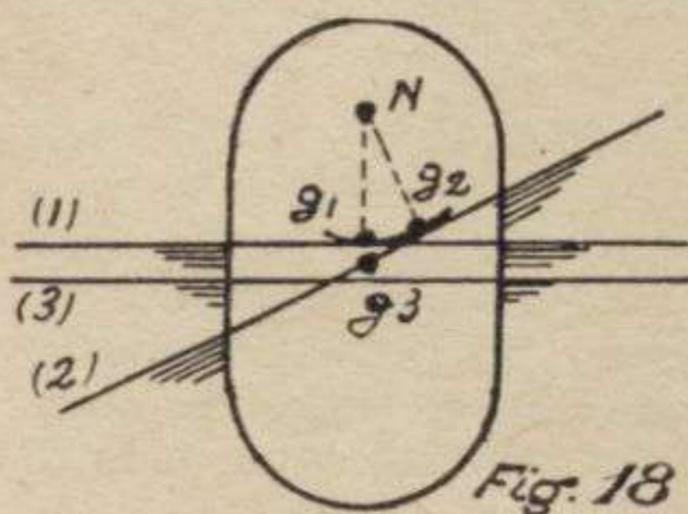


Fig. 18

5. Métacentre différentiel (fig. 18). — Si nous considérons deux flottaisons infiniment voisines et parallèles (1) et (3) correspondant à des volumes V_1 et V_3 , on appelle métacentre différentiel N le métacentre de la tranche comprise entre (1) et (3).

C'est le point autour duquel tourne le plan de flottaison pour passer de la position (1) à une position inclinée infiniment voisine (2). C'est le centre de courbure de la courbe décrite par le centre de gravité g_1 de l'aire de flottaison.

Le rayon métacentrique Ng_1 a pour valeur :

$$\rho = \frac{dI}{dV} = \frac{I_1 - I_3}{V_1 - V_3},$$

dV étant la différence des volumes limités par les flottaisons (1) et (3) parallèles.

dI étant la différence des moments d'inertie I_1 et I_3 des aires des flottaisons (1) et (3) pris respectivement par rapport aux axes passant par les centres de gravité g_1 et g_3 des aires de flottaison et perpendiculaire au plan de figure.

6. — Quand une flottaison est en équilibre, le métacentre M , le centre de gravité G du flotteur, le centre de carène C sont sur une même perpendiculaire au plan de flottaison. Cette propriété ne se vérifie plus si le flotteur n'est pas en équilibre.

7. — Un flotteur ayant un centre de gravité G et un poids P donnés n'est en équilibre que pour une seule position du plan de flottaison.

CHAPITRE IV

PLANS DES FORMES

1. Plan des formes géométriques. — Épure de géométrie descriptive définissant la coque et permettant de déterminer la flottaison et la stabilité.

Il comporte trois vues aussi grandes que possible : généralement au $\frac{1}{10}$.

2. Longitudinal. — C'est une vue de profil. On numérote en principe 0 la perpendiculaire AV (*p. p.* AV), 20 la *p. p.* AR, 10 le redan.

Les sections de 0 à 10 et de 10 à 20 sont équidistantes, mais comme le redan n'est pas forcément au milieu, les équidistances AV et AR ne sont pas forcément égales.

S'il y a un second redan, on y met une section, ce qui peut amener à une nouvelle distribution d'équidistances qui ont alors trois valeurs différentes.

On peut également faire des sections supplémentaires que l'on numérote *bis* et *ter* dans des régions qu'on veut étudier avec précision.

Le système de numérotation peut être différent dans certaines maisons.

On appelle ligne 0 (*ligne zéro*) une droite tangente au redan et qui sert d'axe des abscisses et d'origine des ordonnées. Suivant les maisons d'hydraviation, cette ligne est parallèle à la ligne de flottaison, parallèle à la ligne de vol (cas général) ou parallèle à l'axe de traction des moteurs, ces lignes pouvant faire des angles entre elles.

Le longitudinal porte le tracé de la *quille de fond* et de la *lisse de pont* placées dans le plan de symétrie et les projections de la *quille d'angle* (intersection du fond et du flan) et du *livel de pont* (intersection du pont et du flan), ainsi que la *ligne de flottaison* en charge, et la position du *centre de gravité de l'hydravion*.

On ajoute sur les plans présentés aux services officiels cinq sections verticales situées chacune au $\frac{1}{6}$ de la plus forte largeur (maître-couple). Pratiquement, surtout sur les petites coques, on fait moins de sections pour éviter d'embrouiller le tracé.

3. Vertical. — Représentation des vingt sections du longitudinal. On place généralement à droite de l'axe de symétrie les 10 sections arrière, à gauche les dix sections AV. La section au redan est seule représentée en entier. Sur cette vue figurent les projections de la quille d'angle et du livet de pont.

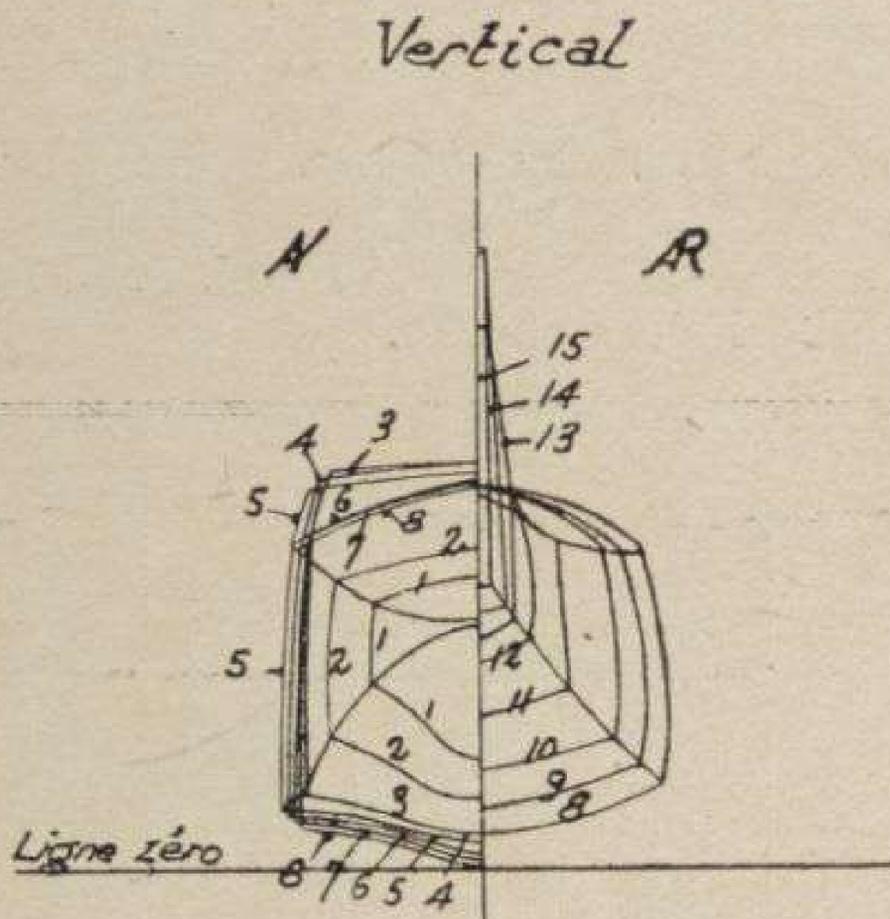


FIG. 19 bis.

4. Vue en plan. — Elle représente la projection horizontale du livet de pont et de la quille d'angle. On y porte le contour de l'aire de flottaison en charge.

Sur les plans officiels, on demande également cinq sections en dessous de la flottaison, équidistantes du $\frac{1}{6}$ du tirant d'eau.

5. Formes hors membre. — On peut établir le plan des formes *hors tout* (y compris le bordé) ou *hors membre* (bordé enlevé).

C'est ce second cas qui est le plus général, car il permet de passer immédiatement au plan de *gabariage* des couples et autres éléments de coque.

Les erreurs sur les calculs de flottaison avec un plan des formes hors membre sont négligeables.

La figure 19 représente un plan des formes simplifié par suite des dimensions de la figure.

6. Tableau de cotes. — Afin de permettre la reproduction du plan des formes, à l'Atelier (gabarits) ou au Bureau d'Études (constructions partielles pour étude de la charpente ou des aménagements), on établit sous forme de tableau un relevé des abscisses et ordonnées de chaque section du vertical :

- a) Points remarquables (quilles, livet et lisse de pont);
- b) Points intermédiaires ayant des abscisses ou des ordonnées écartées de 100 ou 200 mm. de la ligne zéro ou de l'axe vertical de symétrie.

Cou- ples	Élévation				Plan	
	Pont lisse	Pont rivet	Quille d'angle	Quille	Pont livet	Quille d'angle
1	1166	1091	702 ^s	379 ^s	416	421
2	1245	1140	197 ^s	228	585	608
3	1600	1199	298	125	712	760
4	1600	1227	247	87	754	795 ^s
5	1558	1245 ^s	222	595	771	811 ^s
6	1221	1254 ^s	200	35 ^s	76	809
7	1518	1255 ^s	183	18	743 ^s	792
8 _{AV}	1514 ^s	1247	164,5	0	710 ^s	760
8 _{AR}	1514 ^s	1247	298	121	710 ^s	760
9	1510 ^s	1240	369	209	660	712
10	1504 ^s	1242	502 ^s	355 ^s	558 ^s	607
11	1497	1276	701	585 ^s	389	400
12	1498 ^s	1360	903	826 ^s	221 ^s	244
13	1512	1412	985	927	161 ^s	172 ^s
14	1535	1474 ^s	1068	1024	106 ^s	109
15	155	1525	1131	1103 ^s	66	66
AR	1578	1578	1196	1181	25	25

CHAPITRE V

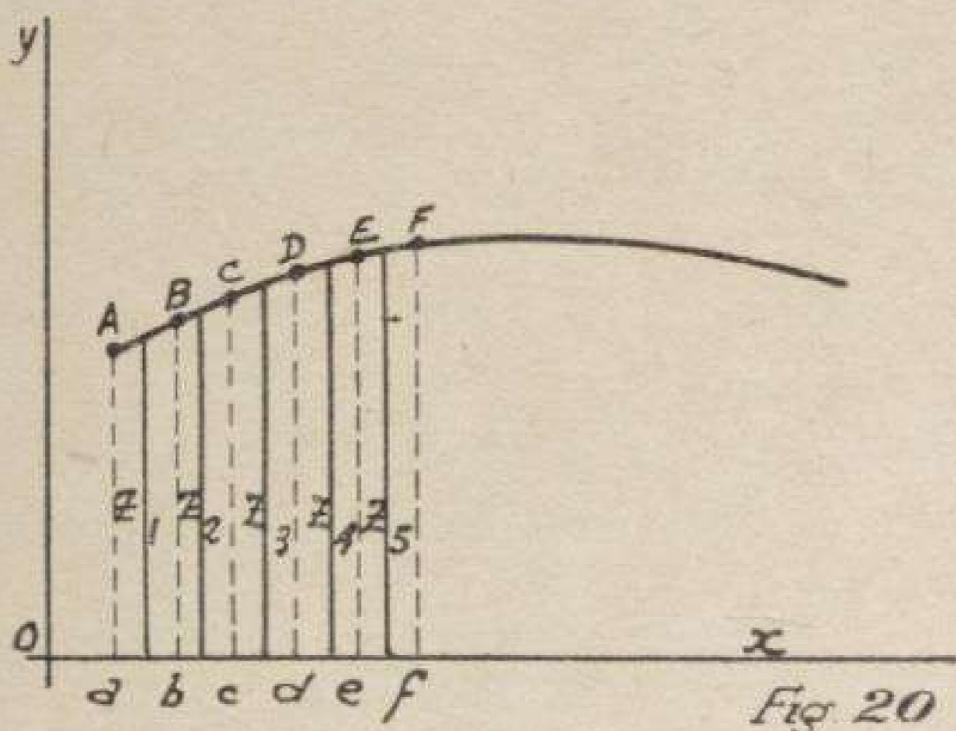
CALCUL DES FLOTTAISONS

SECTION I^{re}. — QUADRATURES APPROCHÉES.

1. — Les surfaces de flottaison, les volumes de carène, etc..., ne peuvent se déterminer par des procédés d'intégration mathématique parce que leurs formes ne sont pas définies par des équations.

On ramène leur détermination à l'évaluation de surfaces que l'on mesure au planimètre. A défaut de planimètre, on emploie des feuilles de papier quadrillé millimètre sur lesquelles on trace le contour à mesurer et l'on compte le nombre de millimètres carrés contenus.

On emploie aussi avec moins de précision des formules approchées.



2. **Formule des trapèzes** (fig. 20). — L'aire ABCDEF... a pour valeur approchée :

$$\frac{Aa + Bb}{2} \times ab + \frac{Bb + Cc}{2} \times bc + \dots + \frac{Ee + Ff}{2} \times ef$$

Si $ab = bc = \dots ef = l$.

$$S = l \left(\frac{Aa}{2} + Bb + Cc + \dots Ee + \frac{Ff}{2} \right).$$

$$S = l \left(\frac{y_1}{2} + \frac{y_n}{2} + \sum_{2}^{n-1} y_k \right).$$

De même :

$$\text{Moment } ox \text{ ABCDEF} = \frac{1}{2} \int_0^{x_n} y^2 dx = l \sum_0^n y_k^2.$$

Centre de gravité de l'aire plane :

$$x = \frac{M_{oy}^t}{S} = l \frac{\sum_0^n k y_k}{\sum_0^n y_k}.$$

$$\text{Moment d'inertie } I_{ox} = \frac{1}{3} \int_0^{x_n} y^3 dx = \frac{1}{3} l \sum_0^n (y_k^3), \text{ etc...}$$

3. Formule de Poncelet. — On part de la même division que pour la formule précédente, mais on prend les ordonnées intermédiaires $z_1 z_2 z_3 \dots z^n$.

$$\text{Aire} = l \sum_0^n z_k.$$

Cette formule est plus simple, puisqu'on supprime les $\frac{1}{2}$ ordonnées extrêmes.

Les formulaires donnent d'autres formules (Simpson, Le Parmentier, Tchebitcheff).

4. Courbe intégrante d'une courbe donnée (1). — Soit un point P d'une courbe (C) rapportée à deux axes rectangulaires Ox et Oy (fig. 21).

Soit une droite $O_1 x_1$ parallèle à Ox.

Abaissons PR perpendiculaire à $O_1 x_1$. Joignons OR. Menons PS parallèle à Ox. OR et PS se coupent en p. Le point p est un point de la courbe (I) intégrante de (C).

Propriété :

Le Moment par rapport à l'axe Ox de l'aire limitée par la courbe (C) et l'axe des ordonnées est égal au produit

(1) L'emploi des courbes intégrantes dans le calcul des flot-taisons a été proposé par M. Barillon.

par OO_1 de l'aire limitée par la courbe intégrante (I) et l'axe des ordonnées.

$$M'_{ox} (\text{aire APBDE}) = OO_1 \times (\text{aire ApFGE}).$$

5. Courbe intégrante seconde d'une courbe donnée. — C'est la courbe (J) intégrante de la courbe (I) obtenue par la même construction (fig. 22).

Propriété :

Le moment d'inertie par rapport à l'axe ox de l'aire limitée par la courbe (C) et l'axe des ordonnées est égal

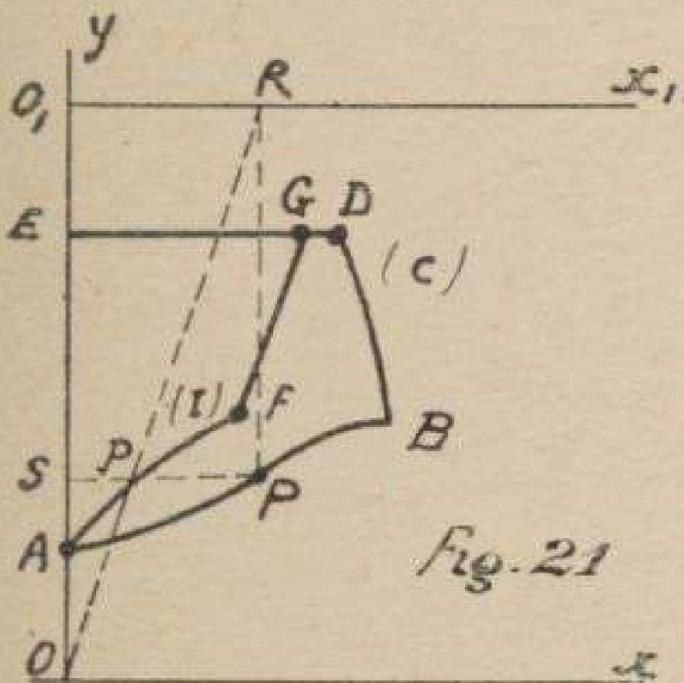


Fig. 21

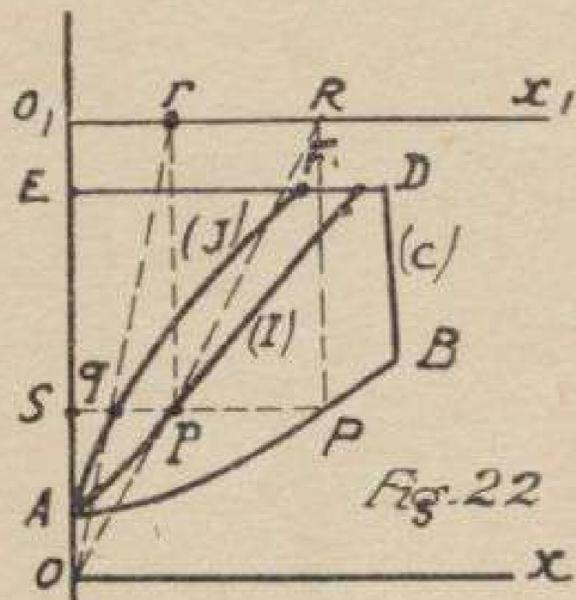


Fig. 22

au produit par le carré de OO_1 de l'aire limitée par la courbe intégrante seconde (I) et l'axe des ordonnées :

$$I_{ox} (\text{aire APBDE}) = \overline{OO_1}^2 \times (\text{aire AqFE}).$$

Ces propriétés sont indépendantes de la position de l'origine et de la droite de transformation OO_1 qui sont prises arbitrairement.

SECTION II. — CALCUL D'UNE FLOTTAISON DONT L'ASSIETTE EST CONNUE ET INVARIABLE.
(cas des navires.)

Si la direction du plan de flottaison est connue et ne varie pas, on établit la courbe des volumes immergés en coupant la coque par une série de plans parallèles équidistants (fig. 23).

On détermine pour chaque plan la surface de flottaison S_1 .

On fait la cubature approchée du volume entre deux plans S_1 et S_2 écartés de λ .

$$v = \frac{S_1 + S_2}{2} \times \lambda.$$

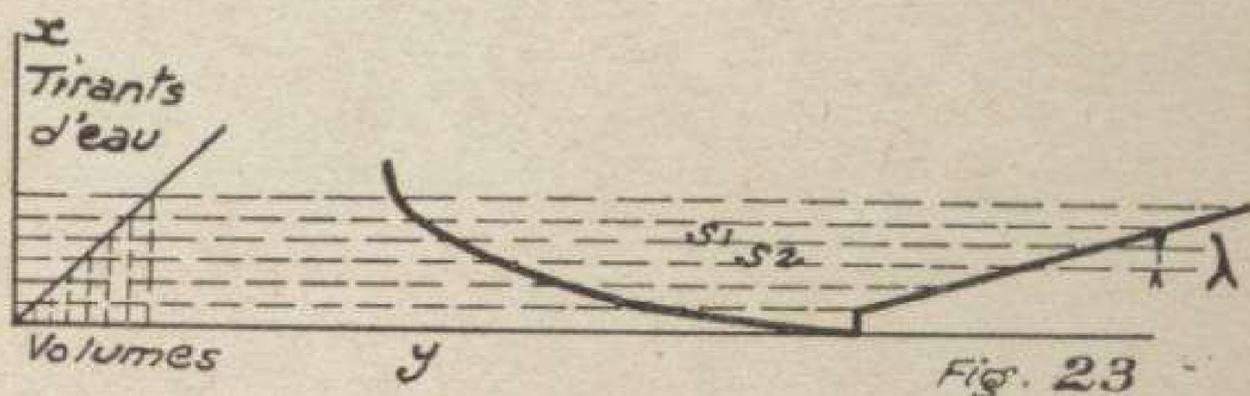


Fig. 23

On porte en abscisses les tirants d'eau, en ordonnées les volumes immergés V_0 , $(V_0 + V_1)$, $(V_0 + V_1 + V_2)$, etc...

On peut lire facilement le tirant d'eau correspondant à un volume immergé (ou poids d'appareil) donné.

Mais en général l'assiette varie avec le volume immergé et cette méthode ne peut s'appliquer.

SECTION III. — MÉTHODE GÉNÉRALE.

1° On se donne *a priori* une flottaison arbitraire (1) aussi vraisemblable que possible. On détermine le volume immergé V_1 et le centre de carène c_1 qui lui correspondent.

2° On constate que V_1 n'est pas égal à V cherché. On déplace la flottaison (1) parallèlement à elle-même de manière à l'amener en (2) tel que $V_2 = V$. C'est la *correction de déplacement*.

3° On constate que c_2 , centre de carène de la flottaison (2) n'est pas sur la perpendiculaire abaissée du centre de gravité G du système flotteur sur la ligne de flottaison. On fait tourner la flottaison (2) pour l'amener en (3) tel que le nouveau centre de carène C_3 soit correct. C'est la *correction d'assiette*.

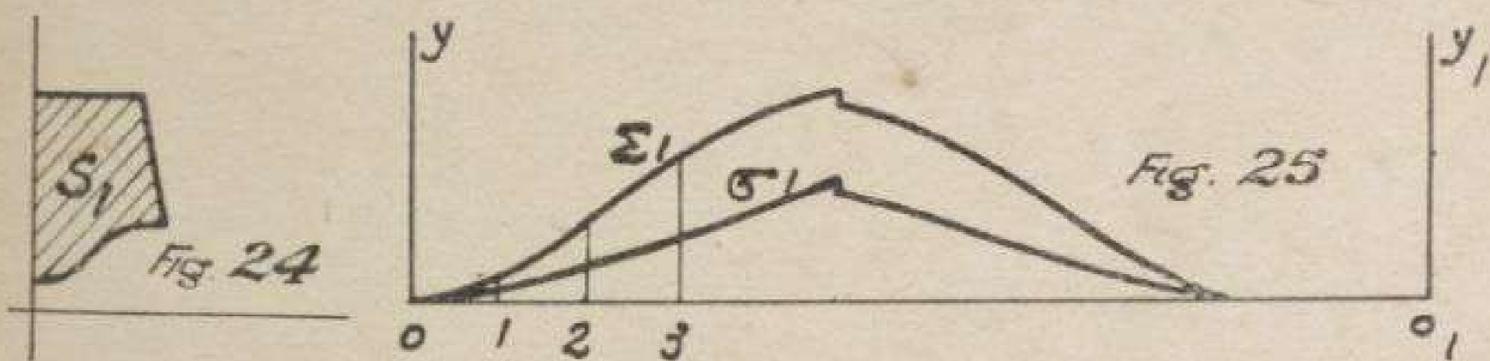
4° On vérifie les valeurs de V_3 et la position de C_3 relatifs à la flottaison (3). Si la flottaison (1) était prise de manière à ne donner lieu qu'à de petites corrections, on trouverait V_3 et C_3 corrects.

Mais comme la méthode s'appuie sur des théorèmes relatifs aux isocarènes rigoureux seulement pour des variations infiniment petites, si la flottaison (1) est trop différente de la flottaison cherchée, il y a souvent lieu de recommencer sur la flottaison (3) de nouvelles corrections de déplacement et d'assiette.

SECTION IV. — RECHERCHE DU VOLUME V_1 .

Supposons un plan de formes en 3 vues sur le longitudinal duquel est figurée la position de G, centre de gravité de l'hydravion dans l'hypothèse où nous cherchons sa flottaison (à vide, en charge, etc...).

Sur le longitudinal, traçons arbitrairement la ligne correspondant à la flottaison (1). On en déduit la hauteur immergée de chaque section (fig. 24). Sur le vertical, on



planimètre les $\frac{1}{2}$ surfaces immergées S_1, S_2, \dots correspondant aux sections 1, 2...

Si a, b, \dots sont les distances entre sections du vertical, le volume immergé a pour valeur :

$$V_1 = 2 \left[\frac{S_1 + S_2}{2} \times a + \frac{S_2 + S_3}{2} \times b + \dots \right].$$

Pour diminuer l'erreur sur les mesures, quand on dispose d'un planimètre, on porte graphiquement — en abscisses des longueurs égales ou proportionnelles aux distances entre sections — en ordonnées des longueurs proportionnelles aux $\frac{1}{2}$ surfaces S_1, S_2, \dots

La jonction de ces points nous donne la courbe Σ_1

représentant à une échelle convenable le $\frac{1}{2}$ volume immergé (fig. 25).

$$V_1 = 2 \Sigma_1 e e' \quad \begin{array}{l} e : \text{échelle des abscisses.} \\ e' : \text{échelle des ordonnées.} \end{array}$$

SECTION V. — RECHERCHE DU CENTRE DE CARÈNE C_1 .

a) *En longueur.* — Si $v_1 = \left(\frac{S_1 + S_2}{2} \times a \right)$,
 $v_2 = \left(\frac{S_2 + S_3}{2} \times b \right)$,
 etc...

sont les volumes partiels et $l_1, l_2, l_3 \dots$ les distances de leurs centres de gravité respectifs à un axe pris arbitrairement, la perpendiculaire AV par exemple, ou le redan (dans ce cas, faire attention aux signes), la distance du centre de carène à l'axe origine a pour valeur :

$$l_x = \frac{(\text{somme } v_i l_i)}{(\text{somme } v_i)}$$

La détermination des volumes partiels et de leurs centres de gravité étant une source d'erreurs, il est plus simple d'opérer graphiquement :

Construisons par rapport à une origine O et à une droite de transformation arbitraire $O_1 y_1$: la courbe σ_1 intégrante de Σ_1 (fig. 25).

Il vient : M_{Oy}^t (surface Σ_1) = $OO_1 \times$ (surface σ_1).

d'où
$$l_x = \frac{OO_1 \times (\text{surface } \sigma_1) \times e^2 e'}{(\text{surface } \Sigma_1) \times e e'}$$

$$= \frac{OO_1 \times (\text{surf. } \sigma_1) \times e}{(\text{surf. } \Sigma_1)}$$

e = échelle des abscisses.

e' = échelle des ordonnées.

b) *En hauteur.* — Dans un avant-projet, on peut, sans trop d'erreur, lui donner une valeur qui varie de 0,65 à 0,75 fois le tirant d'eau maximum à partir de la ligne zéro selon que l'amortissement est moins ou plus accentué.

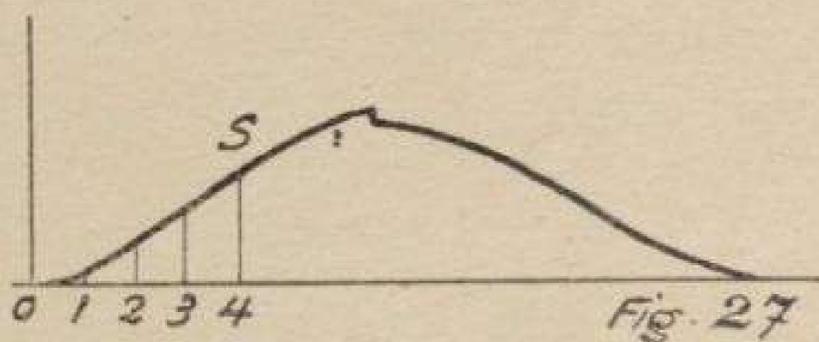
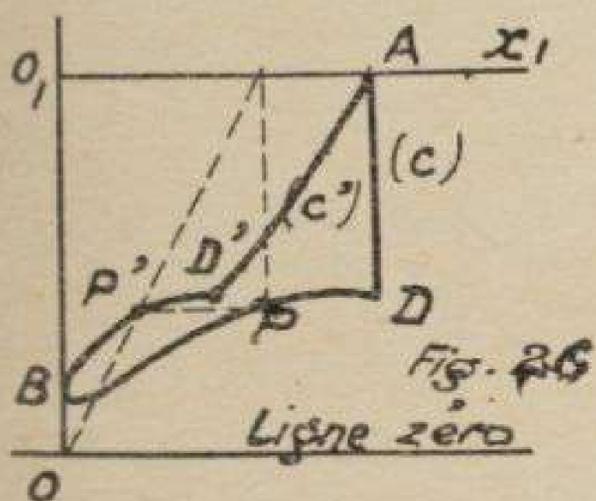
Dans le projet définitif, il faut reprendre un calcul des

moments des volumes partiels par rapport à la ligne zéro et appliquer la formule :

$$l_v = \frac{(\text{somme } vl)}{(\text{somme } v)}$$

Là encore, on n'aura de précision que par la méthode graphique ci-après :

Une opération préliminaire consiste à tracer sur chaque section du vertical le couple intégrant premier C' ... (fig. 26) de la section C en prenant comme point de transformation O l'intersection de la ligne zéro et de l'axe vertical de symétrie — et comme ligne de projection O_1x_1 la trace du plan de flottaison sur le couple, par exemple (voir section VIII. Echelles Bonjean).



On a :

$$M_{oz}^t (\text{surface } O_1ADPBO_1) = OO_1 \times (\text{surface } O_1AD'P'BO_1).$$

On planimètre les aires (C') pour chaque section, on relève OO_1 et on établit un tableau de moments des $\frac{1}{2}$ surfaces par rapport à Ox .

Cette opération préliminaire terminée, on porte sur 2 axes rectangulaires en abscisses des longueurs égales ou proportionnelles aux distances entre sections — et en ordonnées des longueurs s proportionnelles aux moments des couples (fig. 27).

L'aire de cette courbe (s) mesure à une échelle connue les moments des volumes par rapport à la ligne zéro.

$$M_{oz}^t (\text{volume } V_1) = (\text{surface } S) \times e_1 e_2 :$$

e_1 : échelle des abscisses.

e_2 : échelle des ordonnées.

On en tire la position du centre de carène C_1 en hauteur :

$$l_v = \frac{(\text{surface } s) \times e_1 \times e_n}{V_1}$$

SECTION VI. — CORRECTION DE VOLUME (OU DE DÉPLACEMENT.)

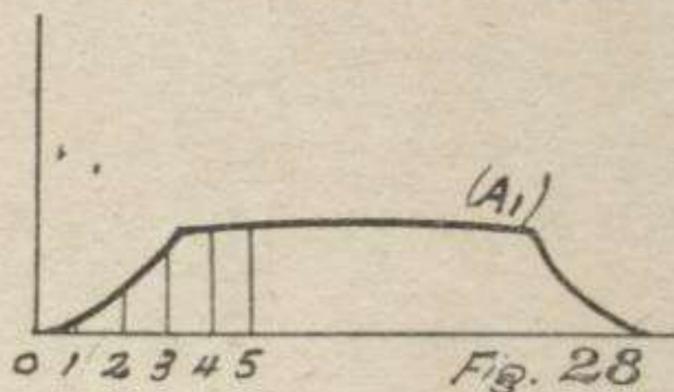
Le volume V_1 trouvé n'est généralement pas égal à V . Supposons le trop petit.

a) Calculons l'aire A_1 de la flottaison (1). Si la flottaison (1) est parallèle à la ligne zéro, on la planimètre directement sur la vue en plan où on la trace.

Si elle fait un angle α avec la ligne zéro, on peut planimétrer sa projection B_1 et on a

$$(\text{surf. } A_1) = (\text{surface } B_1) \times \frac{1}{\cos. \alpha}$$

Il est plus précis de porter sur deux axes rectangulaires



en abscisses les distances entre sections, en ordonnées les demi ouvertures des sections à la hauteur du plan de flottaison (fig. 28).

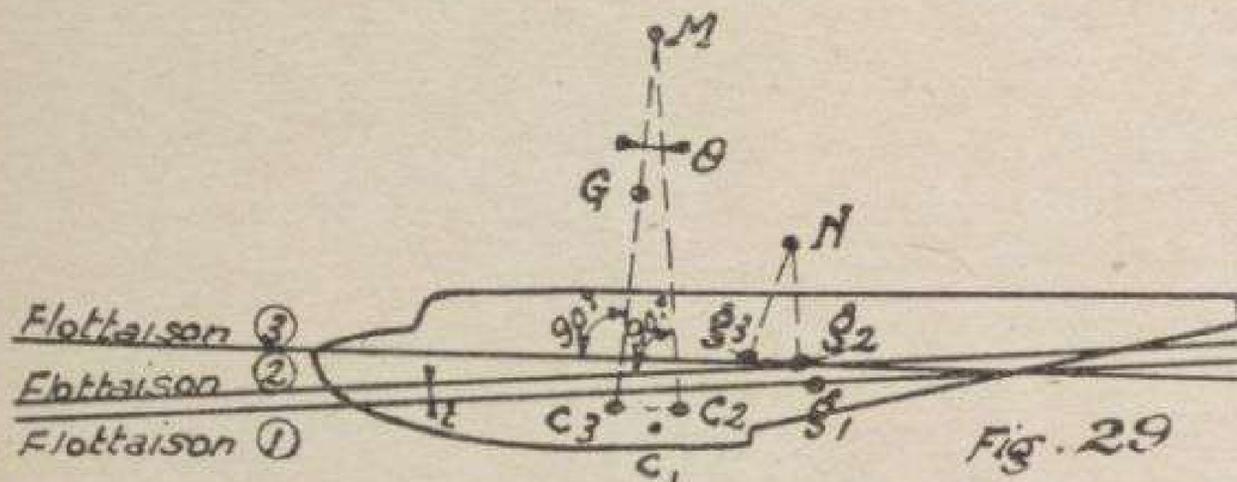
La planimétrie de l'aire limitée par cette courbe (A_1) donne à une échelle connue la demi-valeur de l'aire de la flottaison (1).

b) Plaçons sur le longitudinal une flottaison (2) parallèle à (1) à une distance t vers le haut telle que : $t = \frac{V - V_1}{2 (\text{aire } A_1)}$ exprimant l'égalité entre le volume manquant et le prisme ayant pour base l'aire de flottaison et pour hauteur l'écartement t entre les flottaisons parallèles (1) et (2).

c) Nous déterminons ensuite la position du centre de carène C_2 selon la méthode exposée précédemment.

SECTION VII. — CORRECTION D'ASSIETTE.

a) *Principe.* — C_2 n'est pas sur la perpendiculaire abaissée de G sur la flottaison (2). Il faut amener (2) en (3) par une rotation telle que C_2 vienne en C_3 , centre de carène de la flottaison (3), placé sur la perpendiculaire abaissée de G sur la ligne de flottaison (3).



C_2 tourne d'un angle θ autour du métacentre M .
 M se trouve sur la perpendiculaire abaissée de C_2 sur la flottaison (2) (fig. 39) à une distance $MC_2 = \frac{I_2}{V_2}$.

I_2 étant le moment d'inertie de l'aire de flottaison (2) par rapport à un axe perpendiculaire au plan de figure passant par le centre de gravité g_2 de cette flottaison — V_2 étant le volume correspondant à la flottaison (2), $V_2 = V$.

Le plan de flottaison tourne autour du métacentre différentiel N .

N se trouve sur la perpendiculaire à la flottaison (2) élevée en son centre de gravité g_2 à une distance

$$Ng_2 = \frac{I_2 - I_1}{V_2 - V_1}.$$

I_1 et I_2 étant les moments d'inertie respectifs des aires de flottaison (1) et (2) par rapport aux axes perpendiculaires au plan de figure passant par leurs centres de gravité g_1 et g_2 .

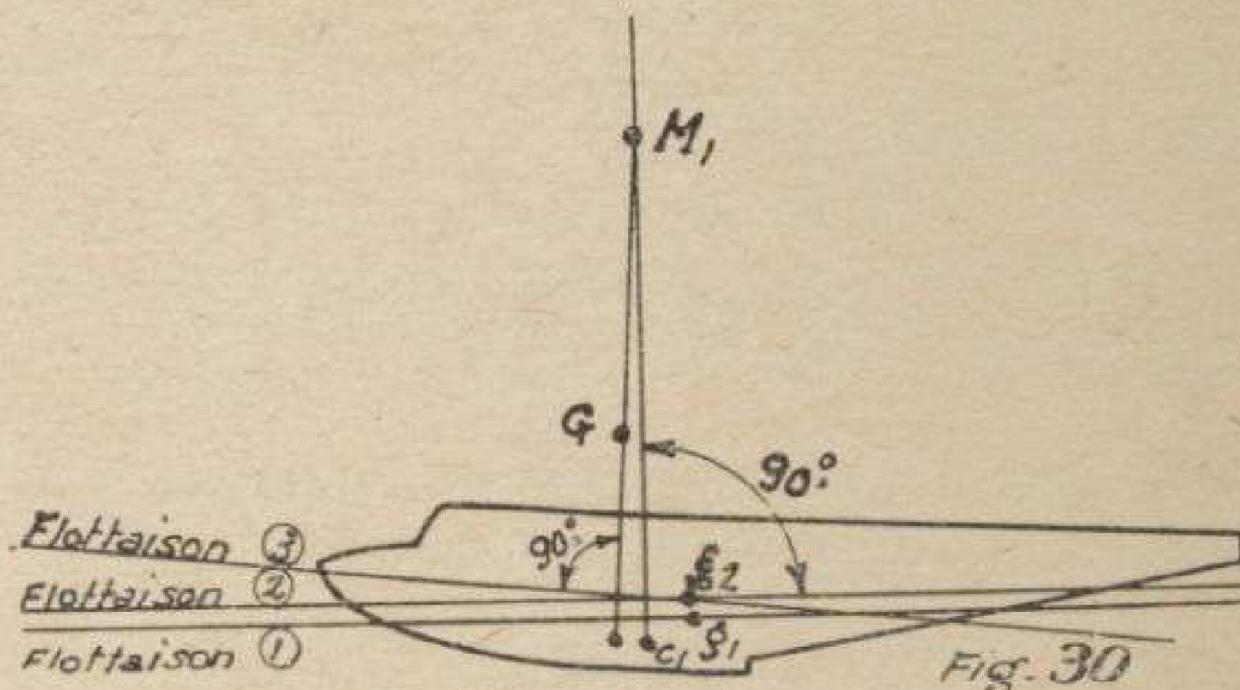
V_1 et V_2 étant les volumes correspondant à ces flottaisons.

La flottaison (3) cherchée est donc :
 tangente en g_3 au cercle de centre N et de rayon Ng_2 ,
 perpendiculaire à la droite joignant M à G .

b) *Méthode simplifiée.* — La méthode ci-dessus est précise, mais nécessite un calcul pour chacune des flottaisons (1) et (2).

On peut gagner du temps lors des avant-projets par le procédé ci-après plus approximatif.

On fait pour la flottaison (1) seulement le calcul de l'aire de flottaison, du moment d'inertie I_1 , et la détermination de C_1 et de g_1 .



On détermine la correction de volume l , mais sans calculer les caractéristiques de la flottaison (2) que l'on place (fig. 30).

On place M_1 , métacentre, tel que $M_1C_1 = \frac{I_1}{V_1}$.

On place g_2 tel que $g_1 g_2$ soit perpendiculaire à (1).

On abaisse de g_2 la perpendiculaire à M_1G C'est la flottaison (3) cherchée.

Ce procédé est rapide, mais assez imprécis.

c) *Mode opératoire de la méthode normale* (fig. 31). —

I. Tracé des $\frac{1}{2}$ aires de flottaison (A_1) et (A_2) comme expliqué ci-dessus (correction de volume).

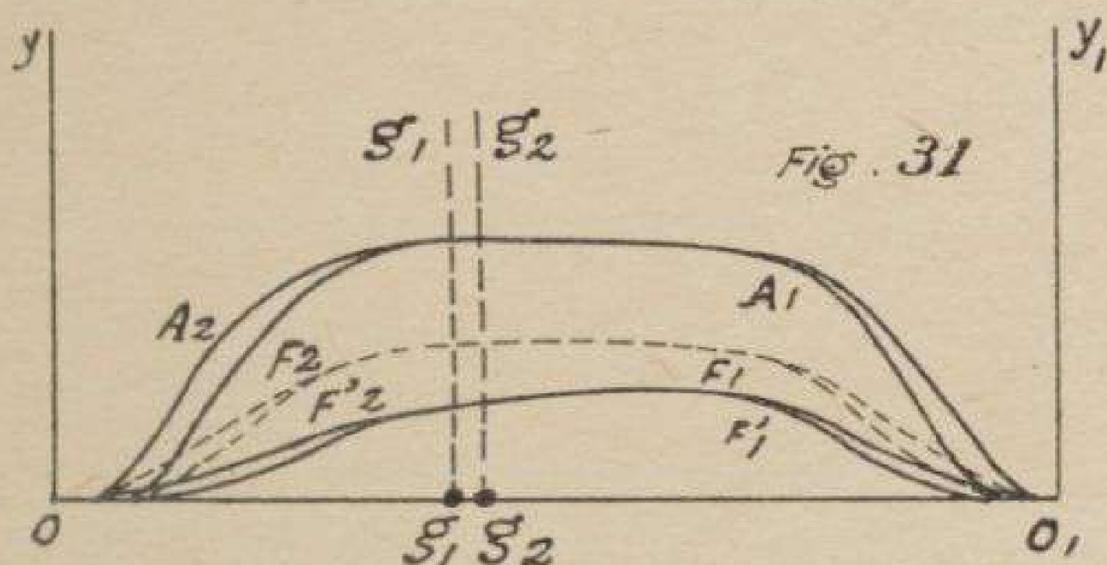
II. Par rapport à une origine O et à une droite de transformation $O_1 y_1$ tracé des courbes intégrantes premières (F_1) et (F_2) et secondes (F'_1) et (F'_2) des courbes A_1 et A_2 .

III. Planimétrie des aires.

$$\begin{aligned} & (A_1) \quad (A_2). \\ & (F_1) \quad (F_2). \\ & (F'_1) \quad (F'_2). \end{aligned}$$

IV. On a :

$$\begin{aligned} M_{oy}^t \text{ (surf. } A_1) &= (\text{aire } F_1) \times ee' \times OO_1 \times e. \\ e &= \text{échelle des abscisses.} \\ e' &= \text{échelle des ordonnées.} \end{aligned}$$



On en tire la distance du centre de gravité g_1 (placé sur l'axe de symétrie OO_1) à l'origine O :

$$Og_1 = \frac{(\text{aire } F_1) \times ee' \times OO_1 \times e}{(\text{aire } A_1) \times ee'} = \frac{(\text{aire } F_1)}{(\text{aire } A_1)} \times OO_1 \times e.$$

de même $Og_2 = \frac{(\text{aire } F_2)}{(\text{aire } A_2)} \times OO_1 \times e.$

V. Moment d'inertie par rapport à l'axe Oy de la $\frac{1}{2}$ flottaison (1) =

$$I_{oy} \text{ (aire } A_1) = (\text{aire } F'_1) \times ee' \times \overline{OO_1}^2 \times e^2.$$

$$\text{De même } I_{oy} \text{ (aire } A_2) = (\text{aire } F'_2) \times \overline{OO_1}^2 \times e^3 e',$$

Faisons le changement d'axes pour avoir les moments d'inertie par rapport à des axes passant par les centres de gravité.

$$I_{g_1 g'_1} = I_{oy} - Sd^2.$$

$$\begin{aligned} \frac{I_1}{2} = I_{g_1 g'_1} &= (\text{aire } F'_1) \times \overline{OO_1}^2 \times e^3 e' - (\text{aire } A_1) ee' \\ &\times \left[\frac{(\text{aire } F_1)}{(\text{aire } A_1)} \times OO_1 \times e \right]^2. \end{aligned}$$

$$\frac{I_2}{2} = I_{g_2 g'_2} = (\text{aire } F'_2) \times \overline{OO_1}^2 \times e^3 e' - (\text{aire } A_2) e e' \\ \times \left[\frac{(\text{aire } F_2)}{(\text{aire } A_2)} \times OO_1 \times e \right]^2.$$

Les moments d'inertie I_1 et I_2 s'obtiennent en doublant ces quantités.

VI. On déduit de ces données les valeurs du rayon métacentrique et du rayon métacentrique différentiel et on fait la construction indiquée.

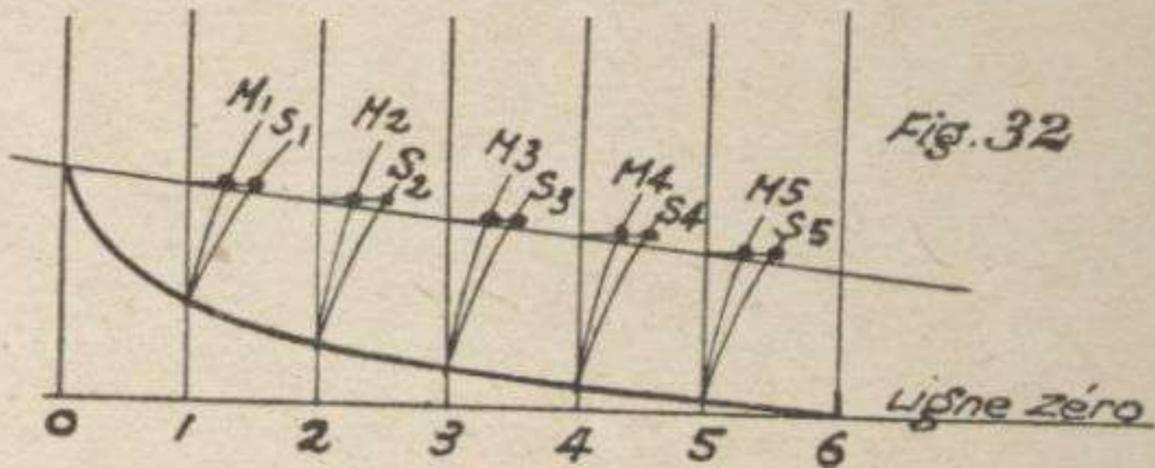
SECTION VIII. — ÉCHELLES BONJEAN.

1. — Lorsque les formes d'une coque sont définitivement arrêtées, il y a intérêt à établir une fois pour toutes des graphiques permettant des opérations rapides sur les flottaisons à vide, en charge sous différentes hypothèses, etc...

Sur le longitudinal on trace (fig. 32), en prenant la verticale de chaque section comme axe des abscisses deux courbes dont les ordonnées sont :

1° La valeur S de la $\frac{1}{2}$ surface immergée depuis la quille centrale jusqu'à la hauteur de l'ordonnée considérée.

2° La valeur M du moment de cette demi-surface par rapport à la ligne zéro (Voir section 5 sa détermination).

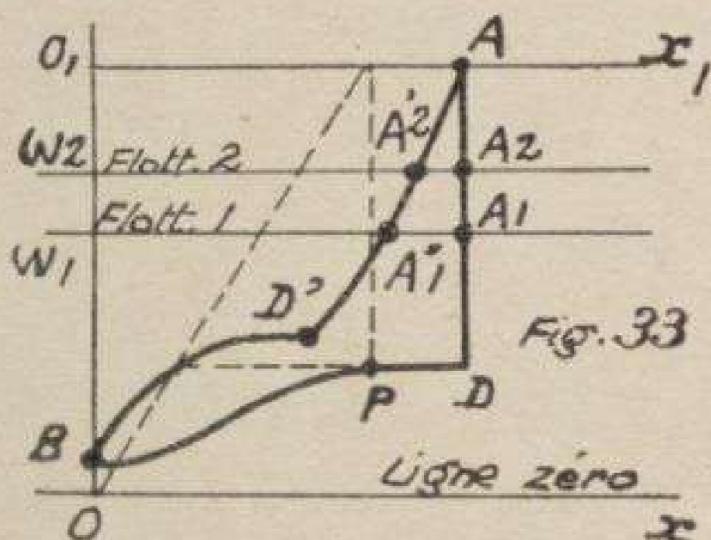


Quand on trace une ligne de flottaison, on relève, à son intersection avec une section donnée, par simple lecture de l'ordonnée des courbes Bonjean, l'aire immergée et son moment.

2. — Comme on connaît à très peu près la hauteur maximum intéressante, on ne calcule les aires et moments que jusqu'à une hauteur un peu supérieure et on place l'axe de transformation OO_1 à cette hauteur, de manière à ne pas recommencer plusieurs fois le tracé de la courbe intégrante. On a, en effet (fig. 33).

$$M_{ox}^t \text{ (aire } BDA_1\omega_1) = OO_1 \times \text{(aire } BD'A'_1\omega_1).$$

$$M_{ox}^t \text{ (aire } BDA_2\omega_2) = OO_1 \times \text{(aire } BD'A'_2\omega_2).$$

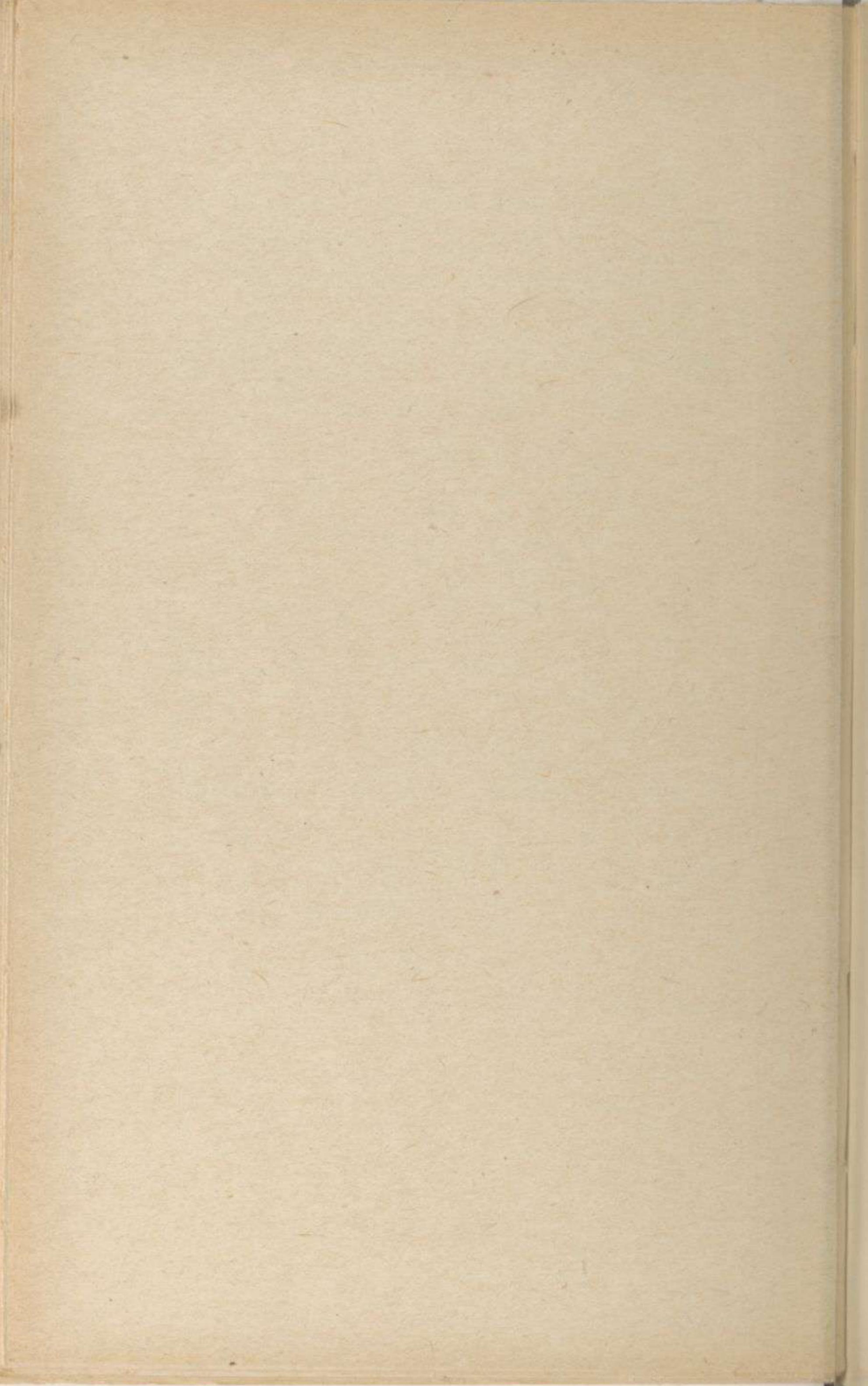


3. — Ce procédé fait gagner beaucoup de temps surtout dans le cas des *compartiments envahis par l'eau*.

Les coques étant divisées en compartiments, il faut prévoir que si l'un d'eux est crevé par une avarie et envahi par l'eau, les cloisons soient étanches jusqu'à une hauteur telle que l'eau ne se répande pas dans les compartiments voisins.

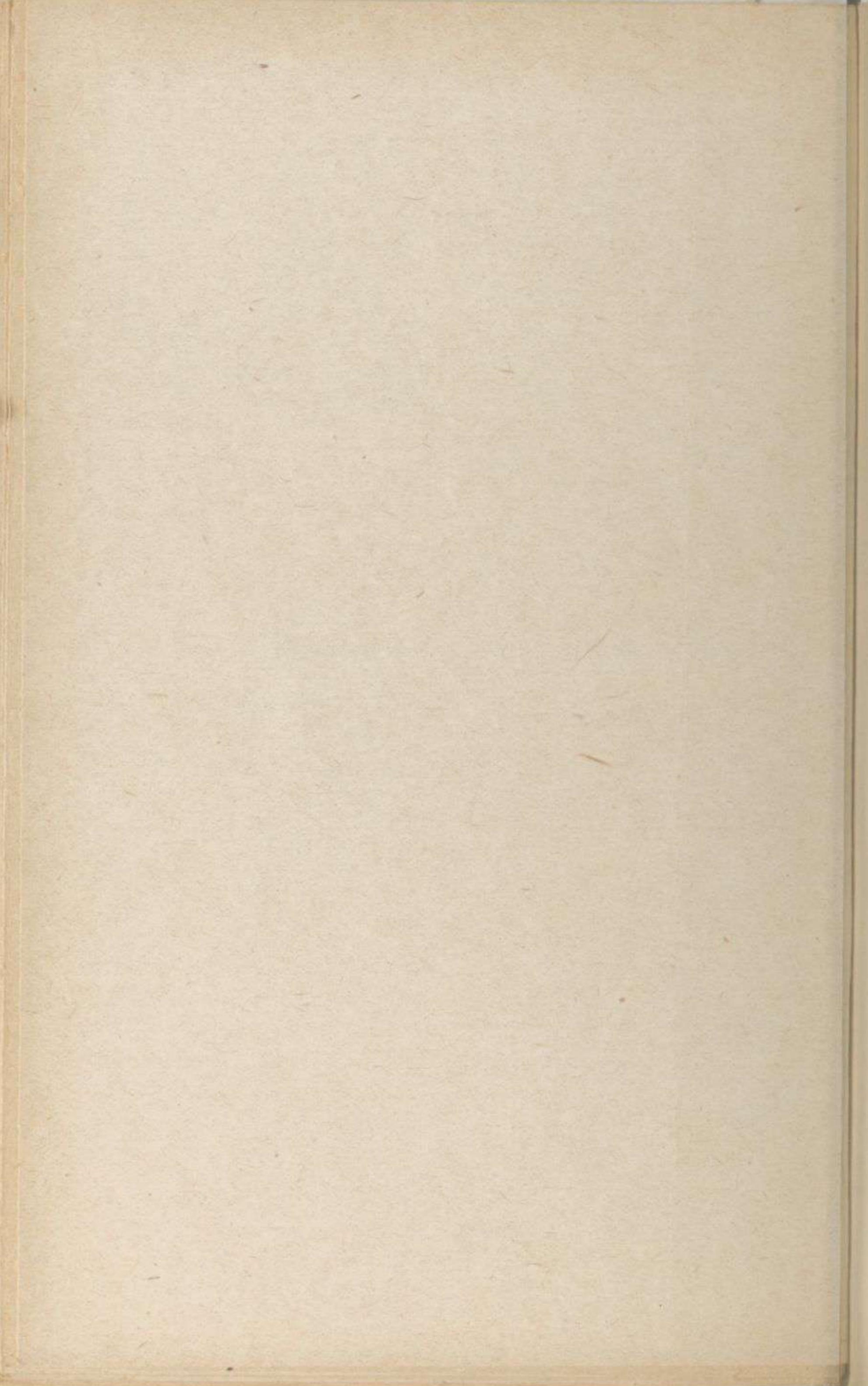
Pour déterminer cette hauteur, on fait les flottaisons de l'appareil en supposant successivement chaque compartiment envahi par l'eau, et en supprimant les volumes et surfaces relatifs à ce compartiment qui ne fait plus partie du système flotteur.

On déterminera la hauteur d'envahissement de l'eau du compartiment et on réserve une marge supplémentaire minimum de 10 cm. au cours de l'étude des cloisons correspondantes.



DEUXIÈME PARTIE

MÉCANIQUE DE L'HYDRAVION



CHAPITRE PREMIER

I. — ÉQUILIBRE DE L'HYDRAVION IMMOBILE A FLOT

Fig. 1. Condition de stabilité. — Un système est stable s'il a tendance à revenir à sa position initiale lorsqu'une cause quelconque l'en a écarté.

Dans le cas du corps totalement immergé, le centre de gravité doit être au-dessous du centre de carène.

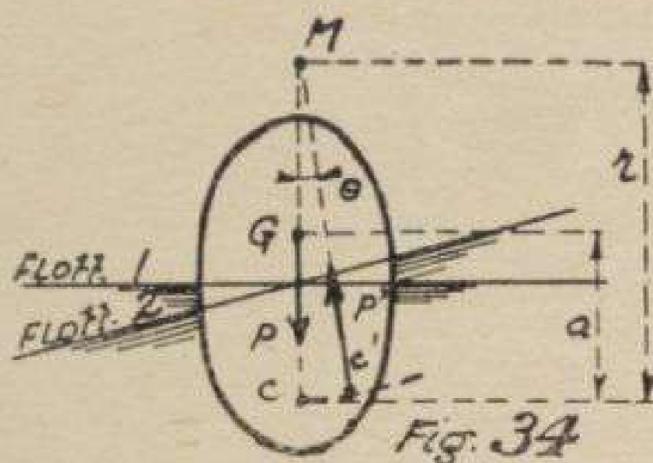


Fig. 34

Dans le cas du corps partiellement immergé (cas d'une coque d'hydravion) il faut et il suffit que le centre de gravité soit au-dessous du plus petit métacentre (fig. 34).

Si $a = CG =$ distance entre le centre de carène et le centre de gravité du flotteur,

$r = MC =$ distance entre le centre de carène et le métacentre,

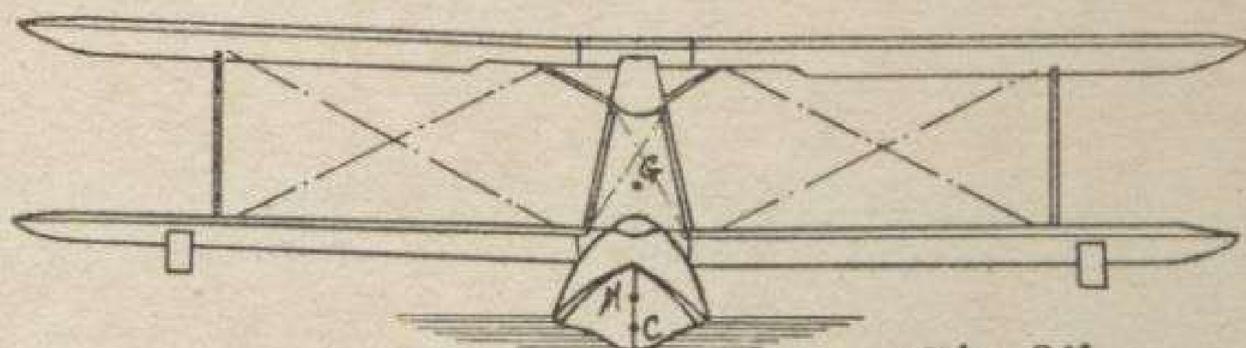
la condition s'écrit : $MG = r - a > 0$.

Il y a lieu de considérer la stabilité *transversale* et la stabilité *longitudinale*.

2. Équilibre transversal de l'hydravion à coque ou à flotteur central. — Le moteur est placé très au-dessus de la coque pour le passage de l'hélice, la voilure est haute. Le centre de gravité se trouve entre la coque et l'axe de

l'hélice, à peu près au $\frac{1}{3}$ inférieur de la distance. Le centre de carène, par contre, est vers le bas de la coque (présence d'une grande réserve de flottabilité et conditions d'habitabilité).

La valeur de a est donc grande (fig. 35).



$$GC = a$$
$$MC = r$$

Fig. 35

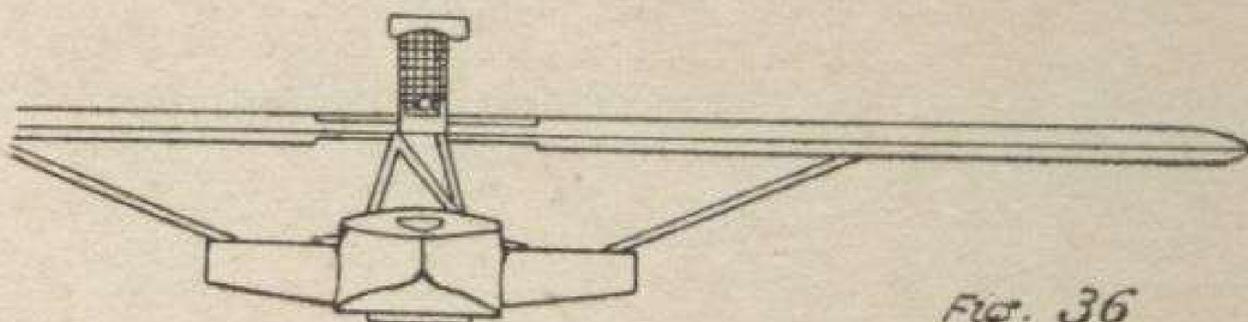
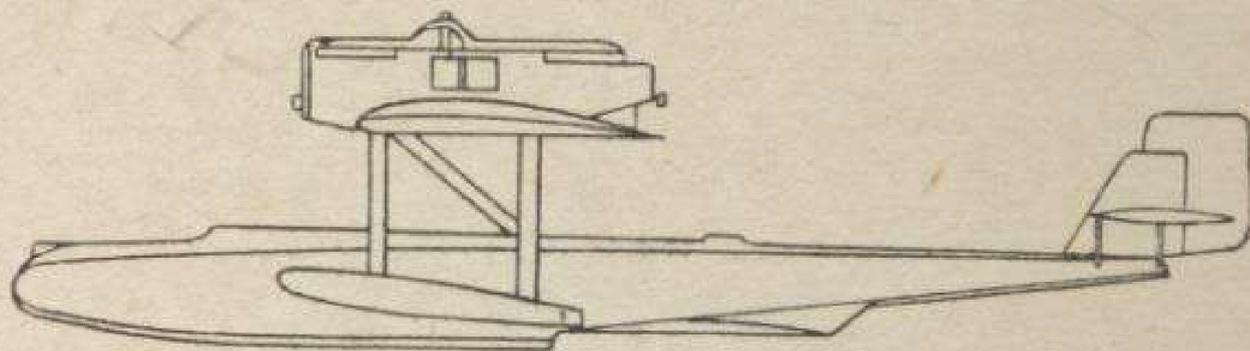


Fig. 36

Dornier Wal

Nous verrons plus loin que la largeur de la coque est déterminée par des raisons de décollage. Le moment d'inertie transversal de la surface de flottaison est faible et r est généralement inférieur à a .

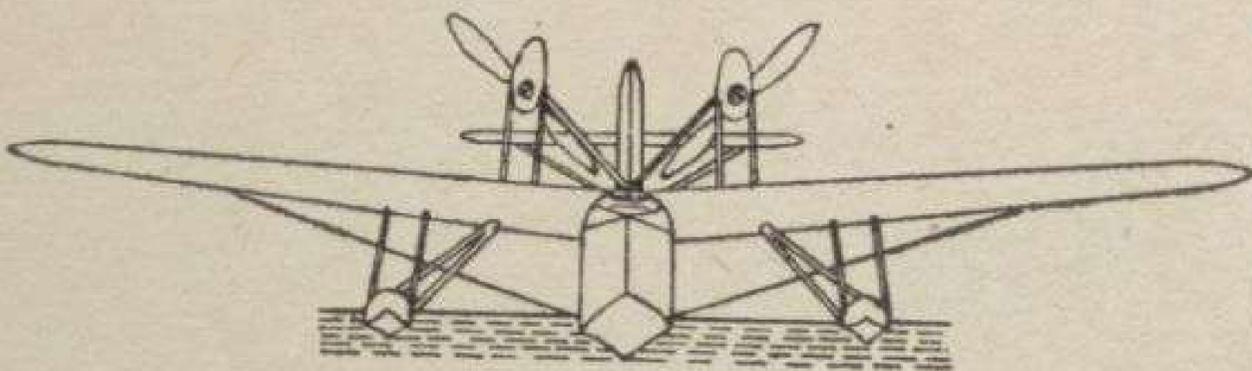
Ce type d'hydravion est instable. Il va pencher transversalement et devra reposer sur l'eau par l'intermédiaire d'un *ballonnet de bout d'aile*. Cependant, on peut arriver pour les très gros hydravions (à partir de 30 tonnes) à des dimensions transversales telles que $(r - a)$ devienne posi-

tif, car la coque s'élargit et le diamètre d'hélice reste sensiblement constant, ce qui abaisse relativement les moteurs, donc le centre de gravité.

D'autres solutions ont été envisagées :

Dornier emploie une nageoire touchant à peine l'eau en position normale (fig. 36).

Rohrbach préfère aux petits ballonnets de bout d'aile de très gros ballonnets voisins de la coque, qui concourent également au décollage, ce qui lui permet de réduire la largeur de coque, donc sa résistance nuisible et son poids (fig. 37).



Rohrbach

Fig. 37

3. Équilibre transversal de l'hydravion à deux flotteurs. — Si I_g est le moment d'inertie de l'aire d'un flotteur par rapport à l'axe longitudinal passant par le centre de gravité g de son aire de flottaison, S l'aire de flottaison,

d la distance de l'axe du flotteur à l'axe de l'appareil, le moment d'inertie du système constitué par l'ensemble des deux flotteurs a pour valeur : (fig. 38);

$$I = 2 (I_g + Sd^2).$$

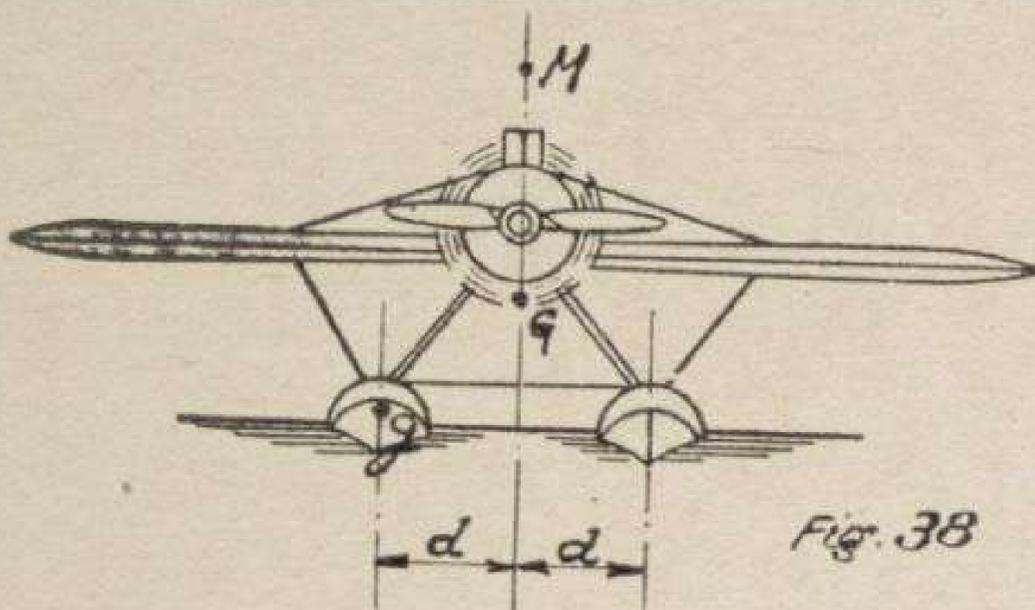


Fig. 38

On peut donc jouer sur d (écartement des flotteurs) pour obtenir $(r - a) > 0$, donc une stabilité naturelle suffisante.

4. Équilibre longitudinal de l'hydravion à flot. —

a) Le problème ne se pose généralement pas pour les hydravions à coque longue, car la valeur du moment d'inertie longitudinal est considérable et l'on a $(r - a) > 0$.

b) Il se pose pour les hydravions à coque courte. Au mouillage et le nez maintenu par une amarre, l'appareil subit les efforts du vent sur les parties émergées qui le font cabrer. Il faut éviter que l'empennage ne plonge dans l'eau en prolongeant la coque de la quantité nécessaire sur l'arrière.

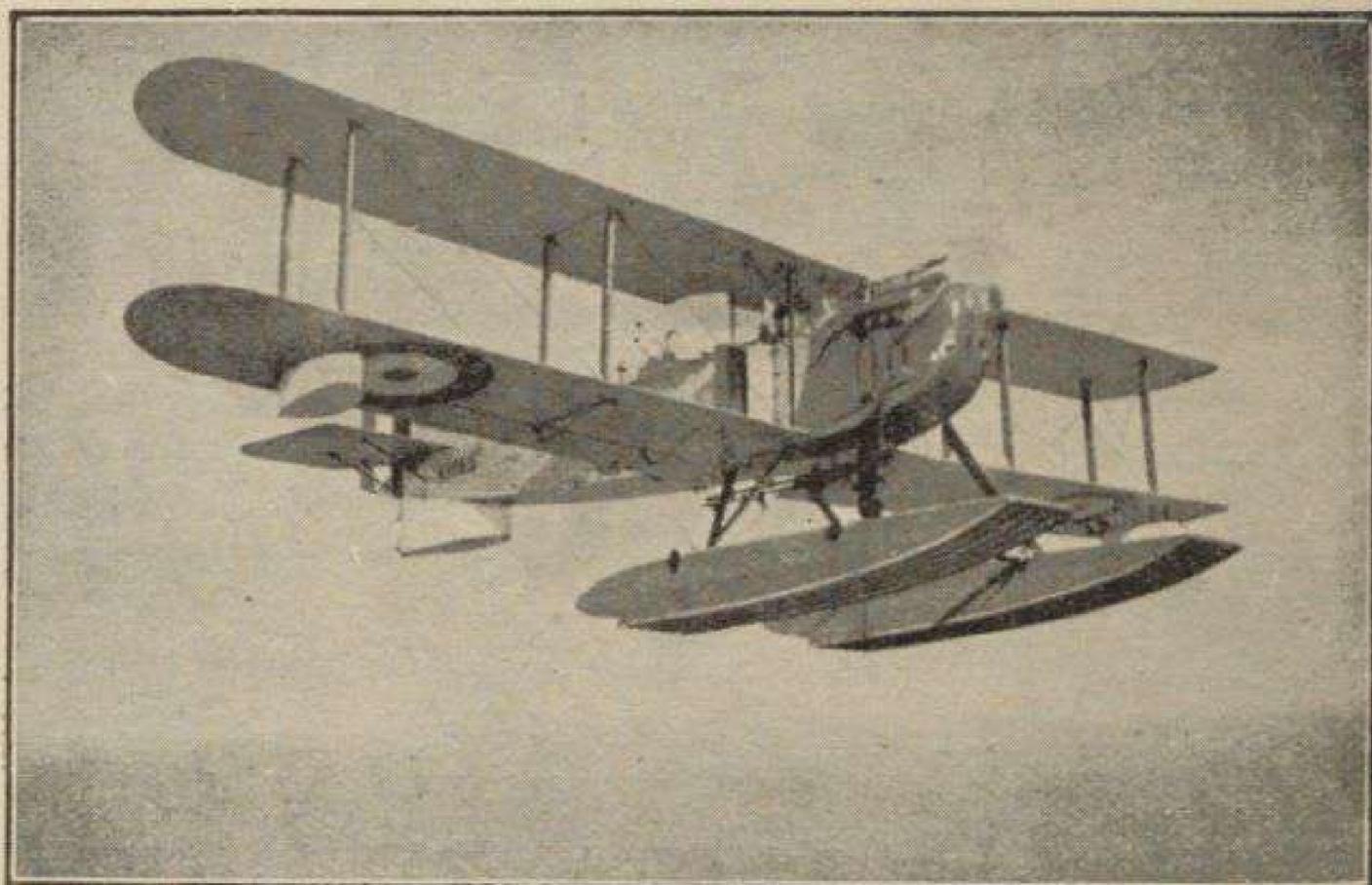


FIG. 38 bis. Fairey III.

c) La question devient encore plus sérieuse pour les hydravions à flotteurs. On distingue en effet les flotteurs *longs* et les flotteurs *courts*.

Les flotteurs longs ont une inertie suffisante pour être stables, mais leur partie arrière freine le décollage.

Cet inconvénient n'existe pas avec les flotteurs courts dont l'arête arrière forme redan, ou qui se prolongent très peu sur l'arrière (fig. 38 bis).

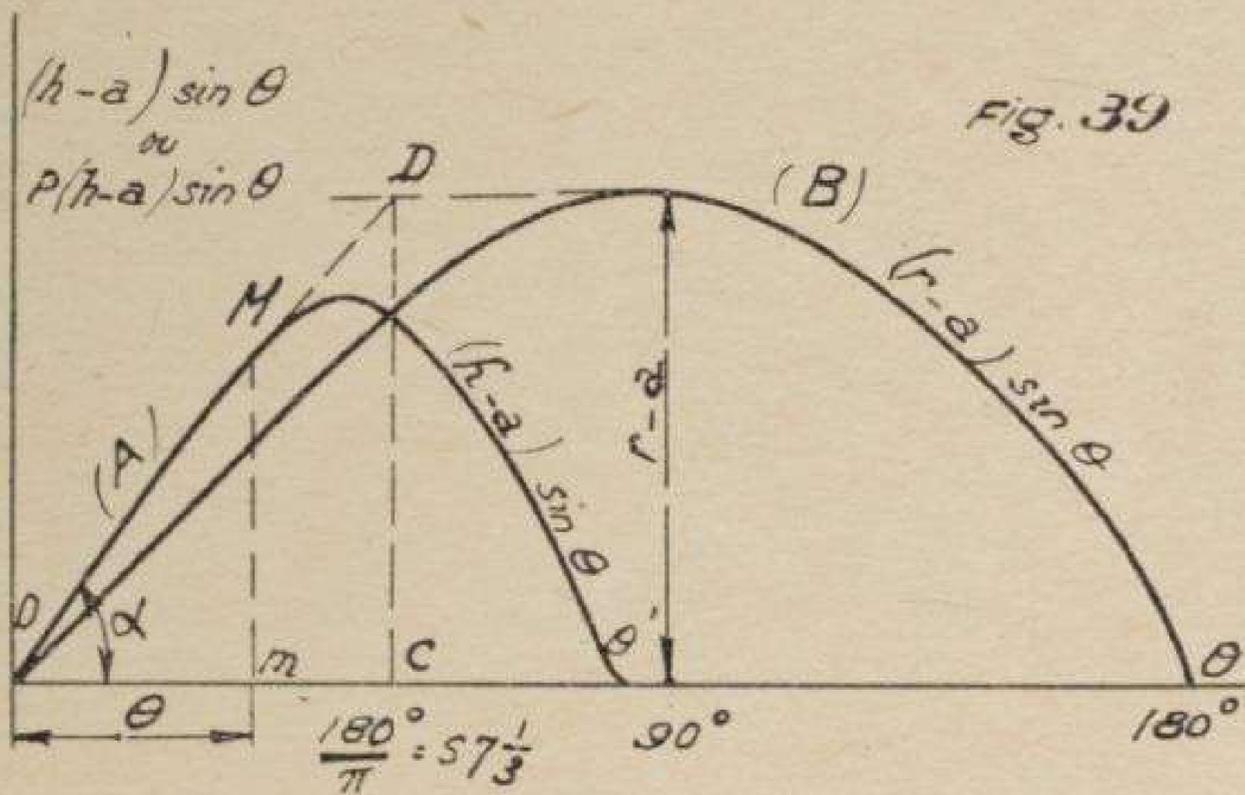
Dans ce cas, le problème est de même ordre que celui de l'équilibre transversal de l'hydravion à coque et on lui donne une solution analogue et plaçant une capacité étanche sous la queue, ou *ballonnet de queue* (fig. 38 bis).

Cette solution est compliquée et provoque des rappels brusques qui donnent des différences d'incidence fâcheuses, car ils font perdre la portance de voilure pendant le décollage, et dérèglent les fuselages par suite des chocs.

d) La traction des moteurs placés très au-dessus du centre de gravité produit un couple piqueur qui peut être considérable sur les appareils puissants (course-chasse).

On arrive pour ces appareils à allonger l'avant des flotteurs uniquement pour compenser cet effet, ce qui leur donne une silhouette particulière destinée à empêcher l'inondation du pilote et du moteur.

5. Courbes de stabilité. — L'étude de l'équilibre se fait au moyen de courbes de stabilité. On porte en abscisses les inclinaisons θ , en ordonnées $(h - a) \sin \theta$ ou $P(h - a) \sin \theta$, h étant la hauteur métacentrique variable correspondant à l'inclinaison θ .



Si h était constant et égal à r (pour $\theta = 0$), la courbe serait une sinusoïde.

Pratiquement on obtient une courbe représentée sur la

figure, qui a pour tangente à l'origine $(r - a)$ limite de $(h - a) \frac{\sin \theta}{\theta}$ quand θ tend vers 0.

Le tracé de cette courbe est assez long. Il se fait par points et a une valeur comparative.

On vérifie d'un hydravion à l'autre diverses données : valeur du moment maximum et angle pour lequel il se produit, pente de la tangente à l'origine, valeur de l'angle de chavirement θ' , etc...

6. Vérification rapide de la stabilité. — Il faut que la valeur $(r - a) > 0$ soit égale ou supérieure à un minimum convenable qui est réalisé lorsque :

$$(r - a) \text{ minimum} \geq 0,6 \sqrt[3]{P}$$

avec : $(r - a)$: distance du métacentre au centre de gravité en mètres,

P : poids de l'hydravion en kilogrammes.

On vérifiera dans un avant-projet que cette condition se réalise pour le métacentre longitudinal et le métacentre transversal.

Au cours de l'étude définitive, on tracera les courbes de stabilité conformément à la méthode exposée en 7^e partie du présent ouvrage.

CHAPITRE II

ÉQUILIBRE DE L'HYDRAVION EN MOUVEMENT A FLOT

Les raisonnements précédents s'appliquent à l'appareil immobile. Supposons-le maintenant en mouvement sur l'eau.

a) L'équilibre transversal a sensiblement la même allure. L'hydravion à coque, en déjaugéant, peut prendre de légères inclinaisons transversales, ce qui est impossible avec l'appareil à flotteurs.

b) L'équilibre longitudinal est modifié par la présence des forces hydrodynamiques et aérodynamiques que nous étudierons au chapitre IV.

c) Nous nous arrêterons plus en détail à l'équilibre autour de l'axe vertical passant par le centre de gravité.

1. Stabilité en dérive. — Le moteur est coupé, mais il y a du vent. L'hydravion est orienté *vent de bout*, orientation qui correspond au minimum de traînée aérodynamique, de dérive et d'efforts dus au vent et aux vagues qui pourraient se combiner pour le faire chavirer.

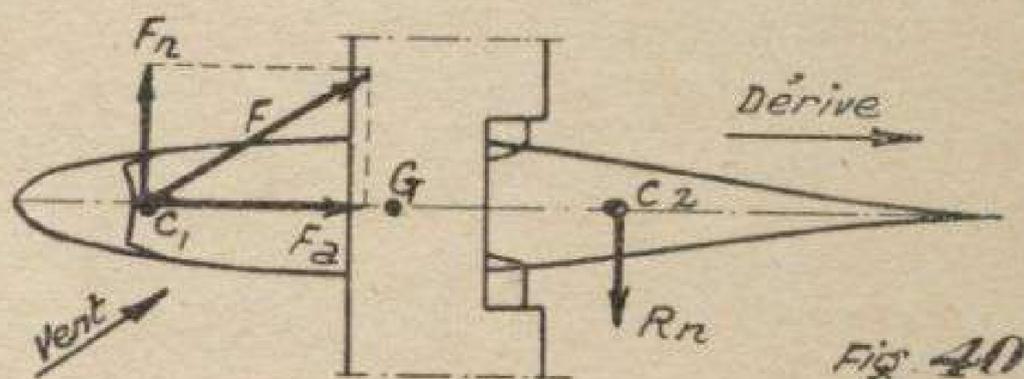
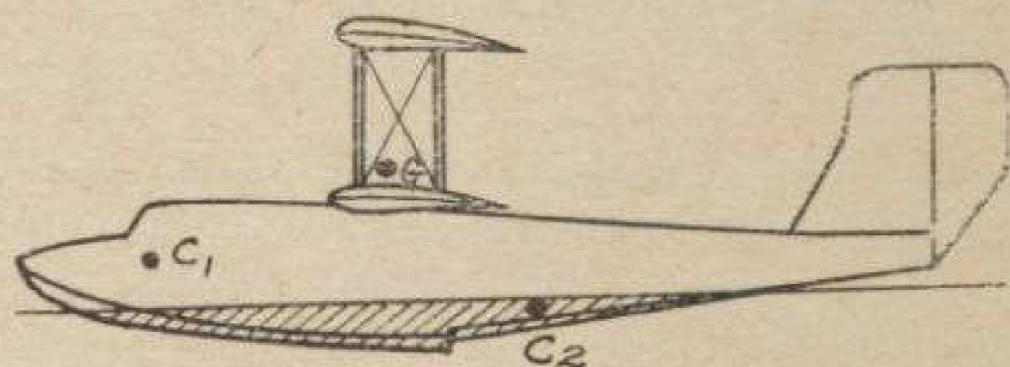
Ces forces sont représentées par leur composante horizontale suivant l'axe longitudinal de l'appareil (fig. 40).

S'il y a un angle très petit entre l'axe de l'appareil et la composante due au vent, cette composante se décompose en une force axiale (sans influence sur la stabilité) F_a et une force perpendiculaire F_n dont le point d'application, par suite de la grande surface avant de la coque, se place vers le tiers-avant des parties émergées (centre de dérive aérien C_1) si l'on ne tient pas compte de l'empennage.

Sous l'influence de F_a , l'hydravion prend de la vitesse vers l'arrière, et il naît des forces hydrodynamiques sur les parties immergées que l'on décompose comme la précédente.

Leur point d'application est le *centre de dérive* sous-marin C_2 placé vers le tiers arrière de la partie immergée.

La condition de stabilité est que C_1 soit sur l'arrière de C_2 , ce qui est presque toujours réalisé par la présence d'un très grand empennage vertical de dérive nécessité par les conditions de vol (voir chap. III) qui recule beaucoup C_1 .



2. Stabilité de route. — Supposons le moteur en marche. L'hydravion hydroplane.

La traction d'hélice passant par la verticale du centre de gravité, son action est négligeable.

Mais on a une vitesse vers l'avant, et C_2 , centre de dérive sous-marin, change de point d'application et se place au $\frac{1}{3}$ de la surface immergée, à partir de l'avant.

Donc l'appareil est généralement stable pour la marche au moteur.

Un hydravion trop stable serait cependant défectueux, car il manquerait de *maniabilité*. On est donc parfois conduit à reculer, la dérive sous-marine au moyen d'un plan de dérive immergé (Dornier, voir fig. 36).

3. Stabilité au remorquage. — C'est un cas analogue au précédent. Si on attache la remorque sur l'avant du

centre de dérive sous-marin, on augmente la stabilité et réciproquement.

Les petits appareils étaient autrefois remorqués par une boucle fixée au nez de l'étrave. Maintenant on emploie une patte d'oie attachée à deux ferrures fixées, de part et d'autre de la coque, dans la partie latérale basse et vers le tiers avant de la distance entre le redan et l'avant (Voir 5^e partie, chap. II).

CHAPITRE III

ÉQUILIBRE DE L'HYDRAVION EN VOL

1. Centrage des hydravions. — La condition générale d'équilibre est, comme pour l'avion, la convergence des trois forces :

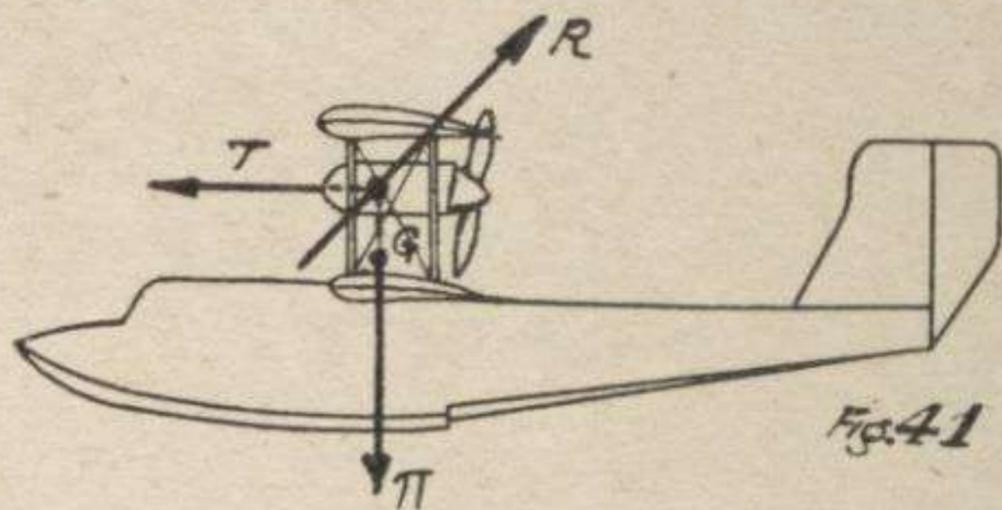
Poids	Π
Traction de l'hélice.....	T
Résultante aérodynamique.....	R

L'avion terrestre a généralement une traction d'hélice passant par le centre de gravité, R doit y passer.

L'appareil n'a donc tendance ni au cabrage ni au piquage si le pilote ne manœuvre pas le gouvernail de profondeur.

On place même volontairement le centre de gravité un peu au-dessus de l'axe de traction des hélices pour que cette force donne un couple cabreur.

Tout ralentissement du moteur met l'appareil en piqué, ce qui lui rend de la vitesse.



Dans les hydravions, le centre de gravité est très bas par suite :

1° De la lourdeur du système flotteur et des aménagements contenus;

2° De l'hélice remontée au-dessus de la coque pour la mettre hors de portée des éclaboussures.

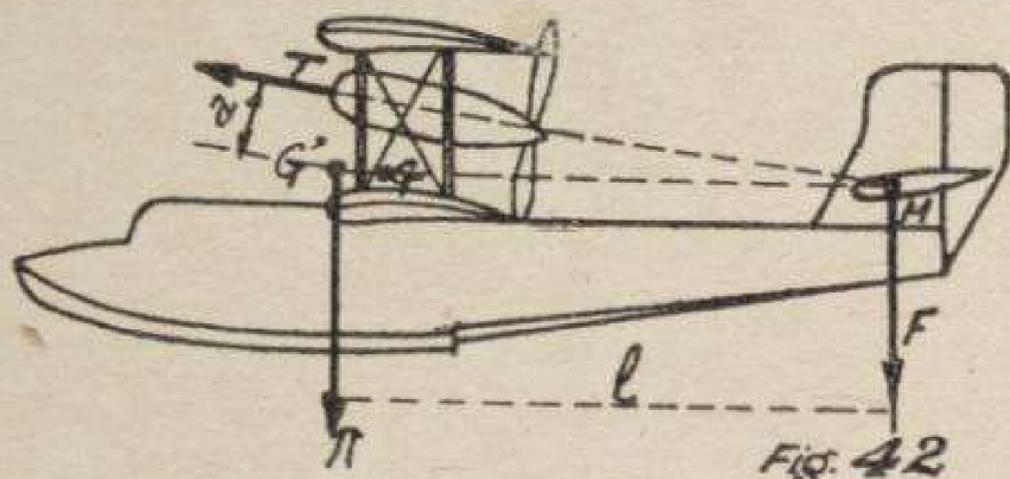
La condition de convergence amène donc à placer (fig. 41) le centre de gravité sur l'arrière de la ligne de résultante aérodynamique, ce qui attire des conséquences importantes.

2. Stabilité longitudinale. — A admission des gaz constante, l'hydravion se comporte à peu près comme l'avion. Mais si le pilote ferme les gaz, la traction cesse et tout se passe comme si on appliquait un couple cabreur. Or l'appareil a besoin de piquer, sinon il va se mettre en perte de vitesse.

Le pilote doit corriger cette action par une action immédiate sur le gouvernail de profondeur, ce qui exige une attention soutenue et parfois un effort considérable.

Les techniciens italiens ont trouvé un artifice qui corrige automatiquement, sans intervention du pilote, les variations dans la traction du moteur. Il consiste à donner à l'axe de traction du moteur une incidence positive par rapport au plan de l'empennage horizontal.

Quand l'hélice souffle, il y a une déviation du courant d'air arrivant sur l'empennage, d'où un effort cabreur sur l'empennage F (fig. 42).



Ce nouvel effort sera compensé au cours du centrage par un déplacement du centre de gravité vers l'avant, tel que $GG' \times \Pi = F \times GM$.

A ce moment, en vol normal, l'hydravion est en équilibre.

Si l'on s'est arrangé pour que $F_l = T_a$ (1) lorsque l'hélice s'arrête, le couple cabreur s'arrête également et l'hydravion en descente reste équilibré comme pour le vol normal.

En pratique, on compense une bonne partie de l'effort de traction, mais non tout, la traction d'hélice et l'effort sur l'empennage n'ayant pas les mêmes lois de variations.

Sur les gros appareils, a est faible, et la question ne se pose même pas pour de gros appareils à flotteurs.

3. Stabilité de route. — Supposons que, pour une cause accidentelle, l'axe de l'appareil fasse un petit angle α avec sa vitesse.

La traction de l'hélice et la résultante aérodynamique sur la voilure sont sans effet, puisqu'elles s'exercent suivant l'axe.

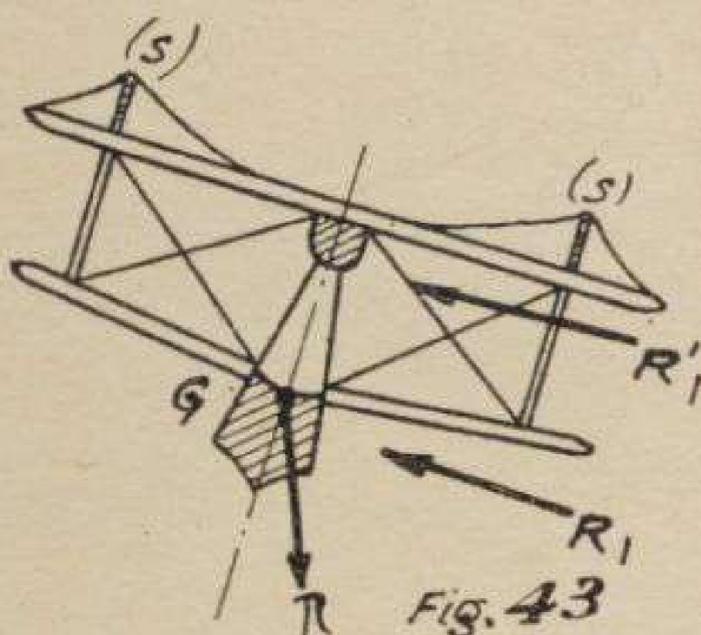
Par contre, les surfaces verticales donneront naissance à des forces qui auront une composante perpendiculaire au sens de la marche. Si on ne tient pas compte de la dérive verticale, leur point d'application ou centre de dérive aérien C se trouve à peu près au même endroit qu'à flot, c'est-à-dire vers le $\frac{1}{3}$ avant de la surface latérale de coque.

La condition nécessaire et suffisante de stabilité de route est que C soit sur l'arrière de G, donc adjonction d'une dérive verticale suffisante. Or, l'avant des coques est beaucoup plus développé que celui d'un fuselage terrestre. Il faut donc un plan de dérive beaucoup plus grand que sur un avion, et les formules ou coefficients empiriques de dimensions ne sont pas applicables. Ce point est très important.

De plus, le centre de dérive se trouve (sans empennage) au-dessous du centre de gravité par suite de la présence des grandes surfaces latérales de coque. La réaction aérienne tend à incliner l'appareil et à le mettre en glissade. On ne peut donc séparer cette étude de celle du roulis.

(1) Pour le calcul de cet effort F, appliquer les formules données par TOUSSAINT, *Centrage et stabilité des Avions* (Chambre syndicale, éditeur).

4. Stabilité au roulis. — Supposons l'appareil légèrement incliné autour de son axe de roulis. Il glisse sur l'aile et le déplacement des surfaces latérales donne naissance à une composante opposée au mouvement R_1 (fig. 43). Si R_1 a son point d'application au-dessous du centre de gravité G , l'inclinaison s'accroît et l'appareil est instable. Si au contraire la composante se trouve en R'_1 en dessus du centre de gravité, l'appareil tend à se redresser et est stable au roulis. La présence de la coque placerait normalement R_1 en dessous de G .



Pour surélever le centre de dérive, les Américains avaient imaginé de placer sur le plan supérieur de leurs biplans de petites surfaces verticales (s) de la profondeur du plan et maintenues par un haubannage. Cette solution complique la construction et est mauvaise aérodynamiquement par suite de la présence du haubannage et du faible allongement des surfaces (s). Aussi, elle est à peu près abandonnée.

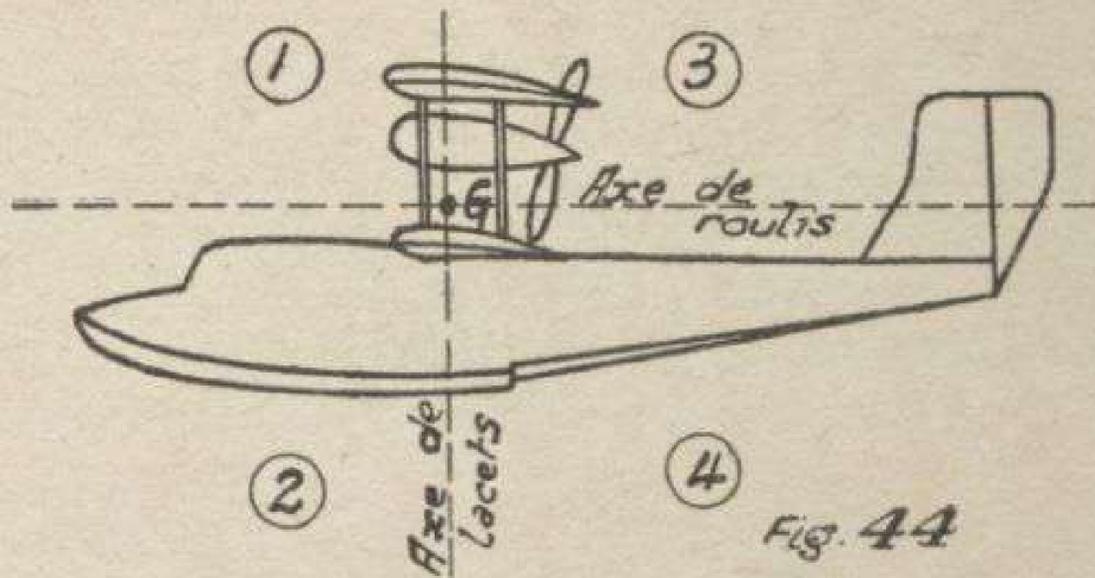
5. Conclusion. — Considérons l'axe de roulis et l'axe de lacets passant par le centre de gravité.

Ils délimitent quatre zones de l'espace (fig. 44).

En avant de l'axe de lacets (zones 1 et 2), il y a instabilité de route.

En dessous de l'axe de roulis (zones 2 et 4), il y a instabilité de roulis. La zone 2 se trouve à la fois instable à la route et au roulis. C'est cependant là que va se trouver le centre de dérive aérien si on ne prend pas de précautions spéciales,

Les zones 1 et 4 présentent une des deux instabilités. Seule la zone 3 assure une stabilité dans les deux cas. Il

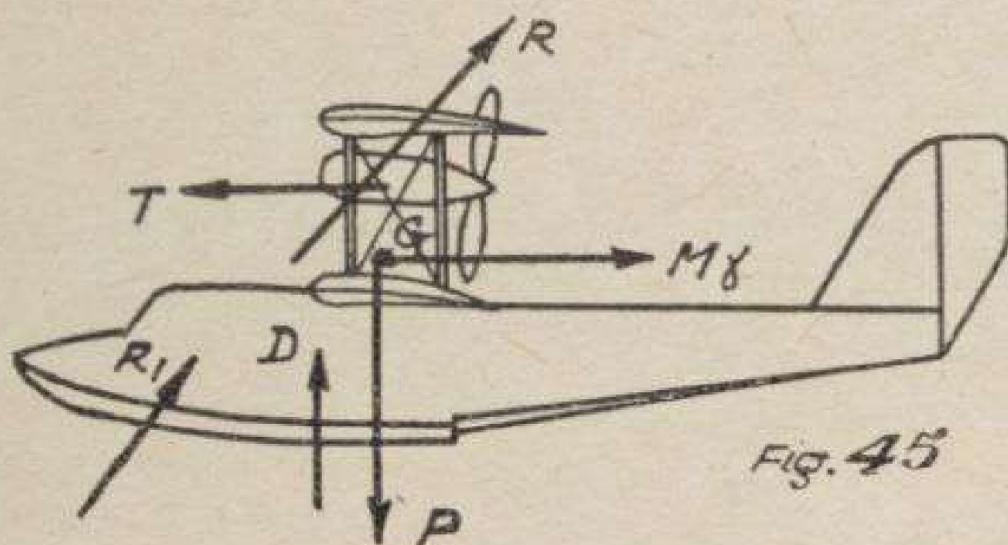


faut donc y amener le centre de dérive aérien et pour cela employer une dérive verticale *très grande* et placée *assez haut*.

CHAPITRE IV

ÉQUILIBRE DE L'HYDRAVION AU DÉCOLLAGE

1. **Équations générales d'équilibre.** — Les forces en jeu sont les suivantes (fig. 45) :



R = résultante aérodynamique totale (empennage compris);

T = traction d'hélice;

P = poids de l'appareil appliqué au centre de gravité;

D = déplacement hydrostatique de la coque (qui passe par le centre de gravité au repos, mais n'y passe pas forcément en marche);

R_1 = Réaction hydrodynamique de l'eau sur le fond de coque AV;

$M\gamma$ = Efforts d'inertie (horizontaux).

Équations d'équilibre de ce système plan :

1° Projection sur l'horizontale :

$$T = \text{proj. } R + \text{proj. } R_1 + M\gamma$$

2° Projection sur la verticale :

$$P = \text{proj. } R + \text{proj. } R_1 + D$$

3° Moments par rapport au centre de gravité :

$$M^t T = M^t D + M^t R + M^t R_1.$$

2. Étude de l'équation horizontale. — Nous allons l'interpréter graphiquement (fig. 46).

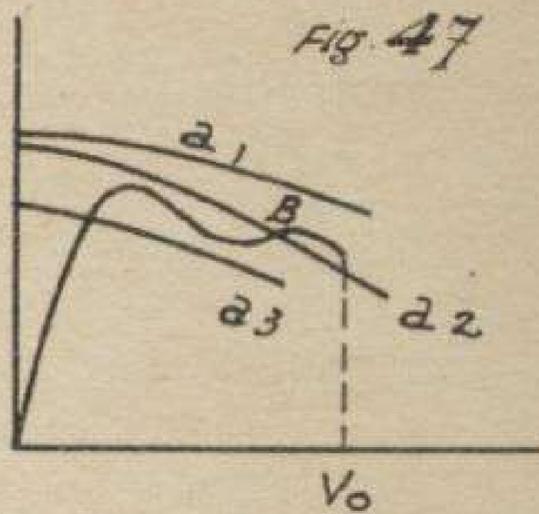
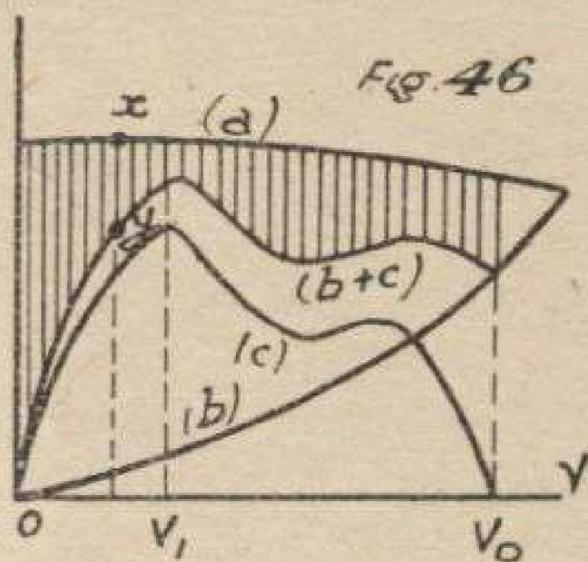
a) La traction d'hélice est une courbe très légèrement décroissante avec la vitesse.

b) La traînée aérodynamique est une courbe de la forme : $Kx SV^2$ qui n'est pas une parabole parce que l'incidence varie pendant le décollage, mais a une allure parabolique.

c) La traînée hydrodynamique est représentée par une courbe dont on connaît l'allure par des essais sur modèle réduit au bassin des carènes. Elle est nulle pour une vitesse nulle et pour la vitesse de décollage V_0 . Dans l'intervalle, elle présente deux maxima séparés par un minimum. Le premier maximum est le plus important et correspond à la vitesse de déjaugage, ou vitesse critique V_1 .

d) Les forces d'inertie se déduisent en additionnant les courbes (*b*) et (*c*) que l'on déduit de la courbe (*a*).

La différence d'ordonnée (aire hachurée) donne pour chaque vitesse leur valeur xy .



e) La discussion de cette équation (fig. 47) réside dans la position relative de la courbe (*a*) par rapport à la courbe (*b + c*). Pour la courbe (a_3), on ne déjauge pas puisqu'on n'atteint pas la vitesse critique. L'hydravion se comporte comme un navire ordinaire. Pour la courbe a_2 , l'appareil hydroplane, mais ne peut atteindre sa vitesse minimum de sustentation. C'est ainsi que se comportent les hydroglisseurs.

Enfin, dans le cas de la courbe a_1 , l'appareil décolle. Il faut donc avoir des moteurs assez puissants pour rencontrer les ordonnées de (a_1) ou, inversement, pour une courbe (a_1) donnée, réaliser un appareil de grande finesse aérodynamique et hydrodynamique, pour que la puissance nécessaire au décollage ne soit pas trop considérable.

f) A tout instant, l'accélération de l'appareil est représentée par :

$$M\gamma = M \frac{dv}{dt} = (xy) \quad (\text{fig. 46})$$

On en tire :

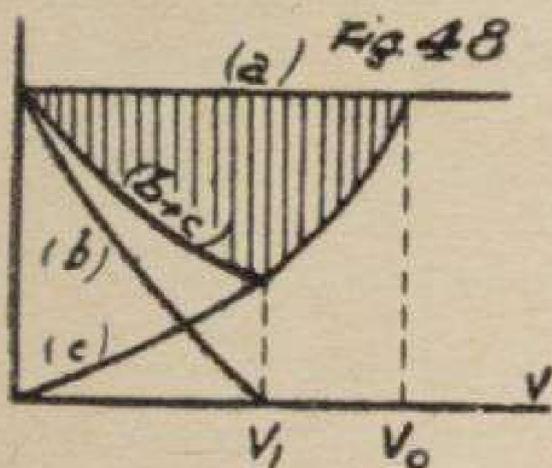
$$dt = M \frac{dv}{(xy)} \quad \text{et} \quad t = M \int_0^{v_0} \frac{dv}{(xy)}$$

Cette équation donne la *durée du décollage* en fonction de la variable V .

Il suffit donc de tracer la courbe $\frac{1}{(xy)}$ en fonction de V et de planimétrer l'aire limitée par cette courbe pour avoir le temps nécessaire au décollage.

Plus cette aire sera faible, plus le temps sera réduit. Il faut donc qu'inversement l'aire (xy) soit très grande, donc la puissance élevée et l'appareil fin.

Cette détermination n'a pas un caractère pratique, car la courbe (c) est toujours mal connue (voir 3^e partie, chap. V, Essais au bassin des carènes).



3. Équation verticale. —

$P = \text{Proj. } R + \text{proj. } R_1 + \text{proj. } D.$

a) P est constant (fig. 48).

b) D décroît de la valeur P au repos à la valeur nulle pour la vitesse v_1 (fin du déjaugage).

c) R est de la forme RzV^2 et serait une parabole si l'angle d'incidence était constant.

d) $\text{proj. } R_1$ s'obtient en déduisant de P la somme $(b + c)$. On obtient l'aire hachurée dont les ordonnées passent par un maximum aux environs de v_1 et s'annulent pour v_0 , vitesse de décollage.

4. Équation des moments.

$$M^t T = M^t R + M^t R_1 + M^t D.$$

a) T donne un couple piqueur très légèrement décroissant avec la vitesse.

b) R donne un couple cabreur qui croît paraboliquement et sera en vol l'antagoniste direct de $M^t T$.

c) R_1 part de 0 et croît rapidement avec la vitesse. Mais son bras de levier décroît pendant le déjaugage et la valeur du moment devient nulle quand le point d'application passe par la verticale du centre de gravité. Il peut même changer de sens et devenir piqueur. Il fait varier l'incidence pendant tout le décollage.

d) Le moment de D est seul à équilibrer $M^t T$ lorsqu'on met les gaz et l'appareil pique du nez. Puis les forces aéro et hydrodynamiques entrent en jeu et le rôle de D est un rôle stabilisateur. Il est piqueur quand l'appareil cabre et réciproquement, son influence étant d'ailleurs faible.

e) Enfin il faut tenir compte du moment dû à l'empennage. C'est l'action du pilote seul qui assure l'équilibre des moments à chaque instant, afin de lui donner les incidences optima correspondant aux différentes phases du décollage si l'appareil ne les prend pas de lui-même.

5. Influence de la position du redan. — a) S'il est trop sur l'avant, $M^t R_1$ ne peut arriver à s'annuler et garde une valeur trop forte pour permettre à l'appareil de *s'asseoir sur son redan*. Il est trop cabré pour donner une bonne finesse hydrodynamique du fond, ce qui gêne la fin du déjaugage et est fâcheux pour l'hydroplanage où la coque doit avoir son fond presque parallèle à l'eau.

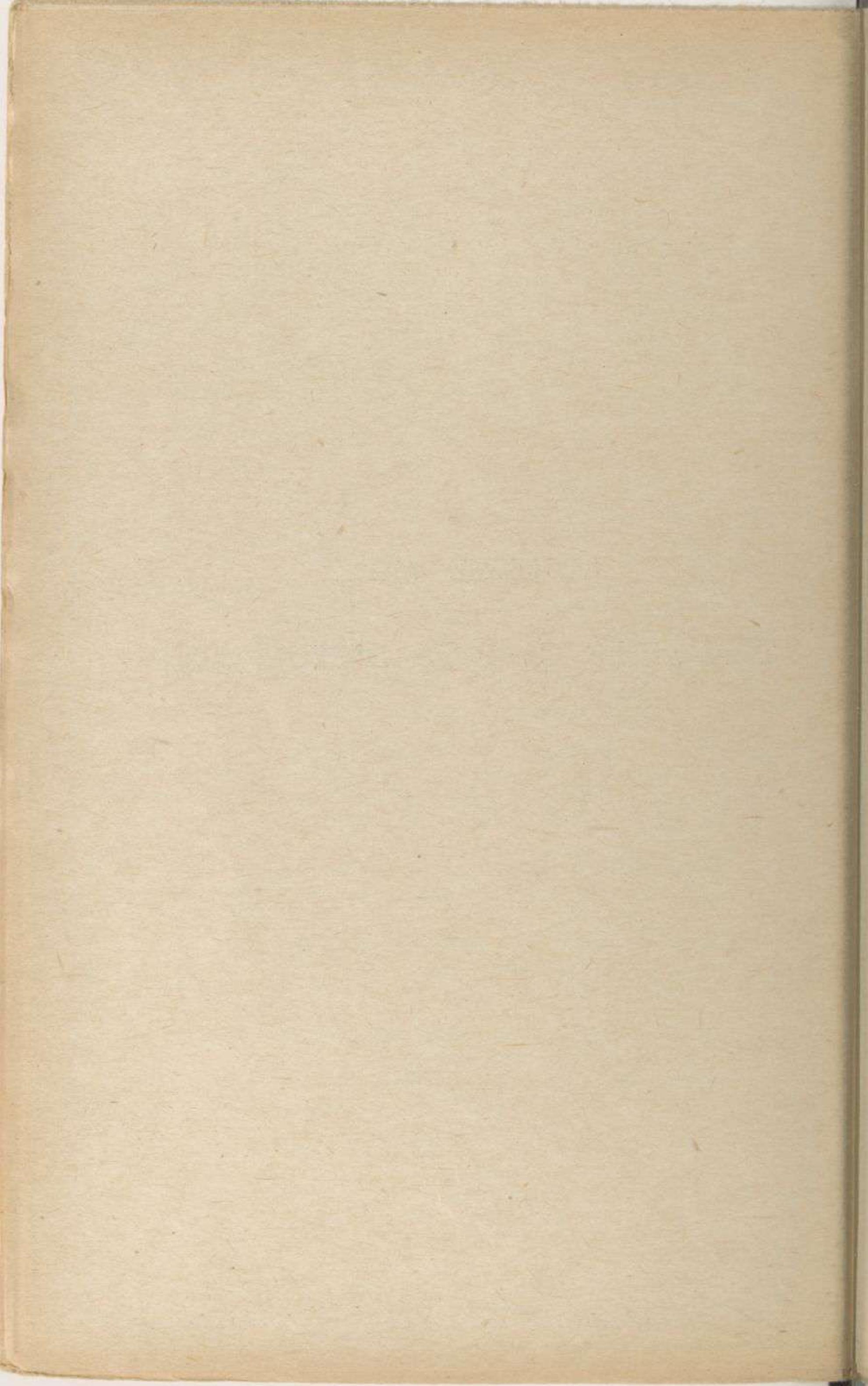
Un tel appareil risque de ne pouvoir décoller.

b) S'il est trop sur l'arrière, l'appareil sera difficile à arracher de l'eau, et n'aura d'autre ressource que d'atteindre spontanément v_0 par un long hydroplanage.

6. Conclusion. — De cette étude se déduit l'importance d'une bonne position du redan, d'une longueur convenable de la partie avant de la coque, et des angles d'incidence relatifs de la coque et de la voilure.

TROISIÈME PARTIE

TRACÉ DES CARÈNES D'HYDRAVION



CHAPITRE PREMIER

CONDITIONS DE VOLUME ET D'HABITABILITÉ

1. Conditions de volume. — Les appareils à deux flotteurs doivent avoir pour *chacun* d'eux un déplacement égale à 110 % *au moins du poids de l'appareil*, pour que l'appareil surnage avec un seul flotteur (soit 1.100 litres par flotteur pour un appareil de 1 tonne).

Les appareils à coque doivent avoir un volume *de 4 à 8 fois le poids de l'appareil*, ce qui donne une réserve de flottabilité considérable, généralement réalisée par les conditions d'aménagement.

En cas d'avarie, une coque doit flotter avec un compartiment envahi par l'eau. Nous verrons que pour des raisons de construction, il y a des cloisons au nombre de 4 à 8. Ces cloisons seront, ou fermées totalement avec des portes étanches (cas des appareils métalliques) ou fermées jusqu'à une hauteur telle qu'elle dépasse de 10 centimètres le plan de flottaison de la coque, le compartiment relatif à cette cloison étant supposé crevé, et la flottaison calculée en conséquence.

2. Conditions d'habitabilité. — Elles varient suivant la destination de l'appareil, militaire ou commercial. Les cabines d'hydravions commerciaux doivent avoir 1 m. 800 de haut. Sur les appareils militaires, on est moins exigeant, mais il faut que les ouvertures de coque (trou du pilote, tourelles, etc...) soient à 0 m. 800 *au moins du plan de flottaison* pour éviter les embarquements d'eau.

On a évidemment intérêt à réduire les dimensions des coques pour diminuer leur poids et leur résistance aérodynamique à l'avancement. C'est pourquoi on arrondit le pont des appareils, qui, à l'origine, était plat.

3. Calcul rapide de volume.

Si $\left\{ \begin{array}{l} L \text{ est la longueur totale de la coque ou du flotteur,} \\ B \text{ sa largeur maxima,} \\ D \text{ sa hauteur maxima,} \end{array} \right.$

son volume, est, en première approximation :

$$V = 0,47 \text{ LBD.}$$

Le coefficient varie un peu selon l'amortissement, les superstructures, etc.

CHAPITRE II

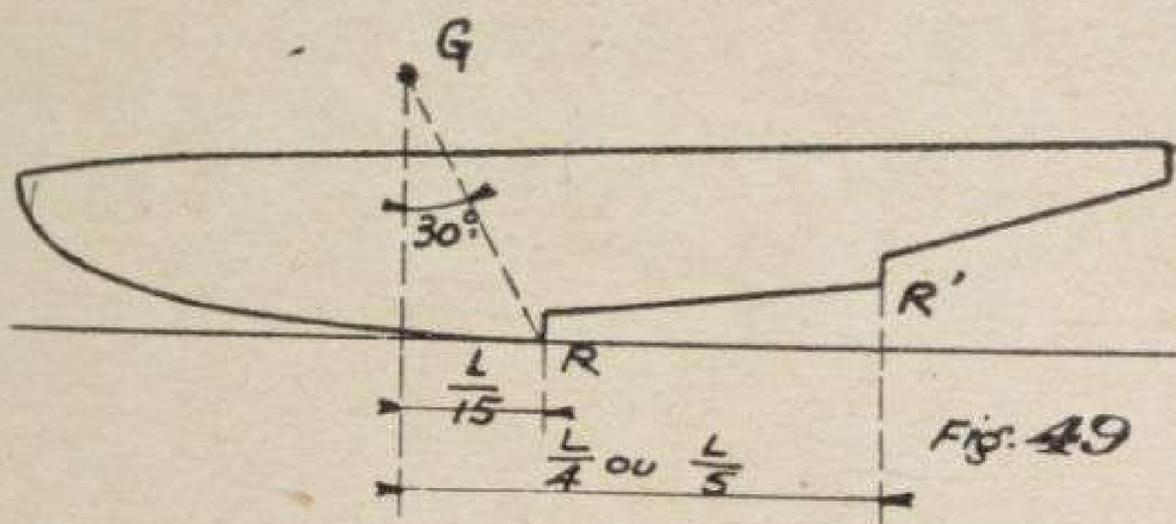
CONDITIONS DE DÉCOLLAGE

Il n'y a pas de formule précise pour déterminer la surface ou l'envergure de la voilure d'un avion de poids donné.

De même, les dimensions des fonds de coque varient selon les constructeurs, d'autant plus que les lois du déjaugeage sont mal connues et que les résultats d'essai manquent.

Plusieurs formules ont été proposées, mais elles contiennent des constantes qui ne s'appliquent qu'au type d'appareil construit par l'ingénieur auteur des formules, ce qui explique des divergences considérables (la largeur d'une coque Rohrbach est, à poids égal, le tiers d'une coque Dornier).

1. Position des redans. — Le redan principal est placé de telle sorte que la ligne joignant le centre de gra-



vitité au redan fasse un angle de 20 à 30° avec la verticale (fig. 49) ou encore que la distance du redan à cette verticale soit environ le $\frac{1}{15}$ de la longueur de coque.

S'il y a un second redan, on avance un peu le premier pour le rapprocher du centre de gravité et on place le

second à une distance de la verticale du c. de g. égale au $\frac{1}{4}$ ou au $\frac{1}{5}$ de la longueur de coque.

Les constructeurs anglais mettent par contre le redan AV à l'aplomb ou même sur l'avant du centre de gravité et le redan AR beaucoup plus sur l'arrière que dans les autres pays. Cette solution semble provoquer des variations brutales d'assiette (voir II^e partie, chapitre IV).

La hauteur du redan est, en abord, comprise entre le $\frac{1}{20}$ et le $\frac{1}{10}$ de la largeur de coque. Dans l'axe, cette valeur peut être réduite de moitié et est même nulle sur certains appareils où on se borne à une discontinuité angulaire.

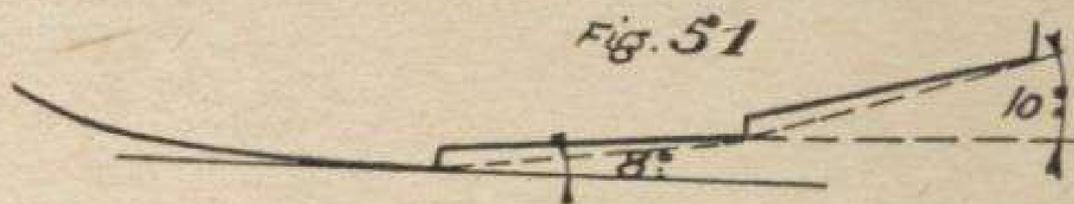
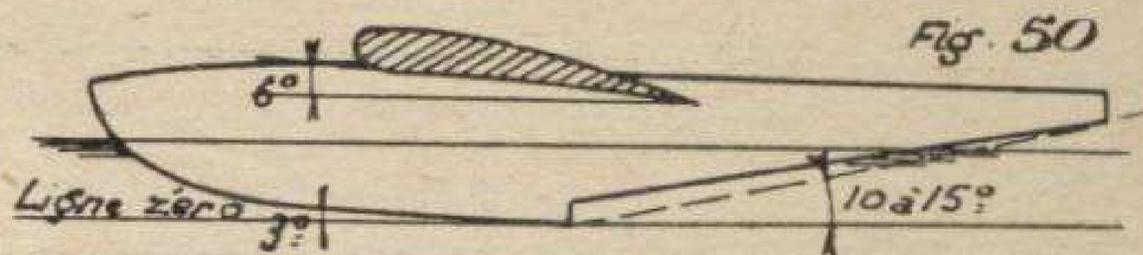
2. Angles des fonds. — La ligne zéro étant parallèle à la trajectoire, on respectera les calages suivants :

— aile : incidence de portance optima pour la meilleure finesse { 6° environ avec les anciens profils français,
 0 à 3° avec les profils allemands,

— fond sur l'avant du redan : $+ 3^\circ$, angle de meilleure finesse hydrodynamique (I^{re} partie, chap. I);

— droite joignant le redan à l'étambot : 8 à 15° (donnant l'angle de portance maxima de voilure, 14 à 21° pour l'instant du décollage).

— flottaison : 0° ou très légèrement négative.



S'il y a un second redan, l'angle du fond arrière sera ramené à 8° environ (fig. 51), l'angle de la droite joignant le second redan à l'étambot conservant la valeur que nous avons définie.

3. Largeur de coque. — a) Formule de Linton-Hope :

$$b = 0,0365 \left(\frac{P^2}{T_0} \right)^{0,37}$$

où P est le poids de l'avion et T_0 sa puissance.

b) Formule de Hurel :

$$b^2 = \frac{(P - p)^3}{5 T_0 \rho^2}$$

où $\left\{ \begin{array}{l} b \text{ est la largeur en centimètres,} \\ P \text{ est le poids de l'avion en Kgr augmenté d'une} \\ \text{marge d'environ 15 \% correspondant aux sur-} \\ \text{charges;} \end{array} \right.$

p est la portance aérodynamique en kgr au moment du déjaugage, de la forme $Kz SV^2$ (V environ 45 km/h. pour un appareil normal, S , surface portante, Kz portance maxima);

T_0 est la puissance en chevaux;

ρ un terme de rendement dont la valeur est comprise entre 0,8 et 1.

c) Formule de Blanchard :

$$b = (1,13 P)^{\frac{1}{2,3}}$$

b largeur en mètres,

P poids d'hydravion en tonnes.

Cette largeur est la largeur au maître-couple, c'est-à-dire vers le $\frac{1}{3}$ avant de la longueur de coque. La largeur au redan en est très peu différente.

d) Pour les appareils à flotteurs, on applique ces formules en divisant le poids d'appareil par 2.

(e) Pratiquement, on peut déduire la largeur par comparaison avec un appareil existant et pour deux appareils voisins prendre :

$$\frac{b_1}{b_2} = \sqrt[2]{\frac{T_1}{T_2}} \quad b_1 \text{ et } b_2 \text{ étant les largeurs,} \\ T_1 \text{ et } T_2 \text{ étant les puissances.}$$

4. Longueur des coques. — a) Linton Hope a donné la formule :

$L = 0,795 \sqrt{P}$ (P poids de l'appareil) applicable aux coques longues,

avec $\left\{ \begin{array}{l} L \text{ en mètres.} \\ P \text{ en kilogrammes.} \end{array} \right.$

Son application conduit à des valeurs très fortes.

b) En pratique les coques *longues* se divisent en :
coques longues à queue longue (Dornier, Rohrbach, Fokker),

coques longues à queue courte (C. A. M. S., Savoia, Short), selon l'état de la mer envisagés par les constructeurs (voir ch. III : Rayon de houle). D'après les types existants, nous proposons les formules :

— Coques à queue longue : $L = 1,138 \sqrt[3]{P} - 3,80$]
valable pour P compris entre 2.000 et 48.000 kgr.

Au dessous de 2.000 kgr, il faut retrancher de la valeur trouvée pour L une quantité égale à :

$$\frac{(2.000 - P)}{1.200} \times 0,15.$$

— Coques à queues courtes : $L = [6,36 \sqrt[3]{P} - 13,20]$

valable pour P compris entre 1.500 et 18.000 kgr :

Pour les valeurs inférieures à 1.500 kgr, il faut ajouter à la valeur trouvée pour L une quantité égale à :

$$\left(\frac{1.500 - P}{700} \right) \times 0,30.$$

c) La longueur l_2 sur l'arrière du centre de carène est déterminée par des raisons d'équilibrage hydrostatique des volumes immergés sur l'AV et sur l'AR. Elle dépend de la structure de l'appareil, de la tenue de l'empennage et du dégagement au moment du décollage.

d) La longueur l_1 sur l'avant du centre de carène peut être déterminée en cherchant à écrire l'équilibre des effets de la traction d'hélice et de la force due à l'eau.

M. Benoit a proposé la formule :

$$h \alpha_0 n^2 D^4 = K l_1 b$$

l_1 = longueur de partie *immergée* sur l'avant du centre de carène;

h = distance de l'axe de l'hélice à la *flottaison*;

n = nombre de tours du moteur par seconde;

D = diamètre de l'hélice (bipale);

α_0 = de 0,012 (avions lents) à 0,016 (avions rapides);

b = largeur moyenne de coque *en avant du centre de carène*;

K = Constante empirique qui est voisine de 220 pour un monomoteur, mais qui n'a pas été déterminée dans les autres cas.

e) M. Blanchard a proposé :

$$l_1 = \sqrt{\frac{h}{2,6 \sin \alpha}}$$

où $\left\{ \begin{array}{l} h = \text{distance de l'axe d'hélice à la flottaison;} \\ l_1 = \text{longueur de partie immergée sur l'avant du} \\ \quad \text{centre de carène;} \\ \alpha = \text{angle de l'aile avec la flottaison,} \end{array} \right.$

vérifiable pour tous les biplans mono et multimoteurs construits il y a quelques années.

f) Nous proposons la formule :

$$l_1 = 0,415 \sqrt[3]{\frac{Wh}{b^{\frac{1}{2}}}}$$

où l_1 est la distance de l'étrave au centre de gravité en mètres;

W la puissance en chevaux;

h la hauteur de l'axe de traction des hélices *au-dessus de la ligne zéro* en mètres;

b la largeur de coque *au maître couple* en mètres.

Ces définitions sont différentes de celles des formules précédentes, mais plus commodes à prendre, car la flottaison est inconnue lors des calculs d'avant-projet.

g) Pour les hydravions à 2 flotteurs *longs*, nous proposons les formules :

$$L = 0,733 \sqrt[3]{\frac{P}{2}} - 0,81;$$

L est la longueur totale en mètres;

P le poids total en kilogrammes;

$$l_1 = 0,415 \sqrt[3]{\frac{Wh}{2b^{\frac{1}{2}}}},$$

où $\left\{ \begin{array}{l} l_1 \text{ est la distance de l'étrave au centre de gravité,} \\ W \text{ la puissance en chevaux,} \\ h \text{ hauteur de l'axe de traction des hélices au dessus} \\ \text{de la ligne zéro en mètres,} \\ b \text{ largeur de coque au maître couple en mètres.} \end{array} \right.$

h) Pour les hydravions à deux flotteurs courts, on déterminera l_1 par la formule précédente, puis l_2 longueur sur l'arrière du centre de gravité par des considérations d'équilibre des volumes AV et AR de la flottaison convenablement calée.

5. Tirant d'eau. — Il varie presque linéairement de 0 m. 40 à 1 m. pour des appareils de 1 à 18 tonnes.

Nous proposons la formule :

$$T = 0,8 \left[\frac{P}{bl_1} + \frac{b \operatorname{tg} (\alpha + 5)}{3} \right]$$

où $\left\{ \begin{array}{l} \alpha \text{ est l'angle d'amortissement au redan en degrés,} \\ b \text{ largeur au maître couple en mètres,} \\ l_1 \text{ longueur sur l'avant du centre de gravité en mètres,} \\ P \text{ poids total en tonnes.} \end{array} \right.$

Pour les hydravions à 2 flotteurs, même formule en remplaçant P par $\frac{P}{2}$.

On peut prendre ensuite la hauteur maxima du flotteur D

$$D = 1,8 T.$$

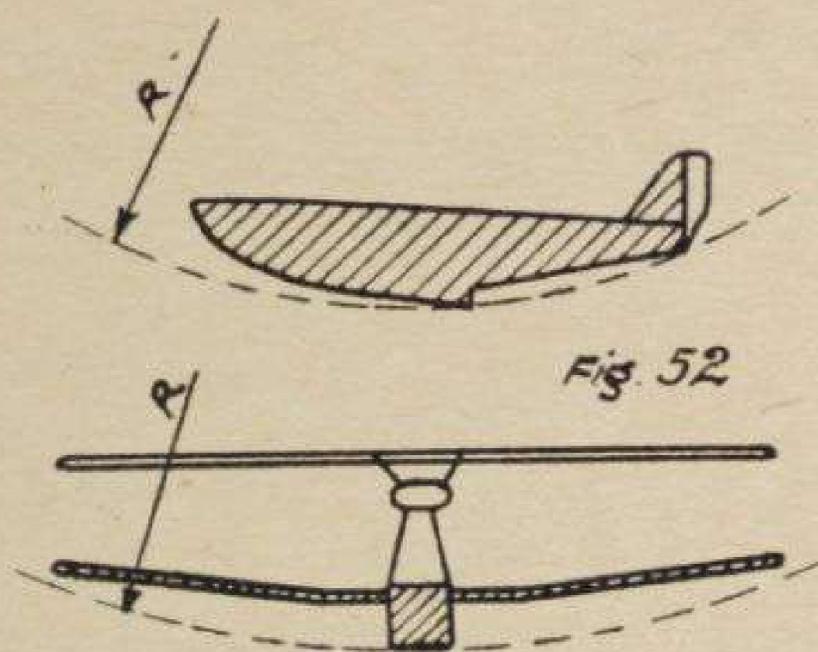
T étant le tirant d'eau.

CHAPITRE III

CONDITIONS DE NAVIGABILITÉ

1. Rayon de houle. — Pour qu'une coque soit marine, il faut éviter des chocs dus à la houle. Celle-ci se présentant sous forme d'une courbe assimilable à un cercle, il faut que l'hydravion soit compris tout entier dans ce cercle.

Le rayon varie de 18 à 30 mètres selon l'état de la mer dans laquelle l'appareil est destiné à naviguer (appareil côtier, appareil de haute mer), d'autant plus petit que la mer est plus agitée (fig. 52).



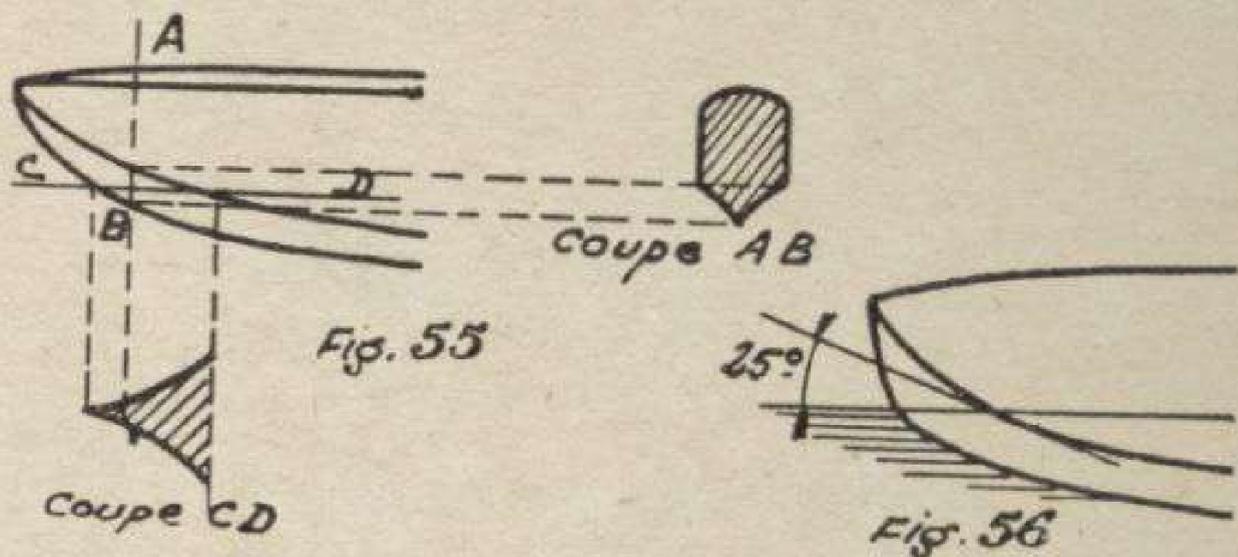
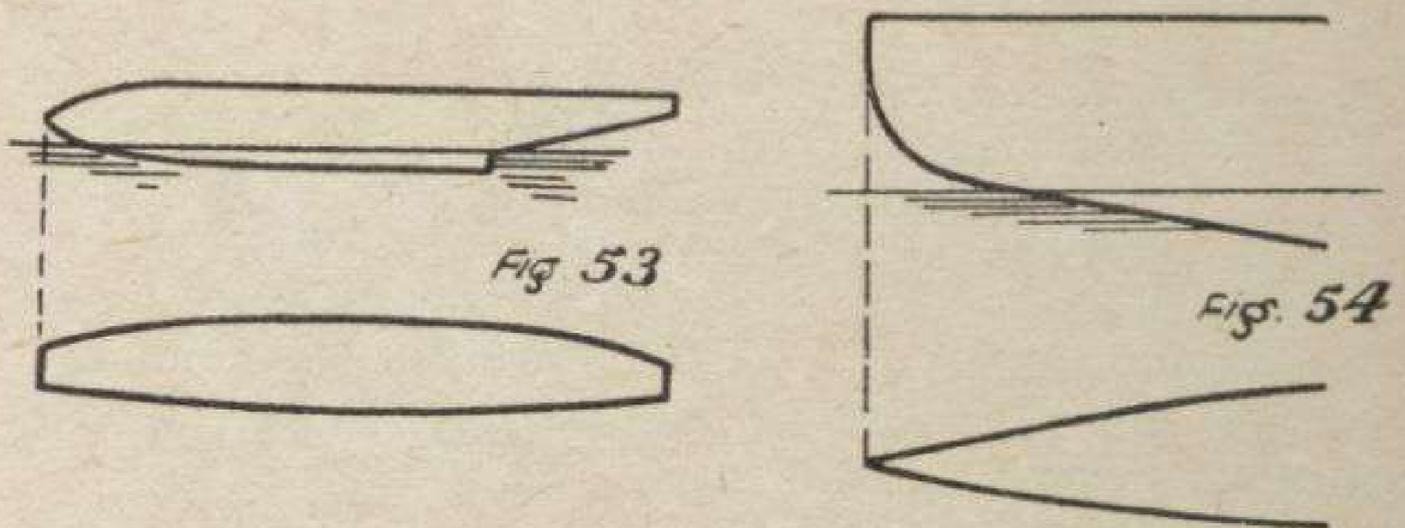
Si on trace ce rayon à l'échelle du dessin, le cercle tangent au redan ne doit couper ni l'étrave, ni l'étambot, ce qui fixe des conditions de hauteur et de longueur de queues. Les queues d'appareils réellement marins sont très courtes.

De même dans la vue de face on est conduit à donner un dièdre aux ailes inférieures (ce qui par surcroît augmente la stabilité) de 2 à 4° et à réaliser les gros appareils sesquiplans, ou monoplans à ailes très surélevées.

2. Formes extrêmes avant. — Pendant l'hydroplanage à faible vitesse, aucune molécule d'eau ne doit ren-

contrer la coque sous un angle supérieur à 12° , sinon il y a choc, donc remous et projection d'eau. Pour répondre à cette condition, trois solutions sont possibles :

Sur les flotteurs d'hydravions à flotteurs, qui sont très plats, on place les plans longitudinaux de rencontre aux environs de 10° (fig. 53). L'extrême AV est alors arrondi ou carré.



Au contraire, sur certains appareils (Rohrbach), l'étrave est étroite mais très profonde et la coque très pointue en plan (fig. 54).

La solution normale est une solution intermédiaire qui consiste à creuser le fond AV entre la quille d'angle et la quille centrale de manière à réaliser la condition (fig. 55).

On respecte toutefois un angle maximum de 25° (fig. 56) entre la quille d'angle et la flottaison, cet angle pouvant être supérieur à la quille centrale.

On a intérêt à faire une étrave haute, pour éviter les projections d'eau sur le pont, et il faut combiner ces conditions avec celles du paragraphe précédent, ainsi que celles de décollage.

3. Formes arrière. — Il faut que la queue soit haute au-dessus de l'eau pour éviter le freinage et les projections d'eau.

En outre, un appareil sera d'autant plus marin que sa queue sera plus courte. Il s'ensuit des dimensions considérables d'empennages qui encaissent des efforts importants. Il faut donc que les sections de la coque dans cette région soient suffisantes pour tenir aux efforts de flexion et de torsion qui en résultent, en permettant des moments d'inertie assez élevés sans échantillons trop gros et sans flèches exagérées.

Cette condition se combine avec la nécessité de se raccorder avec la hauteur du pont donnée par l'habitabilité. On faisait autrefois le pont concave, afin de baisser l'hélice au maximum, mais depuis, des raisons de finesse aérodynamique et de simplification constructive ont amené à des ponts droits ou même légèrement convexes.

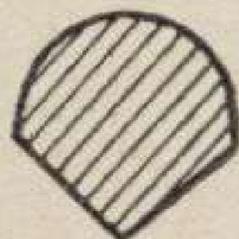
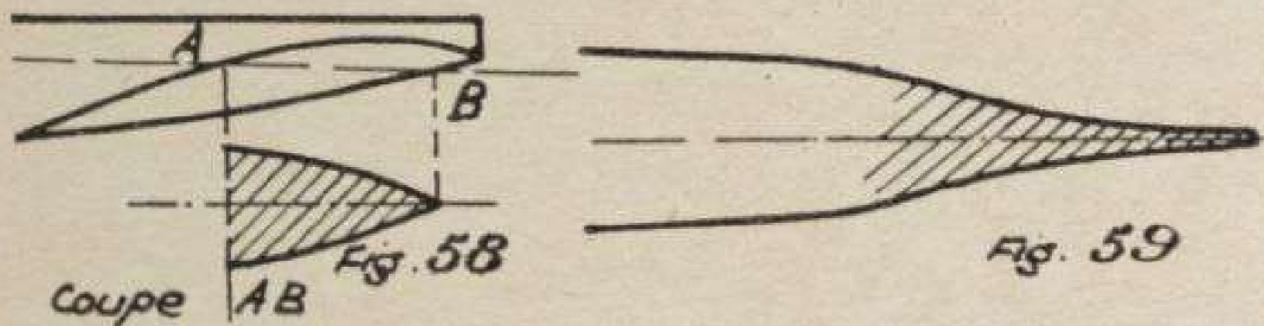


Fig. 57

Le fond arrière sera tracé de manière à donner le minimum de résistance à l'avancement et de freinage. Longitudinalement il est droit. En coupe il sera circulaire ou en V à branches courtes (fig. 57).



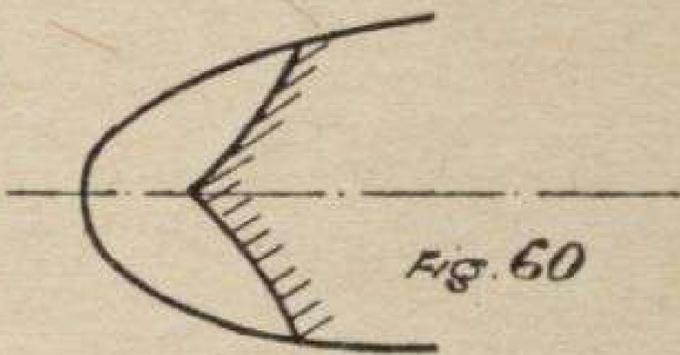
Sur les coques courtes et les flotteurs, où il faut rattraper assez rapidement la ligne d'étambot sans se refermer trop brusquement, on est conduit (fig. 58) à creuser les fonds arrière d'une manière analogue aux fonds avant en relevant dans le longitudinal la quille d'angle selon une ligne à courbure accentuée.

Sur les appareils à coque longue on peut laisser la quille d'angle droite dans la vue longitudinale, mais en plan, on l'infléchit (fig. 59) de manière à diminuer la surface nuisible.

4. Flottaison. — Le calage du plan de flottaison doit être voisin de la ligne de décollage. En effet, si la coque est trop cabrée au repos, sa résistance nuisible augmente et le vent peut faire immerger les empennages. Si elle est piquée, l'appareil ne prendra pas rationnellement son incidence optima, puisque nous avons vu qu'au contraire il tend à piquer quand on met les gaz.

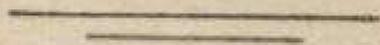
Aussi on cale généralement la flottaison parallèlement à la ligne de vol, ou très légèrement cabrée (maximum 3°). Ceci conduit parfois à augmenter les volumes sur l'arrière, en contradiction avec les principes du paragraphe précédent.

Pour éviter les projections d'eau dans les hélices au début du vol, il faut que la forme extrême AV de la surface de flottaison soit incurvée avec un très grand angle (fig. 60).



5. Position de la voilure. — A l'encastrement des ailes sur la coque, il faut respecter une distance minima de 0 m. 70 du dessous de l'aile à la flottaison, pour éviter les projections d'eau au décollage. Nous avons vu, en outre, qu'il y a lieu de prévoir un dièdre.

6. Amortissement. — Nous en avons parlé précédemment (I^{re} partie, chap. II).



CHAPITRE IV

PROJETS D'HYDRAVION

Il y a lieu de procéder beaucoup par similitude en ammassant une documentation abondante sur les appareils existants.

Cette documentation peut être recueillie d'après les notices des maisons ou les articles des revues françaises et étrangères, mais elle est assez sujette à caution, car tout y est présenté favorablement.

Citons pour mémoire l'album de coques du Service Technique de l'Aéronautique (qu'il est impossible de se procurer) qui rassemble sur une planche les angles, dimensions, poids, performances, etc..., de chaque appareil commandé.

1. Étude d'ensemble d'un appareil. — Le programme imposé par l'État ou par une Compagnie de navigation précise les performances minima, le poids utile, des conditions spéciales (encombrement, longueur d'amerrissage, utilisation, etc...).

Le type d'appareil en résulte presque immédiatement. Les appareils de chasse et les torpilleurs sont à flotteurs, les appareils de haute mer, à coque, etc... Les théories varient d'ailleurs selon les solutions nouvelles et les progrès.

L'étude aérodynamique se conduit comme celle d'un appareil terrestre en cherchant toutefois :

a) A réduire la vitesse de décollage au minimum (réduire la charge au cheval).

b) A mettre la voilure à l'abri des vagues (voir *suprà*).

Le poids par cheval et par mètre carré se déduit du programme et de ces conditions. La pratique montre par exemple que les gros hydravions à coque biplans multi-

moteurs ont un $\frac{\pi}{T_0}$ de l'ordre de 7 kgr. et un $\frac{\pi}{S}$ de l'ordre de 45 à 50 kgr.

Ceci donne la puissance (à choisir d'après les moteurs existants) et la surface. On peut alors faire un devis de poids.

2. Devis de poids. — Il y a des formules nombreuses, mais leur valeur n'est qu'approchée et varie suivant le type d'appareil et les principes constructifs. On peut prendre à titre de première approximation, pour la coque de $\frac{1}{7}$ à $\frac{1}{9}$ du poids total ou encore 30 à $35 \sqrt{W}$, W étant la puissance en CV. Le poids du système à flotteurs est analogue. Comme il y a un fuselage en plus, ce type d'appareil est généralement plus lourd.

On peut, pour les hydravions à flotteurs, compter 0 k. 055 par litre de flotteur, plus 2,5 à 3,5 % du poids du total pour le train de flottaison. Le poids du fuselage avec empennages peut être pris égal à 18 à $25 \sqrt{W}$.

Les ailes ont un poids qui varie par mètre carré, de 5 à 8 kgs pour un biplan, de 6 à 10 kgs pour un monoplan, mâture comprise.

L'empennage horizontal représente 1,5 à 2 % du poids total, l'empennage vertical de 0,8 à 1 %.

Le groupe motopropulseur pèse de 1,45 à 1,8 fois le poids du moteur nu.

Les pourcentages pour des appareils petits et moyens sont à peu près les suivants :

	Groupe moto- propulseur	Groupe planeur	Charge utile + combustible
Hydravion à flot- teurs.....	25 à 30 %	42 à 45 %	33 à 25 %
Hydravion à co- que.....	25 à 30 %	36 à 39 %	39 à 31 %

Ces données sont à retoucher au cours des études ultérieures.

3. Schéma. — Les cercles balayés par l'hélice seront mis à 0 m. 70 au moins de la flottaison, ou à 10 cm. de la coque (distance réglementaire non respectée par certains avionneurs) de préférence propulsifs, pour éviter l'aspiration des embruns et le bris par les lames. La disposition en tandem se répand de plus en plus, car elle diminue la résistance passive et annule le décentrage dû à un moteur arrêté, mais l'hélice arrière est délicate à adapter.

On peut alors tracer la carène selon les principes exposés précédemment. Ceci nécessite des retouches successives, chaque caractéristique influant sur celles précédemment déterminées. On mène de front les trois vues. La difficulté est de *faire filer les lignes*, c'est-à-dire d'avoir simultanément des courbes harmonieuses sans bosses ni creux et en correspondance, ce qui ne s'acquiert que par modifications successives.

Une fois la coque tracée, on cherche sa flottaison, ce qui peut amener à retoucher les formes pour avoir des volumes corrects.

On peut alors établir la vue d'ensemble définitive, l'aménagement, le centrage et le devis des poids rectifiés.

De cet avant-projet sera ensuite déduit le projet définitif après approbation par le service demandeur.

4. Centre de gravité des coques. — Sur la vue longitudinale, on peut placer en première approximation le centre de gravité des coques ou flotteurs aux pourcentages suivants de leur longueur totale :

Coque à 1 redan,.....	38 à 40 %
Coque à 2 redans	40 à 44 %
Flotteurs longs	45 à 48 %

Cette position sera retouchée après étude de la charpente.

CHAPITRE V

ESSAIS AU BASSIN DES CARÈNES

1. — Les projets de coque sont fréquemment vérifiés par des essais qui consistent à remorquer des modèles réduits.

Le bassin français situé bastion 68 est le bassin de la Marine.

Il a 160 mètres de long, 10 mètres de large, 4 m. 50 de profondeur. On mesure la résistance au remorquage par une sorte de pont roulant se déplaçant à toutes les vitesses successives jusqu'à un maximum de 4 m. 75 par seconde.

2. Échelles des modèles. — La loi de similitude de Reynolds $vl = \text{constante}$, des essais au tunnel n'est pas applicable, mais celle de *Reech-Froude* $\frac{v^2}{l} = \text{constante}$, par suite de la présence de deux fluides, dont un pesant.

Il s'ensuit que les modèles sont très petits, la vitesse étant limitée, et les essais défectueux.

Nous connaissons l'allure de la courbe de résistance (II^e partie, chap. IV, Équation horizontale de décollage).

Pour ne pas avoir un modèle exagérément petit, on se borne à une vitesse homologue en vraie grandeur qui soit légèrement supérieure à la vitesse critique de déjaugage (environ 15 mètres-seconde ou 54 km.-heure pour tous les appareils). On obtient ainsi le premier maximum de la courbe, qui correspond au maximum de résistance à l'avancement dans l'eau.

Si on a par exemple une coque de $L = 12$ m., il vient :

$$\frac{v^2}{l} = \text{constante} \quad \frac{15^2}{12} = \frac{4,5^2}{l} \quad \text{ou } l = 0 \text{ m. } 925$$

correspondant à une échelle de $\frac{0,925}{12} = \frac{1}{12,96}$.

Les poids sont dans le rapport, λ^3 .

Si $\Pi = 3.000$ kgs, il vient $\frac{\Pi}{\pi} = \frac{L^3}{l^3} = 12,96^3$ $\pi = 1 \text{ k. } 735$.

Il faut donc lester ou creuser la maquette en bois verni pour lui donner un poids homologue.

3. Valeur des essais. — Après une série de courses à diverses vitesses, on obtient une courbe donnant la résistance en kilog. par tonne remorquée qui est généralement voisine de 300 kgr au 1^{er} maximum.

Malgré des corrections de frottement, ces essais ne donnent que l'ordre de grandeur des phénomènes et ont surtout une valeur de comparaison, leur chiffre en valeur absolue, différant parfois de 20 % du chiffre réel sur appareil en vraie grandeur.

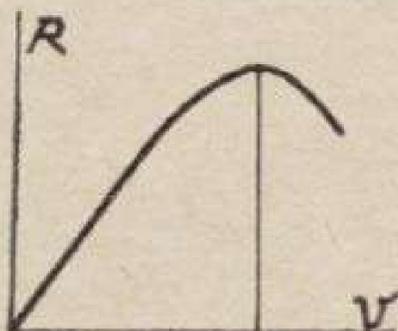


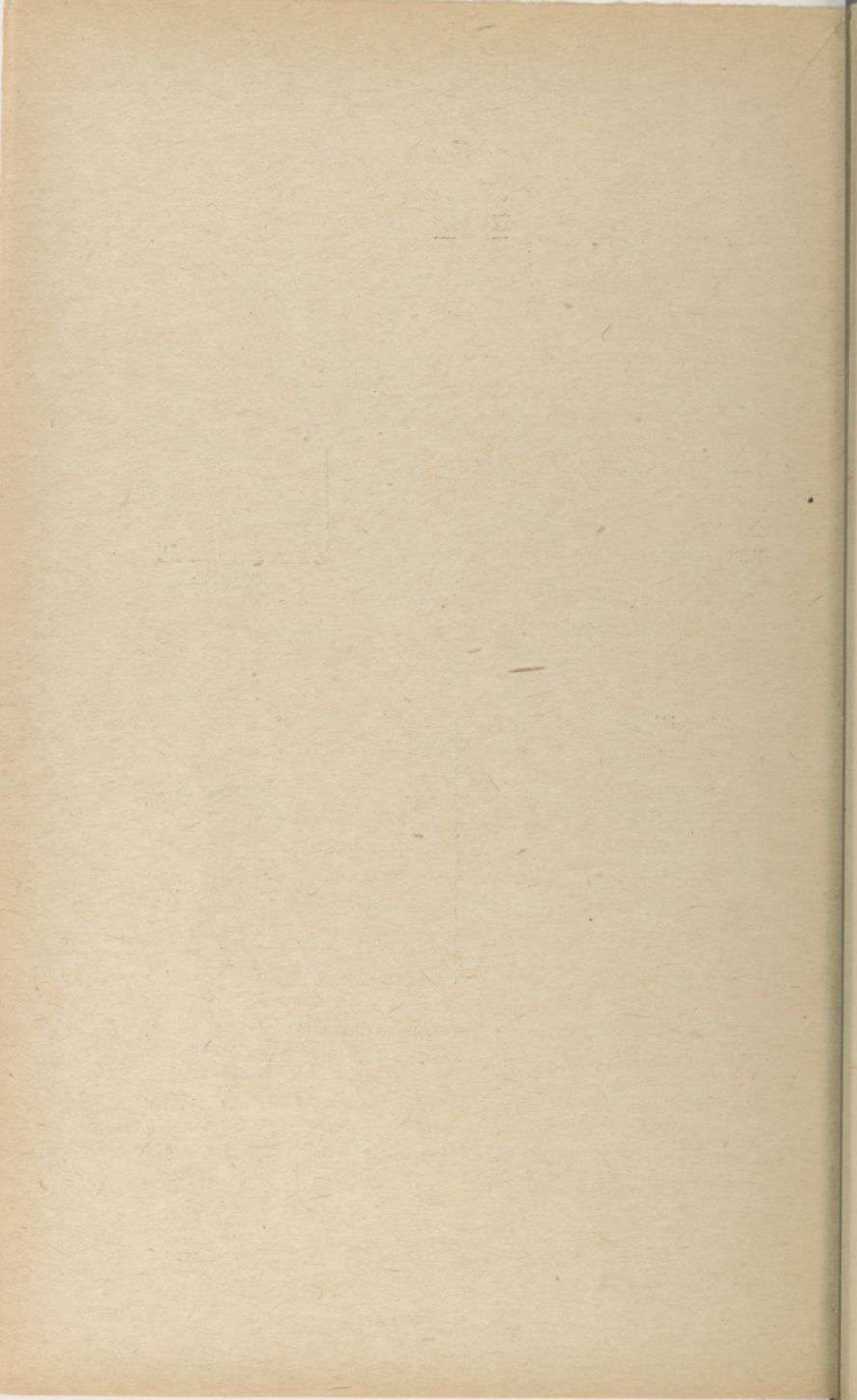
Fig. 61

Le tableau suivant, dû à Baker, explique une partie de ces différences :

VRAIE GRANDEUR	MODÈLE
Vitesse constamment croissante.	Vitesse constante.
Charge sur l'eau variable avec la force du vent et l'assiette de coque.	Charge sur l'eau appropriée à chaque vitesse et vraie pour une seule assiette.
$T = Rx + R_1x + M\gamma$ (équation horizont. de décollage)	$T = R_1x$.
Assiette aux vitesses élevées déterminée par la structure de l'air.	Assiette dépend uniquement de l'eau.
Tangage amorti par les ailes et la queue.	Tangage non amorti.
Vagues sur la mer.	Eau calme.

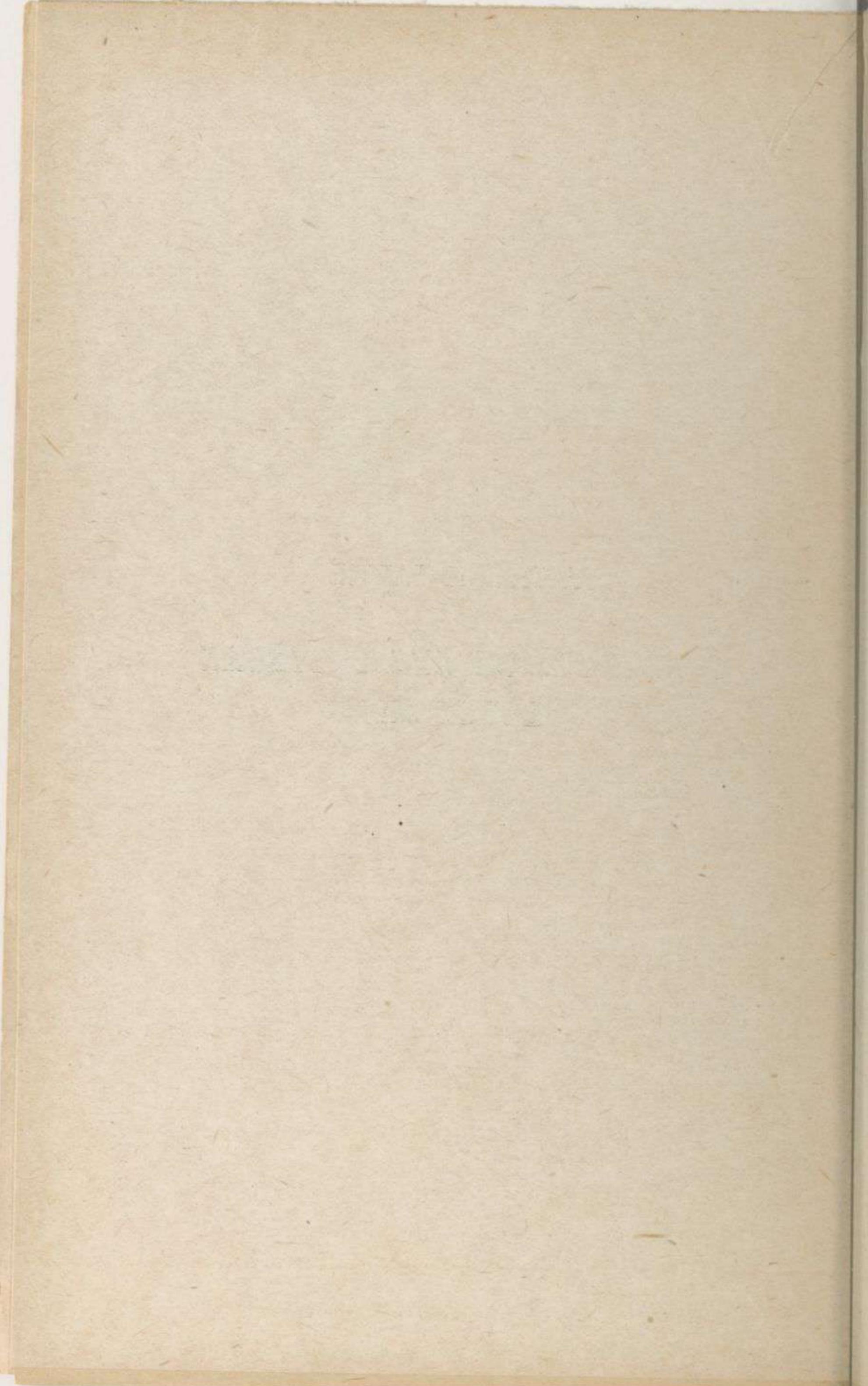
La raison principale est que les modèles sont trop petits, ce qui les rend trop sensibles aux interférences de vagues dans le bassin.

Il existe à l'Étranger des bassins dont les dimensions et le remorquage sont mieux appropriés aux essais de modèles d'hydravions dans lesquels sont ils spécialisés (Bassins anglais Froude et Short, allemand de Hambourg).



QUATRIÈME PARTIE

**CONSTRUCTION DES SYSTÈMES
FLOTTEURS**



CHAPITRE PREMIER

LE PROBLÈME CONSTRUCTIF

Il consiste à transmettre par un système résistant approprié des forces connues à des points connus.

1. Forces. — *a)* En vol et à l'amerrissage, la coque se comporte comme un fuselage. Il y a lieu notamment de calculer les efforts de flexion et de torsion dus aux charges sur l'empennage, à la béquille des amphibies, et les efforts d'inertie dûs aux masses contenues dans la coque.

b) Au moment du choc sur une crête de lame dans la houle, pendant le décollage ou l'amerrissage, les forces en présence sont :

1° Des forces hydrodynamiques ;

2° Des forces aérodynamiques, négligeables en présence des précédentes ;

3° Le poids et l'inertie. Les masses se subdivisent en deux groupes :

La cellule et le moteur, extérieurs à la coque ;

La coque et les masses contenues (pilotes, poids utile, etc...).

Les forces hydrodynamiques, malgré de nombreux essais, sont encore mal connues et donnent lieu à des hypothèses variables.

2. Point d'appui. — Si l'on met à part du système de forces qui s'exercent sur l'appareil les forces hydrodynamiques appliquées sur le fond de la coque ou des flotteurs, le système des forces restantes comprend les poids et les forces d'inertie qui forment un système exactement opposé au précédent, et composé de différentes forces, que pour simplifier nous supposons appliquées au centre de gravité de chacune des masses importantes de l'appareil : groupes, moto-propulseurs, cellule, réservoirs, bombes,

passagers. On peut considérer que ces centres de gravité forment réellement les points d'appui où doivent être transmis les efforts de l'eau. Tout le problème de la construction des coques et flotteurs au point de vue des efforts au décollage, consiste à établir les liaisons entre le fond et ces divers points, à calculer les efforts qu'elles supportent et les échantillonner en conséquence.

Il y a lieu de noter immédiatement que toujours la cellule et presque toujours les moteurs sont extérieurs à la coque, qui leur est reliée par un certain nombre de

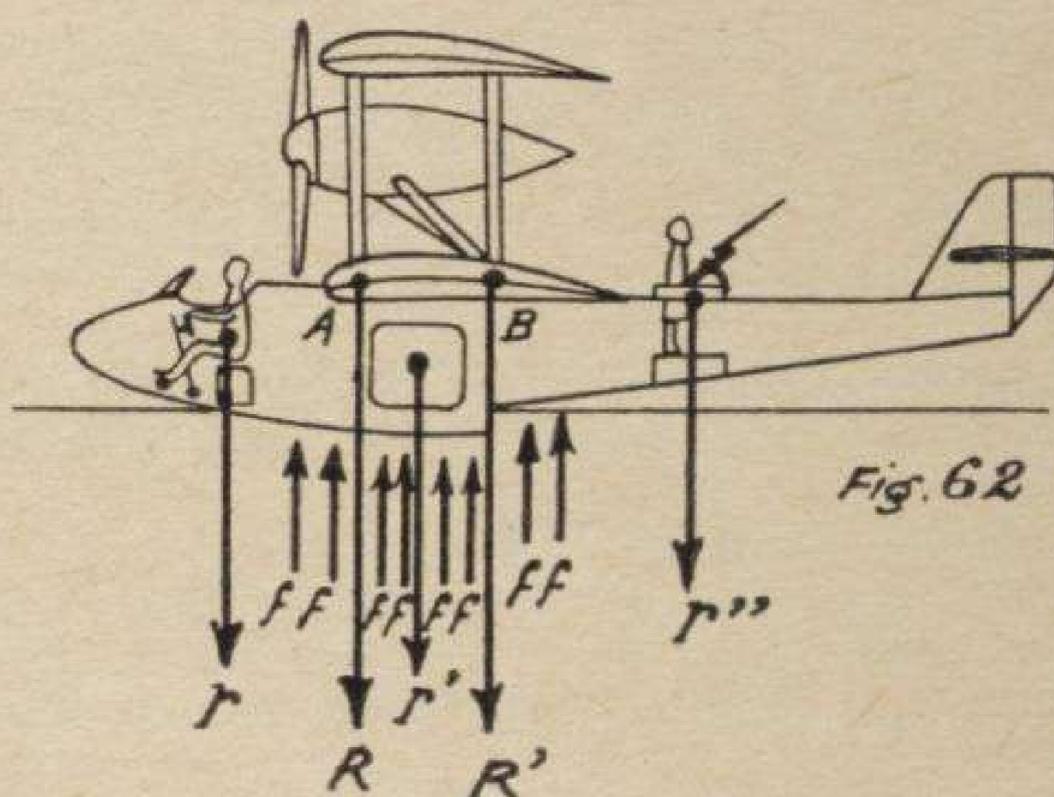


Fig. 62

R, R' : efforts d'inertie vers le bas dus à la cellule et aux moteurs.

r, r', r'' : efforts vers le bas dus aux masses contenues dans la coque.

$f, f, f...$: efforts hydrodynamiques vers le haut réalisant un système en équilibre avec les précédents.

points de fixation, trois au minimum, le plus souvent quatre. La partie des poids et forces d'inertie correspondant aux masses des moteurs et de la cellule sera donc appliquée en ces quatre points A et B (fig. 62).

Ces quatre points forment les quatre points d'appui principaux où doivent s'annuler les réactions de l'eau; et la majeure partie des systèmes de construction doit tendre à relier ces quatre points à la partie de la surface du fond où s'exercent les principaux efforts.

La différence entre la somme des efforts de l'eau Σf et les réactions R appliquées en ces quatre points est constituée par l'inertie des masses intérieures à la coque et de la coque elle-même.

Ces masses r peuvent être attachées à un point quelconque du système de transmission des efforts depuis le fond jusqu'aux quatre points d'appui. Elles déchargent la partie du système comprise entre leur propre attache et les quatre points d'appui. Il y a donc intérêt à les attacher le plus près du fond. Cette conséquence est valable surtout pour les réservoirs d'essence quand ils se trouvent dans la coque.

3. Système de transmission. — Il y a donc lieu de calculer tous les éléments de coque comme transmettant les efforts qu'ils reçoivent aux quatre points d'encastrement.

Ces efforts sont de deux sortes, ou locaux, ou longitudinaux. On établit le calcul d'ensemble en considérant la coque comme une poutre encastree en deux points et soumise aux masses et aux efforts de l'eau. D'autre part, on calcule le fond de la coque pour les efforts locaux qu'il peut subir.

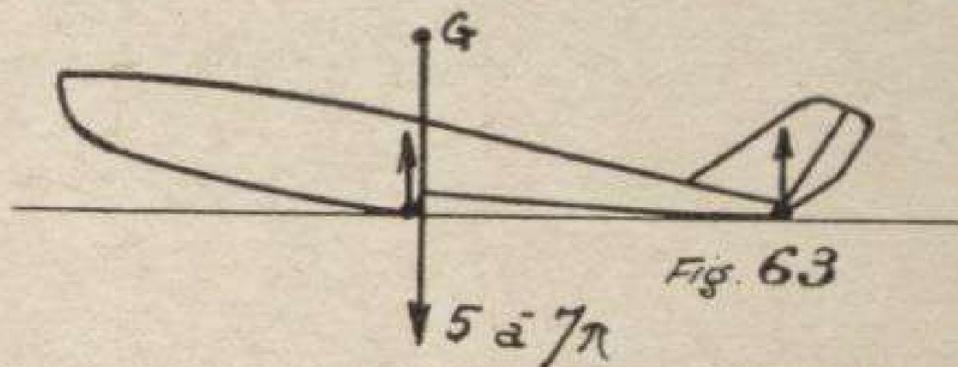
CHAPITRE II

EFFORTS S'EXERÇANT SUR LES SYSTÈMES FLOTTEURS

Nous étudierons d'abord les efforts dus à l'action de l'eau.

1. Règlement du S. T. Aé. — Le Service Technique et Industriel de l'Aéronautique (Conditions techniques générales de 1925) a posé les conditions d'essai ci-après :

Les efforts dus à l'action de l'eau seront pris suivant les cas, égaux de cinq à sept fois le poids de l'appareil en ordre de vol. Ces efforts seront supposés appliqués, d'une part au redan, d'autre part au point de contact à la tan-



gente à la coque issue du redan. La répartition des efforts entre ces deux points sera la même que si l'appareil reposait sur le sol par ces deux points (fig. 63).

Lorsque le centre de gravité de l'hydravion sera en avant du redan, on déterminera dans chaque cas les valeurs et points d'application des composantes, la valeur de la résultante restant la même.

Aucune autre condition de calcul n'étant définie, il y a lieu de rechercher ailleurs plus de précision.

2. Règlement du Bureau Veritas. — Ce règlement, applicable aux appareils commerciaux, consacre un paragraphe du chapitre XIX aux conditions de résistance des coques contrôlées par les soins de ce service.

Les éléments de la coque doivent résister à des pressions unitaires appliquées sur le fond de coque de bas en haut, en rapport avec la vitesse de décollage, la forme de coque et l'élément de coque considéré.

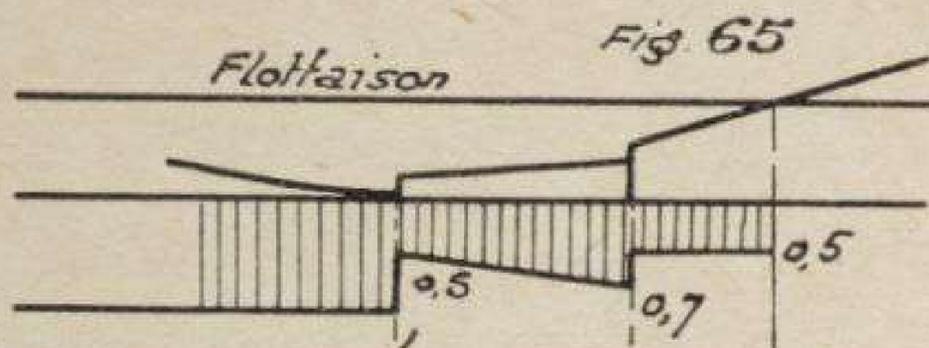
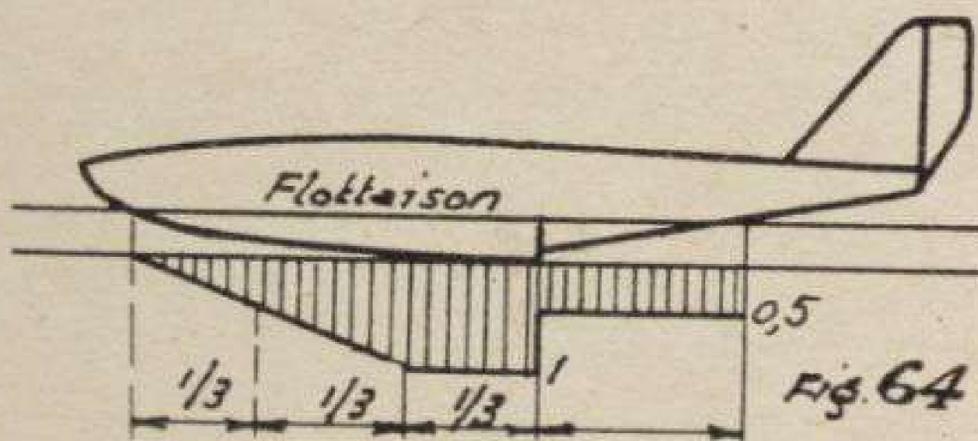
a) On part de la pression par centimètre carré. Plus une coque est large, plus elle encaisse à l'amerrissage.

La répartition est la suivante :

Charge par centimètre carré constante depuis le redan jusqu'au tiers de la partie avant immergée.

Charge décroissante de ce point au point extrême avant de la flottaison suivant une loi linéaire (fig. 64).

Les portions de coque en arrière des redans doivent résister à des pressions de bas en haut en rapport avec les caractéristiques hydrodynamiques de coque [et la vitesse maximum de sustentation.



Pratiquement, on peut prendre :

Pour les coques à un redan, une charge constante égale à la moitié de la charge maxima (fig. 64).

Pour les coques à deux redans, une charge croissante de la moitié aux 7/10 du premier au second redan, puis une charge moitié au delà du second redan (fig. 65).

b) Valeur de la pression au voisinage du redan.

Pour les coques à fond plat et une vitesse minimum

de sustentation de 100 kilomètres-heure, la charge est de 1 kilogramme par centimètre carré.

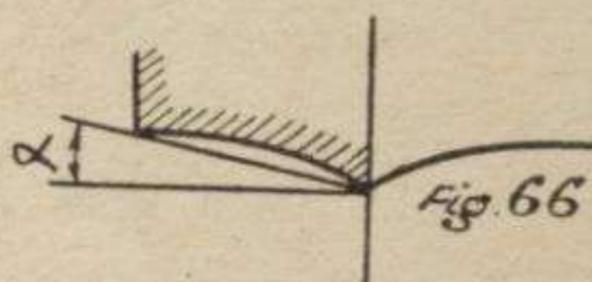
On peut calculer sa valeur par une formule de la forme :

$$F = \left(\frac{V}{100} \right)^2 K$$

où V est exprimé en kilomètres heure,

F ——— kilogrammes par centimètre carré.

La valeur de K est fonction de l'angle d'amortissement α



que fait la droite joignant dans la section transversale (fig. 66) au redan la quille centrale et la quille d'angle.

Sa valeur maxima est en principe :

1	si $\alpha < 5^\circ$
0,9	si $5^\circ < \alpha < 10^\circ$
0,7	si $10^\circ < \alpha < 15^\circ$
0,5	si $15^\circ < \alpha$.

Dans le cas d'hydravions à deux flotteurs, chaque flotteur sera calculé comme ci-dessus, mais le coefficient K pourra être multiplié par 0,8.

c) Ayant la charge par centimètre carré, on calcule le fond de coque comme appuyé sur les membrures et soumis à cette pression.

A mesure qu'on part du fond de coque et qu'on se rapproche des points d'appui, il y a lieu de diminuer les efforts qui résulteraient des efforts précédemment calculés. En effet, les chiffres donnés sont des maxima qui ne peuvent être simultanément atteints que dans une région limitée. Si donc une maille de bordé peut les subir toute entière, la varangue qui supporte cette maille n'en subira à la fois qu'une partie : la carlingue qui supporte les varangues ne recevra également d'efforts que de quelques varangues, et ainsi de suite. On peut admettre que finalement l'effort total appliqué aux points d'appui n'est que la moitié de

l'effort qui résulterait des efforts maximum appliqués partout et simultanément sur le fond.

De cette règle on peut alors déduire l'accélération à laquelle est soumis l'appareil aux chocs au décollage, et calculer les attaches des masses importantes, attaches qui les relient soit aux quatre points d'appui principaux, soit, pour les masses intérieures, directement au fond de coque.

Cette accélération est évidemment égale au quotient de la somme des composantes verticales des efforts de l'eau par le poids de l'appareil. Elle peut, semble-t-il, atteindre 8 pour les coques plates et 5 ou 6 pour les coques bien amorties.

Le Bureau Veritas tient compte de ces considérations en posant les conditions ci-après :

La coque encastree devra résister en flexion à l'application, sur le fond, de l'ensemble de charges définies aux paragraphes *a* et *b* multipliées par le coefficient 0,5.

Toutes les parties massives de l'appareil (moteurs, réservoirs, etc.) susceptibles de travailler par inertie au départ et à l'amerrissage seront solidement reliées à la partie centrale de la coque. Leurs attaches seront calculées pour résister :

Verticalement à leur poids multiplié par un coefficient de sécurité égal au rapport entre l'ensemble des charges définies aux paragraphes (*a*) et (*b*) et le poids de l'appareil;

Horizontalement aux plus grands efforts d'inertie à prévoir du fait de la houle, soit au départ, soit à l'amerrissage, multipliés par le coefficient 2.

Il peut donc en résulter des décharges diminuant les efforts produits par l'eau dans certaines régions de la coque.

d) *Remarques.* — Le Règlement Veritas ne donne pas de coefficient de sécurité. C'est à l'hydravionneur de le choisir. Il sera de l'ordre de 1,5 à 2.

D'autre part, ce règlement ne tient pas compte des efforts latéraux qui par contre sont soigneusement étudiés par le Règlement allemand. On est réduit à faire une hypothèse arbitraire pour avoir des efforts de torsion dans les cloisons de coque.

Lors du calcul des efforts d'ensemble (§ *c*), le coeffi-

cient 0,5 donne des charges supérieures à celles dues à une accélération convenable de 6 à 8.

Il en résulte évidemment plus de sécurité, mais aussi plus de poids de charpente. Il semblerait normal de conserver ce coefficient, mais de supposer la charge appliquée seulement sur une partie du fond, correspondant à des cas d'amerrissage analogues à ceux envisagés par le Règlement allemand que nous allons étudier.

3. Règlement allemand. — La D. V. L. (Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt) a publié un règlement des constructions dans lequel la résistance des hydravions a été soigneusement étudiée.

a) *Charges réelles.* — Ce sont des efforts certains et réels (sichere lasten) auxquels l'avion doit résister avec sécurité, et qui sont connus.

Elles sont de la forme : $P' = e_1 e_2 P$:

où P est le poids de l'avion,

e est un facteur d'accélération ou d'inertie de la forme :

$$e = C_0 \frac{1 + a}{1 + a + u^2} (Vatt)^{1,5}$$

avec $Vatt$ = vitesse d'atterrissage exprimée en Km/h.

$C_0 = \frac{1}{125}$ pour hydravions fluviaux ou côtiers
(jusque mer n° 3) (1)

$= \frac{1}{95}$ pour hydravions de haute mer (jusque
mer n° 5) (1).

$a = \sqrt[3]{P}$ (P . en tonnes).

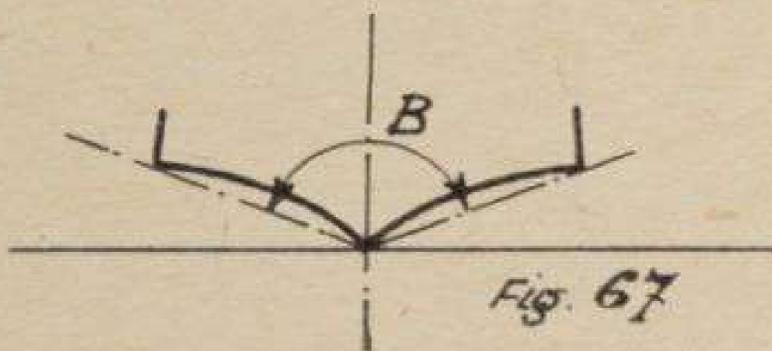
(1) CODE DES MERS :

Chiffre du code.

0	Pas de houle	} Mer calme ou légèrement agitée.
1	Houle modérée	
2	Forte houle	
3	Pas de houle	} Mer modérée.
4	Houle modérée	
5	Forte houle	
6	Mer assez forte.	
7	Forte mer.	
8	Très forte mer.	
9	Vagues et montagnes.	

c_1 est un facteur caractérisant l'influence de l'amortissement. Il est de la forme : $c_1 = 1 - 0,7 \cos \frac{B}{2}$.

B étant l'angle du fond de la carène au point d'application P de l'effort considéré (fig. 67).



c_2 est un facteur qui tient compte de l'effet des dispositions spéciales de la surface inférieure des flotteurs (nageoires, discontinuités transversales, etc.).

Sa grandeur se détermine d'après les circonstances spéciales. En général $c_2 = 1$.

b) *Cas de sollicitation.* — Ces charges P' ont un point d'application, une inclinaison et une grandeur variables selon les cas d'amerrissage que l'on considère.

On envisage trois groupes de cas :

I. — Amerrissage normal comprenant :

- a) Amerrissage sur l'avant,
- b) — — — — — redan,
- c) — — — — — l'arrière.

II. — L'amerrissage sur le coté comprenant :
les trois cas a, b, c, ci-dessus.

III. — L'amerrissage avec vitesse latérale, combinée avec l'amerrissage sur le coté et comprenant les trois cas a, b, c.

1a. — *Amerrissage normal sur l'avant* (fig. 68).

l est la longueur à la flottaison.

La valeur de P' dont la position est définie ci-dessous par les schémas est de :

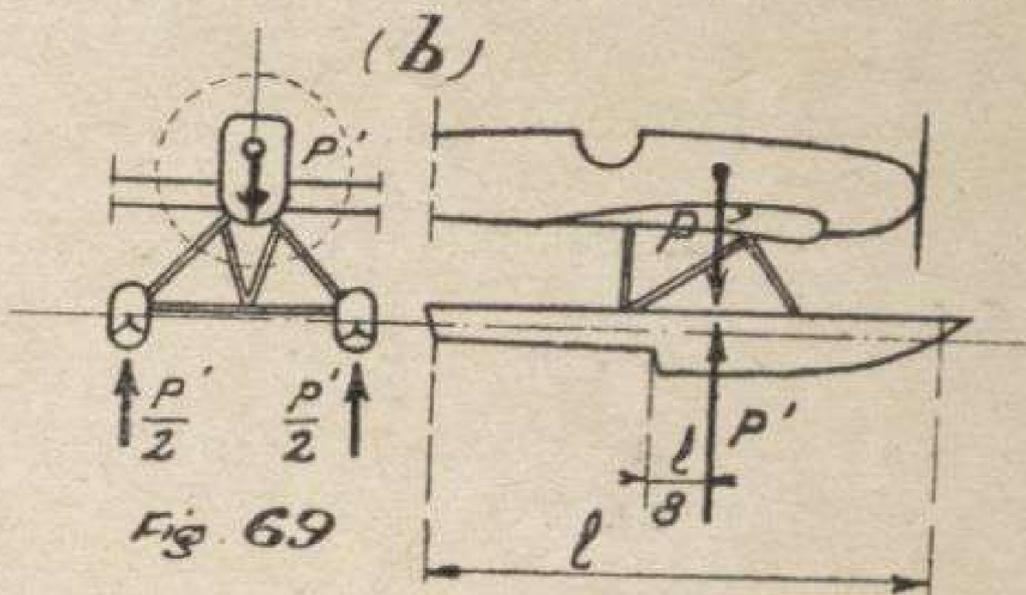
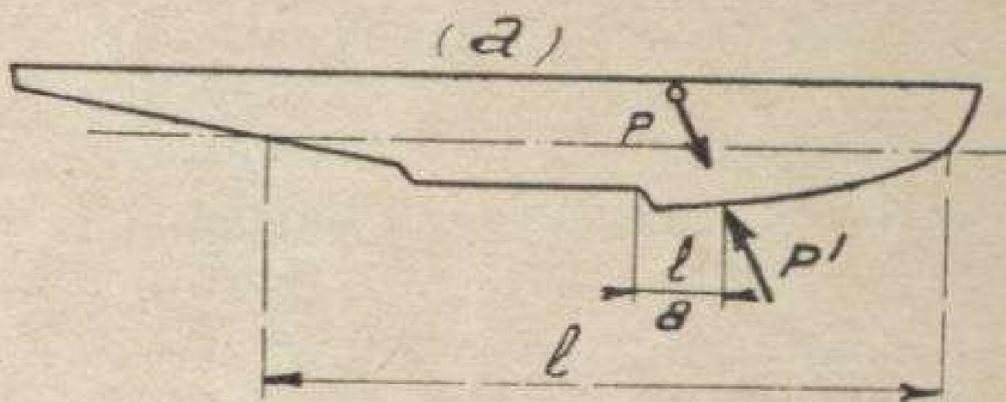
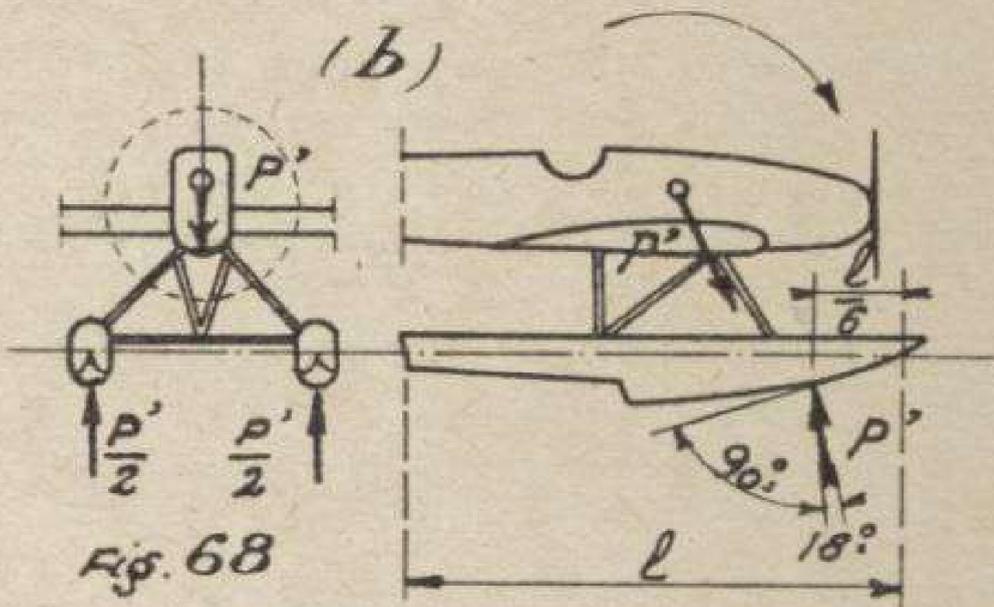
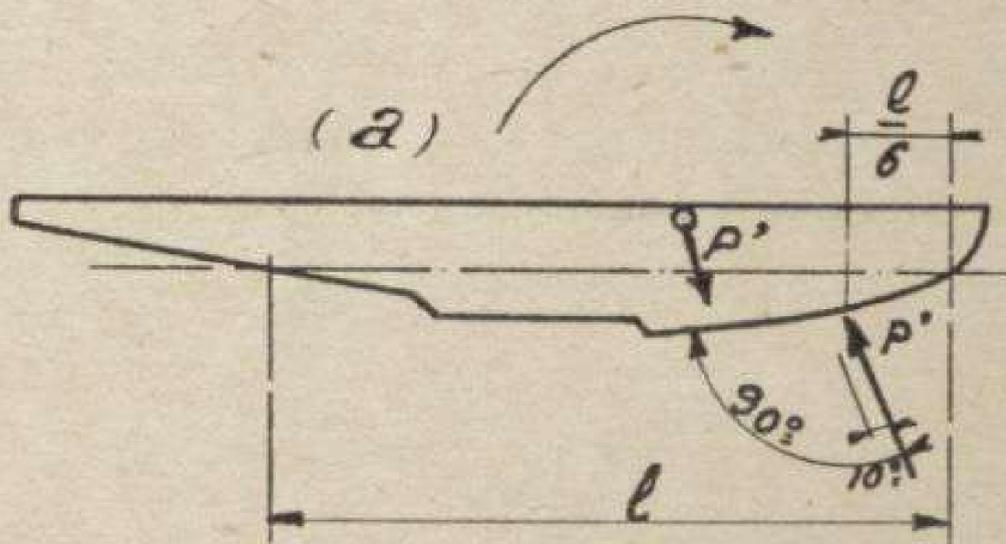
$$P' = 0,7 ec_1c_2 P.$$

1b. — *Amerrissage normal sur le redan* (fig. 69).

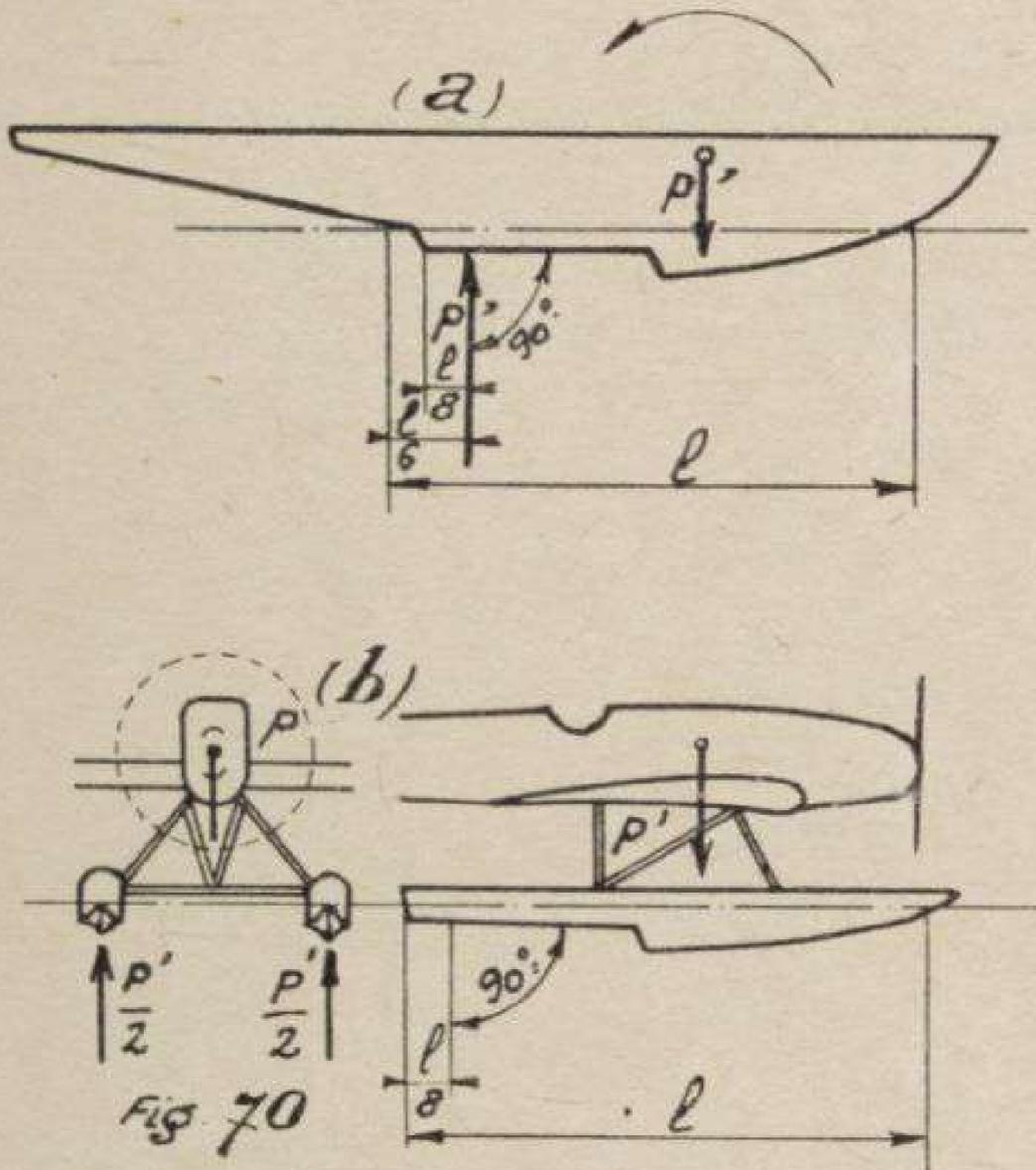
Dans ce cas, $P' = ec_1c_2 P$.

(a) Coques.

(b) Flotteurs latéraux.

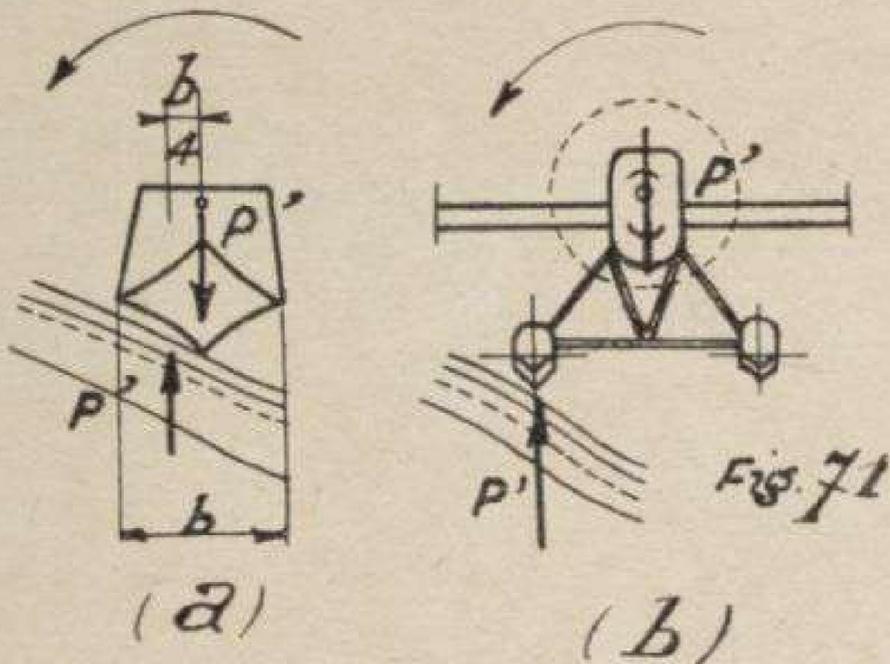


1c. — Amerrissage normal sur l'arrière (fig. 70).



$$P' = 0,4 \, e c_1 c_2 P.$$

II. — Amerrissage sur le côté (fig. 71).



La largeur b comprend les organes liés rigidement au système flotteur, par exemple les nageoires.

La position des forces est la même que dans les cas précédents *Ia*, *Ib*, *Ic*.

Leur grandeur a pour valeur :

- IIa* amerrissage de côté sur l'avant : $P' = 0,35 ec_1c_2 P$
IIb — le redan : $P' = 0,5 ec_1c_2 P$
IIc — l'arrière : $P' = 0,2 ec_1c_2 P$.

IIIa. — Amerrissage avec vitesse latérale et sur l'avant (fig. 72).

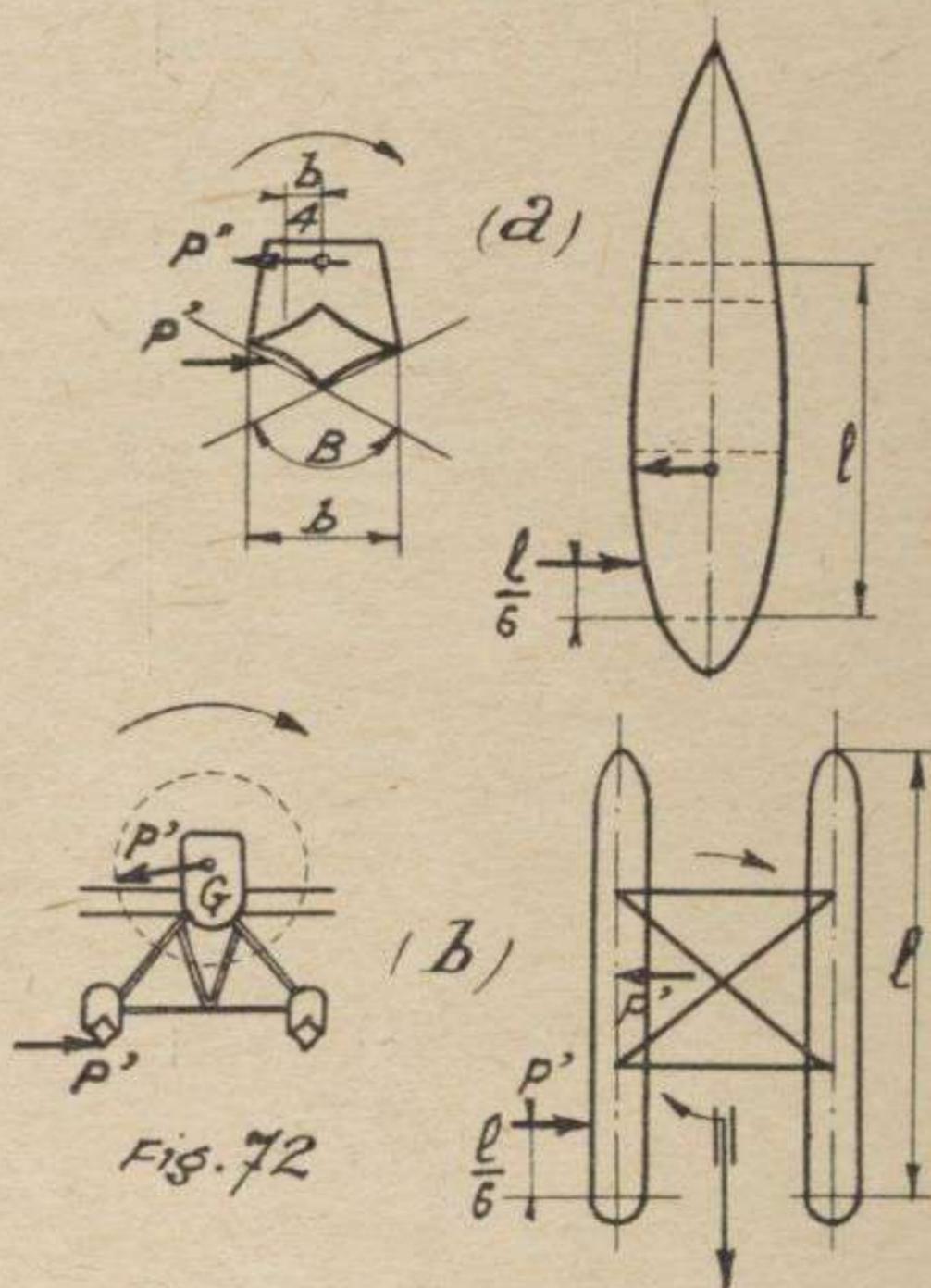


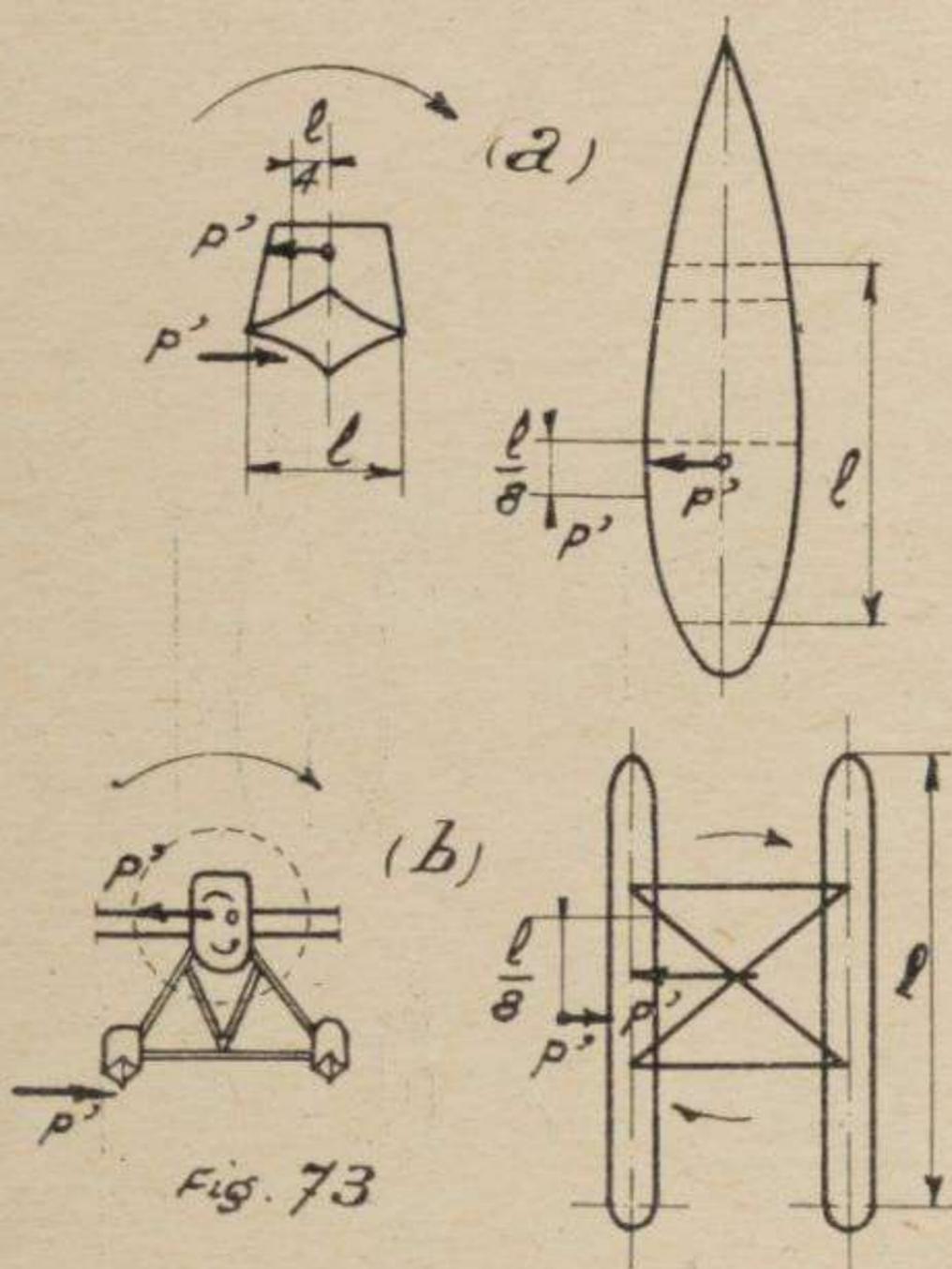
FIG. 72

Ce cas se superpose au cas *IIa*.

Les valeurs de P' sont :

- $P' = 0,18 ec_1 c_2 P$ pour les hydravions à coque
 $= 0,12 ec_1 c_2 P$ — à flotteurs.

IIIb. — Amerrissage avec vitesse latérale et sur le redan (fig. 73).



Ce cas se superpose au cas IIb

$P' = 0,35 ec_1c_2 P$ pour les hydravions à coque

$P' = 0,25 ec_1c_2 P$ — à flotteurs.

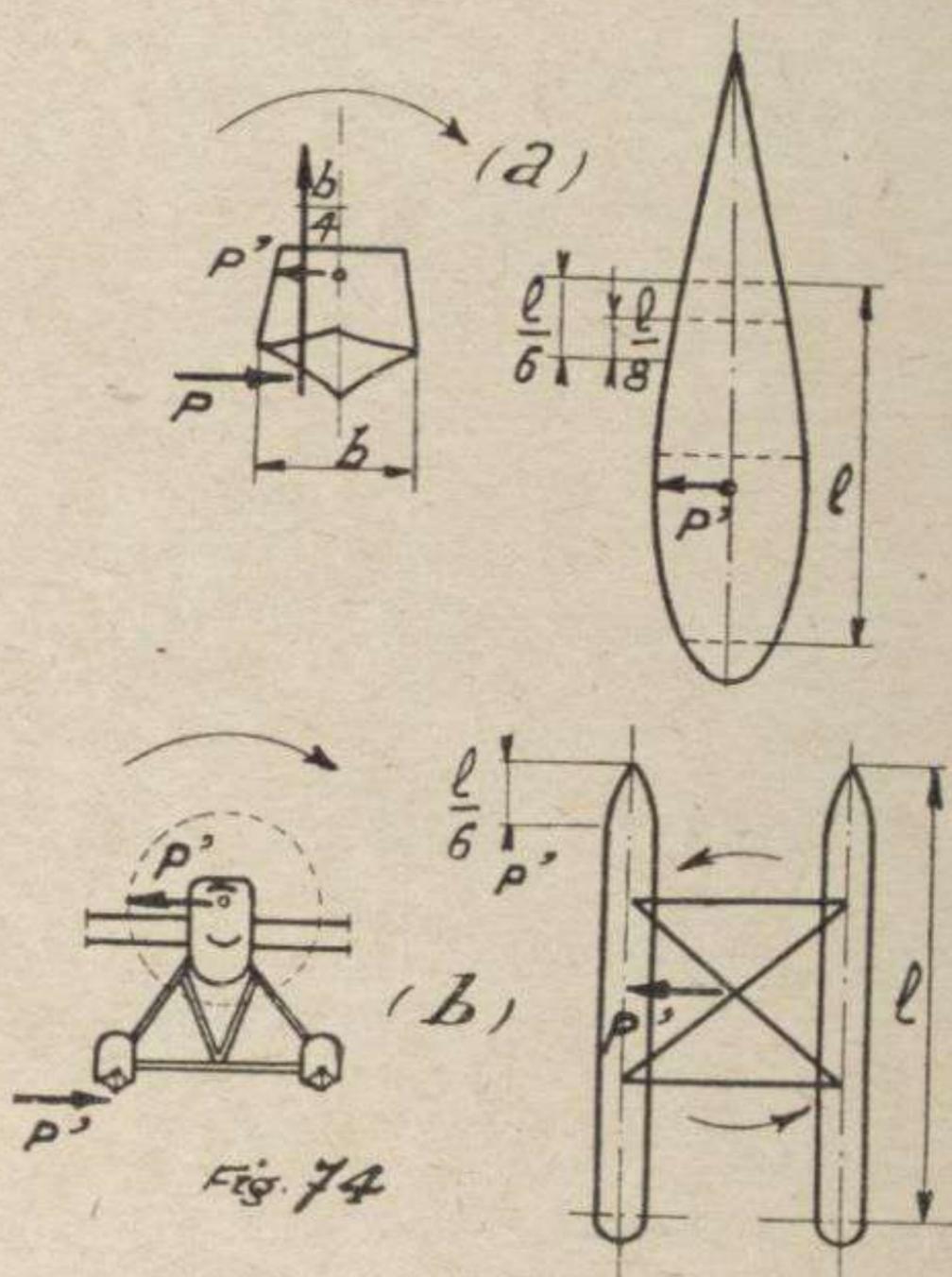
(On remarquera que, dans le cas III, les coefficients des appareils à flotteurs sont réduits, car l'effort maximum subi par un seul des deux flotteurs est toujours inférieur, par suite de la présence du second flotteur, à celui que subit une coque centrale.)

(C'est une raison analogue qui fait multiplier par 0,8 le coefficient K pour les flotteurs dans le Règlement Véritas.)

IIIc. — Amerrissage sur l'arrière avec vitesse latérale (fig. 74).

Ce cas se superpose au cas IIc :

$P' = 0,10 \, ec_1c_2 \, P$, pour les hydravions à coque,
 $P' = 0,08 \, ec_1c_2 \, P$, — à flotteurs.



Les neuf cas de calcul définis ci-dessus permettent d'étudier les efforts dans les charpentes de coque et de déterminer les échantillons susceptibles d'encaisser les fatigues correspondantes sous la réserve ci-après.

3. Coefficient de sécurité. — Ce coefficient de sécurité est destiné à maintenir les charges réelles définies dans les deux paragraphes précédents à une distance suffisante de la charge de rupture.

Sa valeur est en général dans les conditions allemandes pour les voilures, fuselages, etc..., de 1,8. Les efforts à considérer dans les calculs, ont donc pour valeur : $\pi = \sigma_r P'$ avec $\sigma_r = 1,8$ (sauf pour avions de chasse, de course ou d'acrobatie).

C'est cette valeur que l'on prendra uniformément pour les appareils à coque.

Elle sera réduite à 1,55 pour la construction des flotteurs et de leurs attaches le reste de l'avion étant calculé pour $\sigma_r = 1,8$. Toutefois, les éléments qui appartiennent à la fois à la charpente des flotteurs et à la charpente des organes sustentateurs doivent être établis pour les plus grands de ces efforts.

Pressions sur le fond des coques et flotteurs. — On remarquera qu'à l'inverse du règlement Véritas, toute la réglementation ci-dessus a été établie indépendamment de la pression unitaire sur les fonds de coque. Cette pression est cependant nécessaire pour le calcul des bordés de fond.

Le Règlement allemand a donc donné les prescriptions ci-après.

La plus forte pression locale à considérer se produira aux redans. Elle sera obtenue en majorant de 50 % la pression correspondante à la charge P' s'exerçant sur le redan supposée appliquée sur 20 % de la surface des flotteurs.

La détermination des pressions locales en d'autres points se déduit de ce qui précède.

Il s'ensuit que sur les coques étroites (type Rohrbach) la pression serait notablement supérieure à celle sur coques larges (type Dornier), ce qui ne semble pas vérifié expérimentalement une coque large à fond presque plat encaissant beaucoup plus qu'une coque étroite bien amortie.

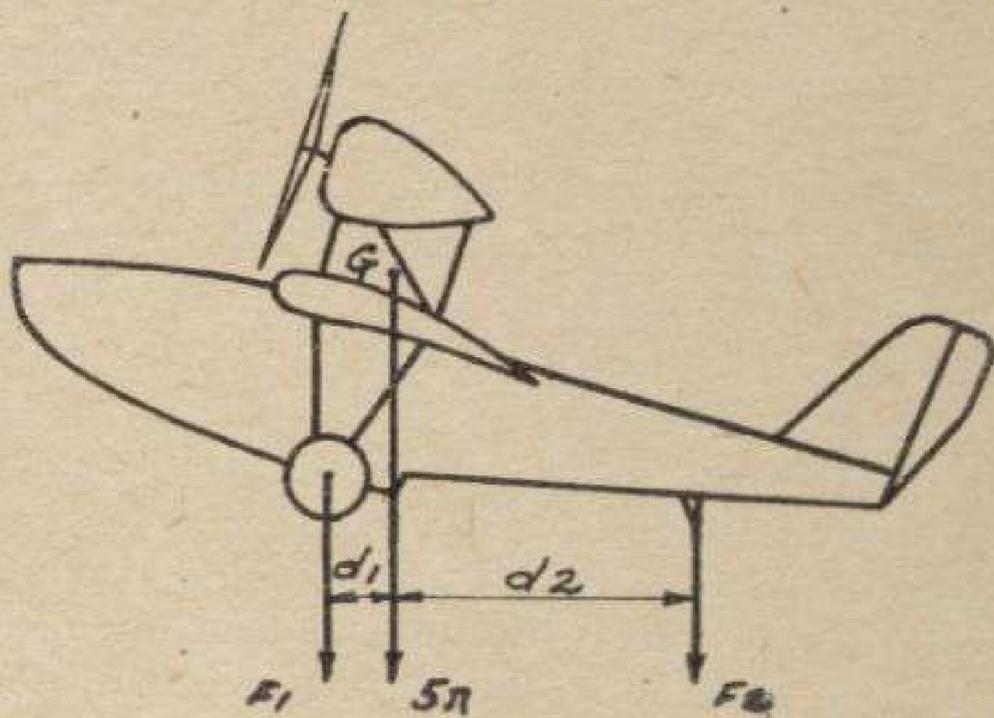
Ce règlement est particulièrement utile pour le calcul des trains d'amerrissage des appareils à flotteurs.

4. Forces dues aux cas de vol. — Les Conditions Techniques générales françaises exigent l'étude successive des cas suivants :

a) Appliquer au droit du train d'atterrissage et de la béquille des efforts égaux aux charges d'épreuve admises par ces organes. — Ce cas, évidemment spécial aux hydravions amphibies, se borne pour les efforts dus au train d'atterrissage à l'encaissement, par un échantillonnage convenable des cloisons principales de coque, des efforts transmis par les barres du train soumis à la charge réglementaire (égale en France à 5 fois le poids de l'appareil appliquée avec un angle de 27° vers l'arrière et un angle latéral de 9°), combinée avec la condition de chute de 1 mètre pour les avions de nuit, et 0 m. 50 pour les avions de jour.

L'appareil étant supposé reposant sur ses roues et sur la béquille, et une charge 5π appliquée au centre de gravité général en charge, il en résulte sur la béquille un effort (F_2) appliqué selon les conditions d'angle ci-dessus.

La coque doit résister aux efforts de flexion et de torsion résultants de cet effort (F_2).

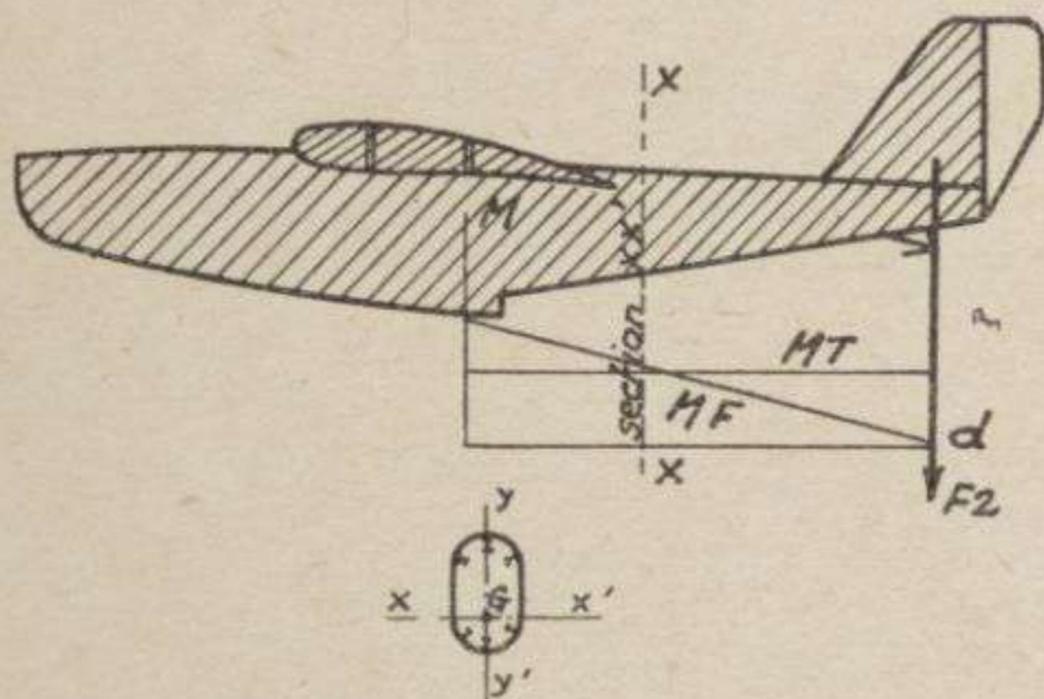


On établit un diagramme des moments de flexion et des moments de torsion dus à (F_2) et on vérifie section par section que la coque résiste à l'effort combiné, par exemple par la formule :

$$\frac{3}{8} \frac{Mn}{I} + \frac{5}{8} \sqrt{\frac{(Mn)^2}{I} + 4 \left(\frac{Sp}{I_0}\right)^2} \leq R.$$

M : moment fléchissant,

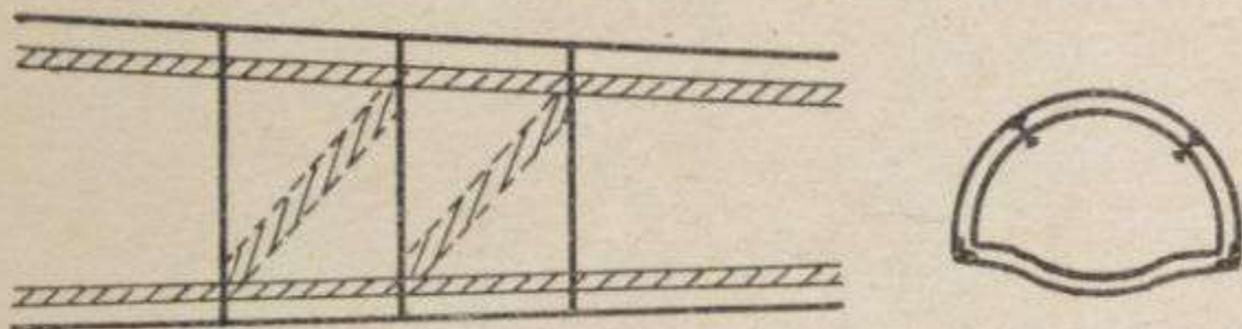
S : moment du couple de torsion,
 I : moment d'inertie par rapport à l'axe neutre de flexion XX' ,
 R : Charge de sécurité,



I_0 : moment d'inertie polaire par rapport au centre de gravité G ,

n et p : distance à l'axe neutre et au centre de gravité G du point de la section qui est en même temps le plus éloigné de cet axe et du point G .

Cette étude peut être menée par toute autre méthode de résistance de matériaux. On peut par *exemple* se trouver en présence d'une coque ayant quatre longerons longitudinaux principaux de résistance constitués par les livets de pont et les quilles d'angle.



Les montants des couples constituent des éléments verticaux de résistance, et une bande de bordé prise en traction forme avec les couples une triangulation du flanc de la coque à laquelle la méthode de Crémone est applicable à partir du point d'application de la force jusqu'aux lon-

gerons de cellule pris comme points d'encastrement. On peut aussi avoir plus de précision en appliquant les théories de résistance relatives aux revêtements travaillant (1).

b) *On appliquera sur les plans de queue horizontaux, fixes et mobiles, des charges égales à leurs charges d'épreuve réciproques.* — Ces charges ont une valeur définie par des règlements variables selon les divers pays. Jusqu'à ces derniers temps, en France, elle était de la forme $(F \times S)$.

S étant la surface de l'empennage horizontal total en m^2 ,

F étant égal à $\left(\frac{3}{5} n \frac{\pi}{S}\right)$ où π est le poids de l'appareil. S la surface de cellule, n le coefficient d'essai statique dans le premier cas de vol.

La charge étant uniforme, son point d'application se trouvait au centre de gravité de la surface constituée par l'empennage horizontal total.

Un règlement récent a modifié la valeur des charges et leur répartition en profondeur.

En tout cas, cette condition conduit à un calcul de flexion que l'on mène d'une manière analogue au cas précédent.

c) *On procédera de même pour les plans de queue verticaux.* — Les charges ont une valeur et un point d'application déterminés par les divers règlements en vigueur.

Leur résultante ayant un point d'application éloigné de la fibre neutre, par suite de la dimension des dérives, on est conduit à un calcul en flexion et torsion combinée analogue à celui défini au paragraphe a).

d) *On multipliera tous les poids que porte la coque, y compris son poids propre par le facteur de charge prévu pour la cellule de l'hydravion correspondant dans le cas de vol avec centre de pression avant.* — Ce calcul n'est généralement pas conduit à bout, car les efforts résultants sont inférieurs à ceux des paragraphes b) et c), mais la vérification initiale doit en être faite.

(1) Voir Kahn. — Les bordés travaillant en construction navale et Aéronautique.

CHAPITRE III

SYSTÈMES DE CONSTRUCTION

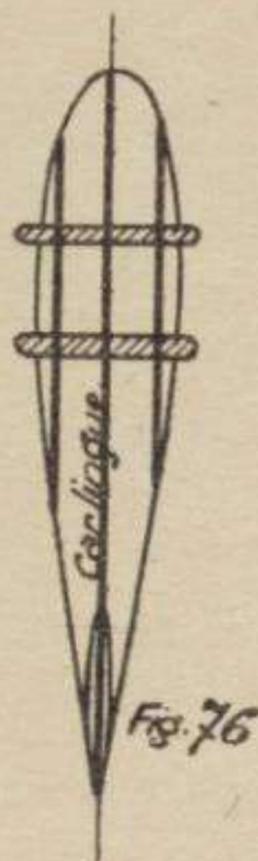
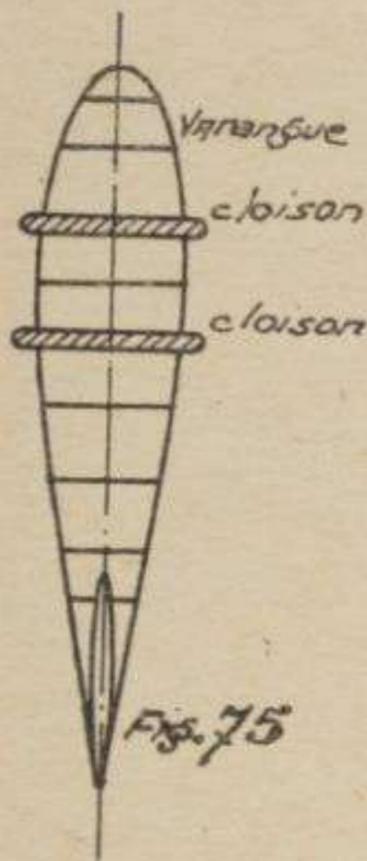
La construction des coques se ramène à échantillonner de manière telle :

a) Que le fond de coque résiste aux efforts locaux qu'il peut subir;

b) Que l'ensemble de la coque transmette aux points d'encastrement les efforts qu'il reçoit.

Les épures se ramènent donc à des calculs de toitures chargées et de poutres triangulées chargées soit uniformément, soit suivant des lois très simples de variation. Les notions ordinaires de résistance des matériaux leur sont intégralement applicables.

Plusieurs systèmes constructifs sont en présence.



1. Système transversal. — Les efforts sur le fond de coque sont transmis par le bordé à des éléments transversaux d'écartement réduit (fig. 75), les *varangues* qui

travaillent en flexion. Les varangues forment avec les *montants* verticaux et le *barrot* de pont un cadre appelé *couple*.

Ces varangues transmettent par les montants verticaux de couple leurs efforts aux flancs de coque, qui constituent des poutres encastrees aux longerons d'aile recevant de chaque couple un effort qui les fait travailler en flexion.

L'épaisseur de bordé varie en raison inverse de leur écartement, et il faut faire des devis de poids comparatifs.

Un certain nombre de couples sont *spécialement* renforcés et prennent le nom de *cloisons* ; on a notamment des cloisons principales aux points d'appui.

Le principe n'est pas affecté si de petites membrures longitudinales s'appuyant sur les couples raidissent le bordé de fond.

C'était le système des coques Tellier.

2. Système longitudinal. — Il part du principe exactement inverse. Les efforts sur le fond sont transmis à des poutres longitudinales (fig. 76), les *carlingues* parcourant le fond de coque de l'avant à l'arrière.

Le principe n'est pas affecté si de petites membrures transversales raidissent le bordé de fond et transmettent l'effort aux carlingues.

Ces carlingues s'appuient sur les cloisons principales.

Des cloisons intermédiaires reliant le flanc de la coque au fond peuvent réduire la portée des carlingues et transmettre les efforts qu'elles encaissent au flanc de coque avant d'arriver aux cloisons principales.

3. Système mixte. — On s'est demandé quelle était la solution la plus avantageuse et si des compromis étaient possibles.

Dans le système transversal, les chocs les plus considérables subis au voisinage du redan ne se feront sentir à la fois que sur des tranches relativement étroites dans le sens de la longueur. Si ces tranches ne sont constituées que d'un bordé reposant sur deux ou plusieurs couples transversaux, sans aucune pièce longitudinale, le moment d'inertie nécessaire sera proportionnel au carré de la largeur de la coque $\left(\frac{pl^2}{8}\right)$.

S'il y a une seule carlingue centrale, l'effort maximum est déjà 4 fois moins considérable et l'existence de ces éléments longitudinaux réduit les échantillons des couples dans des proportions considérables.

Dans la construction massive (bois) à partir d'une certaine largeur, le système transversal est trop lourd et doit être abandonné.

Cependant, dans la construction métallique, où le métal peut être mieux utilisé pour réaliser un grand moment d'inertie avec de petits échantillons, le système transversal peut reprendre l'avantage si les conditions d'habitabilité permettent une hauteur convenable des varangues.

Il est impossible de préciser *a priori* le système optimum au point de vue poids, qui ne peut résulter que d'une étude comparative où entre d'ailleurs l'épaisseur du bordé constituant un pourcentage important de poids de coque.

Pratiquement, la construction participe à la fois des deux systèmes et le bordé forme des mailles travaillant comme des plaques planes.

4. Système souple (ou à construction continue). —

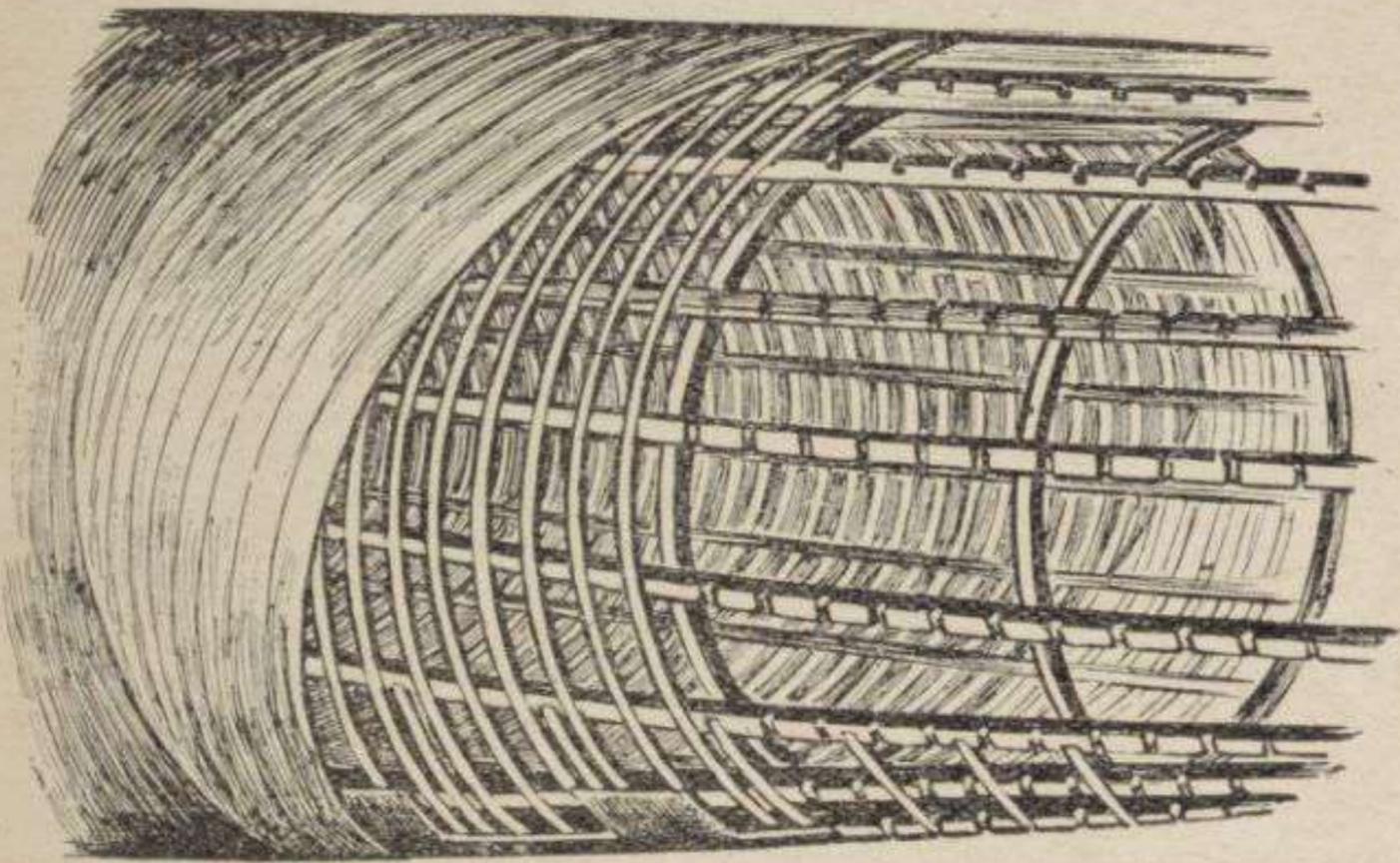
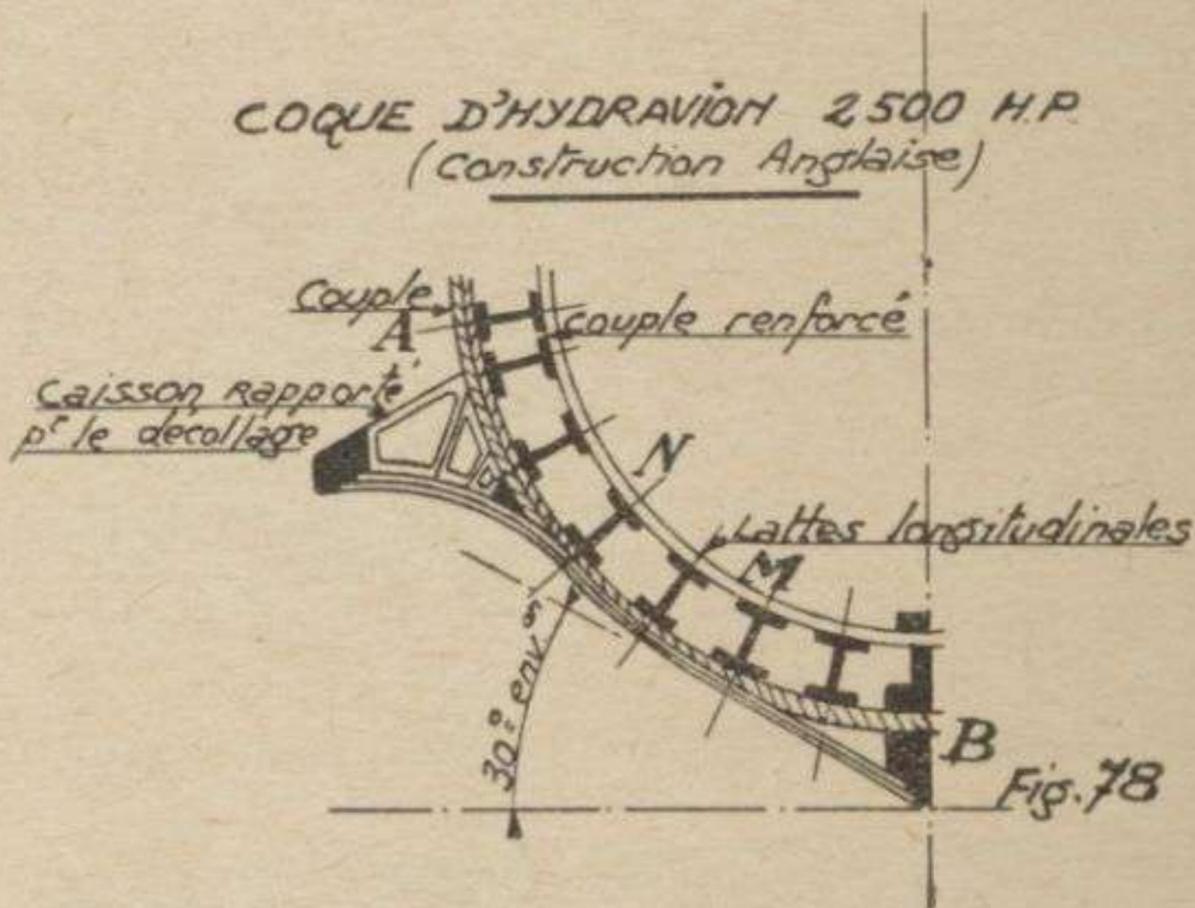


FIG. 77 (Lioré 15). — Coque souple, enroulement de deux couches de bandes d'acajou en 10 cm. de large sur les petits couples.
(Cliché « L'Aéronautique ».)

Ce système, spécial jusqu'ici à la construction bois, dérive du système mixte. Il y a un grand nombre de petits couples et de lisses longitudinales, avec des couples renforcés (fig. 77).

Par contre, il n'y a pas de cloisons rigides. A l'amerrissage les couples se déforment localement de plusieurs centimètres, ce qui diminue par élasticité les efforts généraux



d'amerrissage. Cette considération est précieuse, car les hydravions ne possèdent pas de systèmes amortisseurs comme les avions terrestres (sandows, jambes oléopneumatiques, etc...) et encaissent durement si l'amerrissage n'est pas soigné.

Comme cette construction conduit à supprimer les angles, on rapporte la région d'amerrissage sous forme d'un caisson fixé à la coque (fig. 78).

CHAPITRE IV
**ÉCHANTILLONNAGE
 DES SYSTÈMES FLOTTEURS**

1. Calcul du bordé de fond. — Le bordé en *bois* est rigide (épaisseur de 4 à 10 mm.) et anisotrope. On le calcule en flexion en supposant une bande de 1 centimètre de large appuyée d'une façon continue sur 2 varangues consécutives :

$$\text{Elle doit réaliser un } \frac{I}{V} = \frac{pl^2}{8} \times \frac{1}{R}.$$

Si la construction est *métallique*, la forme plane est celle qui se prête le plus mal à supporter la pression et doit être armaturée par un quadrillage résistant. La tôle considérée comme plaque plane encastree sur les bords travaille à un taux de fatigue donné par la formule :

$$\sigma = 0,75 \frac{\left(\frac{1}{2} b\right)^2}{e} \times \frac{2 p}{1 + \left(\frac{b}{a}\right)^2}$$

où σ représente la fatigue en kg/cm²;

b — le petit côté du rectangle en cm.

a — le grand côté du rectangle en cm.

e — l'épaisseur en centimètres.

On voit que la forme la plus avantageuse pour la maille est la forme étroite et longue, et non la forme carrée.

Mais en réalité les formes convexes ou concaves sont bien préférables, surtout ces dernières.

Les formes convexes font travailler la tôle en voûte, ce qui risque de donner lieu à des flambages, et conduit à un lissage très serré.

Dans les parties concaves, la tôle travaille en voile. C'est pourquoi, alors que les amortissements de coques en bois sont à double courbure pour faciliter le cintrage des couples on recherchera au contraire dans les coques métalliques à réduire la partie convexe. La section des

coques Rohrbach répond à ce point de vue, tout en donnant par sa forme en escalier un amortissement à 2 degrés au cours de l'amerrissage (fig. 14).

On peut assimiler les formes à des cylindres à génératrices à peu près parallèles à l'axe de la coque entre deux couples et dont la directrice se compose d'arcs de cercle tangents entre eux.

On a alors à étudier la résistance de chaque portion de cylindre à courbure constante, puis la résistance d'ensemble en examinant les sections mutuelles de chaque cylindre.

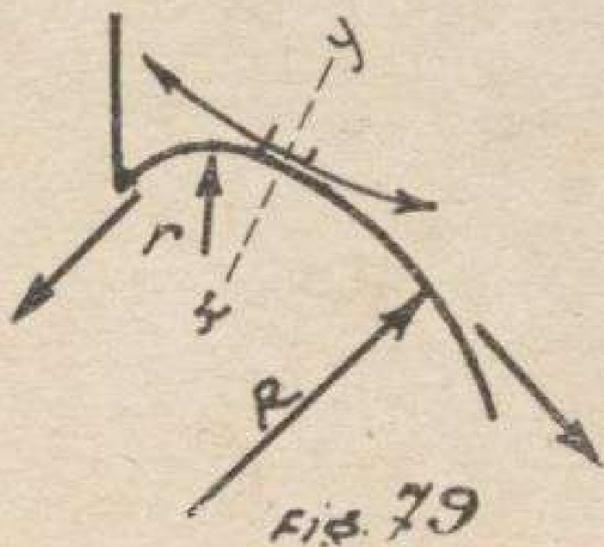
A) Si R en cm. est le rayon de courbure, l la longueur en cm., p la pression en kg/cm^2 , toute section passant par une génératrice et le rayon de courbure est le siège de tensions normales uniformément réparties dont la somme a pour expression : Rpl kgs.

Si e (mm.) est l'épaisseur de la tôle, la section a pour aire $10 l e$ en mm^2 .

Le taux de fatigue de la tôle travaillant en tension est donc de :

$$n = \frac{Rp}{10 e} \text{ en } \text{kg/mm}^2.$$

B) Lorsque deux portions de cylindres concaves de rayons différents R et r se font suite avec plan tangent commun à leur jonction, les tensions normales unitaires passent brusquement de la valeur $\frac{Rp}{10 e}$ à $\frac{rp}{10 e}$ il y a donc le long de la génératrice commune un accroissement de tension $(R - r) \frac{p}{10 e}$.



Il faut donc armaturer la tôle dans le plan tangent commun (fig. 79) de manière à constituer une poutre transmettant l'effort aux couples intéressés de part et d'autre au moyen par exemple d'un profilé qui donnera avec une bande de bordé solidaire prise d'une largeur double un mo-

ment d'inertie convenable par rapport à l'axe xy .

L'exemple le plus fréquent du cas exposé ci-dessus est celui de la petite voile à petit rayon de courbure partant de la quille d'angle, continuée par la grande voile à grand rayon de courbure, aboutissant elle-même à la convexité entourant la quille centrale. Grâce au plus petit rayon, les quilles d'angles seront relativement peu fatiguées. La génératrice commune aux deux courbures sera chargée davantage. Enfin, la génératrice du point d'inflexion aura la charge maxima.

Si la tôle n'avait, comme les voiles en tissus, à peu près aucune rigidité dans son plan, le poids des armatures formant vergues, qu'il faudrait prévoir, serait très élevé pour de grands rayons de courbure.

On ne gagnerait que peu ou point à l'adoption de la forme concave, bien que cette forme permette de supprimer le réseau de lisses. Il faudrait se limiter à des rayons de courbures assez faibles et n'employer de formes concaves que sur un grand arc, puisque les efforts marginaux sont les mêmes, quel que soit l'arc, seule leur direction changeant quand la valeur de cet arc augmente ou diminue. Heureusement la tôle, du fait même de sa faible courbure, travaille très bien en vergue à condition d'être raidie convenablement dans la région intéressée.

2. Varangues. — Si elles sont massives (*bois*), on les calcule en flexion sous les efforts que leur transmet le bordé de part et d'autre.

Si elles sont en treillis, on exécute l'épure de Cremona en combinant de proche en proche les forces extérieures connues (réactions comprises) et les tensions ou compressions élastiques à découvrir aux différents nœuds du treillis. L'échantillonnage se fait en choisissant dans les profilés prévus par la Commission en Standardisation, ceux qui conviennent à la transmission des tensions et compressions maxima déterminés par cette épure. Les barres travaillant en compression sont soumises en outre à l'examen de leur résistance au flambage par application des formules d'Euler.

$$F = \frac{\pi^2 E I}{l^2} \quad \text{ou} \quad F = \frac{4 \pi^2 E I}{l^2}$$

La première de ces formules, relative aux appuis à rotule, est employée pour vérifier la résistance du profilé

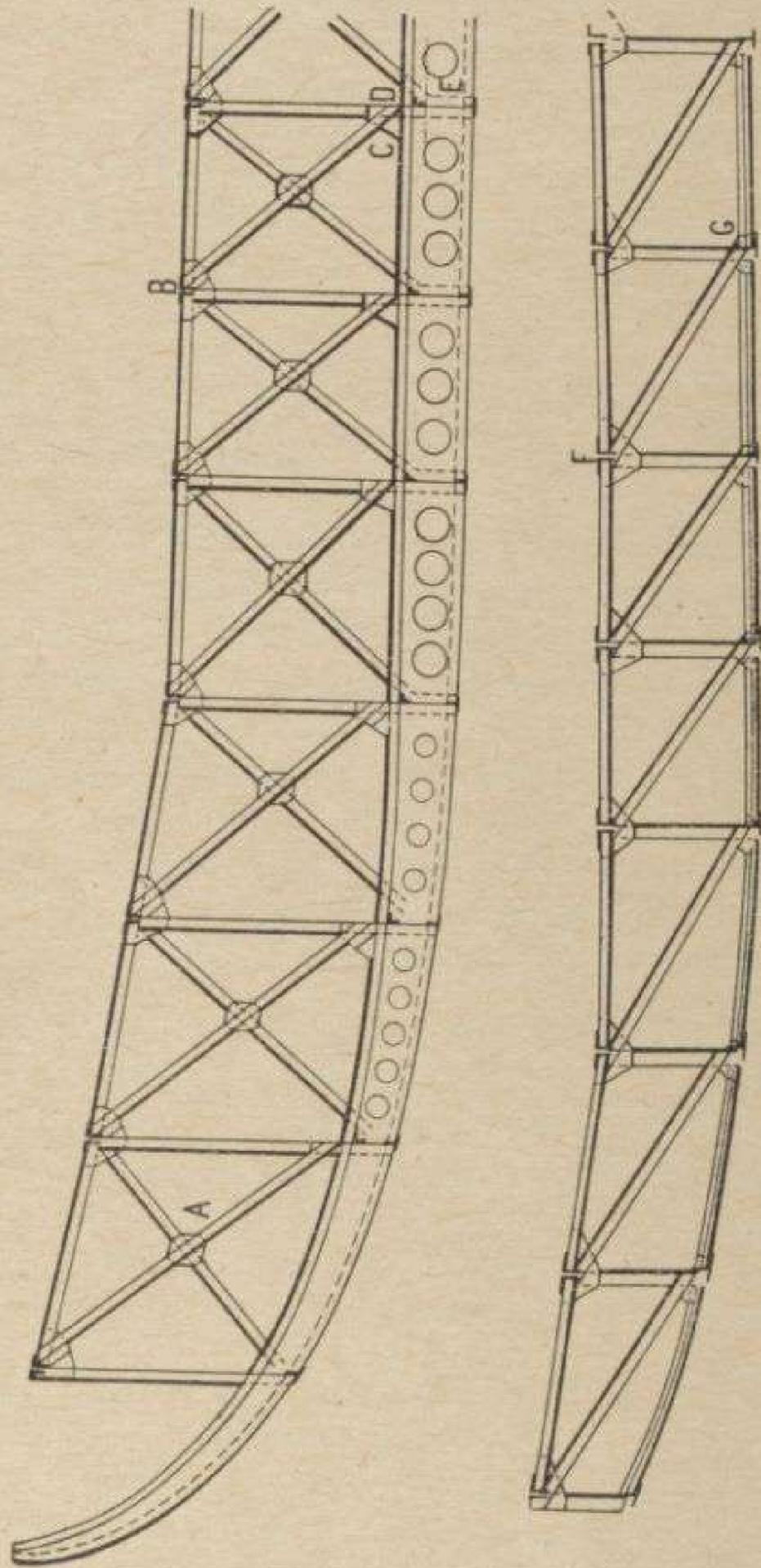


FIG. 80 a. — Carlingues du Cams 58.

dans un plan transversal à la varangue. La seconde, relative aux appuis encastrés, pour faire la même vérification dans le plan de la varangue. La plupart du temps, les

cornières employées en compressions sont choisies à ailes inégales, la plus grande aile étant orientée dans le plan transversal à la varangue de manière à avoir un plus grand moment d'inertie dans cette direction, où l'encastrement n'est en fait que partiellement réalisé.

3. Lisses et carlingues. — Leur calcul est analogue à celui des varangues. Elles travaillent comme elles en flexion.

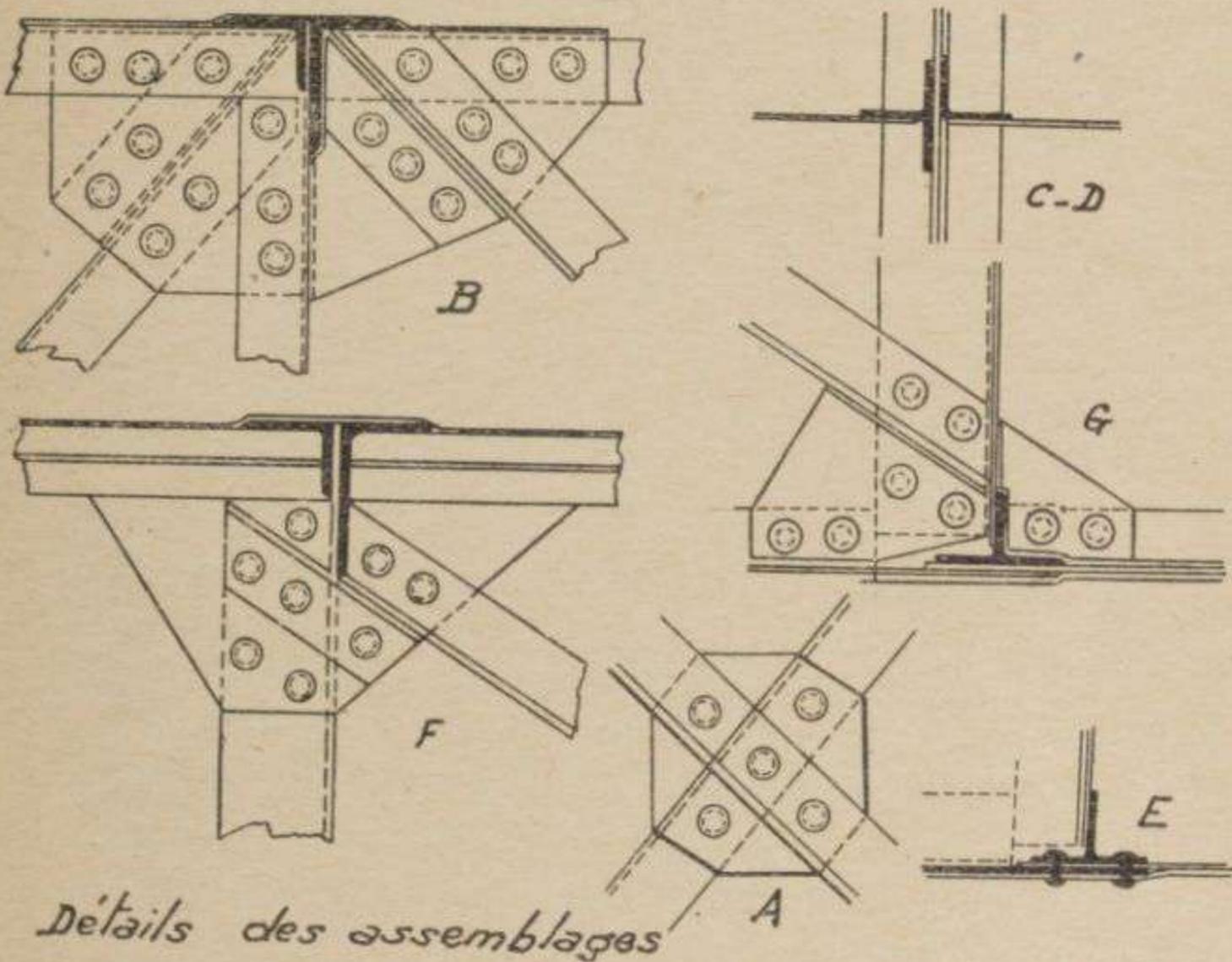


FIG. 80 bis.

La solidarisation des varangues et carlingues en treillis, lorsque l'habitabilité permet de leur donner une hauteur assez grande, est intéressante à prévoir (fig. 80) pour empêcher les varangues de se coucher et de se gauchir. Les carlingues interviennent en résumé pour diminuer le taux de travail des varangues en intéressant aux efforts locaux les varangues voisines, en soustrayant ces varangues qui sont forcément minces aux risques de flambement d'ensemble et permettant de compter sur un degré d'encastrement des barres de treillis des varangues tra-

vaillant en compression pour éloigner les risques de flambement locaux.

4. Couples. — Ils constituent les montants verticaux de la poutre longitudinale et travaillent en compression. Tout ce qui a été dit pour les varangues s'applique.

Leurs efforts se déterminent par un Cremona, en supposant qu'une bande oblique de bordé de côté d'une largeur convenable travaille en traction, ou en appliquant une méthode plus précise de résistance des revêtements travaillant dont ils constituent les raidisseurs (1).

Rohrbach a donné les formules suivantes :

$$d = 0,125 \text{ à } 0,5 h$$

$$\sigma = \frac{2T}{he}$$

$$\tau = 0,9 \frac{Td}{h}$$

où $\left\{ \begin{array}{l} d : \text{écartement des montants de couple.} \\ h : \text{hauteur de la poutre.} \\ T : \text{effort tranchant.} \\ e : \text{épaisseur de la tôle.} \\ \sigma : \text{Taux de travail à la traction de la tôle en } \text{kg } \frac{\text{m}}{\text{m}^2}. \\ \tau : \text{effort dans le montant, qui ne peut flamber dans le sens de la tôle et peut-être considéré comme encastré dans le sens perpendiculaire.} \end{array} \right.$

5. Cloisons. — Les cloisons intermédiaires transmettent par une triangulation appropriée des efforts de fond connus aux flancs.

Les cloisons au droit des ailes, s'il y en a, sont à calculer pour les efforts transmis par la voilure et les moteurs aux divers cas de vol et à l'amerrissage comme un système en équilibre sous les actions dues au fond et celles dues aux diverses masses.

Selon leur constitution, elles se déterminent par un Cremona ou par un calcul de pièce courbe ou d'arc.

(1) Voir KAHN, *Les bordés travaillant en construction navale et aéronautique.*

H. WAGNER, *Les poutrelles planes à paroi en tôle très mince,* paru dans Z. F. M. avril-juin 1929.

IMPRIMERIE DE MONTLIGEON
LA CHAPELLE-MONTLIGEON (ORNE)
(23.120-6-31)

L'AÉRONAUTIQUE

(REVUE MENSUELLE — 13^e ANNÉE)

Directeur - Rédacteur en chef : Henri BOUCHÉ

*est le grand organe français
de l'aéronautique mondiale*

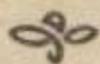
— Ses études, photographies et croquis
inédits décrivant la technique des
avions, hydravions, moteurs et ins-
truments nouveaux ;

— Ses bulletins mensuels " L'Aéro-
technique " et " L'Aéronautique
marchande " ;

— Ses rubriques " Revue des Brevets "
" Revues des Revues " et " Revue
des Livres "

font de " L'Aéronautique "

un instrument de travail indispensable



Abonnement annuel :

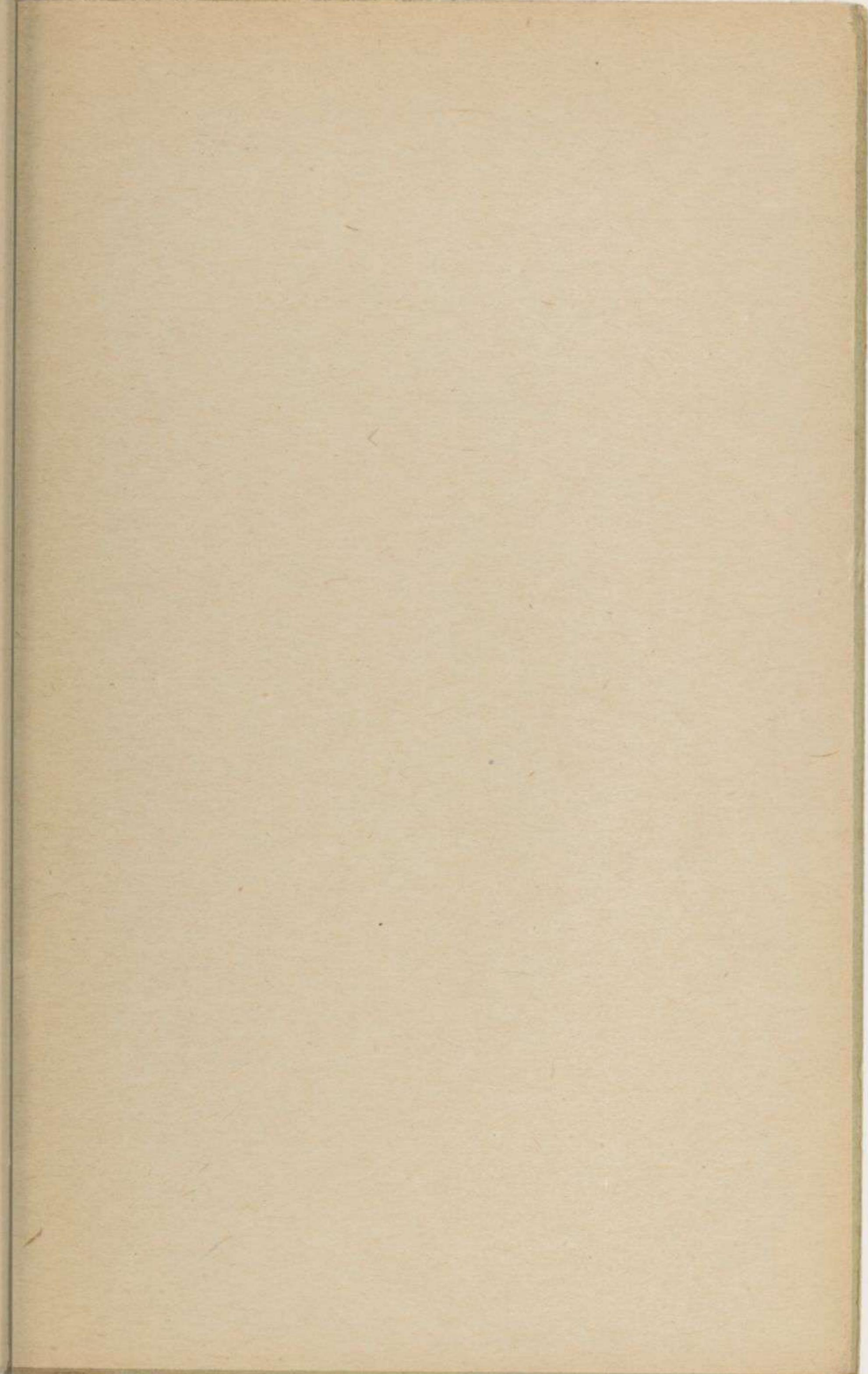
France : 100 francs -:- Étranger : 200 francs

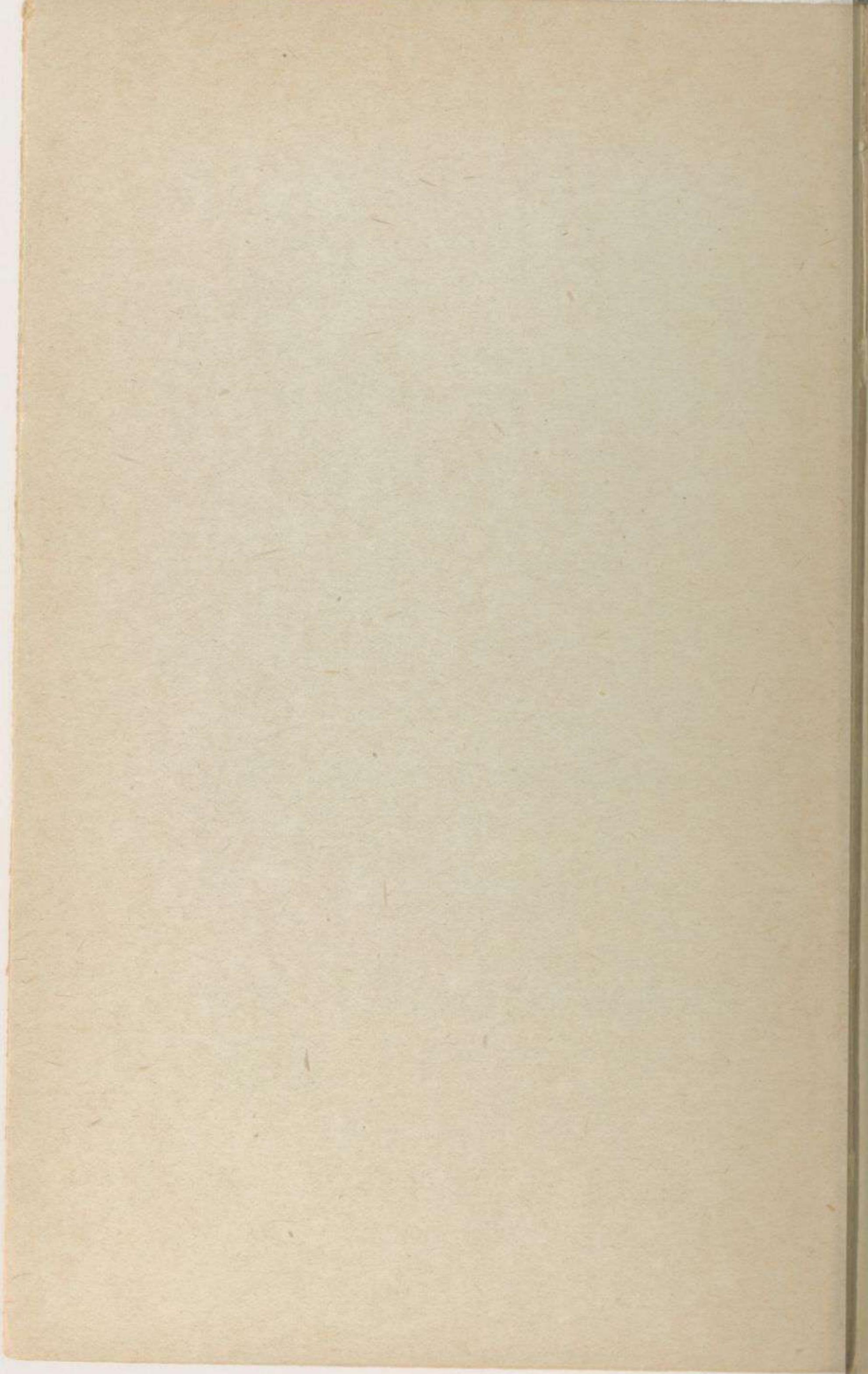


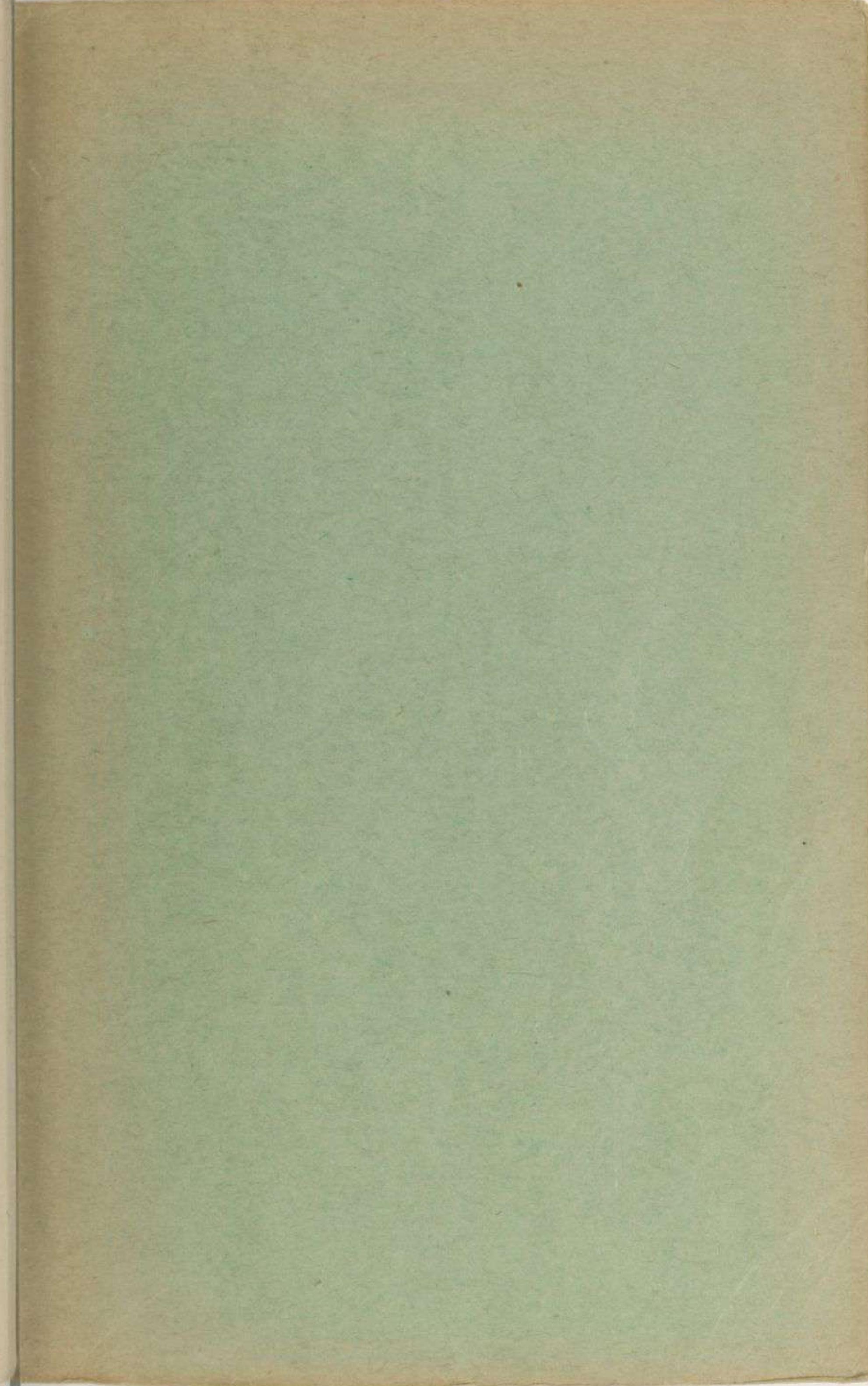
GAUTHIER-VILLARS & C^{ie}

55, quai des G^{ds}-Augustins,

PARIS (6^e)







LIBRAIRIE DES SCIENCES AÉRONAUTIQUES

FONDÉE EN 1905

se charge de l'impression d'ouvrages concernant sa spécialité

PÈPE (P.). — Précis d'Hydraviation, 2 vol.	24 »
IDRAC (P.). — Études expérimentales sur le vol à voile et son application au vol à voile humain	20 »
HAMEL. — Éléments de navigation aérienne.	12 »
SABLIER. — Manuel pratique de construction des planeurs.	12 »
GASTOU (R.). — L'Hélice aérienne à pas constant, à pas variable. 2 vol.	24 »
BILBAULT. — Utilisation pratique polaire logarithmique.	10 »
BREGUET. — Résultante aérodynamique d'un planeur.	1.50
— — Sur la résultante aérodynamique moyenne d'un planeur à ailes : en M, etc.	1.50
BREGUET. — Sur les conditions que doit remplir un planeur pour utiliser les pulsations du vent favorable au vol à voile.	1.50
BREGUET. — Sur le rendement des appareils récepteurs de l'énergie du vent.	1.50
CANTERO-VILLAMIL. — Les problèmes du vol sans moteur.	12 »
IDRAC. — Le vol des Albatros.	2.50
MAGNAN. — Le vol à voile.	30 »
BREGUET. — Considérations nouvelles sur le vol à voile dynamique.	3.50
SEE. — Le vol à voile et la théorie du vent louvoyant.	2.50
BREGUET ET DEVILLERS. — Problème de la stabilité des avions.	2.50
DESMONS. — Équilibres des aéroplanes.	2.50
ALIX. — Essai sur l'appareil locomoteur des oiseaux.	12 »
AMANS. — Études sur les flexions et courbures des ailes et les hélices aériennes.	6 »
DEGREAU. — Études ornithologiques : la Puissance de l'aile ou l'oiseau pris au vol.	20 »
SABLIER. — Planeur Sablier, type Sport, plans de construction d'un planeur genre Chanute.	30 »
SABLIER. — Monoplan « Sablier » type 10 plans de construction d'un planeur monoplane à poutre unique, d'entraînement et de sport.	30 »
DESGRANDSCHAMPS. — Précis d'aérodynamique. Lois du planeur. Structure du planeur. Calculs, centrage. Stabilité.	12 »
BOEL. — Le vol des pigeons.	7.50
CARAFOLI. — Influence des ailerons sur la propriété des surfaces sustentatrices.	20 »
MARJOLIS. — Les coefficients caractéristiques des turbo-machines et des machines volantes.	10 »
Rapports sur l'aviation américaine.	10 »
BREGUET. — Note sur le rendement des hélices à propulsion dans l'air	1.50
ANTHINOUS. — Aviation, recherches et expériences inédites.	2.25
Avions Breguet 19 A ² , notice technique.	17.50
ARNOUX. — Équilibre des aéroplanes.	1.50
BREGUET. — Communication à l'Académie des Sciences.	10 »
— — L'avenir de l'aviation.	1.50
— — Avions et hydravions commerciaux de l'avenir.	1.50
BONOMO. — L'aviation commerciale.	12 »
VIVENT. — Notre aviation marchande.	7.50
BRACKE. — Construction et manœuvres de l'aéroplane Wright.	1.50
BIAT. — Les frères Wright et leurs œuvres.	6.50
GASTOU. — La théorie de l'aviation.	1.50
Étude sur les hélices sustentatrices publiée dans le fascicule II de l'Institut de Kontchino	1.50
Le vol à voile, rapports du Comité de propagande aéronautique	8 »
Catalogue général de livres sur l'aviation, 76 pages, 1217 numéros. Gratis sur demande.	

Compte Chèques postaux : PARIS 5 301