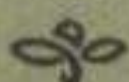


**P. PÈPE**

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

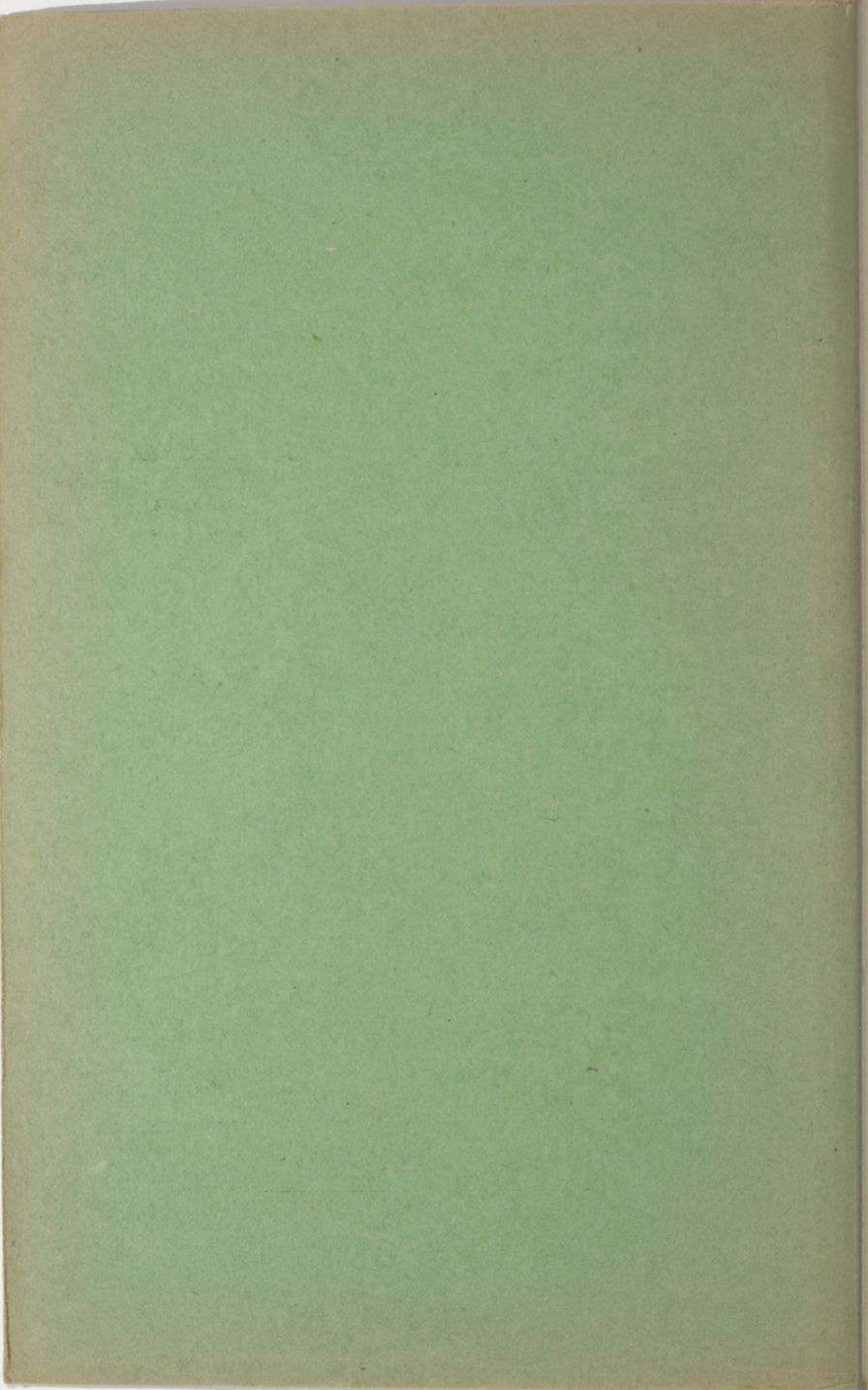
**TOME II**



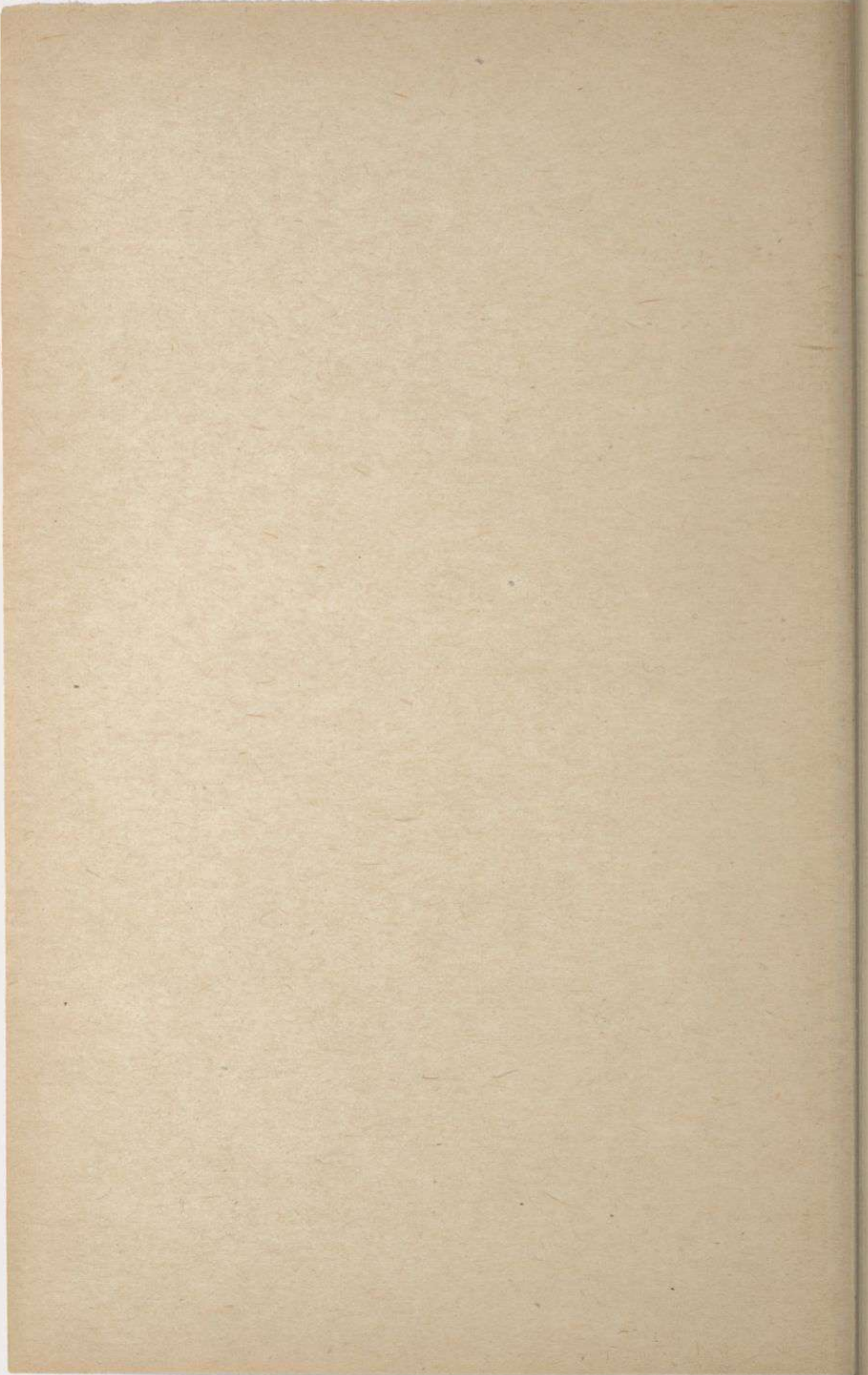
**LIBRAIRIE DES SCIENCES AÉRONAUTIQUES**  
— FONDÉE EN 1905 —

F.-Louis VIVIEN, LIBRAIRE-ÉDITEUR  
— 48, Rue des Écoles — PARIS (V°) —

**1931**



HYD/1993-PEA-3



**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<sup>re</sup> partie. *Calcul aérodynamique*. . . . . 10 »

2<sup>e</sup> partie. *Calcul des efforts* : en préparation.

3<sup>e</sup> 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 :*

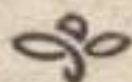
LAINÉ (A.). — **Manuel pratique de pilotage**.

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. PÉPE**

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 II**



**LIBRAIRIE DES SCIENCES AÉRONAUTIQUES**  
FONDÉE EN 1905

F.-Louis VIVIEN, LIBRAIRE-ÉDITEUR  
— 48, Rue des Écoles — PARIS (V<sup>e</sup>) —  
**1931**

---

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

*Copyright by F.-Louis VIVIEN 1931.*

---



# TABLE DES MATIÈRES

---

## TOME II

### QUATRIÈME PARTIE

#### CONSTRUCTION DES SYSTÈMES FLOTTEURS

(Suite)

CHAP. V. — Réalisation et montage. . . . .	3
Appendice. Ballonnets . . . . .	14

### CINQUIÈME PARTIE

#### AMÉNAGEMENTS ET PARTICULARITÉS DES HYDRAVIONS

CHAP. I. — Aménagements spéciaux aux hydravions. . . . .	19
— II. — Manœuvre des hydravions. . . . .	23
— III. — Les hydravions spéciaux . . . . .	28

### SIXIÈME PARTIE

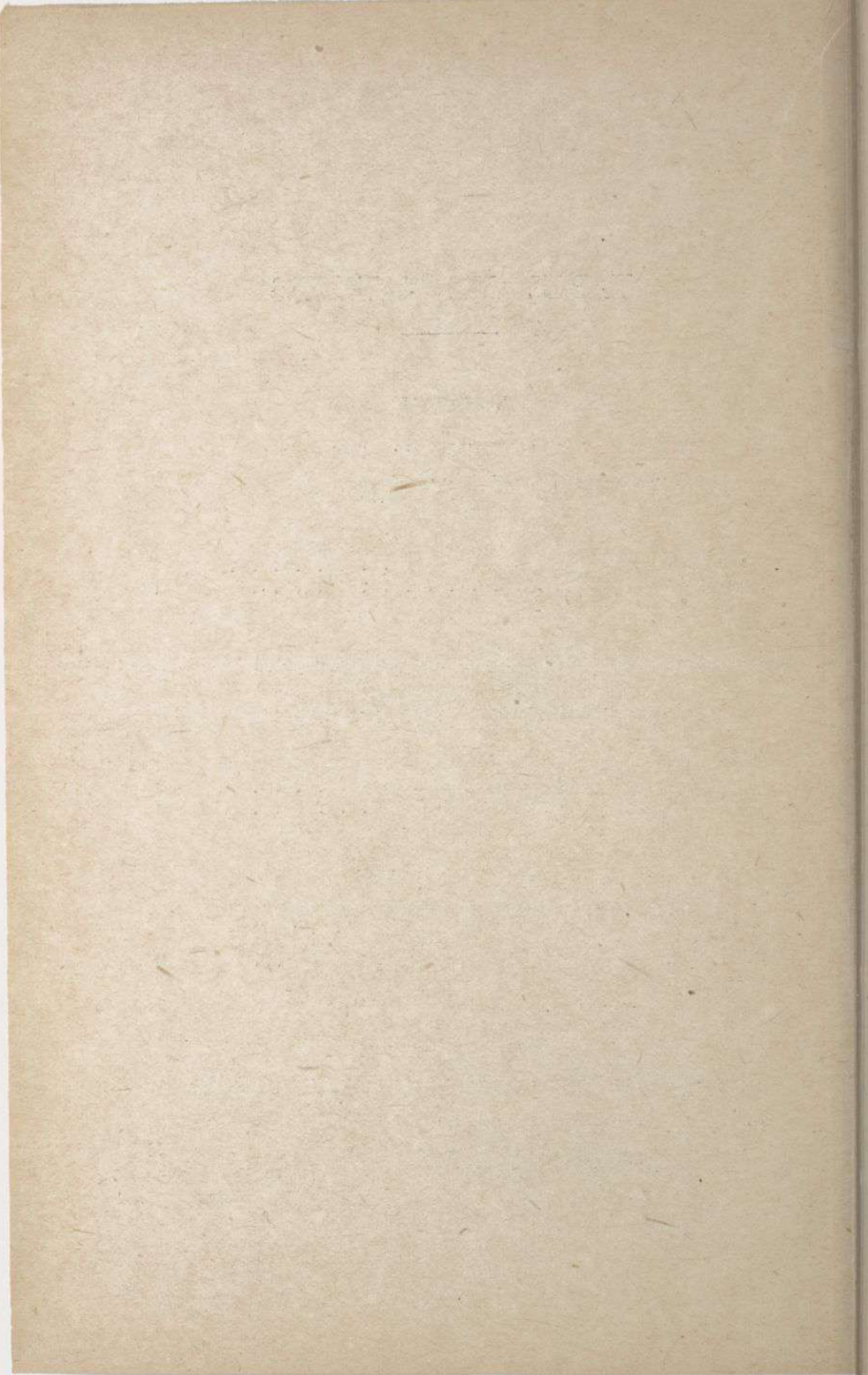
#### APPLICATIONS NUMÉRIQUES

CHAP. I. — Hydravion à 2 flotteurs en bois. . . . .	39
— II. — Hydravion à coque métallique. . . . .	61

### SEPTIÈME PARTIE

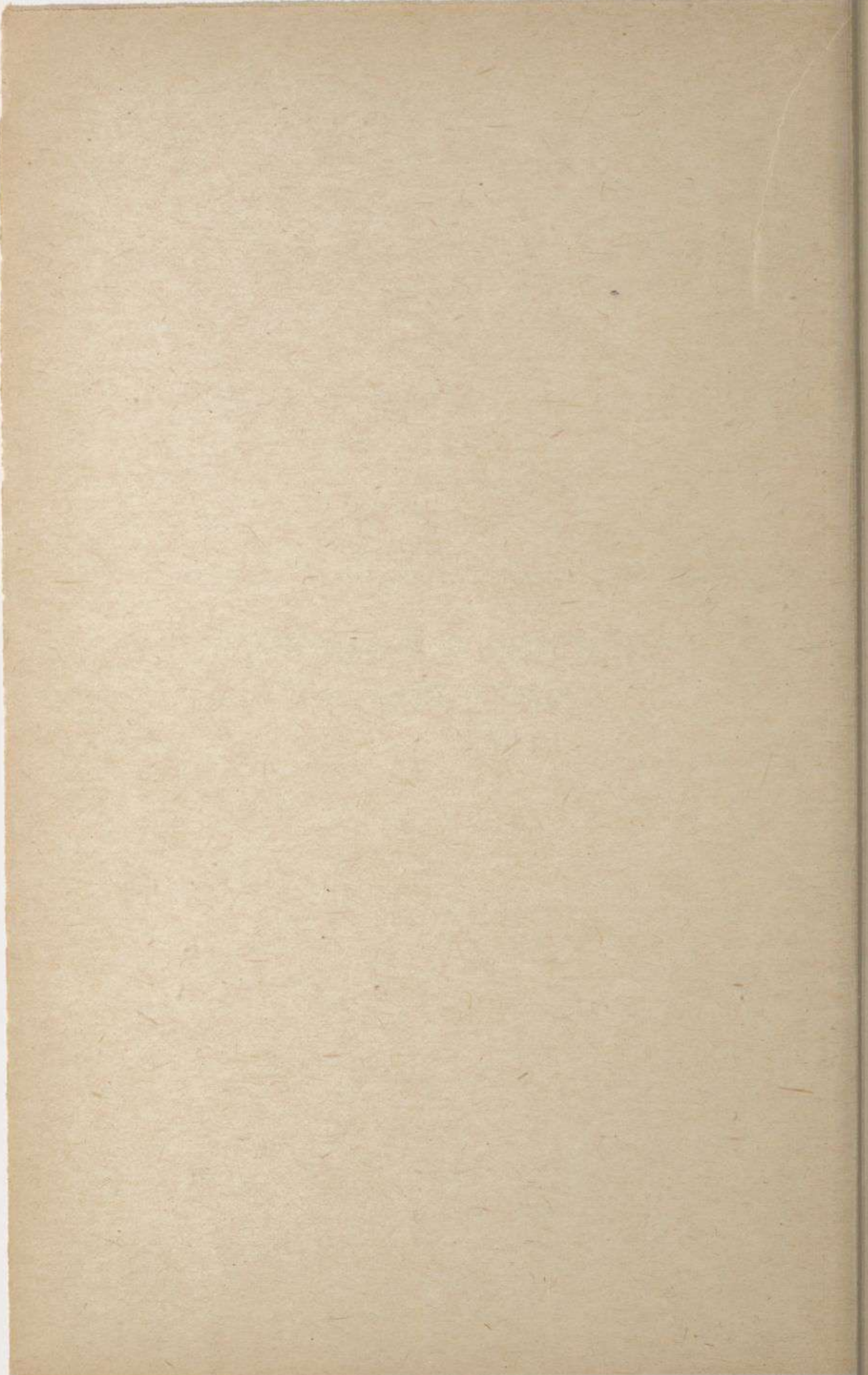
#### NOTE COMPLÉMENTAIRE SUR LA STABILITÉ A FLOT

CHAP. I. — Courbes de stabilité . . . . .	81
— II. — Équilibre longitudinal . . . . .	85
— III. — Équilibre transversal. . . . .	90



QUATRIÈME PARTIE

**CONSTRUCTION DES SYSTÈMES  
FLOTTEURS**  
*(Suite)*

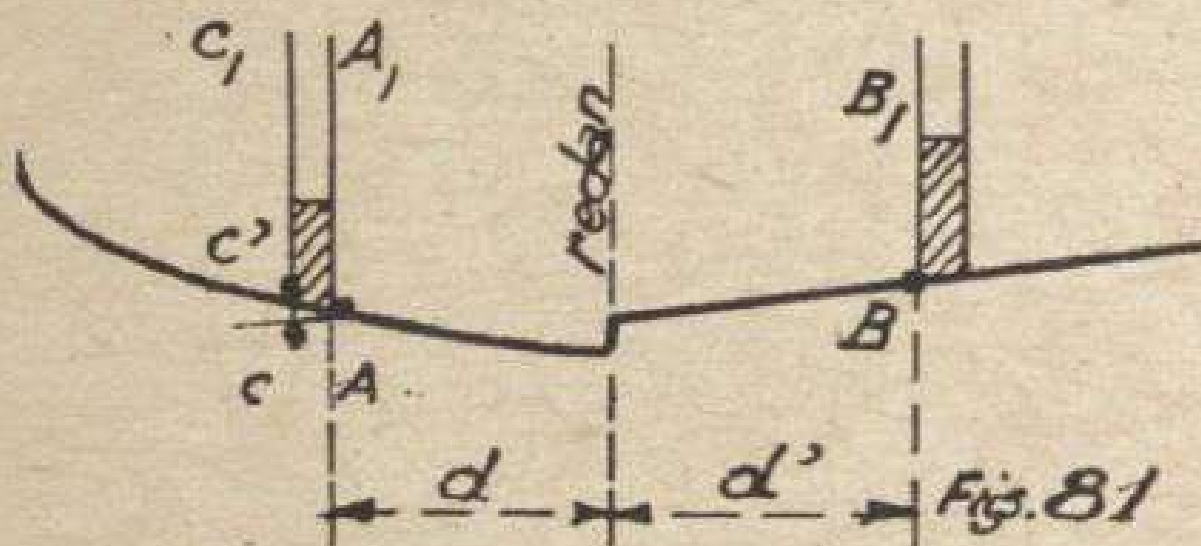


## CHAPITRE V

### RÉALISATION ET MONTAGE

**1. Plan de charpente de coque.** — Il comporte la fixation des échantillons de toutes les pièces et les plans de détail des couples, cloisons, carlingues, quilles, etc..., avec les échantillons et les assemblages (fig. 105).

On peut en déduire le devis de poids de la coque par un calcul assez long, mais sans difficulté, pouvant être fait par un dessinateur du bureau d'études. Ce devis permet de rectifier le projet s'il y a lieu, et de comparer les divers systèmes que l'on aurait pu envisager, par exemple en faisant varier les écartements de membrure, ce qui entraîne une variation concomitante des épaisseurs de fond.



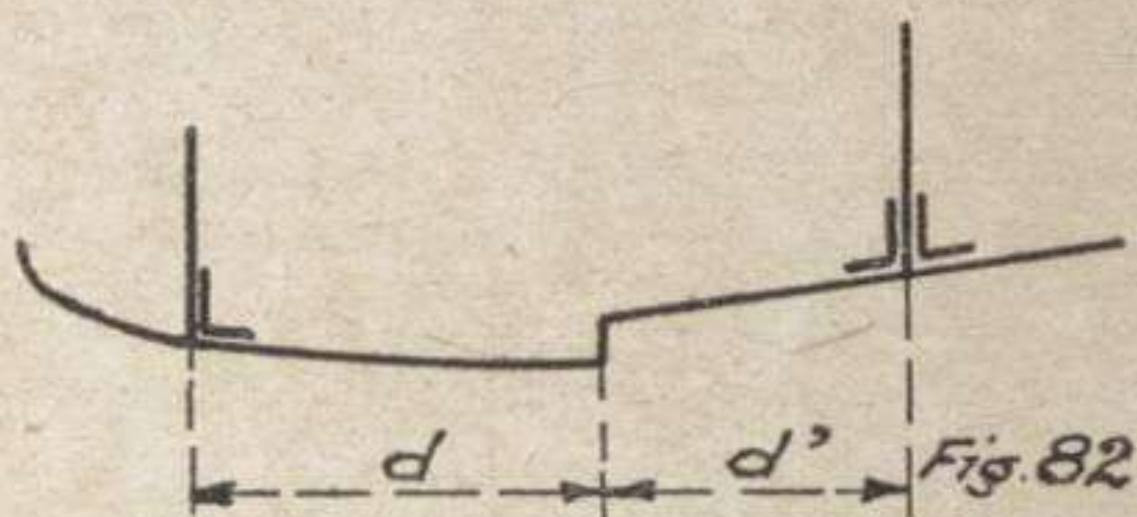
*Perpignage.* — On désigne sous ce nom le plan de repérage à partir duquel on cote la distance de chaque couple ou de chaque cloison. Ce plan doit être pris *sur l'arrière des couples en avant du redan* (AA<sub>1</sub>) et *sur l'avant des couples en arrière du redan* (BB<sub>1</sub>) pour les appareils en bois.

En effet (fig. 81), comme c'est dans ce plan que sont données les dimensions du couple qui servent à son débit, on aura le bois nécessaire à l'équerrage du couple, c'est-à-dire de sa mise à la pente AC' nécessitée par les formes de coque, en enlevant au rabot le prisme ACC.

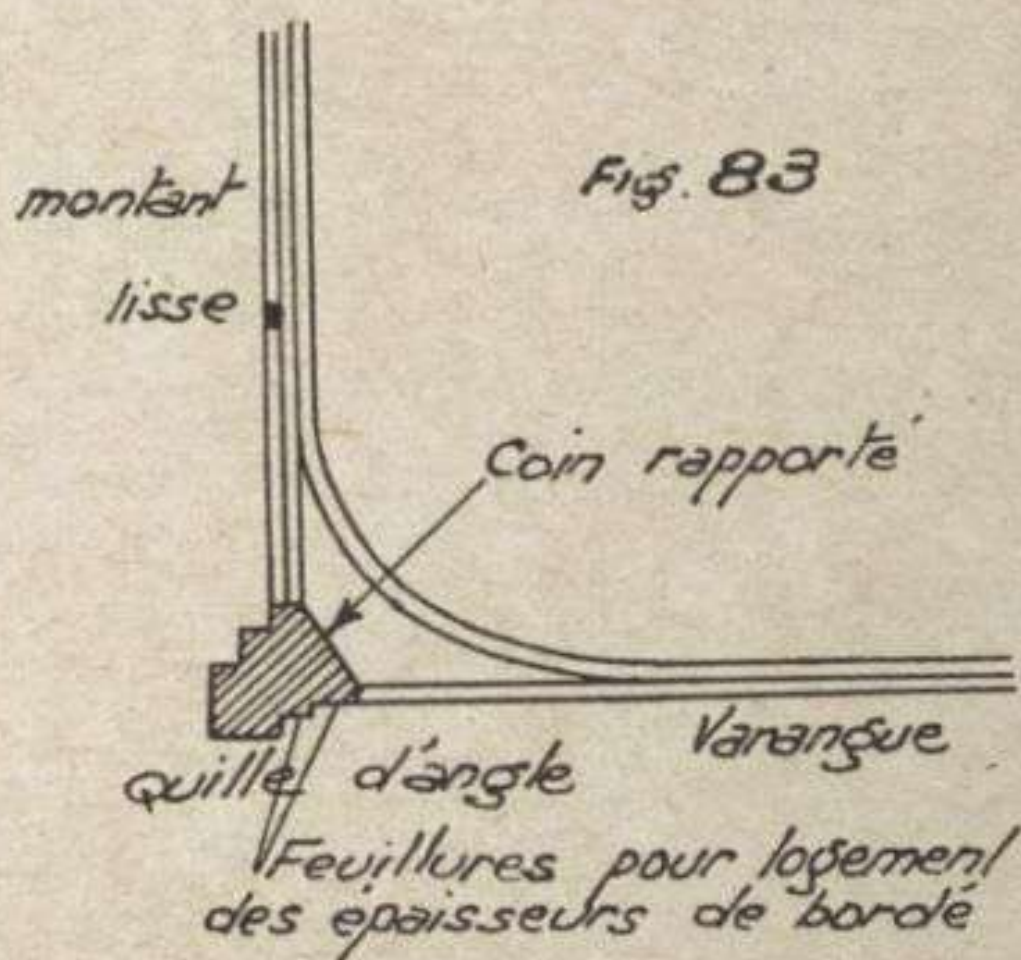
Si au contraire le perpignage était donné dans le plan

CC', il manquerait du bois pour donner l'équerrage C'A, car le couple serait débité suivant la ligne C'.

Cette considération justifie la règle donnée plus haut pour les formes usuelles de coque. Elle ne doit pas être perdue de vue dans le cas de formes spéciales où il pourrait y avoir lieu d'inverser la règle afin d'être sûr de trouver toujours la matière nécessaire à un équerrage convenable, sans être forcé de rajouter des *flipeaux*, lattes de bois à section triangulaire, ce qui ne saurait constituer qu'un sauvetage très défectueux.



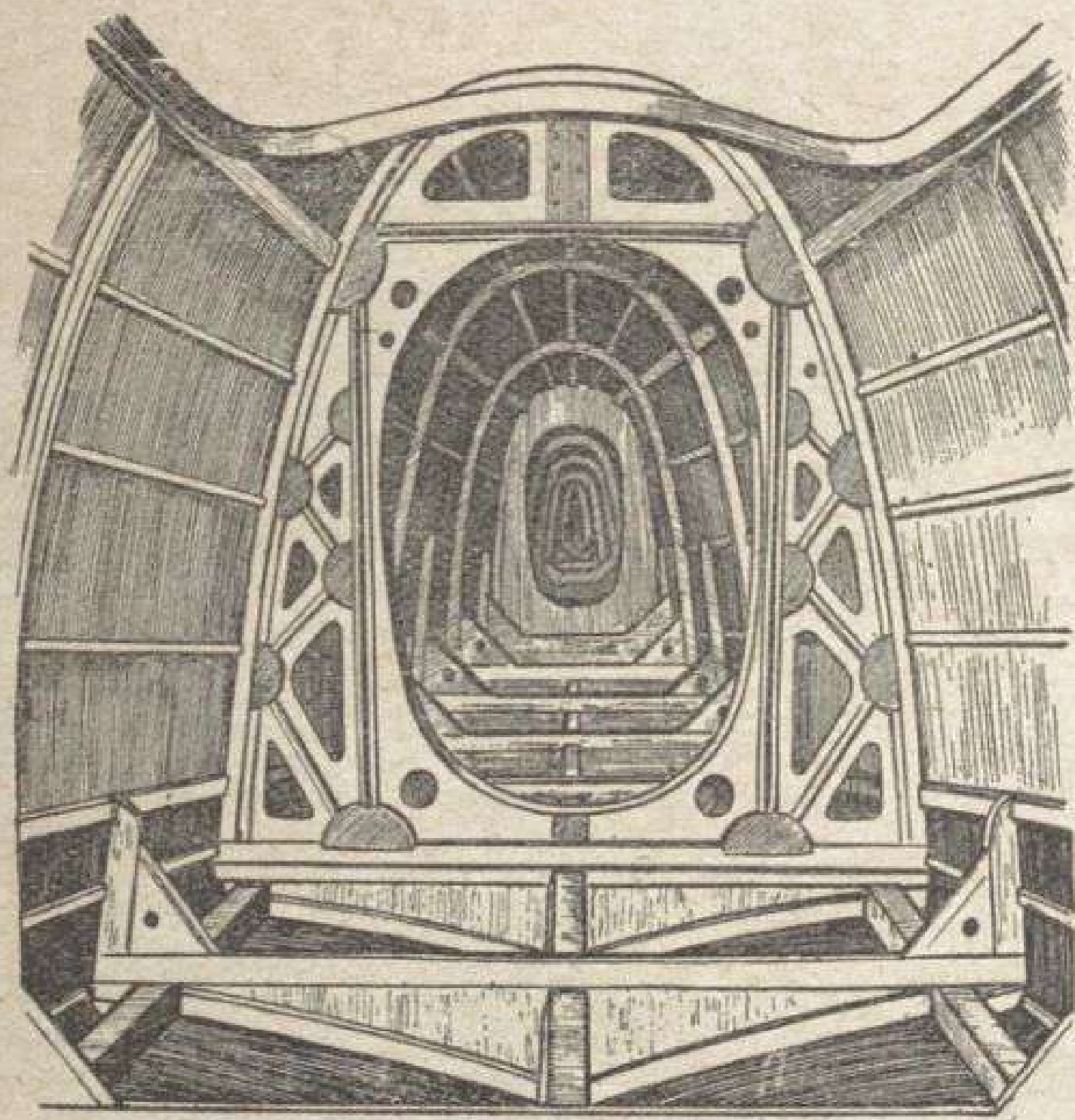
Pour les appareils métalliques, le perpignage sera pris (fig. 82) sur les éléments verticaux des profils, de manière à permettre de donner ensuite l'équerrage à l'élément parallèle au fond. Ceci peut conduire à une règle inverse de celle du bois.



**2. Construction en bois.** — C'est la plus ancienne, celle qui exige le moins d'outillage et permet le plus faci-

lement les modifications et réparations. On lui reproche de s'alourdir en service.

a) *Bordés*. — Seul le contreplaqué de bouleau convient aux parties immergées. Le contreplaqué peuplier, léger, sert aux superstructures (fig. 84). On emploie également le double ou triple bordage à fils croisés de planches minces de bois durs (cédrat, acajou, teck) avec toile collée intercalée et rivetage très serré de cuivre, qui est supérieur au contreplaqué; mais très ouvrageux. Il est le seul possible aux endroits non développables.



[ FIG. 84. — Denhaut-France-Aviation : Vue perspective de la coque depuis le poste mitrailleur vers l'arrière. (Cliché « L'Aéronautique ».)

b) Les *membrures* sont généralement en frêne résistant (1.200 kg. en traction) et se cintrant bien, mais assez lourd ( $d = 0,7$  à  $0,8$ ). Il est dur et permet de bons clouages.

Les superstructures sont en spruce et peuplier, souvent en lamelles collées.

Les assemblages se font par des goussets métalliques rivés, des mouchoirs en contreplaqué collés et cloués (fig. 84) ou par lamelles continues cintrées avec coin rapporté (fig. 83).

c) *Carlingues*. — Les quilles d'angle sont des membrures de frêne, taillées en escalier pour recevoir les épaisseurs successives de bordé (fig. 83).

Les carlingues sont des poutres en **I** ou des caissons à âme ou contreplaqué ou en treillis.

d) *Cloisons*. — Elles sont constituées par une feuille de contreplaqué centrale, ou deux, entre lesquelles ou de chaque côté de laquelle sont rapportées des membrures formant un système triangulé qui encasse les efforts (fig. 85).

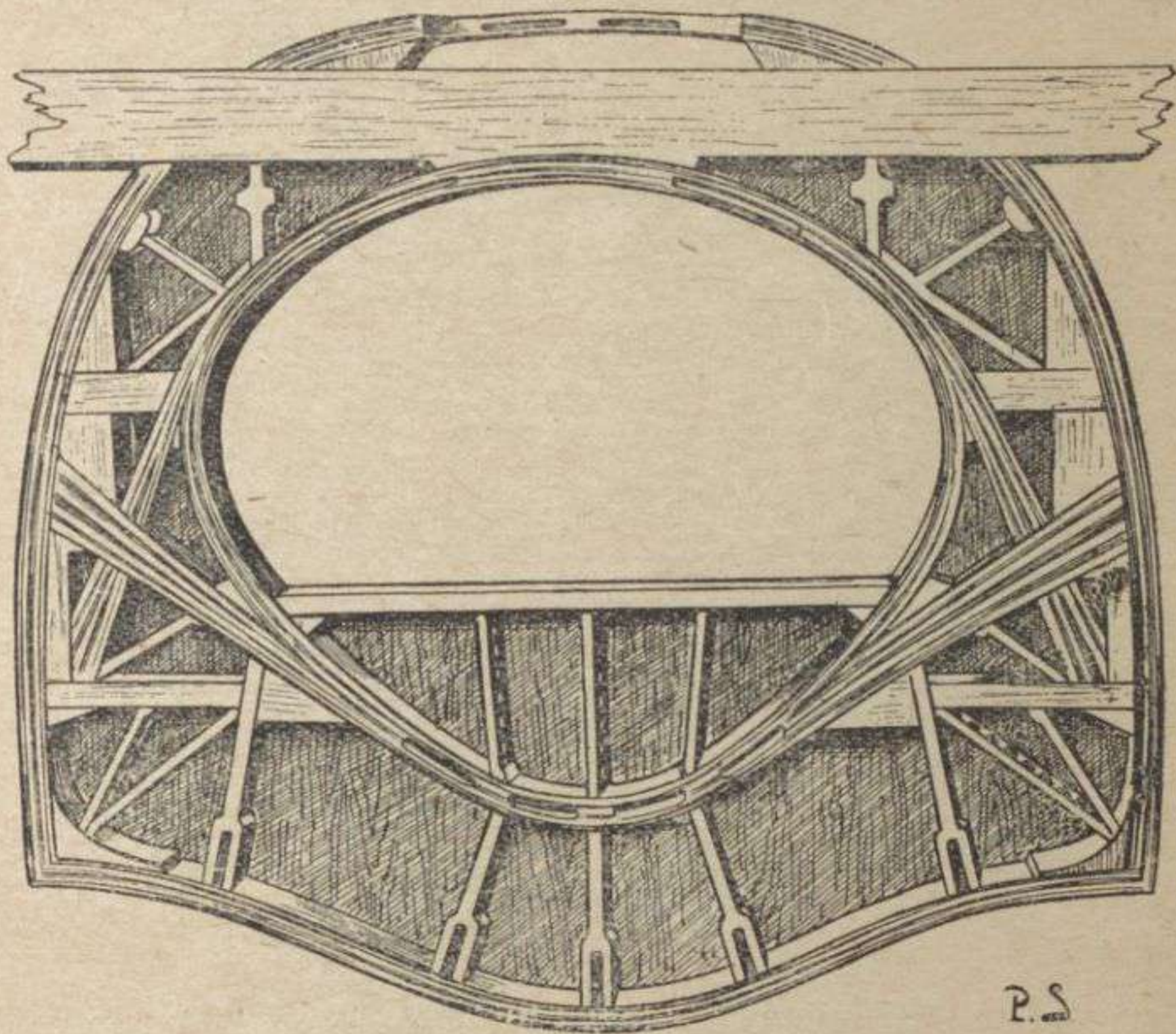


FIG. 85. — C. A. M. S. 37. Cloison principale de coque, contenant le longeron d'aile, les attaches de contre-fiches et du train d'atterrissage, le contreplaqué du dessus étant supposé enlevé.

(Cliché « L'Aéronautique ».)



La réalisation du redan est un problème délicat, pour assurer la continuité des carlingues AV et AR qui doivent s'interpénétrer et être solidement reliées.

Sur les cloisons principales sont rapportées les ferrures de réunion à la voilure, reliées parfois entre elles par des bandes de tôle à haute résistance.

e) *Construction des flotteurs.* — Elle est analogue, mais simplifiée. Comme ils sont plats et n'auraient pas l'inertie propre suffisante pour ne pas se déformer, on les cloisonne longitudinalement dans leur axe par une feuille de contreplaqué raidie par des montants, ou par une triangulation en tubes reliant les cloisons (fig. 86).

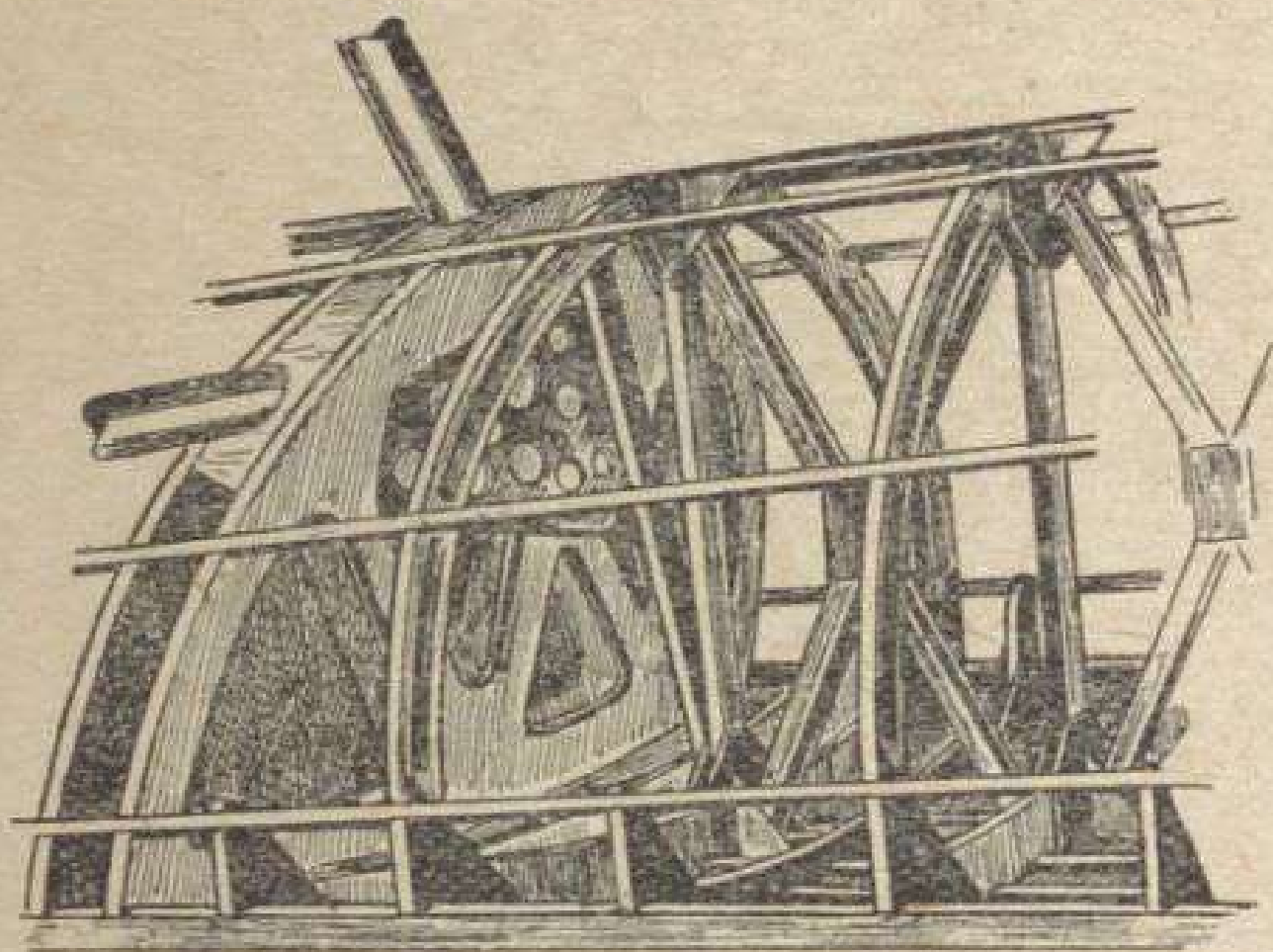


FIG. 86.

Villiers 4 bis : Cloison principale et structure du flotteur.  
(Cliché « L'Aéronautique ».)

f) *Revêtements.* — Après un masticage soigné, les coques sont enduite de plusieurs couches de peintures hydrofuges. Les surfaces intérieures sont peintes ou vernies.

**3. Construction en métal.** — Elle est beaucoup plus chère et nécessite une protection très soignée que l'on réalise :

a) Par des vernis et peintures d'emploi délicat nécessitant beaucoup d'entretien;

b) Par attaque chimique superficielle (électrolyse — parkérisation — cadmiage);

c) Par emploi de métaux inoxydables (alclad, aciers spéciaux) dont la technique est très récente.  
Pour ne pas trop développer le travail de main-d'œuvre

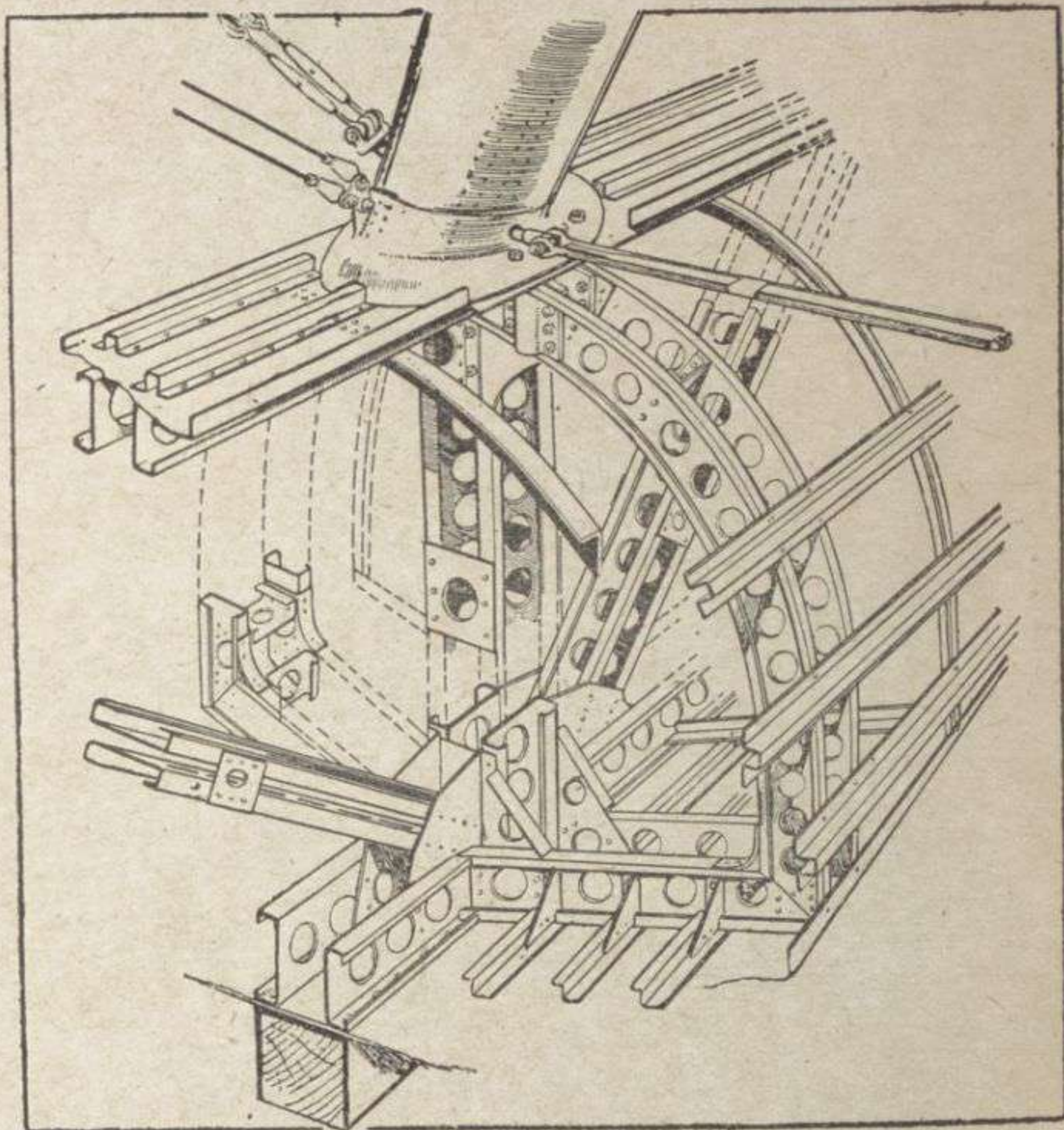


FIG. 87. — Bréguet XIX : Cloison principale du flotteur.  
Poutre longitudinale axiale et raidisseurs de bordé.  
(Cliché « Le Document Aéronautique ».)

(chaudronnage), il faut soigner les formes développables et réaliser des cylindres ou des cônes juxtaposés, ce qui conduit à des formes souvent difficilement conciliables avec un bon rendement aérodynamique ou hydrodynamique.

Solution Dornier : arcs de cercle et amortissement en

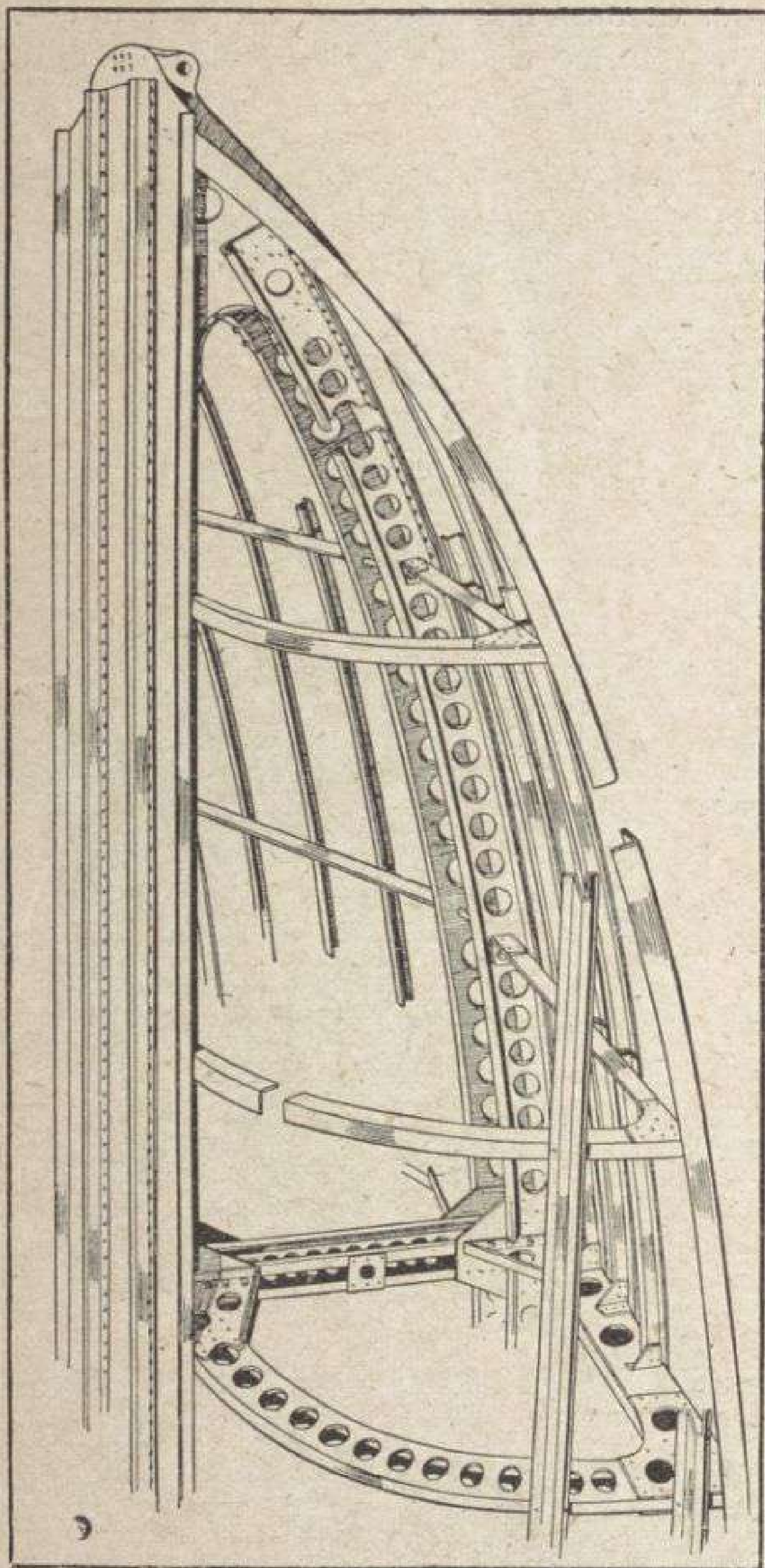


FIG. 88. — Bréguet XIX. Avant du flotteur.  
(Cliché : « Le Document Aéronautique ».)

escalier (fig. 12). Les nécessités du rivetage conduisent à l'emploi de profilés, en  $\text{—} \lfloor \text{I} \lfloor \text{J} \rfloor \text{—}$  qui doivent être visitables, donc placés de manière à n'être pas fermés.

Les principes de construction sont ceux de la construction en bois combinée avec les problèmes de charpente métallique (fig. 87, 88, 89, 90).

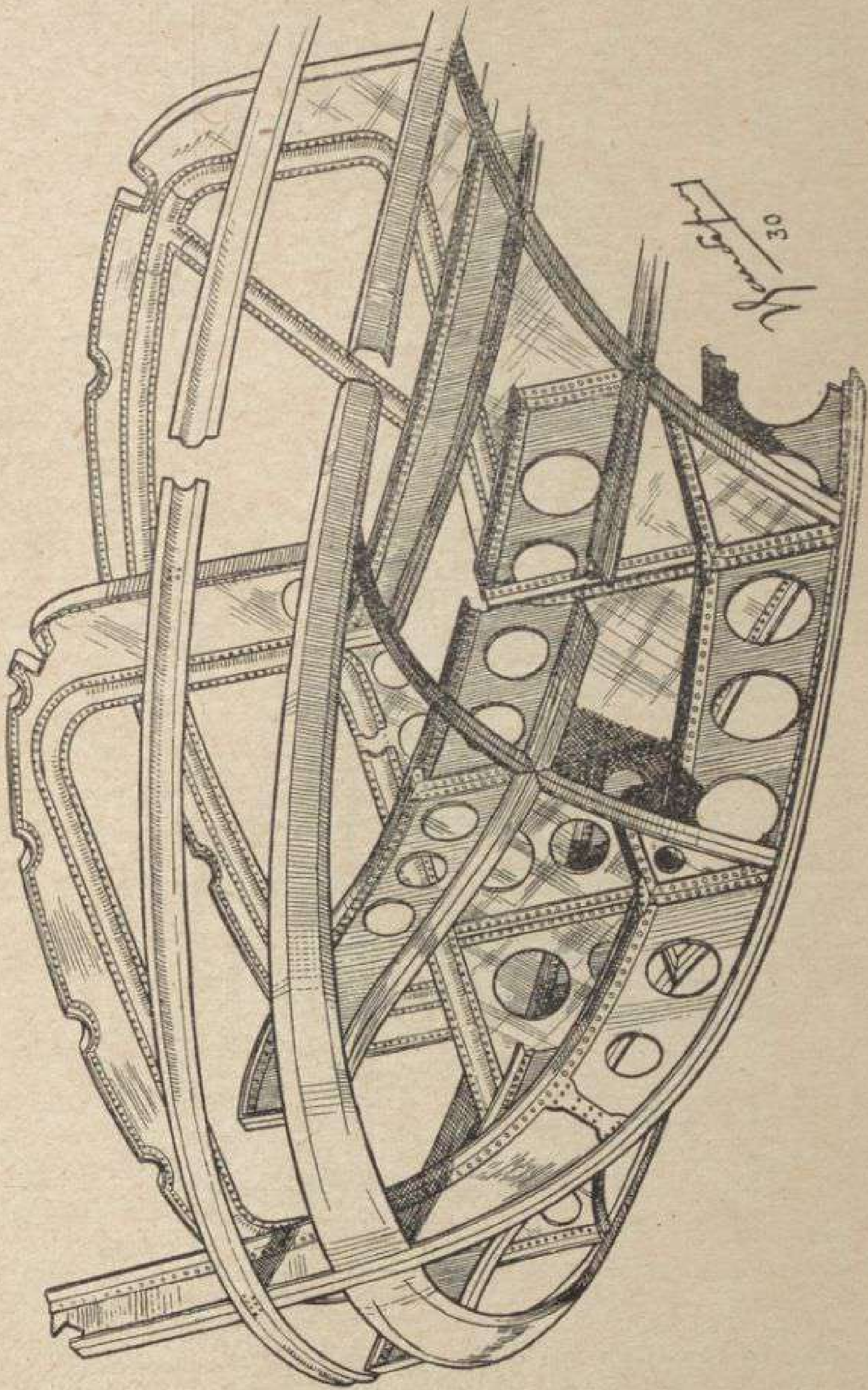


FIG. 89. — Latécoère 38. — Structure avant de la coque, quille centrale, se recourbant vers l'avant pour former l'étrave et quilles latérales, quille d'angle en profilé, profilés latéraux transformés en profil fermé par le revêtement. (Cliché « L' Aéronautique ».)

On doit en outre éviter les flambages locaux de la tôle mince par des raidisseurs ou des emboutis.

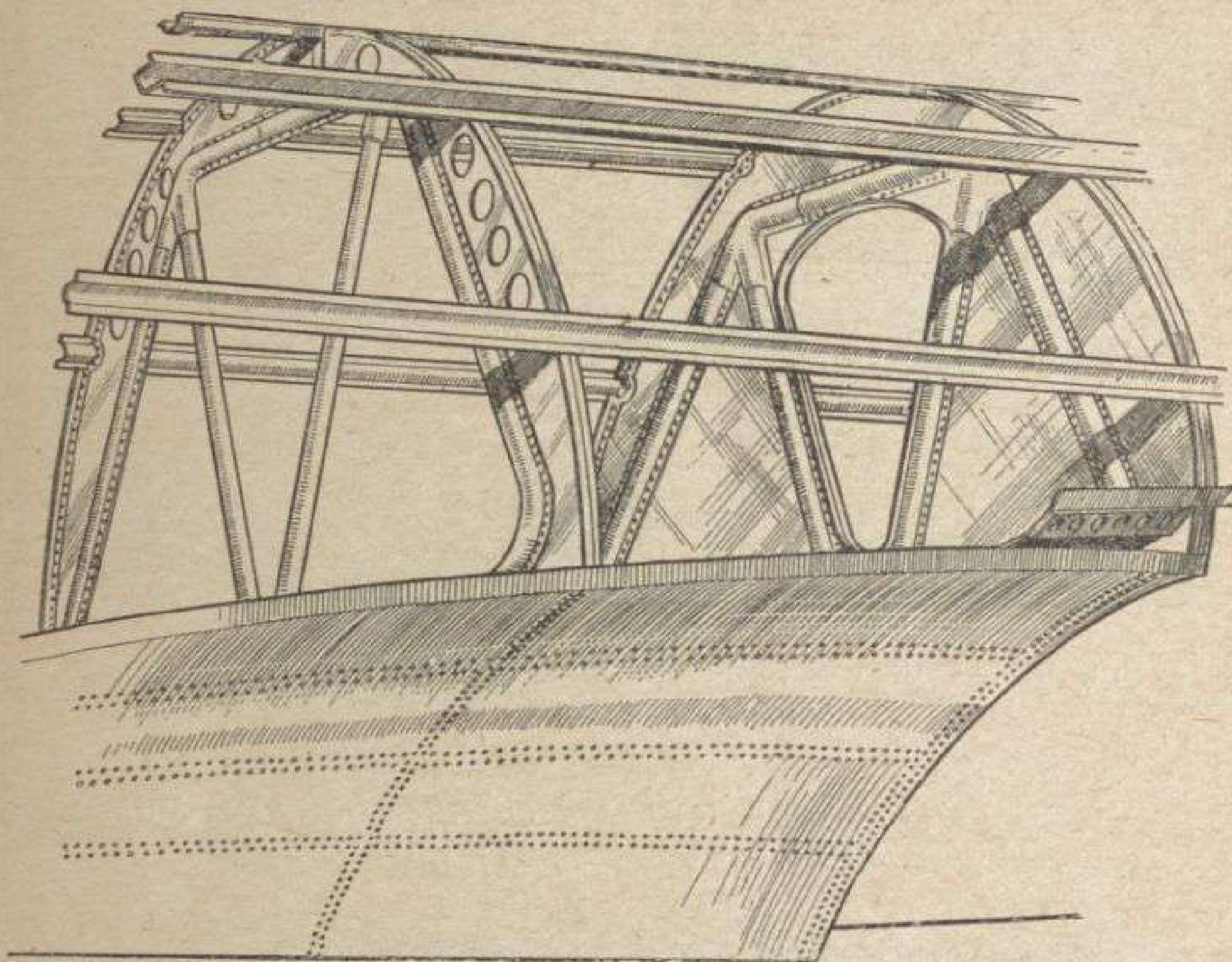


FIG. 90. — Latécoère 38. — Structure à hauteur du deuxième redan. Couple de gauche ajouré et triangulé par des contre-fiches tubulaires. Le couple de droite, destiné à former cloison étanche reçoit une porte dans son ouverture triangulaire; il est raidi par des profilés en coquille rivés de part et d'autre de son âme. (Cliché « L'Aéronautique ».)

Jusqu'ici, le duralumin est le métal presque exclusivement employé.

Mais les dimensions en étude permettront bientôt l'emploi de l'acier.

**3. Usinage des coques.** — Il comporte les opérations suivantes :

a) *Tracé à la salle* du plan des formes et relevé des gabarits;

b) *Construction des éléments sur gabarits de cintrage et tables de montage.*

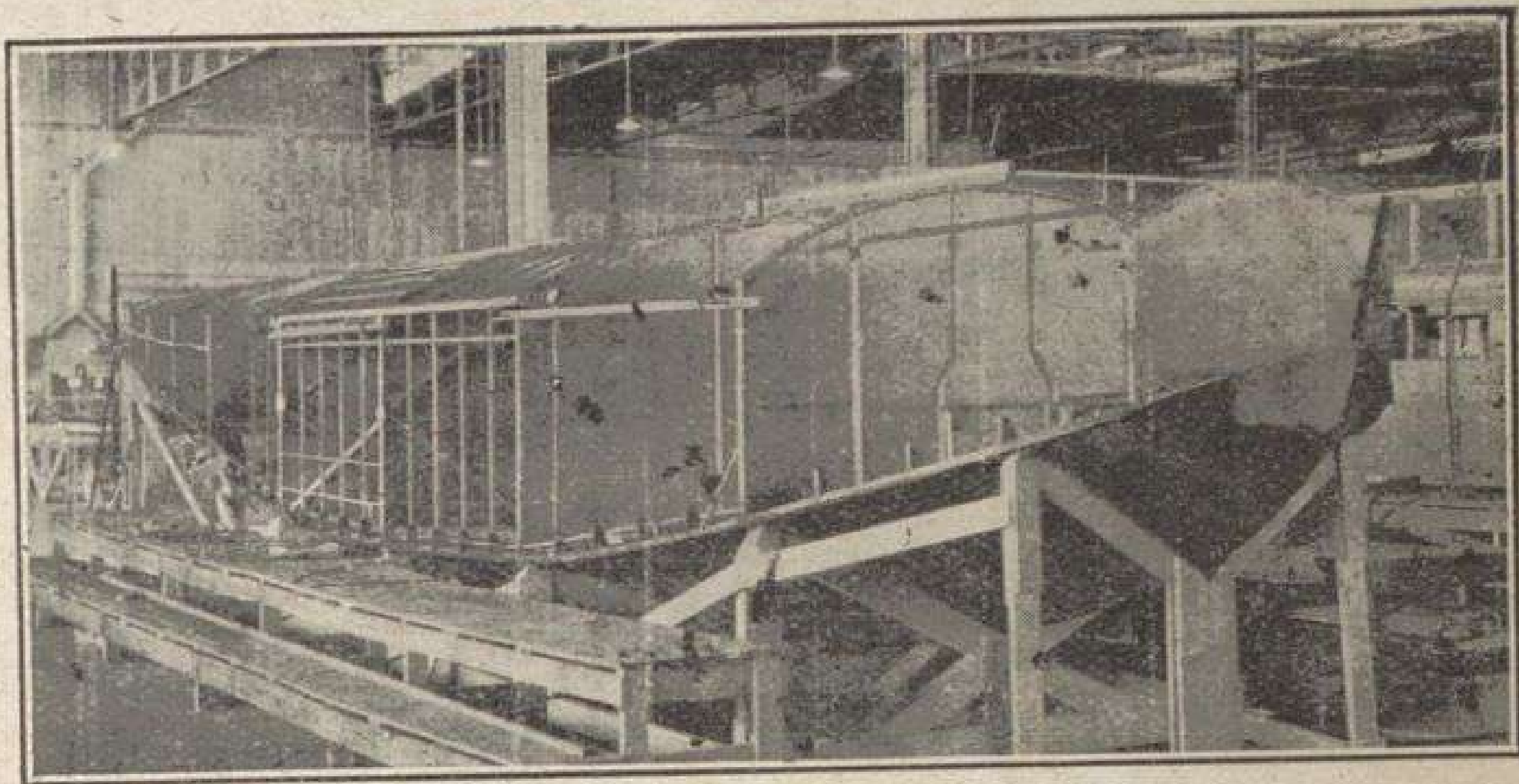


FIG. 91. — Le « Commodore » en montage sur son chantier.  
(Cliché « L'Aéronautique ».)

c) *Montage des couples sur le chantier qui reproduit le squelette du fond de coque (fig. 91), puis lissage.*

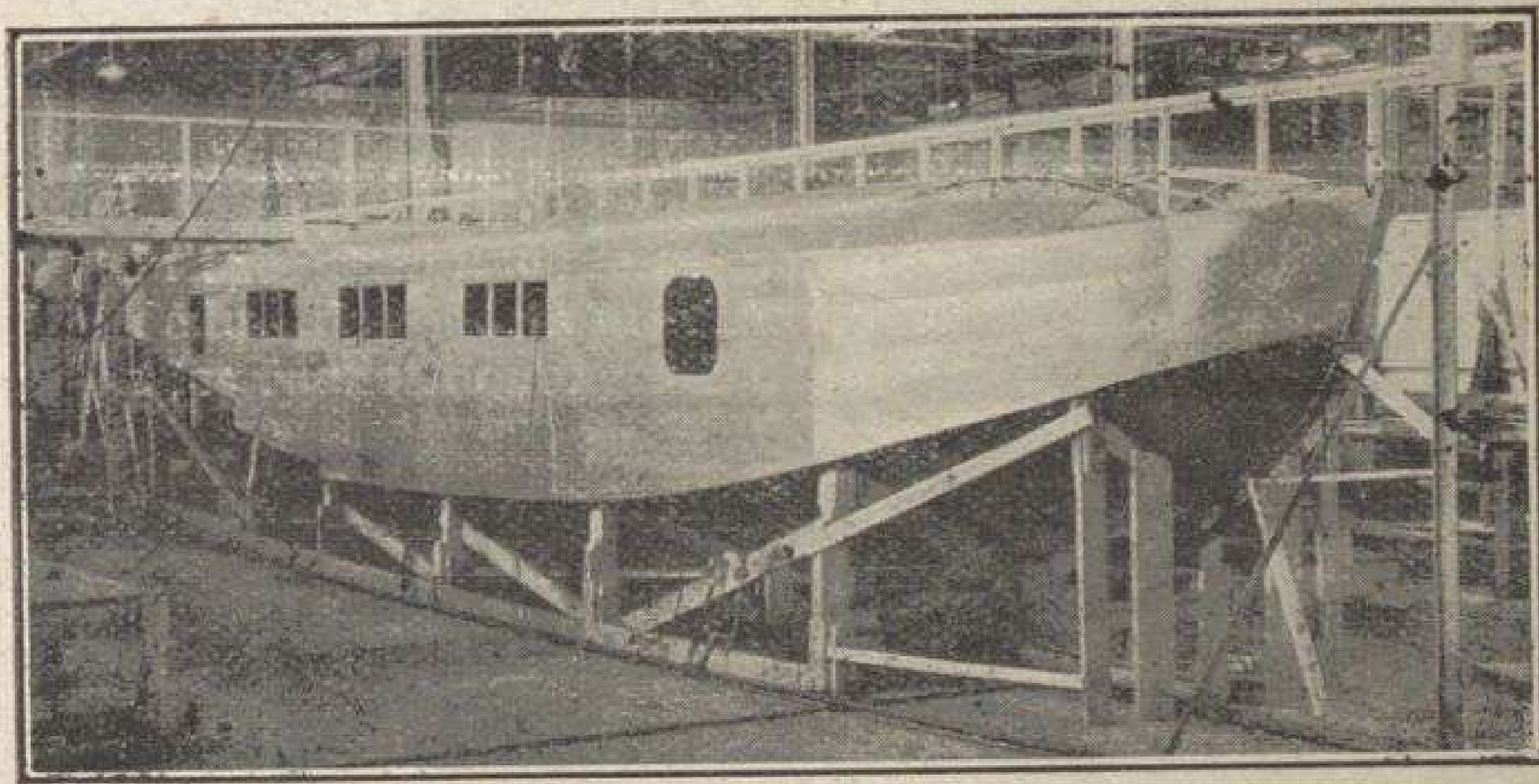


FIG. 92. — Le « Commodore » après bordage.  
(Cliché « L'Aéronautique ».)

d) *Bordé du pont et des flancs* (fig. 92) puis, après retournement de la coque, *de fond*.

e) *Aménagement*.

f) On monte parfois à *l'envers* ce qui permet de border le fond sans démouler la coque du chantier qui se trouve très simplifié, le pont étant souvent droit, au lieu que le fond a des courbures ou angles en long et en travers.

APPENDICE  
**BALLONNETS**

**1. Formes.** — Ils doivent permettre une légère poussée hydrodynamique pour ne pas s'engager trop profondément (cheval de bois), être assez amortis pour ne pas causer de chocs trop violents, être peu résistants aérodynamiquement et ne pas risquer de s'engager par fort clapotis.

On les munit parfois de palettes (fig. 93).

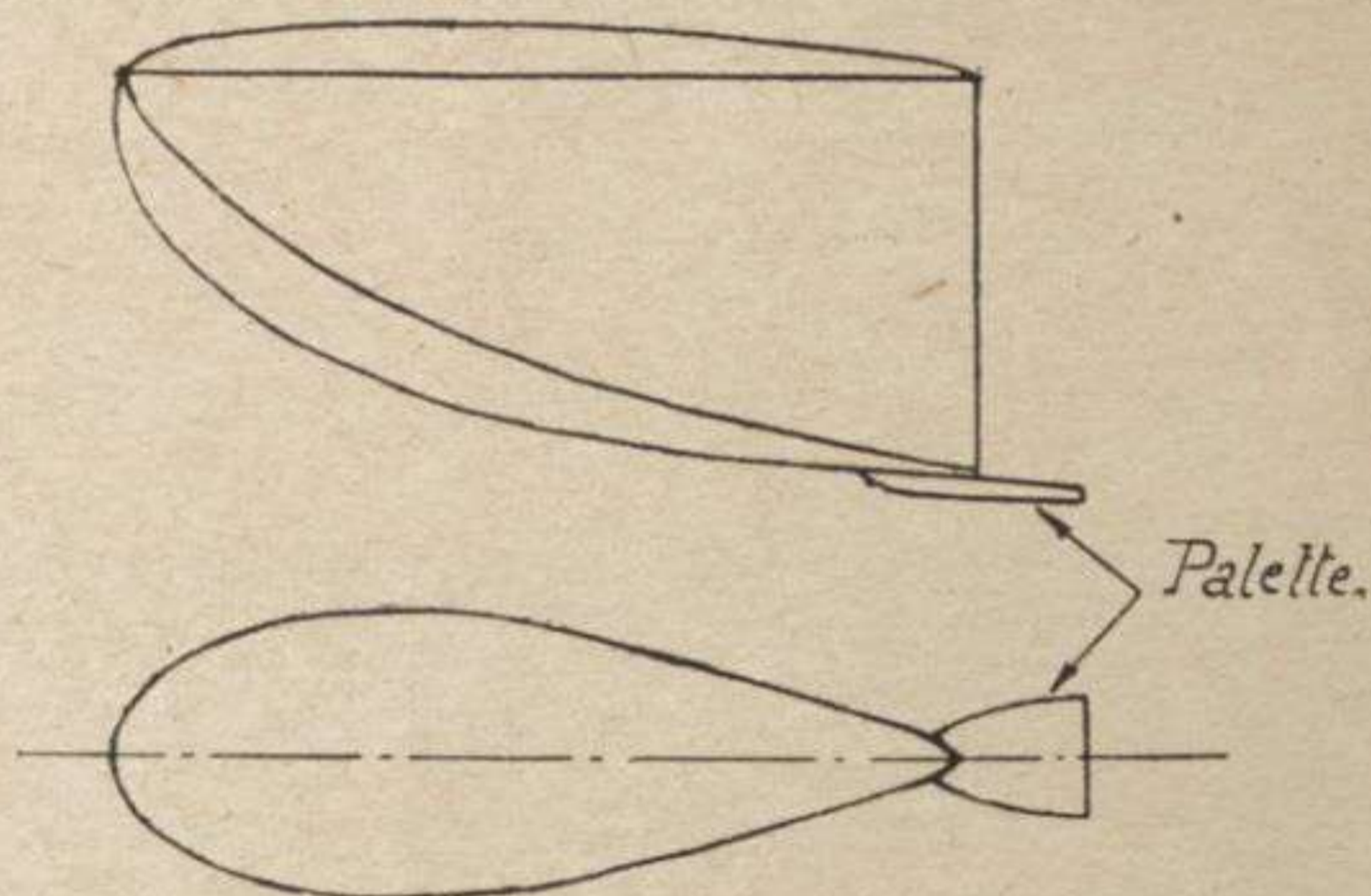


FIG. 93.

Leur forme varie beaucoup suivant les constructeurs, et leurs dimensions nécessitent des mises au point, mais leur prix de revient est faible.

**2. Dimensions.** — A titre de première approximation, on peut leur donner un volume tel que le moment redresseur en kilogrammètres du ballonnet complètement immergé soit égal à 0,5 ou 0,6 fois le poids de l'appareil en kilogrammes.



**3. Construction.** — Leur construction et leur montage sont analogues à celui des coques, mais très simplifiés.

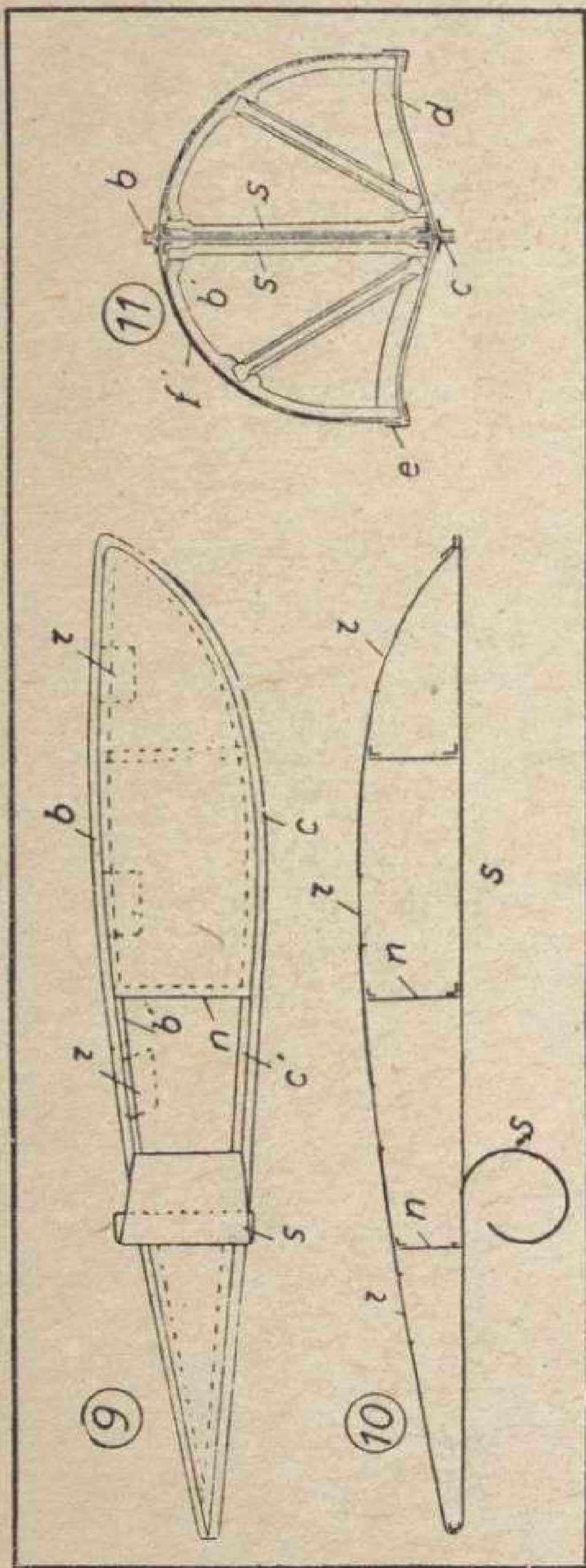


FIG. 94. — Ballonnet Rohrbach.  
(Cliché « Le Document Aéronautique ».)

Le ballonnet se compose généralement pour le fond de deux quilles d'angle et d'une quille centrale, pour le pont de trois lisses portant les feuillures convenables pour recevoir le contreplaqué qui est généralement en une seule épaisseur.

Son ossature se compose de couples très simplifiés et de deux cloisons étanches à l'aplomb de l'attache des mâts qui le relie à la cellule.

On le monte sur un petit chantier placé sur tréteaux.

Les ballonnets métalliques peuvent être constitués en coquilles embouties même sans armature intérieure. Leur rivetage, surtout aux extrémités, est assez compliqué faute de place et nécessite des ouvertures judicieusement placées que l'on bouche ensuite, ou auxquelles on adapte une porte de visite.

Le problème se complique dans le cas de ballonnets assez gros, par exemple pour les types Rohrbach où les ballonnets très rapprochés de la coque ont de gros efforts à subir.

Leur taille n'est cependant pas assez forte pour qu'on puisse aller travailler à l'intérieur comme dans le cas d'une coque.

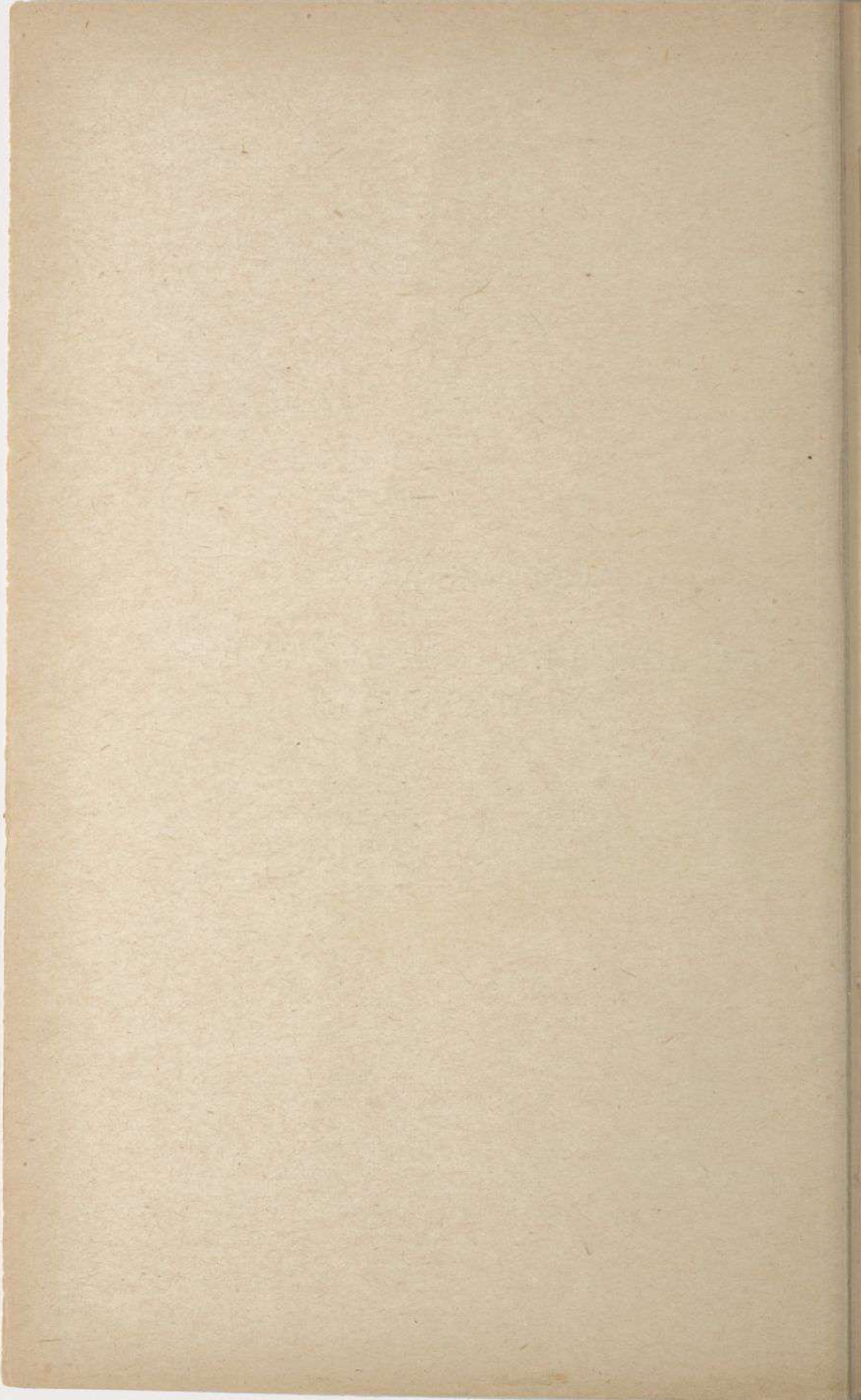
Ce travail est facilité si le ballonnet est divisé en 2 parties dans le sens de la longueur. Le revêtement porte simplement un bord relevé qui sert à obtenir la réunion des deux moitiés par rivetage extérieur (fig. 94).

On peut réaliser selon ce principe des flotteurs pour petits appareils.



CINQUIÈME PARTIE

**AMÉNAGEMENTS & PARTICULARITÉS  
DES HYDRAVIONS**



## CHAPITRE PREMIER

### AMÉNAGEMENTS SPÉCIAUX AUX HYDRAVIONS

Nous ne ferons allusion qu'aux problèmes spéciaux conduisant à des solutions différentes de celles de l'avion.

**1. Cellule.** — Il y a lieu de la protéger tout spécialement, comme tout le reste de l'appareil d'ailleurs, contre l'action de l'humidité. Toutes les pièces constitutives en bois seront vernies intérieurement et extérieurement, les pièces métalliques recevront une couche de minium et une de peinture, ou une protection à base métallique (au pistolet Schoop par exemple).

En outre, les plans inférieurs recevront très fréquemment une tôle ou un contreplaqué sous l'aile, au voisinage de la coque, ainsi que des œillets dans l'entoilage vers le bord de fuite pour évacuer l'eau qui aurait pu rentrer (par les portes de visite par exemple).

Le plan central qui est généralement dans le souffle de l'hélice aura un lardage renforcé. On doit aussi prévoir qu'on peut marcher dessus pendant la manœuvre de hissage et le renforcer en conséquence.

Il faut également prévoir des marchepieds de montée.

Il y a lieu de calculer très soigneusement les efforts d'amerrissage, de hissage, et les efforts dus aux ballonnets.

**2. Installation moteur.** — Les moteurs étant généralement fixés dans une cabane composée de tubes nombreux, leur capotage sera compliqué et nécessitera de nombreuses pièces.

Les commandes de gaz, d'essence, d'huile suivent des trajets compliqués dans la coque, puis le long des jambes de chevalet moteur nécessitant de nombreux renvois, les

canalisations d'essence quand les réservoirs sont dans la coque sont longues, avec de nombreux coudes qui nécessitent des pompes d'alimentation plus fortes et des raccords qui sont des risques de fuite.

Les circuits d'allumage devront être à très fort isolement à cause de l'humidité ambiante et des projections d'eau.

L'échappement devra être particulièrement soigné pour empêcher les gaz brûlés de détériorer le plan supérieur.

Le démarrage devra obligatoirement être assuré sans virage de l'hélice. Les petits moteurs peuvent être virés avec une manivelle et munis d'un dispositif d'injection d'essence. Pour les gros moteurs et les multimoteurs, il faut toujours un démarreur de carlingue permettant plusieurs lancements. Ce démarreur peut être un moteur auxiliaire (Bristol par exemple) qui sert en même temps à la T. S. F. amerie.

**3. Commandes de vol.** — Les efforts sur l'empennage étant assez considérables, la commande est presque toujours réalisée par une commande à volant et la double commande est indispensable pour les gros appareils. Les trajets de câbles sont compliqués par suite de la forme gauche des coques, de la nécessité d'éviter les membrures et de la position surélevée de l'empennage horizontal par rapport à la coque.

Les empennages ont des dimensions plus fortes que sur les appareils terrestres. Ils doivent être dégagés très au-dessus de l'eau et le gouvernail de direction ne doit pas gêner les manœuvres d'échouage.

**4. Coque.** — Le nombre d'ouvertures doit être réduit au minimum et des panneaux de fermeture assez étanches seront prévus partout où l'on peut. La conduite intérieure est très souhaitable car entre autres avantages elle évite que les pilotes ne soient incommodés par les embruns. Il faut cependant que les sorties de secours soient grandes et accessibles, et s'ouvrent facilement de l'extérieur comme de l'intérieur de manière que les occupants ne puissent rester prisonniers dans l'appareil en cas d'immersion.

La visite et l'assèchement des fonds de coque devra être

facile, ce qui nécessite des planchers démontables, la marche sur le fond étant pénible tant à cause de l'amortissement que des membrures. Des anguilliers permettent à l'eau de se rassembler vers le bas. Les flotteurs et les ballonnets seront munis de portes de visite étanches et de manœuvre rapide. Sur les gros hydravions il peut être nécessaire de prévoir des tuyautages et des pompes d'assèchement.

Une des grandes difficultés d'aménagement réside dans la difficulté de percer des trous dans les fonds de coque pour les appareils photographiques ou les appareils de navigation. On prévoit généralement des trappes d'aussi petites dimensions que possible fermées par un système à vis ou à rampe. Le vidage rapide des réservoirs d'essence nécessite des systèmes sous pression ou à siphonage.

Il y a lieu de prévoir sur le pont une plaque de blindage au droit des hélices et, principalement sur les flotteurs, des baguettes ou des ondulations pour empêcher de glisser et de tomber à l'eau.

Les appareils commerciaux pourront être munis de hublots ouvrants ou de fenêtres à coulisses, mais là encore il faut avoir des systèmes relativement étanches.

**5. Instruments de bord et aménagements.** — La navigation aérienne devant être particulièrement précise en mer, il y a lieu de soigner particulièrement l'installation des instruments de bord, notamment des compas et de prévoir des armoires à cartes avec tables et casiers.

Les hydravions comportent la T. S. F. émission et réception en vol et amerrie. Dans ce dernier cas, l'énergie est fournie, soit par accumulateurs, soit par moteur auxiliaire. L'antenne est constituée par un mât télescopique, soit pneumatique, soit en tronçons, du sommet duquel partent des brins rejoignant en parapluie les extrémités d'aile et tendus par des sandows ou des enrouleurs. En vol, cet équipement est replié et les câbles restent fixés sur les plans.

Les appareils d'éclairage et de télégraphie seront particulièrement bien protégés contre l'eau de mer.

Comme équipement de sauvetage il y a lieu de prévoir des gilets flottants, en kapok, caoutchouc mousse, ou

pneumatiques, des radeaux repliables, ou de petites embarcations pneumatiques qu'on dirige avec une légère pagaie. Le gonflage des engins pneumatiques est assuré par une pompe à main ou instantanément par une bouteille de gaz carbonique.

**6. Conclusion.** — Il résulte de toutes ces particularités que l'hydravion est toujours beaucoup plus lourd que l'avion de programme équivalent.

---

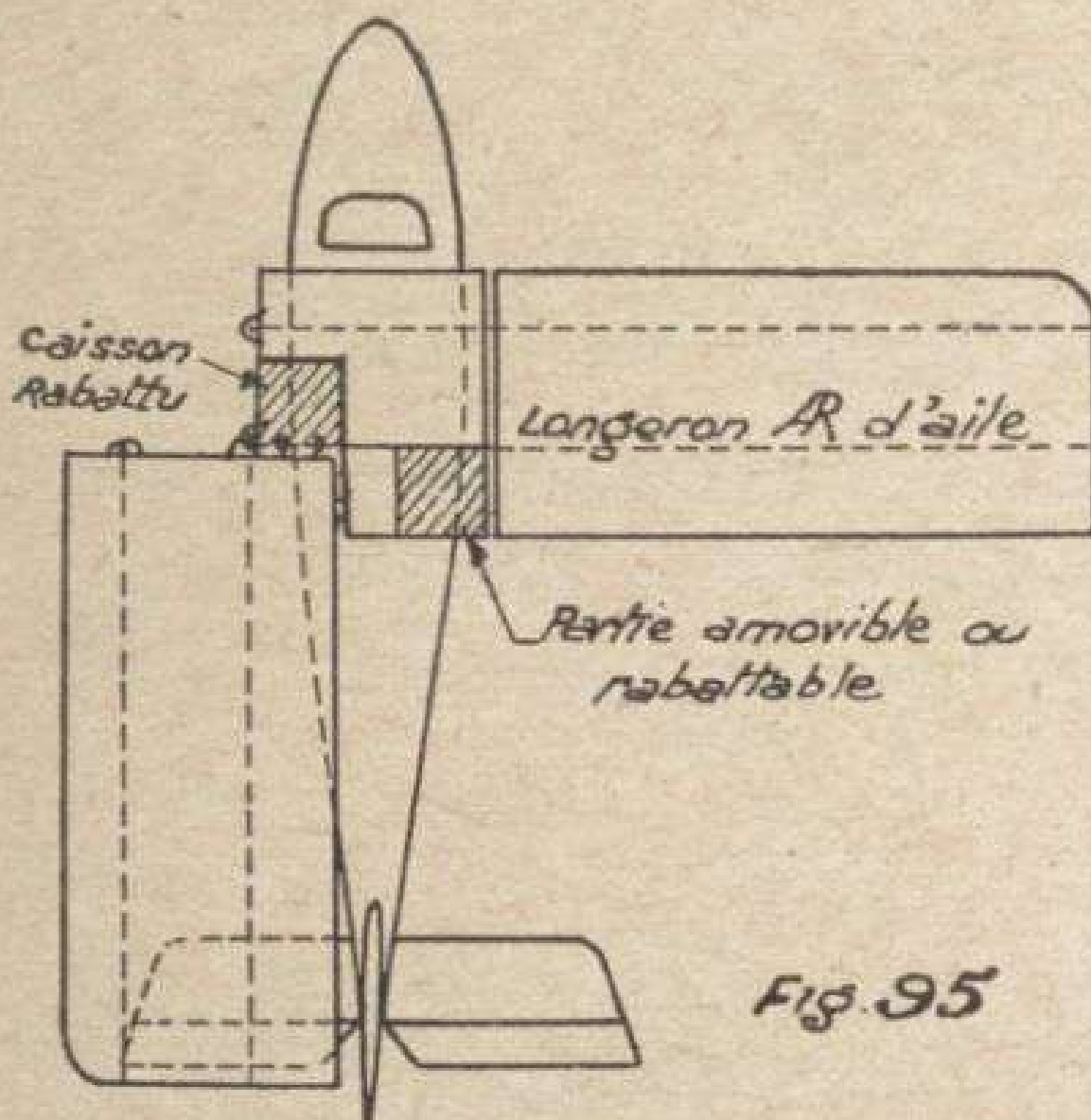
---



## CHAPITRE II

### MANŒUVRE DES HYDRAVIONS

**1. Repliage.** — Tous les hydravions militaires d'envergure supérieure à 12 mètres doivent se replier pour permettre l'embarquement sur navire. Cette manœuvre doit être rapide, ne pas nécessiter d'outillage spécial ni de démontages (commandes d'ailerons, câblage électrique, etc...) et surtout ne pas dérégler la cellule.

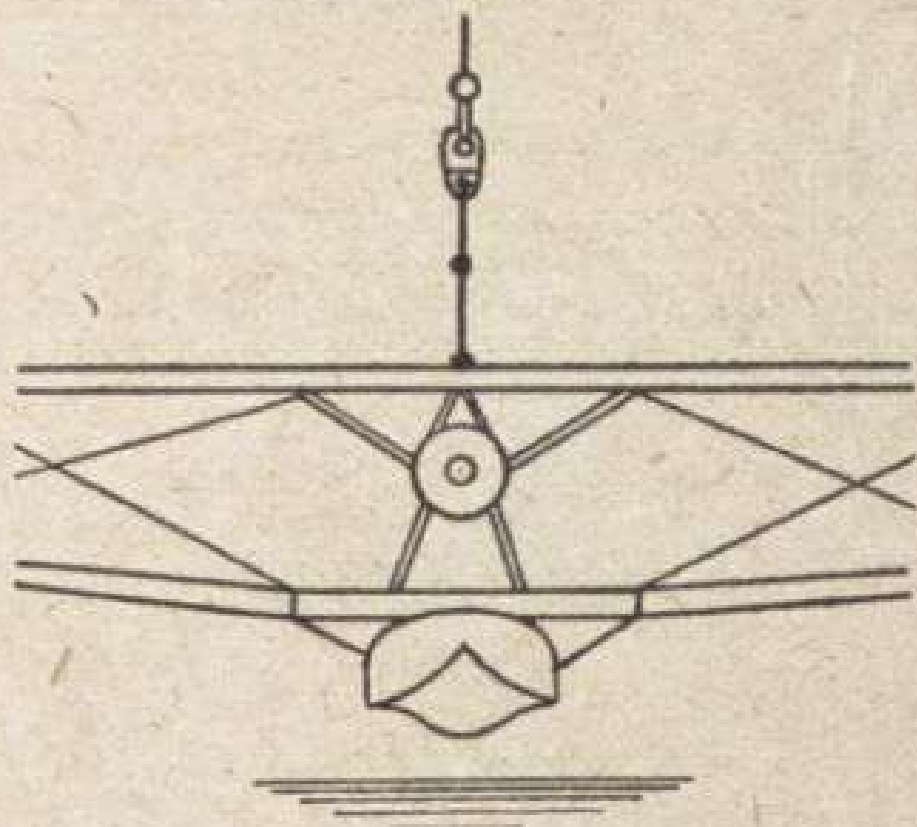
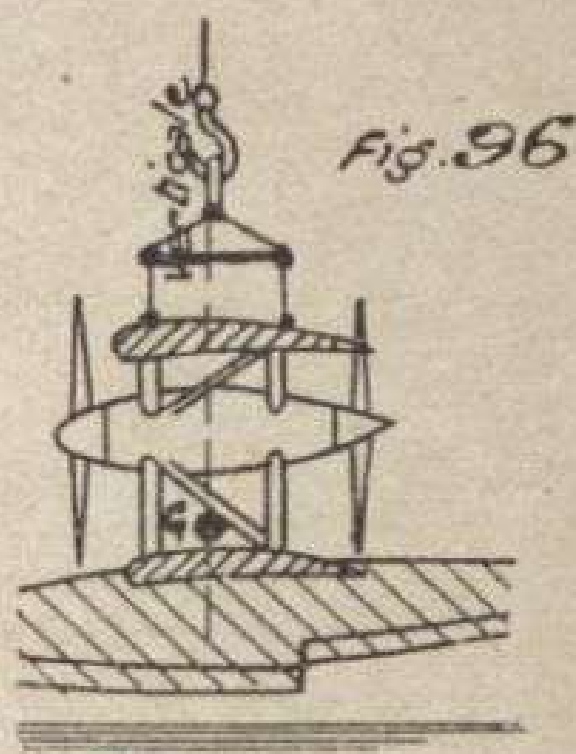
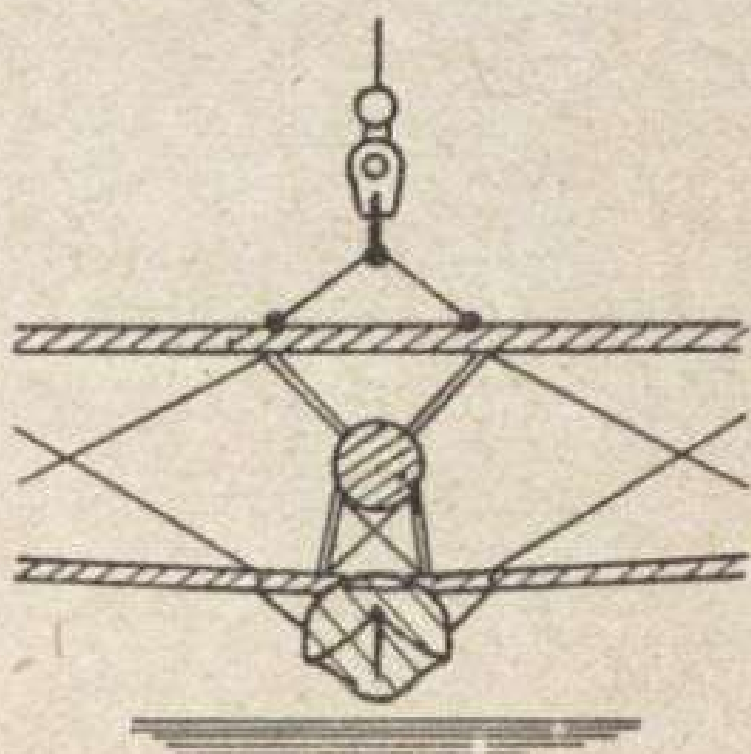


En principe, on tourne autour d'un axe vertical tenu par le longeron arrière du plan central après avoir enlevé l'axe du longeron avant (fig. 95).

On évite des échancrures dans la surface portante au moyen de caissons rabattables ou amovibles.

**2. Hissage.** — Tous les hydravions doivent pouvoir être mis à l'eau au moyen d'une grue tournante et d'un système emporté à bord, par conséquent assez léger.

On hisse en quatre points (fig. 96) ou en deux (fig. 97) correspondant à des nœuds de cellule au moyen de pattes d'oie appropriées. Toutes les masses de l'appareil sont supposées multipliées par le coefficient 5. Le système de hissage et les mâts de cellule intéressés seront calculés en conséquence.

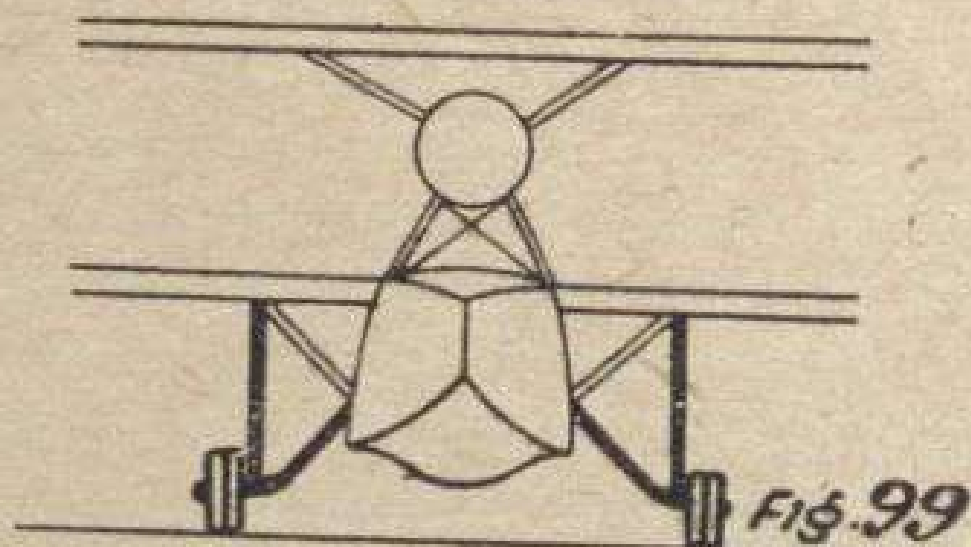
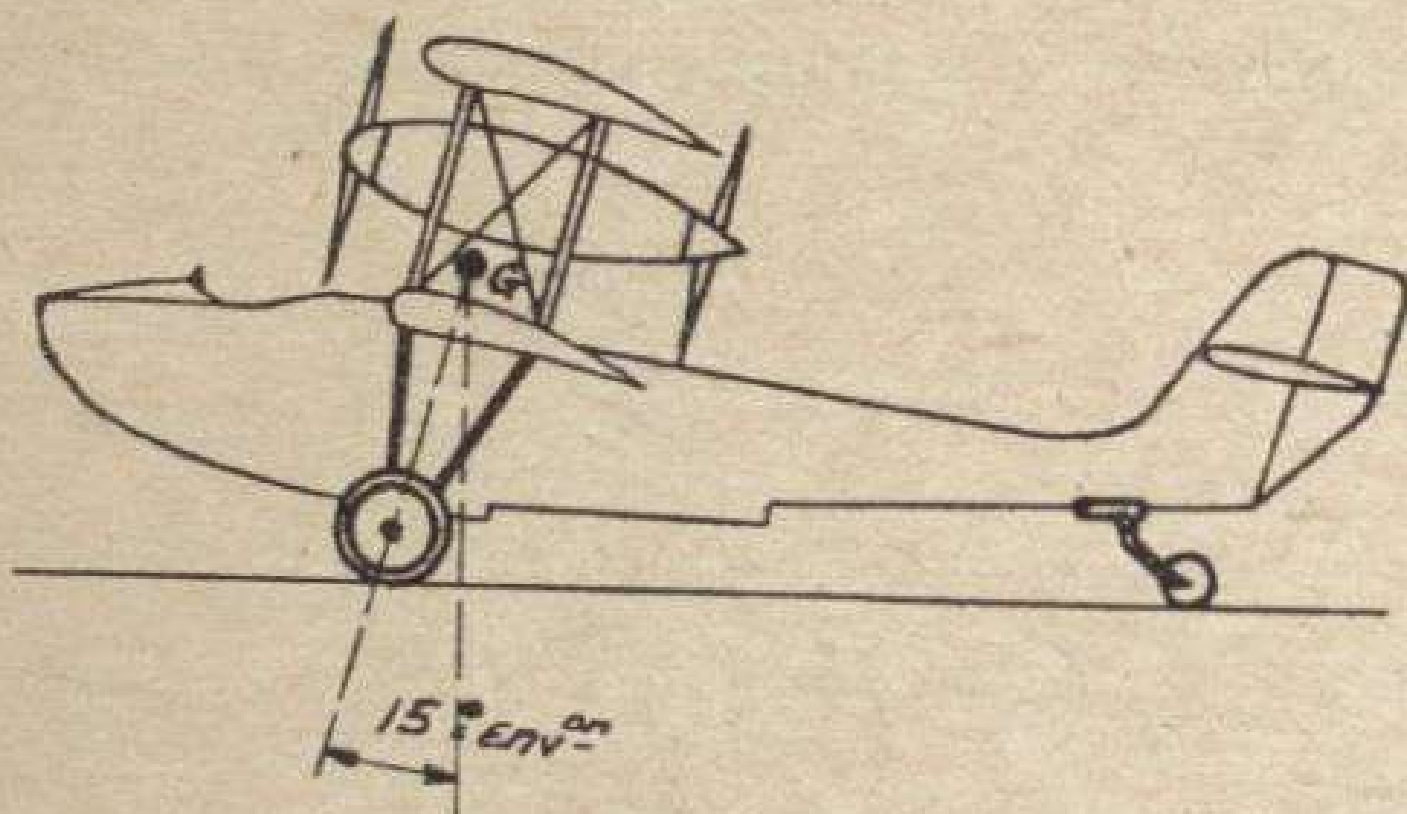
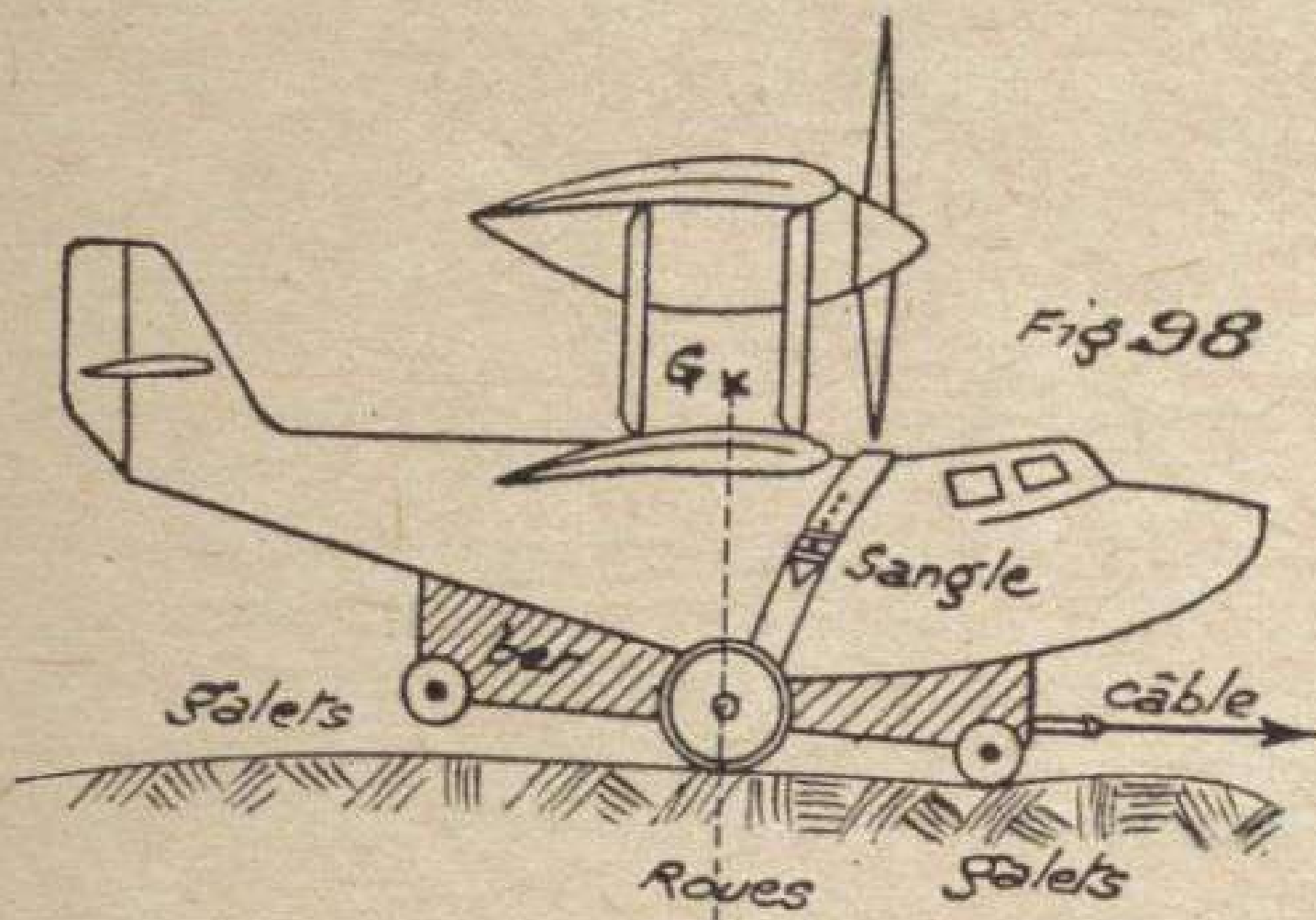


La boucle de hissage doit passer par la verticale du centre de gravité pour que la manœuvre ne produise pas de changements d'assiette.

On a également réalisé le hissage en *un seul point*, avec un pylône de haubans rigides et une boucle tenue à demeure dans le plan central des biplans.

**3. Manœuvre au sol.** — *a)* Quand on ne dispose pas d'une grue, on met l'appareil à l'eau au moyen d'un plan incliné appelé *slip* sur lequel l'appareil glisse porté sur un *chariot*. Dès que l'appareil flotte, on détache les sangles de retenue et le chariot tombe au fond.

On remonte ensuite le chariot avec une corde préalablement fixée.



L'opération de mise au sec se fait en sens inverse.

Un chariot se compose (fig. 98) d'un berceau (ou *ber*) sur lequel repose la coque et de roues assez larges (12

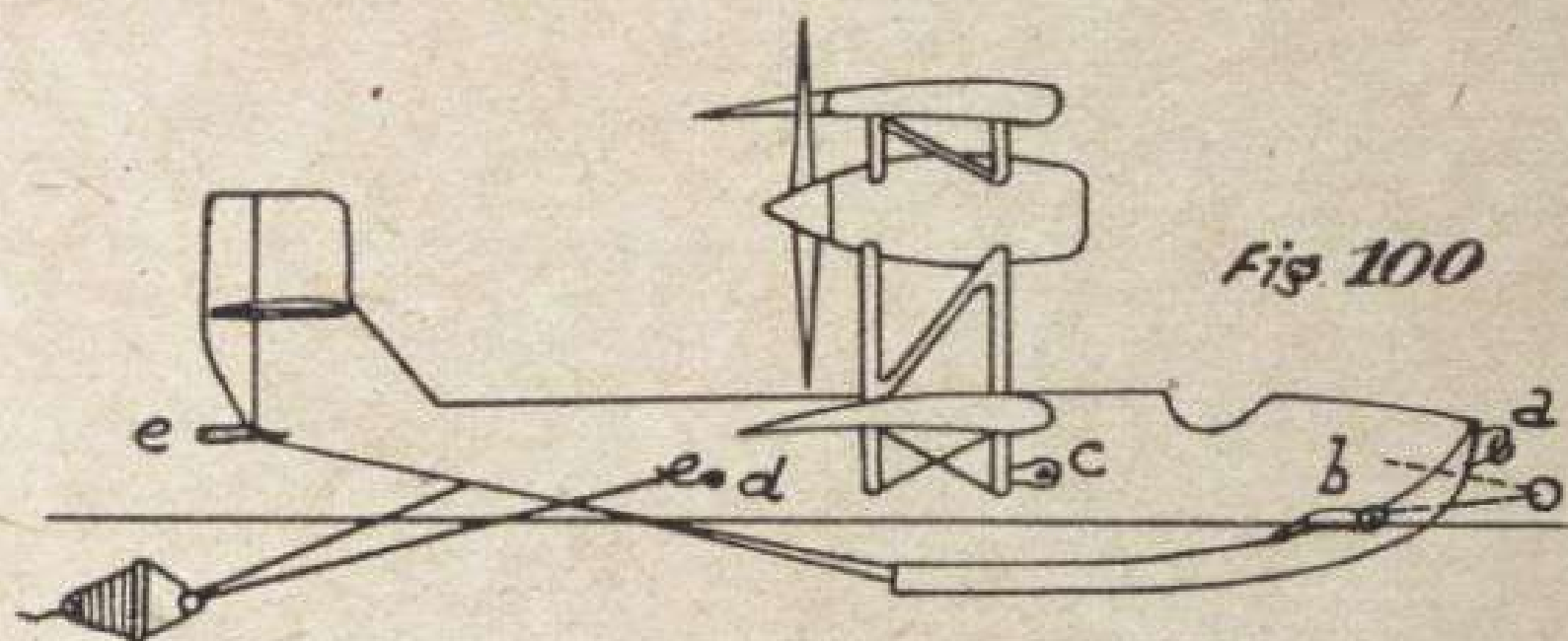
centimètres par tonne), placées au voisinage du centre de gravité. Des galets à l'AV et à l'AR empêchent la queue ou l'avant de l'appareil de toucher le sol.

Pour les gros appareils, on prévoit des chariots à plateforme tournante.

b) Pour les gros appareils susceptibles de ne pas regagner leur base, et pour éviter l'opération délicate de mise en place du chariot, on le remplace par un *train de roulage* qui se compose essentiellement de roues réunies à la coque et à la voilure par un tétraèdre de tubes. L'ensemble est démontable et s'emporte à bord. Il est complété par un chariot de queue à roue orientable (fig. 99).

Son calcul est analogue à celui des trains d'atterrissage, mais comme il n'y a pas de hauteur de chute, on prend un coefficient d'environ moitié du coefficient de calcul des trains.

#### 4. Manœuvre à l'eau. — Pour les manœuvres de



port et le sauvetage en panne, les hydravions à *coque* sont munis des dispositifs suivants (fig. 100) :

a) Boucle AV fixée à la partie supérieure de l'étrave pour les manœuvres de rade, calculée pour des efforts égaux au poids de l'appareil en charge.

b) Deux crocs de remorque principaux destinés à recevoir une patte d'oie. Ils sont fixés aux quilles d'angle, au tiers AV de la distance entre le bord d'attaque des ailes et l'étrave, le plus souvent à l'aplomb d'une cloison. On les calcule chacun pour un effort égal au poids de l'appareil.

c) Deux ferrures de remorque de sécurité calculées pour

le même effort, placées à l'aplomb d'une contrefiche ou du bâti moteur.

d) Deux ferrures de tenue de la patte d'oie d'ancre flottante calculées pour  $\frac{1}{4}$  du poids de l'hydravion.

L'ancre flottante sert à orienter l'appareil en remorque. Elle se compose d'un cône de toile huilée dans lequel l'eau s'engouffre.

e) Une boucle de manœuvre de rade arrière, calculée pour la moitié du poids de l'hydravion.

*Hydravions à flotteurs.* — Ils comportent d'une manière analogue :

a) Une boucle d'étrave calculée pour le poids (flotteur central) ou sa moitié (flotteurs en Catamaran).

b) Deux ferrures de remorque principale, une sur chaque flotteur du côté interne.

c) Deux ferrures de remorque de sécurité, placées à un nœud du train d'amerrissage.

d) Deux ferrures d'ancre flottante, souvent confondues avec les boucles de manœuvre arrière situées à l'arrière des flotteurs.

Toutes ces boucles sont calculées pour les mêmes efforts que l'hydravion à coque.

**5. Gouvernail marin.** — Ce gouvernail se trouve sur les gros appareils en arrière du second redan. Il est conjugué avec la manœuvre du gouvernail de direction.

---

## CHAPITRE III

### HYDRAVIONS SPÉCIAUX

#### SECTION I<sup>re</sup>. — HYDRAVIONS AMPHIBIES.

a) *Définition.* — Se posent à volonté sur l'eau et sur le sol. Le premier a été réalisé par Denhaut.

b) *Réalisation.* — 1<sup>o</sup> Prévoir une cheminée étanche dans la coque ou les flotteurs contenant la roue et le système élastique (Caudron, Aviatik, Lœning monoroue). Cette solution ancienne, d'abord abandonnée à cause du freinage dû à la roue lors des amerrissages et de la détérioration par l'eau salée du caoutchouc des pneumatiques et sandows a été reprise dernièrement avec des déflecteurs devant les roues (pouvant former redan) et des systèmes oléopneumatiques ou des ressorts.

2<sup>o</sup> Abaisser des skis de secours (de Laborde) qu'on relève ensuite dans le hangar (solution ancienne).

3<sup>o</sup> Cas général : réaliser un système articulé manœuvrable du poste pilote qui soulève la roue, son essieu et les autres barres au dessus de la flottaison et inversement.

On trouve dans la collection des revues françaises et étrangères de nombreuses solutions ingénieuses. Les roues se relèvent sur l'avant (Vickers), l'arrière (Lioré) ou le côté (Cams, Lœning, Schreck, etc.).

On réalise un *verrouillage* dans chaque position extrême (butées, crans, etc...). Le *relevage* s'obtient par engrenages (Vickers), câbles (Schreck) ou vérins à huile (Cams) au moyen d'un volant avec transmission ou d'une pompe. La première solution a un rendement plus faible (dû à celui des engrenages) et peut provoquer des coincements, le système devant être irréversible et néanmoins manœuvrable dans les deux sens.

c) *Calcul.* — Il faut calculer (et vérifier ensuite) le système de relevage pour que l'effort maxima à la main du

pilote soit de 4 kilogrammes, et la durée maxima de l'opération dans un des sens ou l'autre de deux minutes, ces conditions étant contradictoires.

Le calcul de résistance du train se conduit exactement comme celui d'un appareil terrestre.

d) *Béquille*. — Un montant bien fuselé provoquerait dans l'eau un freinage dangereux. Il faut au contraire que la béquille présente une surface *plate* aussi inclinée que possible sur la surface de l'eau.

On évitera pour le système amortisseur les sandows que l'eau salée détériore très rapidement.

e) *Hydravions transformables*. — Sur ces appareils (tourisme, torpilleurs), on doit pouvoir remplacer en *trois heures* maximum le train de flotteurs par un train d'atterrissage.

Les ferrures de tenue du train doivent être prévues en conséquence au moment de l'étude de l'appareil.

Ce ne sont pas des amphibies, car ils n'ont qu'une seule possibilité à la fois, amerrissage ou atterrissage.

## SECTION II. — AVIONS MARINS.

a) *Définition*. — Appareils munis d'un train d'atterrissage, qui doivent *éventuellement* (en cas de panne) se poser sur l'eau *sans pouvoir en repartir*.

b) *Réalisation*. — 1° Munir l'appareil de sac à air en toile imperméable (appelés Busteeds) que l'on gonfle.

Solution abandonnée par suite de l'encombrement.

2° Munir les appareils de flotteurs réduits, équilibrant tout juste le poids de l'appareil (Lioré 7) abandonné pour la même raison que la précédente et pour le manque de finesse.

3° Solution générale : Établir un fuselage *étanche* à formes de fond appropriées (amortissement, redan) rappelant celles des coques et enfermant le moteur (fig. 101).

Il faut en outre assurer la stabilité latérale (ailes étanches ou ballonnets de bout d'aile), éviter les freinages dans l'eau (risques de capotage). Pour cela, d'une part un dispositif cale l'hélice en croix, d'autre part le train d'atterrissage est escamotable ou *largable* du poste du pilote.

Ce type d'appareil est discuté : beaucoup plus lourd que l'avion terrestre de même programme, il flotte comme une

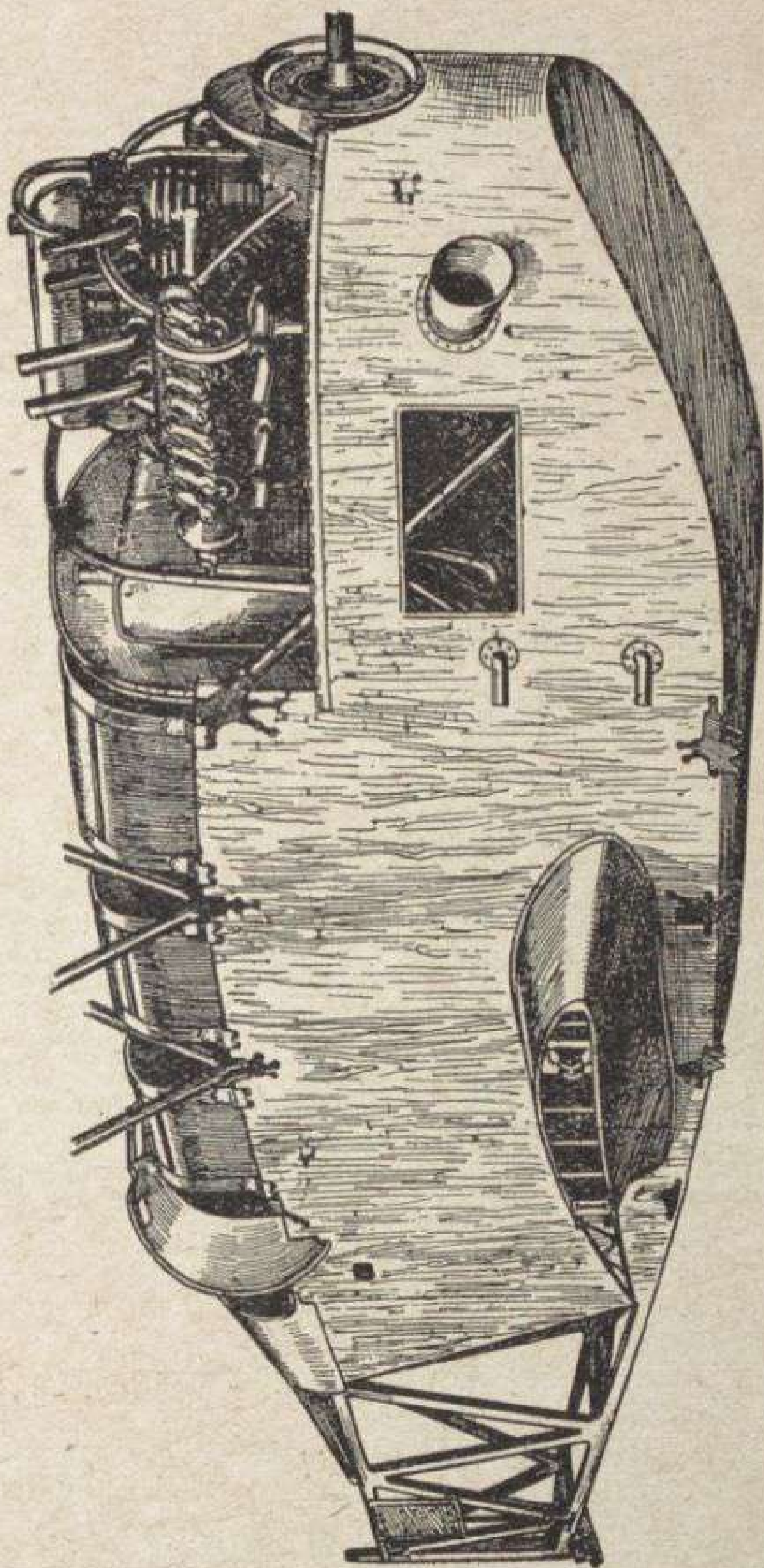


FIG. 101. — Levasseur 8 (appareil Nungesser-Coli).  
Aménagement général du fuselage. (Cliché « L'Aéronautique ».)

épave sans repartir quand il est posé. Il est mal défendu contre la mer agitée et doit avoir des rechanges abondantes pour le train qui est sacrifié.



SECTION III. — AVIATION EMBARQUÉE.

a) *Porte-avions*. — Navires spécialement construits pour loger dans leur cale un grand nombre d'avions repliés descendus par des ascenseurs. Leur pont est plat et dégagé pour constituer une piste d'envol et d'atterrissage.

Les dimensions étant réduites, les appareils employés doivent décoller très vite (charge au cheval réduite) et atterrir avec beaucoup de précision et avec peu de roulage.

Il faut les munir de *freins* manœuvrés par le pilote ou automatiquement.

b) *Crosse d'accrochage*. — C'est un dispositif auxiliaire qui se substitue à la béquille et a pour but, soit de manœuvrer les freins, soit de constituer lui-même le freinage.

Dans ce cas, on place en travers sur le pont une série de câbles terminés à leurs extrémités par un sac de lest. Deux gros câbles longitudinaux écartés de 7 à 8 mètres sont élongés par dessus.

L'avion se pose entre les câbles longitudinaux et accroche successivement les câbles transversaux qu'il entraîne. Leur nombre croissant donne un freinage progressif.

La crosse se compose de deux tubes formant un V fixés de part et d'autre du fuselage ou de la coque et réunis à leur extrémité qui porte un système élastique auquel est fixé un crochet recourbé.

Le crochet est libéré par une commande à portée du pilote au moment précis de l'atterrissage.

L'effort qu'il reçoit est de l'ordre de *trois fois* le poids de l'avion.

Des systèmes de sécurité limitent sa descente et le maintiennent en position relevée pour le vol et les atterrissages sur sol normal. La crosse doit être placée de façon que la ligne de traction passe *au dessus* du centre de gravité de l'avion, sans quoi il capoterait.

c) *Hydravions pour sous-marins et avisos*. — Ces appareils de petit tonnage doivent se loger dans un tube ou une caisse de dimensions très réduites par des opérations de repliage ou démontage extrêmement rapides et ne dérégulant pas la voilure (axes à verrouillage rapide, etc...).

SECTION IV. — HYDRAVIONS CATAPULTÉS.

a) *But.* — Faire partir d'un navire sans plage d'atterrissage un hydravion dans des buts militaires (reconnaissance) ou commerciaux (gain de 36 heures sur le courrier transatlantique de l'*Ile-de-France*). L'appareil est éventuellement repêché à la grue.

b) *Catapulte.* — Poutre métallique horizontale longue de 20 à 30 mètres, orientable ou fixe, sur laquelle circule un chariot porte-hydravion auquel un système à air comprimé communique en quelques mètres l'accélération suffisante pour que l'hydravion possède sa vitesse minima de sustentation lorsqu'il est projeté hors du chariot arrêté brusquement à l'extrémité de la catapulte (fig. 102 bis).

c) *Chariot.* — L'hydravion est calé sous son angle de portance maxima et porte quatre tourillons, deux de chaque côté de la coque à sa partie basse.

Les tourillons AR servent généralement à pousser l'appareil et se trouvent à l'arrière du centre de gravité au voisinage du redan, les tourillons avant servent au guidage et sont sur l'avant du centre de gravité (le contraire a été réalisé).

Le chariot porte deux groupes de bras à crochets de forme appropriée que des systèmes spéciaux escamotent quand l'hydravion quitte le chariot.

d) *Calcul de catapulte.* — 1° *Effort à exercer.* — On déduit de la polaire la vitesse minimum de sustentation  $V$  correspondant à l'angle de portance maxima pour le poids  $P$  donné de l'hydravion.

Si  $e$  est la longueur de la trajectoire de lancement, l'accélération à communiquer est  $\gamma = \frac{V^2}{2e}$ .

La force à appliquer est  $B = m\gamma$  (où  $m = \frac{P}{g}$ ).

{  $P$  poids de l'hydravion en kilogrammes,

{  $g$  accélération de la pesanteur = 9,81,

$\gamma$  varie généralement de 2,5 à 3  $g$ .

De ces données sont déduits le travail et la puissance du système d'entraînement.

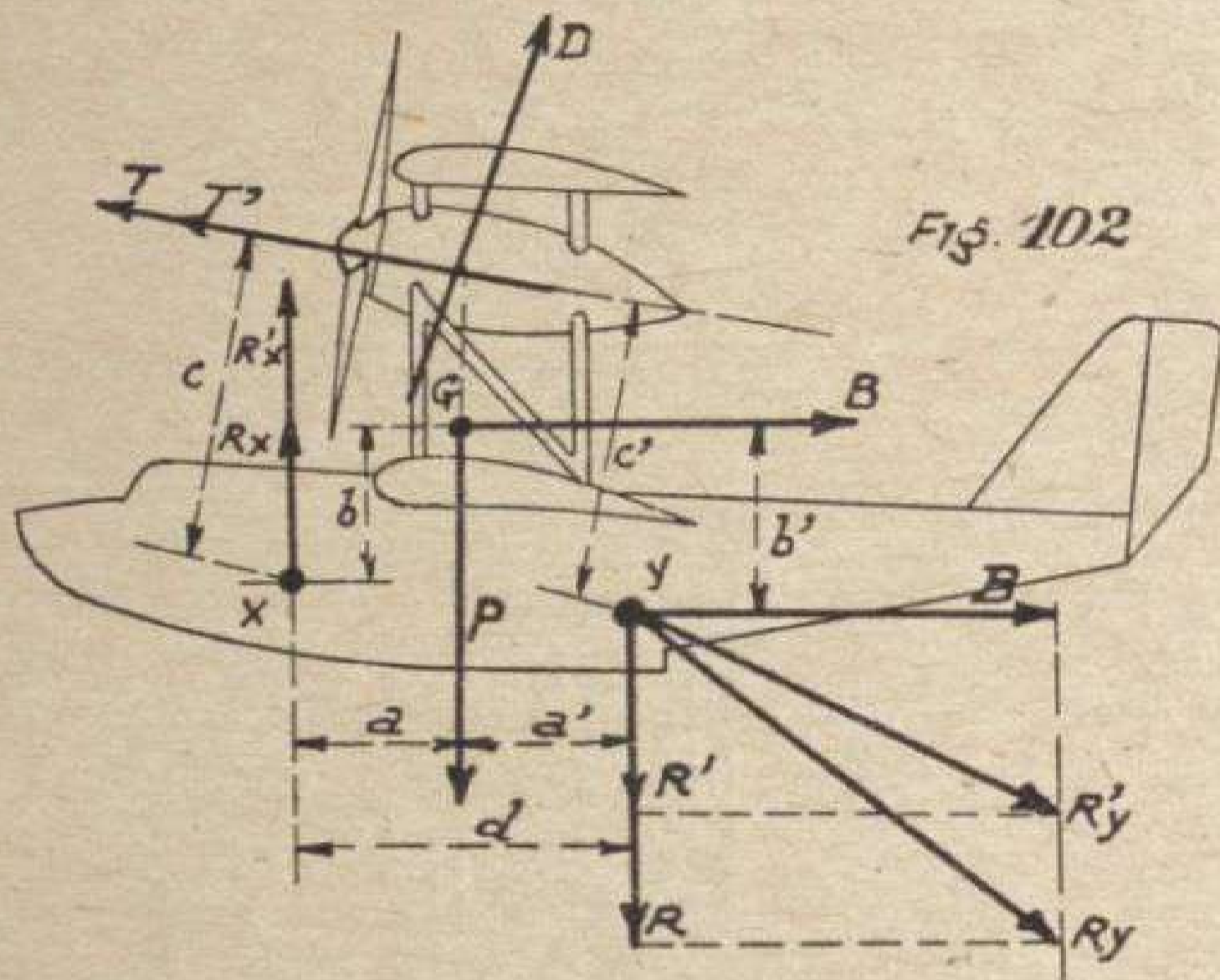
2° *Calculs de résistance.* — La catapulte se comporte comme une poutre en porte-à-faux soumise :

Verticalement à une charge roulante connue et aux poids du système d'entraînement qu'elle contient;

Horizontalement aux réactions dues au système d'entraînement et au freinage brusque.

e) *Efforts sur l'hydravion.* — Ils sont appliqués aux quatre tourillons X et Y :

1° Au début de la lancée,



Forces en jeu (fig. 102) :

- { P = Poids,
- { B = Effort d'inertie (voir paragraphe précédent),
- { T = Traction d'hélice au point fixe =  $\alpha n^2 D^4$ .

Toutes ces forces sont connues ou déterminables.

Faisons les moments par rapport à Y :

$$R_x \times d = Pa' - Bb' + Tc'$$

d'où se déduit  $R_x$ . L'effort sur chaque tourillon est  $\frac{R_x}{2}$ .

Si le tourillon est un tourillon de guidage, cet effort est vertical.

De même, les moments par rapport à X donnent :

$$R = \frac{Pa + Bb - Tc}{d}$$

Cet effort vertical se combine à l'effort horizontal

SCHEMA DE PRINCIPLE DE CATAPULTE.

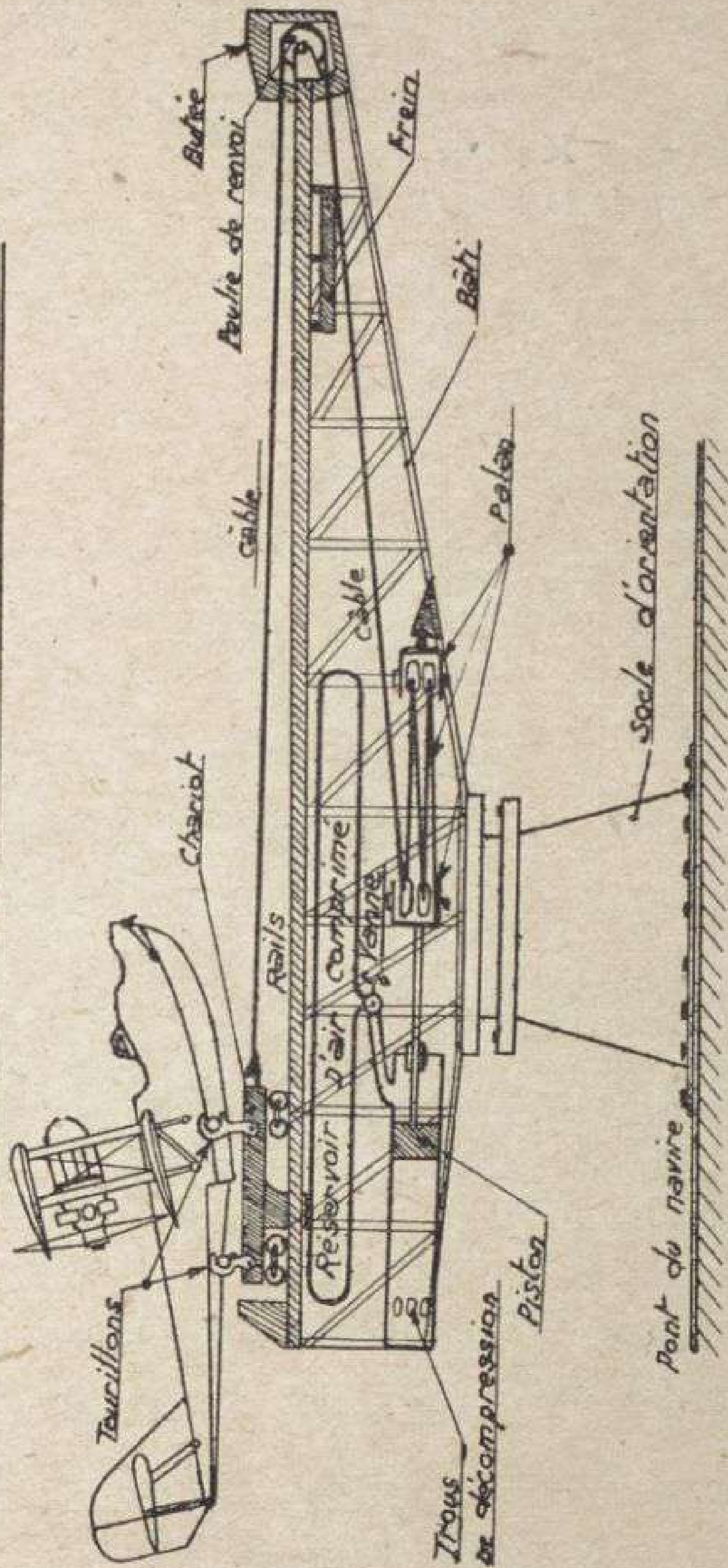


FIG. 102 bis.

d'inertie  $B$  dû à la poussée pour donner la réaction oblique  $Ry$ .

La réaction sur un tourillon a pour valeur  $\frac{Ry}{2}$  et pour direction  $Y$   $Ry$ .

2° A la fin de la lancée.

Forces en jeu :

$P$  = poids,

$B$  = effort d'inertie,

$T'$  = traction d'hélice à la vitesse d'envol,

$D$  = résultante aérodynamique à la vitesse d'envol, connue en grandeur et en position.

Les moments par rapport à  $X$  et  $Y$  donnent de même les réactions  $R'x$  et  $R'y$ .

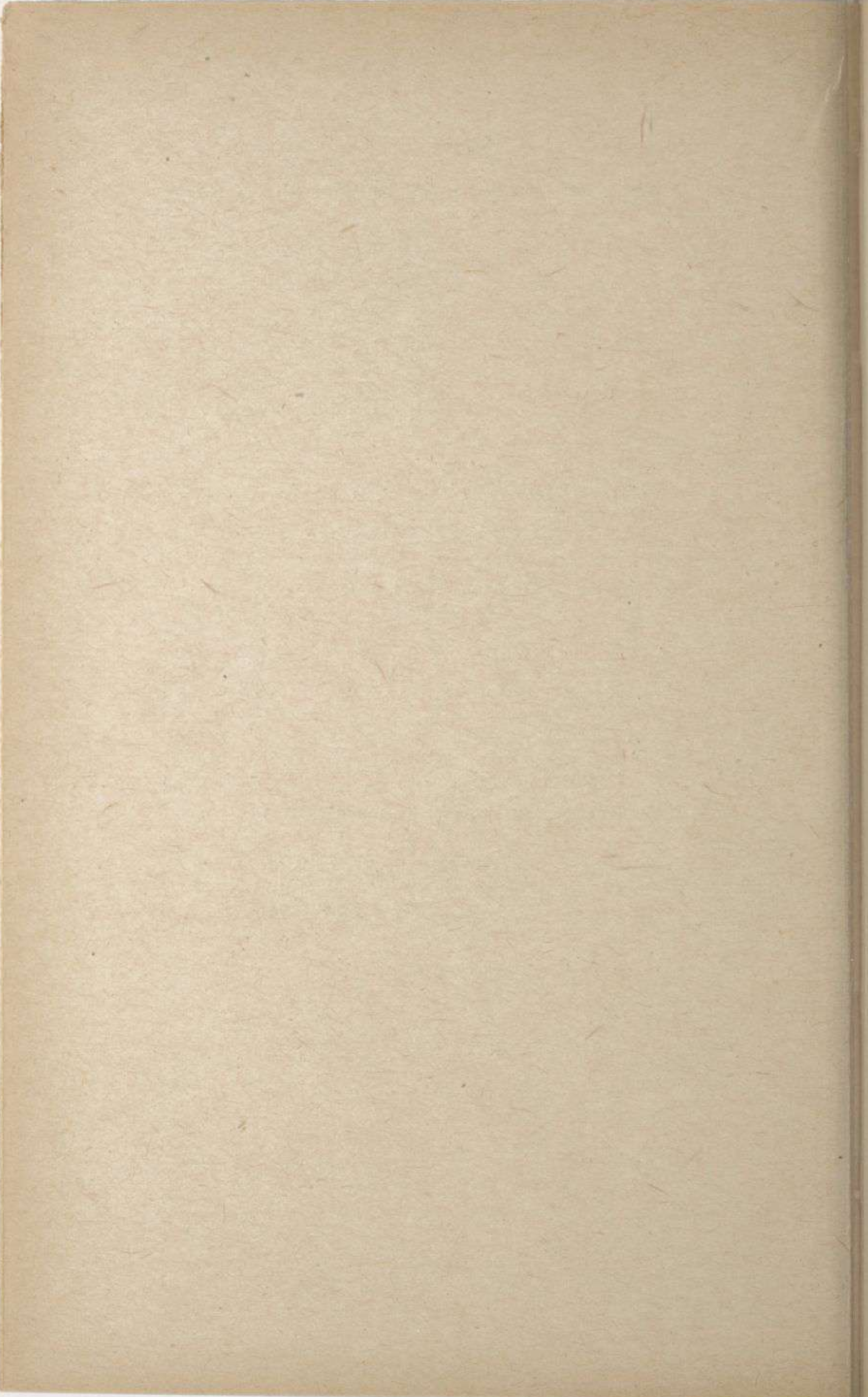
On en déduit comme ci-dessus les efforts sur les tourillons.

3° De ces efforts qui sont réels (*sans coefficient de sécurité*) se déduisent les échantillonnages à donner aux tourillons, à leur fixation et aux membrures spéciales transmettant les efforts à travers la charpente de coque.

Par ailleurs, tous les éléments de l'appareil seront calculés comme soumis à leur poids propre multiplié par l'accélération  $\gamma$  (voir paragraphe précédent) pour former un système en équilibre avec les efforts sur les tourillons.

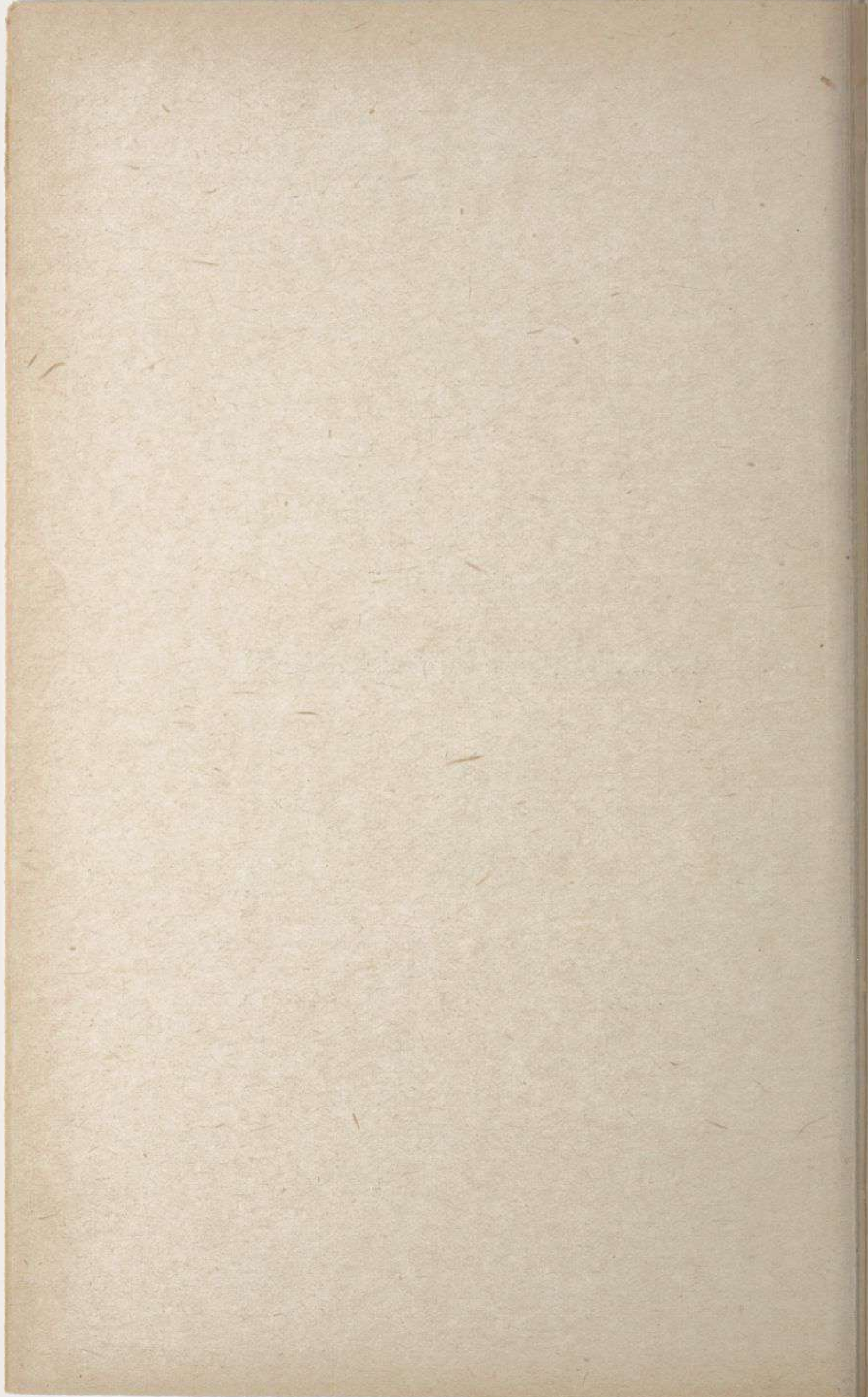
f) *Lancement des appareils à flotteurs*. — Des ferrures appropriées sont fixées au train d'amerrissage ou sous le fuselage.

Le centre de gravité se trouve plus près du point d'application de l'effort, donc les réactions sont moins élevées, mais leur transmission est souvent moins directe.



SIXIÈME PARTIE

**APPLICATIONS NUMÉRIQUES**





## CHAPITRE PREMIER

### ÉTUDE D'UN HYDRAVION A DEUX FLOTTEURS

Cette étude sera considérée comme un enseignement du maniement des formules et non comme la recherche de la meilleure solution. Tous les calculs sont faits à la règle.

*Programme.* — Appareil de tourisme biplace transformable :

Performances en hydravion :

Rayon d'action.....	300 km
Vitesse maxima .....	160 —
Vitesse minima .....	90 —

Moteur : Salmson 120 CV à 1.800 tours pesant 170 k.

#### SECTION I<sup>re</sup>. — PROJET.

*Devis des poids.* — Nous sommes conduits au poids total  $P = 765$  kgr.

Le poids du groupe motopropulseur est de 230 kgr, soit 30 % du poids total et 1,35 fois le poids du moteur nu (plus lourd que la moyenne).

La charge utile : équipage 180 kgr. + combustible 45 kgr, soit 225 kgr, représente 29 % du poids total.

*Schéma d'appareil.* — Deux flotteurs en catamaran. Aile surbaissée (fig. 103).

Diamètre d'hélice : formule Caquot :

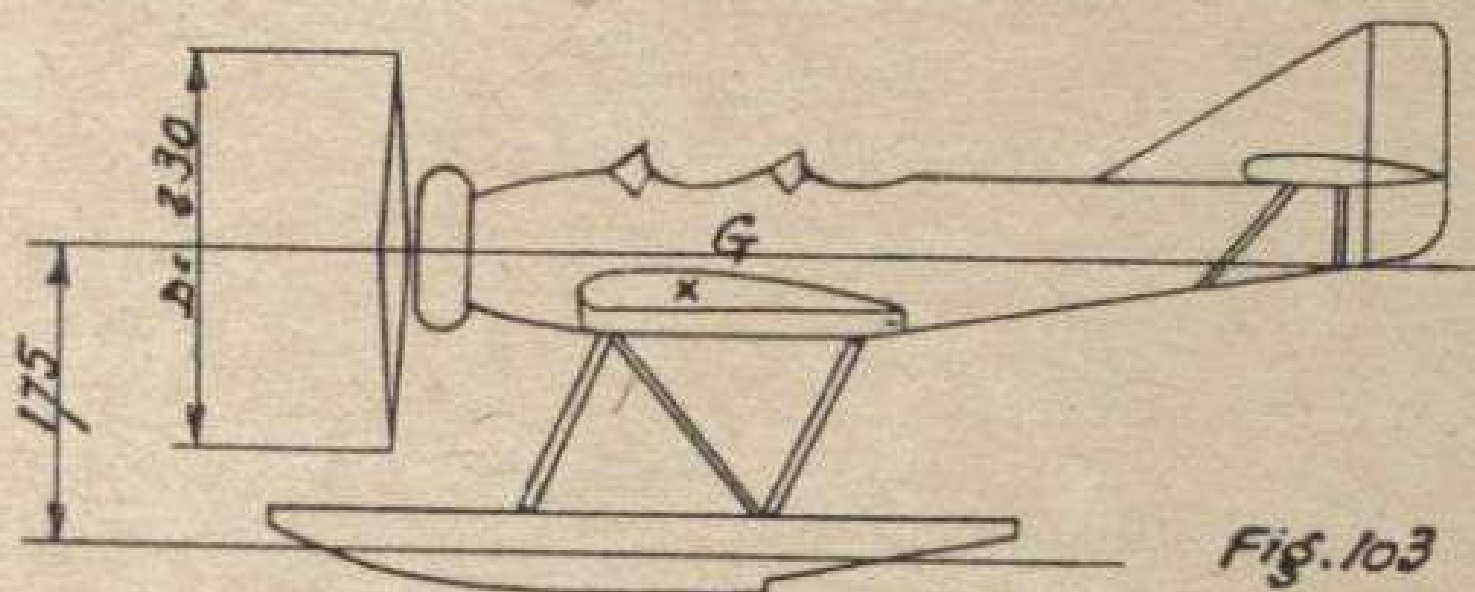
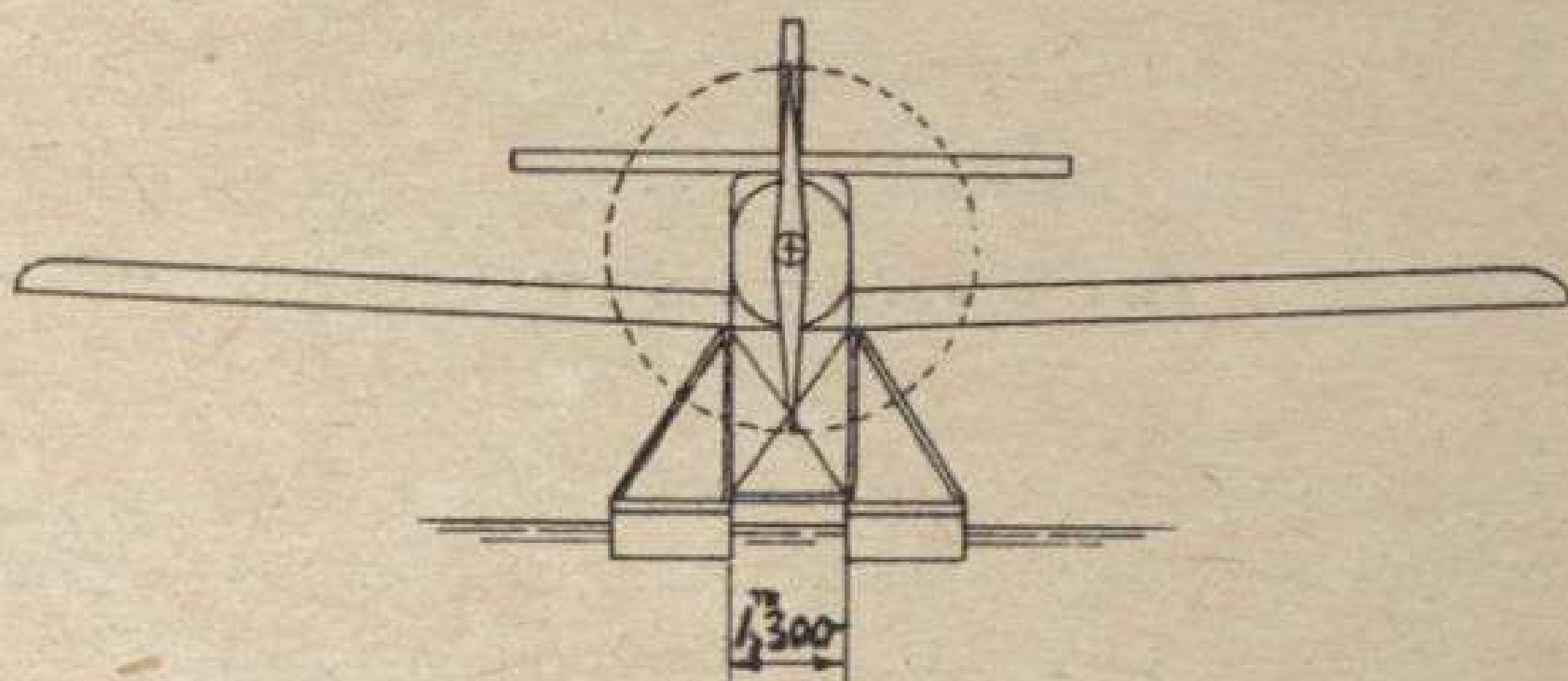
$$Dm = 3,2 \sqrt[4]{\frac{W}{N^2 V}}$$

avec :

$$W = 120 \times 75 \quad N = 1.800 \times \frac{1}{60} \quad V = 160 \times \frac{1.000}{3.600}$$

$$Dm = 2 \text{ m. } 30.$$

Plaçons le cercle d'hélice à 0 m. 60 au dessus de l'eau.



## SECTION II. — FORMES DU FLOTTEUR.

Nous ne poussons que l'étude du système flotteur, qui sera intentionnellement simplifié à l'excès (sections rectangulaires).

**1. Dimensions du flotteur.** — *Largeur* : Formule Blanchard :

$$b = 0,785 \left( \frac{P}{2} \right)^{\frac{1}{2,3}} \quad \text{avec } P = 0,765 \text{ tonne.}$$

Il vient :  $b = 0 \text{ m. } 70.$

*Longueur totale.* — Formule :

$$0,733 \sqrt[3]{\frac{P}{2}} - 0,81 = 4,515.$$

Nous prendrons 4 m. 50.

*Longueur sur l'AV du centre de gravité.* — Supposons provisoirement le tirant d'eau égal à 0 m. 30. La distance de l'axe de traction au dessus de la ligne zéro est : 0 m. 30 + 0 m. 60 + 1 m. 15 = 2 m. 05.

Formule :

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

avec  $\left\{ \begin{array}{l} W = 120 \\ h = 2,05 \\ l_1 = 2,19 \text{ soit } 2,20. \\ b = 0,7. \end{array} \right.$

*Tirant d'eau :*

$$T = 0,8 \left[ \frac{P}{b l_1} + \frac{b}{3} \operatorname{tg} (\alpha + 5) \right]$$

avec  $\left\{ \begin{array}{l} \alpha = 0^\circ \text{ pour simplifier (très discutable).} \\ P = \frac{765}{2} \\ b = 0,7 \\ l_1 = 2,2. \end{array} \right.$

Il vient  $t = 0 \text{ m. } 215$  (1).

*Hauteur maximum :*

$$1,8 T = 0,387, \text{ soit } 0 \text{ m. } 380.$$

*Volume approximatif :*

$$V = \frac{110}{100} P = 841,5, \text{ soit } 840 \text{ litres.}$$

*Poids approximatif :*

$$0,055 V = 46 \text{ k. } 2.$$

*Poids du train de flottaison :*

$$0,03 P = 23 \text{ k.}$$

**2. Tracé du flotteur** (fig. 104). — Un centrage approximatif place le centre de gravité général de l'hydravion à 1 m. 740 de la ligne zéro.

(1) Le calcul de partie AV est à reprendre et chaque résultat nouveau influe sur ceux précédemment trouvés. Nous n'en tiendrons pas compte pour ne pas allonger l'exposé, mais il faudrait le faire dans une étude réelle.

(Vérifions en passant que l'emplanture d'aile, fixée à la base du fuselage, se trouve à une hauteur convenable :  
 $1 \text{ m. } 965 - 0 \text{ m. } 50 - 0 \text{ m. } 215 = 1 \text{ m. } 250$ .)

0 m. 50 :  $\frac{1}{2}$  hauteur du fuselage;

1 m. 965 : hauteur de l'axe;

0 m. 215 : tirant d'eau.)

Une ligne faisant  $20^\circ$  avec la verticale du centre de gravité définit le redan. La perpendiculaire AV se trouve à 2 m. 20 de cette verticale, la perpendiculaire AR à 4 m. 50 de la perpendiculaire AV, le pont parallèle à la ligne zéro à une distance de 0 m. 380, la flottaison parallèle également à 0 m. 215.

Supposons l'aile calée à  $3^\circ$  par rapport à la ligne zéro l'angle de meilleure portance du profil égal à  $6^\circ$ . Il faut caler le fond AV à  $0^\circ$ , soit selon la ligne zéro pour que l'aile et le fond aient simultanément leur meilleure finesse. On rattrape l'étrave par une courbe aussi couchée que possible pour que le fond AV rencontre la flottaison sous un angle faible.

Sur l'AR un angle de  $10^\circ$  issu du bas du redan définit l'étambot par intersection avec la perpendiculaire AR. Joignons au haut du redan pris à 50 mm. au dessus de la ligne zéro.

La vue en plan est un rectangle. Le flotteur est tracé. On relève son tableau de cotes par 10 sections, équidistantes sauf la première et la dernière (par suite de la nécessité de placer une section au redan).

Section	0	1	2	3	4	5	6	7 AV	7 AR	8	9	10	11
Quil d'angle	280	182	109	52	14	0	0	0	50	109	167	225	293
Livet de pont	← 380							→					

### SECTION III. — VOLUME ET FLOTTAISON.

**1. Calcul du volume du flotteur.** — 1<sup>re</sup> colonne S : surface de chaque section (produit de la hauteur par l'écartement en  $\text{dm}^2$ ).

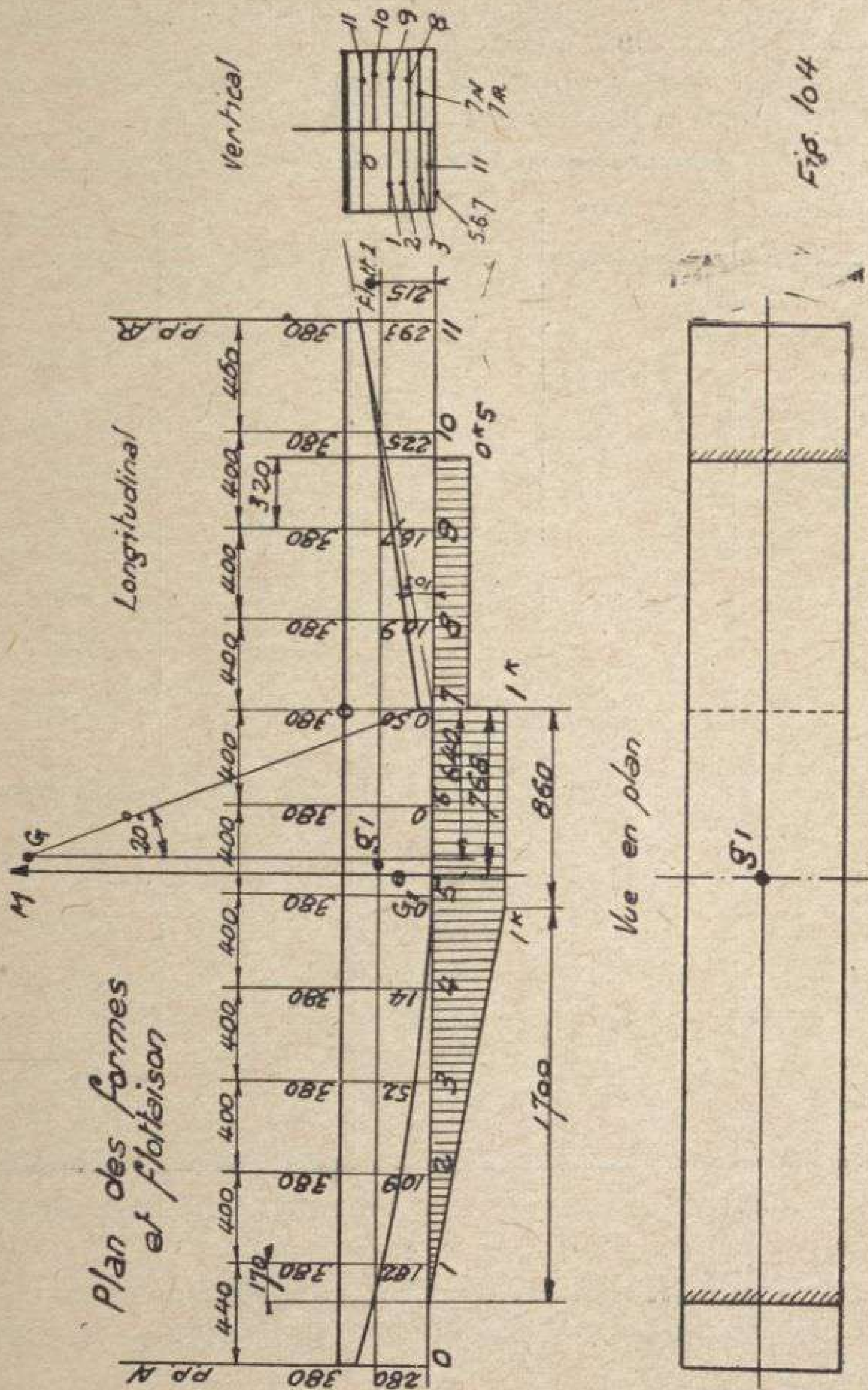


Fig. 104

2<sup>e</sup> colonne  $S_m$  : surface moyenne, demi-somme de deux sections consécutives.

3<sup>e</sup> colonne E : Écartement entre deux sections.

4<sup>e</sup> colonne V : Volume du prisme (produit de la surface moyenne par l'écartement).

La somme des V donne le volume total.

Soit 847 litres 312 pour 840 litres demandés.

Sections	S dm <sup>2</sup>	Sm dm <sup>2</sup>	E dm	V dm <sup>3</sup>
0	7			
1	13,86	10,43	4,4	45,892
2	18,97	16,415	4	65,660
3	22,96	20,965	4	83,860
4	25,62	24,340	4	97,360
5	26,60	26,110	4	104,440
6	26,60	26,6	4	106,400
7 AV	26,60	26,6	4	106,400
7 AR	23,10			
8	18,97	21,035	4	84,140
9	14,91	16,940	4	67,760
10	10,85	12,880	4	51,520
11	6,09	8,470	4,6	33,880
			Vt. .... =	847,312

On pourrait retoucher légèrement la hauteur ou la longueur.

**2. Calcul de flottaison.** — Nous établissons un tableau analogue en ajoutant les moments des volumes *par rapport au redan*.

Le bras de levier D est la distance du centre de gravité des prismes (pris pour simplifier au milieu de deux sections, ce qui est *inexact*). C'est en réalité au centre de gravité des sections trapézoïdales.

Sections AV	S dm <sup>2</sup>	Sm dm <sup>2</sup>	E dm	V dm <sup>3</sup>	D dm	Mo-ments dm <sup>4</sup>
point A	0					
1	3,01	1,505	1,7	2,5585	22,6	57,82
2	7,42	5,295	4	20,86	22	458,92
3	11,41	9,415	4	37,66	18	677,88
4	14,07	12,740	4	50,96	14	713,44
5	15,05	14,560	4	58,24	10	582,4
6	15,05	15,050	4	60,2	6	361,2
7	15,05	15,050	4	60,2	2	120,4
				290,6785		2.972,06
Sections AR						
7	11,55					
		0,485	4	37,94	2	75,88
8	7,42					
		5,39	4	21,56	6	129,36
9	0,48					
		1,68	3,2	5,376	7,08	38,06
point B	0					
				64,876		243,30

Volume immergé :

$$290,6785 + 64,876 = 355 \text{ litres } 5545$$

Abcisse du centre de carène :

$$\frac{2972,06 - 243,30}{355,5545} = 7 \text{ dm } 68$$

par rapport au redan.

L'ordonnée est supposée aux  $\frac{2}{3}$  du tirant d'eau, soit :

$$\frac{2,15 \times 2}{3} = 1 \text{ dm. } 433.$$

Il résulte :

- 1° Que le volume est trop faible : 355 litres 55 au lieu de  $\frac{P_1}{\rho} = 382$  litres 5 ;  
 2° Que le centre de carène  $C_1$  est trop sur l'AV : 7 dm. 68 au lieu de 6 dm. 4.

1° *Correction de volume.* — La surface de flottaison est un rectangle qui a une aire de :

$$0 \text{ m. } 700 [1,7 + (4 \times 8) + 3,2] = 260,3 \text{ dm}^2.$$

Il faut monter la flottaison de :

$$\frac{382,5 - 355,5}{260,3} = 0,137 \text{ décimètre.}$$

2° *Correction d'assiette.* — Le rayon métacentrique a pour valeur :  $R = \frac{I}{V}$ .

I est le moment d'inertie de l'aire de flottaison

$$= \frac{36,9^3 \times 7}{12} = 29.308 \text{ dm}^4 65.$$

$$V = 355 \text{ dm}^3 55.$$

$$R = \frac{29.308,65}{355,55} = 82 \text{ dm, } 4.$$

Abaissons de  $C_1$  une perpendiculaire à la flottaison et portons  $M C_1 = 8 \text{ m. } 24$  à l'échelle du dessin. Joignons  $M G$  (méthode simplifiée de correction d'assiette exposée 1<sup>re</sup> partie, chap. V (fig. 30). Abaissons la perpendiculaire de  $g_1$  (milieu de AB, puisque la surface de flottaison est un rectangle) sur  $MG$  prolongé. Il y a lieu de tourner sur l'AR d'un peu moins de 1° (exactement 0°,883).

**3. Vérification.** — Il y a lieu de recommencer le calcul avec la flottaison (21) plus haute de 1 cm. 37 et ayant tourné de 0°,833.

#### SECTION IV. — STABILITÉ A FLOT.

**1. Stabilité longitudinale.** — Nous avons trouvé lors du calcul de flottaison la valeur du rayon métacentrique :  $R = 8 \text{ m. } 24$ .



D'autre part :  $a = 1.740 - 0,14 = 1.600.$

$$R - a = 7,100 > 0$$

## 2. Stabilité transversale.

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

$$I_g = 7^3 \times \frac{36,9}{12} = 1054,7 \text{ dm}^4$$

$$S = 7 \times 36,9 = 260,3 \text{ dm}^2$$

$$d = 10 \text{ dm.}$$

$$I = 54.169,4 \text{ dm}^4.$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{I}{V}} = \frac{54.169,4}{765} = 70,8 \text{ dm.,} \quad \text{soit } 7 \text{ m. } 08.$$

$$r - a = 5 \text{ m. } 48 > 0$$

**3. Réserve de stabilité.** — Nous avons vu (II<sup>e</sup> partie, chap. I) que l'appareil a une stabilité convenable lorsque

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

Or  $0,6 \sqrt[3]{765} = 5,58.$

Nous voyons que l'appareil étudié a une stabilité longitudinale convenable, et une stabilité transversale tout juste satisfaisante.

## SECTION V. — CALCULS DE RÉSISTANCE.

Nous adoptons le système suivant :

Transversalement une série de varangues raidissent le bordé et encaissent ses efforts qu'elles transmettent à trois poutres longitudinales constituées par les deux flancs et par un contreplaqué central. Il y a deux cloisons aux attaches de la mâture en 4 et 9, ce qui divise le flotteur en 6 compartiments étanches (fig. 105 et suivantes).

**1. Efforts sur le fond.** — Le règlement Veritas (IV<sup>e</sup> partie, chap. 2) donne une pression par  $\text{cm}^2$ .

$$\text{Sur l'AV du redan } p = \left(\frac{V}{100}\right)^2 K$$

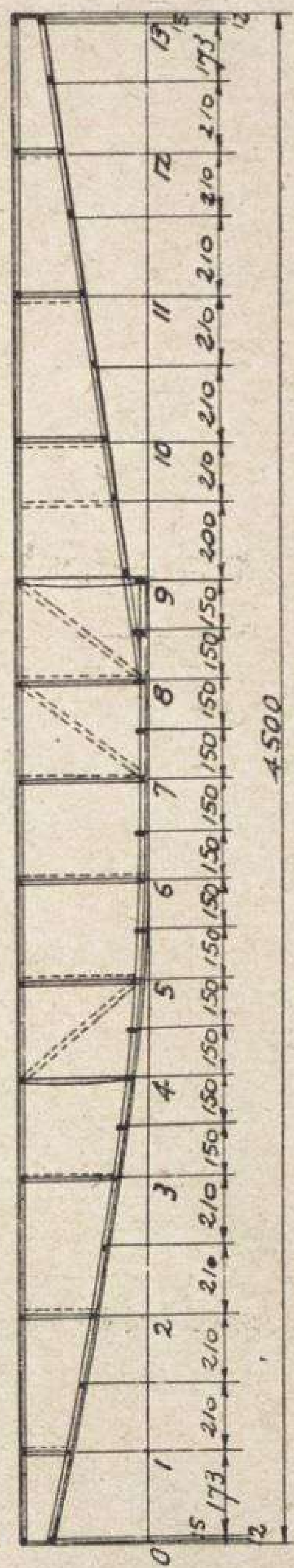
$$K = 1$$

$$V = 90 \quad p = 0,81 \text{ kg/cm}^2.$$

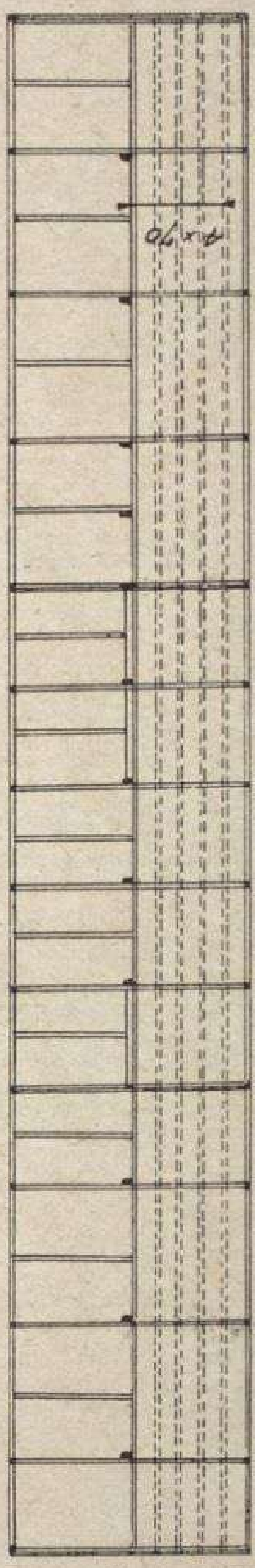
Réduction de 0,8 pour les appareils à deux flotteurs :

$$p = 0,81 \times 0,8 = 0,648 \text{ kg/cm}^2.$$

Plan de charpente  
Vue de côté



1/2 Vue du fond

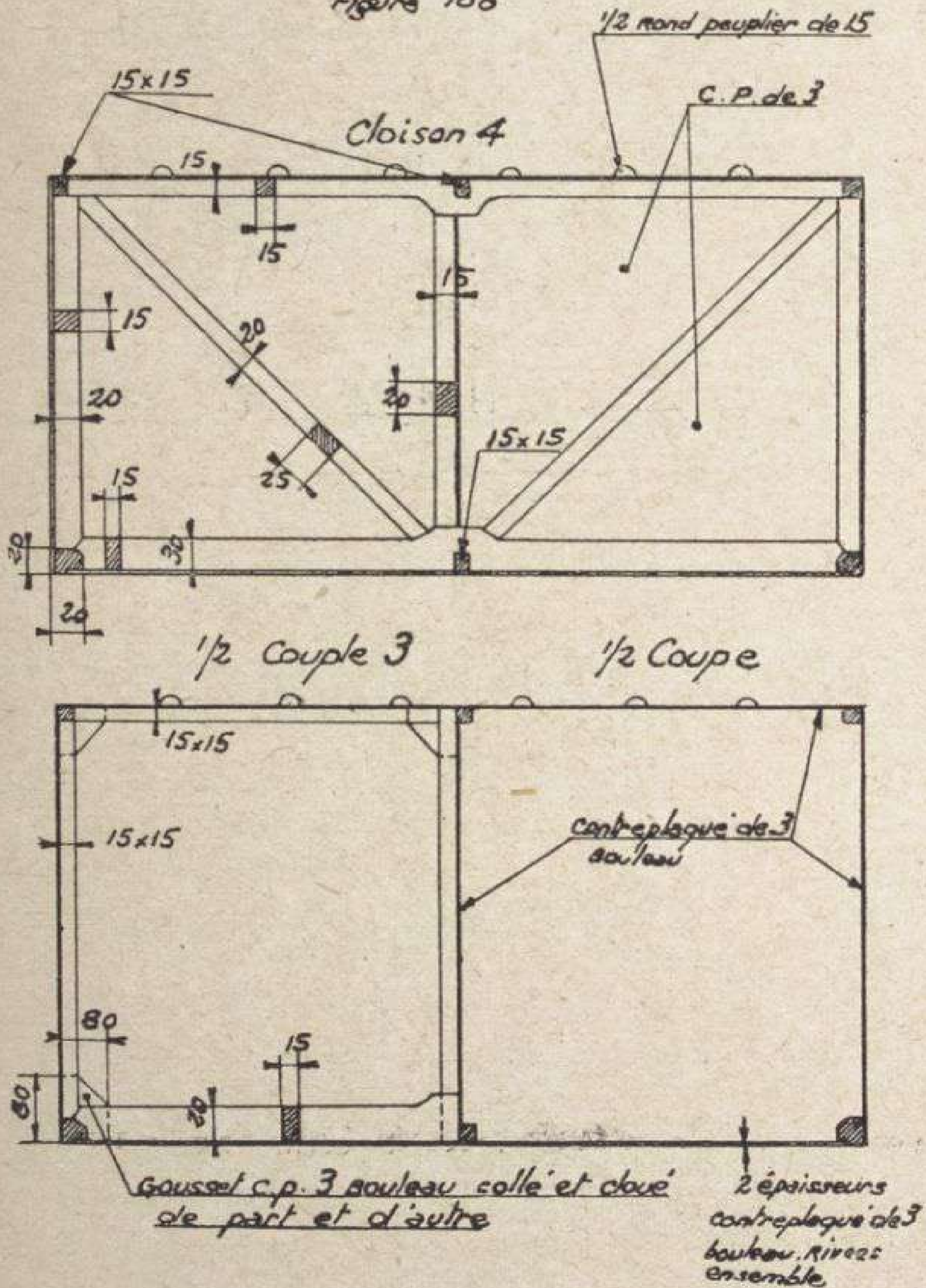


1/2 Vue du pont

Coefficient de sécurité faible (cet appareil n'est pas destiné à naviguer par mer agitée), soit 1,5 :

$$p = 0,648 \times 1,5 = 0 \text{ k. } 972.$$

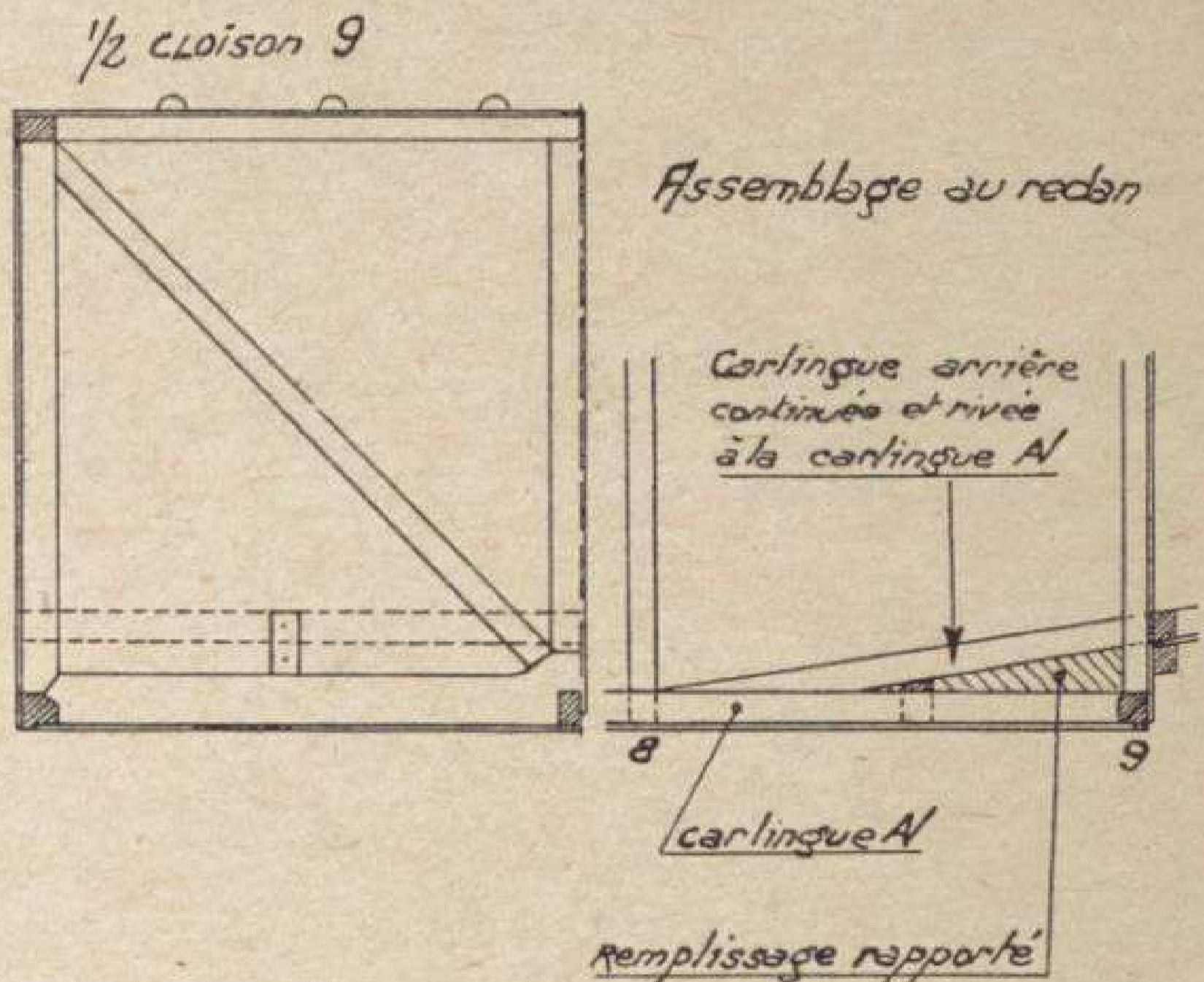
Figure 106



Nous prendrons 1 K. par  $cm^2$ .

Répartition triangulaire AV, selon figure 103  
rectangulaire AR moitié, soit 0 k. 5.

Fig. 107



**2. Calcul du bordé de fond.** — Le contreplaqué de bouleau peut être admis comme supportant 300 kgr. par  $\text{cm}^2$ .

Une lame de 1 cm. de large en 6 mm. d'épaisseur a un

$$\frac{I}{V} = \frac{b h^3}{6} = \frac{1 \times 0,6^3}{6} = 0,06 \text{ cm}^3.$$

L'inconnue est l'écartement entre deux varangues.

On a sur l'AV :  $\frac{pl^2}{12} = R \frac{I}{V}$

$$1 \times \frac{l^2}{12} = 300 \times 0,06 \quad l^2 = 12 \times 18 = 216.$$

$$l = 14 \text{ cm. } 7.$$

En tenant compte de l'épaisseur de varangue, nous prendrons 15 cm.

Sur l'AR :

$$0,5 \frac{l^2}{12} = 300 \times 0,06. \quad l = 208.$$

Prenons  $l = 210$ .

ainsi que dans la région AV où l'effort est inférieur à

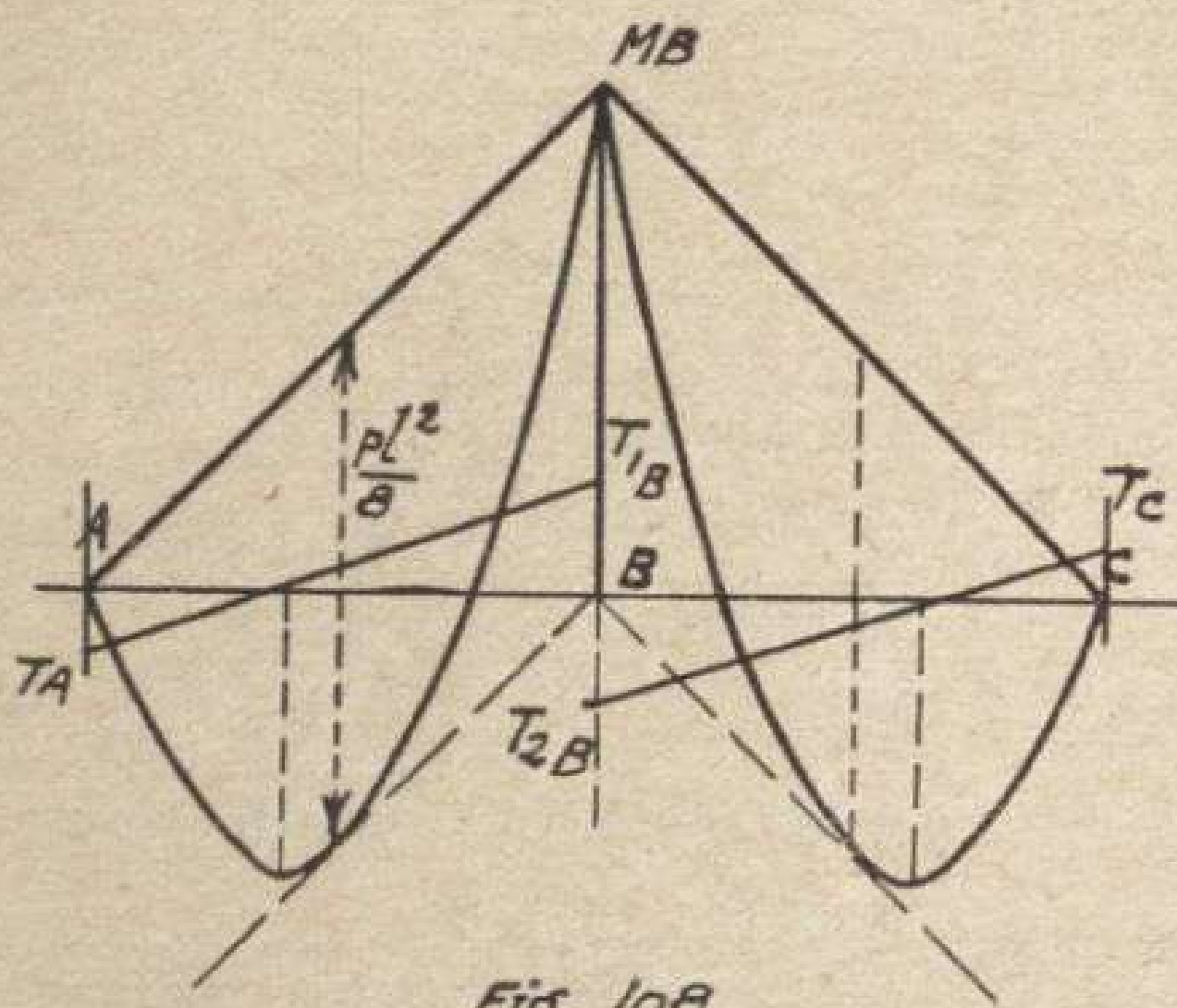
0 k. 5 (soit de la perpendiculaire AV à une distance de : 1 m. 200 environ).

**2. Calcul des varangues.** — Poutres continues à travées égales sur 3 appuis chargées uniformément. La résistance des matériaux nous apprend qu'une telle poutre a :

$$MA = MC = 0; \quad RA = RC = \frac{13}{16} pl.$$

$$MB = -\frac{pl^2}{8} \quad RC = \frac{5}{8} pl.$$

$$\text{Moment au milieu de la travée} = \frac{pl^2}{8}.$$



AV — Ici :  $p = 1 \times 15 = 15$  kgr par cm. courant.  
 Nous l'affectons d'un coefficient de réduction de 0,8 (voir IV<sup>e</sup> part., chap. II), soit :  $0,8 \times 15 = 12,4$  k.  
 Effort maximum en B :

$$\frac{pl^2}{8} = \frac{12,4 \times 35^2}{8} = 1.826 \text{ kg./cm}^2.$$

Les varangues sont en frêne ( $R = 850$ ).

Il nous faut un  $\frac{I}{V}$  de  $\frac{1826}{850} = 2,16$ .

Une baguette  $15 \times 30$  a un  $\frac{I}{V}$  de  $\frac{bh^2}{6} = \frac{1,5 \times 3^2}{6} = 2,25$ .

AR : —  $p = 0,5 \times 15 \times 0,8 = 6$ .

Le  $\frac{I}{V}$  doit être moitié soit 1,08.

Une baguette  $15 \times 20$  a un  $\frac{I}{V} = \frac{1,5 \times 2^3}{6} = 1$ .

Le bordé renforce un peu sa résistance, nous admettrons qu'elle suffit.

En résumé, le fond représente ainsi (fig. 105).

AV	De 0 à 4	De 4 à 9 AV redan	De 9 AR à 13	AR
	1 <sup>m</sup> ,040 ↔ Varangues de 15 × 20 tous les 210 mm.	1 <sup>m</sup> ,800 ↔ Varangues de 15 × 30 tous les 150 mm.	1 <sup>m</sup> ,660 ↔ Varangues de 15 × 20 tous les 210 mm.	

Remarquons qu'il n'y a pas de correspondance entre les numéros de couples (étude constructive) et les numéros de sections du plan des formes (étude géométrique).

**4. Calcul des flancs.** — a) *Recherche de l'effort d'ensemble sur le flotteur.* — Reprenons l'effort initial sans coefficient de sécurité, soit 0 k. 648 sur l'AV du redan. Sur une bande longitudinale de 1 cm. de large. (fig. 109).

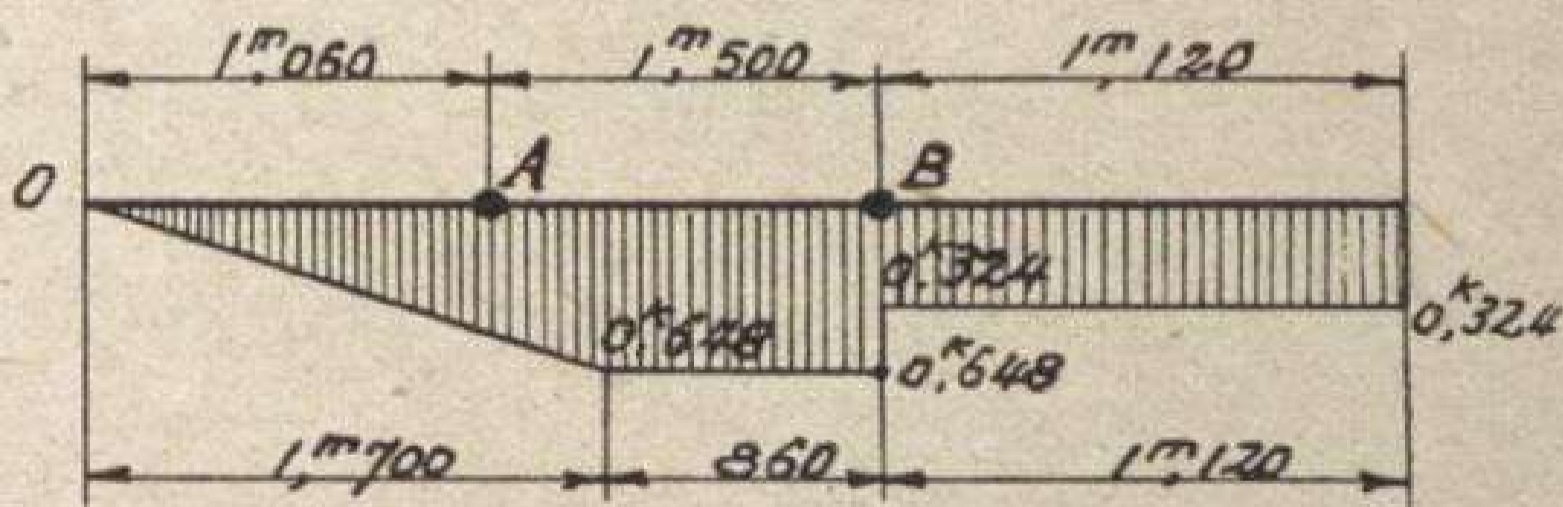


Fig. 109

L'effort total a pour valeur :

$$0,648 \left( 86 + \frac{170}{2} + \frac{112}{2} \right) = 0,648 \times 227 = 147 \text{ kgr. !}$$

ou pour tout le flotteur :

$$147,1 \times 70 = 10.297 \text{ kgr.}$$

Le poids de l'appareil étant de 765 kgr, soit 382 kg. 5 par flotteur, ceci représente :  $\frac{10.297}{382,5} = 27$  fois le poids de l'appareil.

Selon le Règlement Véritas, nous devrions prendre la moitié de cette valeur pour le calcul d'ensemble. Ce chiffre serait exagéré, car les petits flotteurs ont une surface relativement plus grande que ceux des appareils plus gros.

Nous nous bornerons à prendre  $8P$ , soit 0,3 des efforts ci-dessus.

Nous avons ensuite la répartition sur les flancs

{ extrêmes  $\frac{3}{16}$ . Par précaution, nous prendrons  $\frac{1}{4}$   
 { Central  $\frac{5}{8}$ .

Il vient :

Poutre centrale, répartition de la figure 109. Effort par centimètre sur l'AV du redan : 8 kg. 5, sur l'AR : 4 kg. 250.

Poutres latérales : même répartition, effort sur l'AV du redan 3 kg. 4 par centimètre.

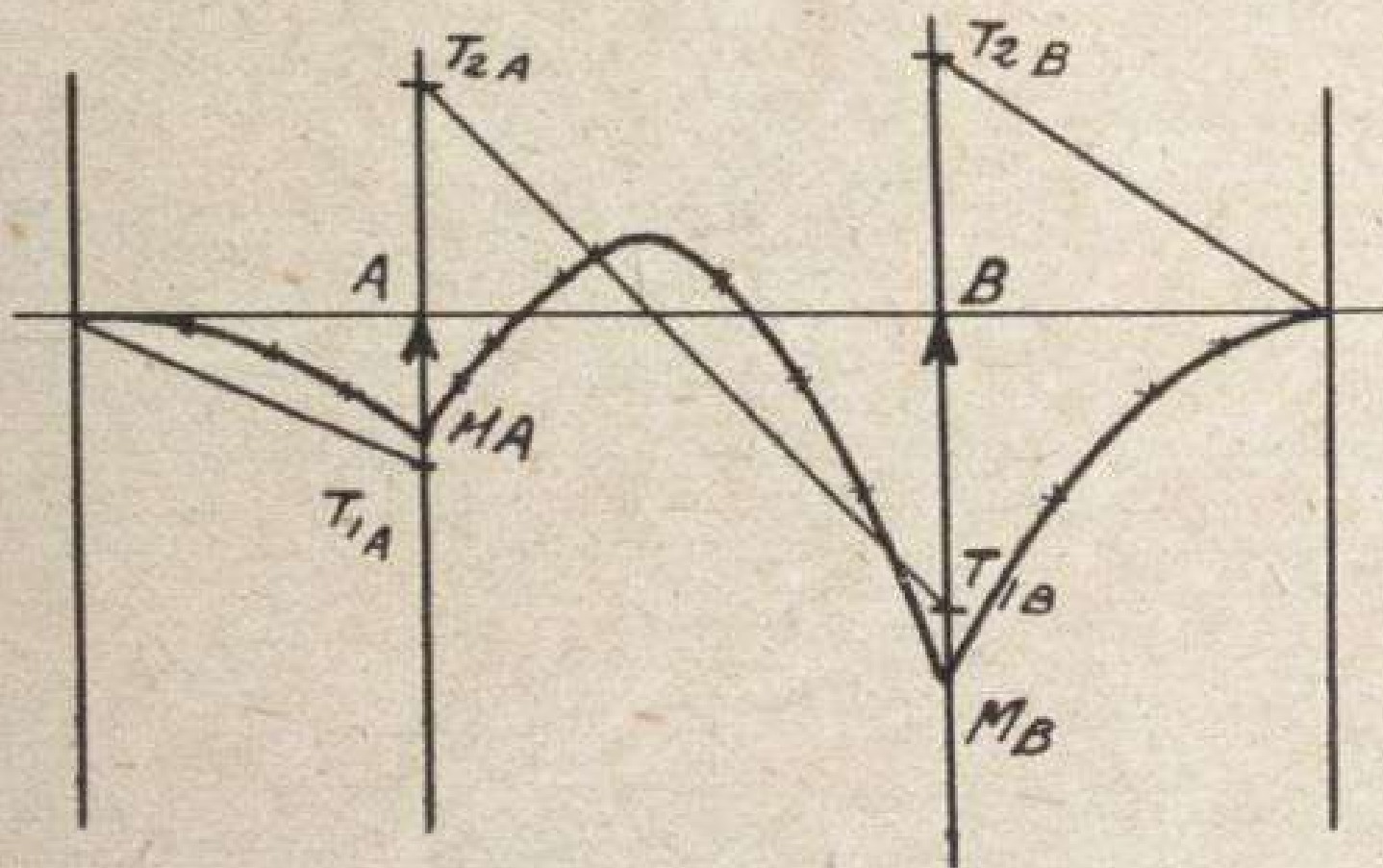


Fig. 110

b) Calcul de la poutre centrale.

$$MA = \frac{P_{\Delta} l^2}{6} = 8,5 \times \frac{106}{170} \times \frac{106^2}{6} = 9.925 \text{ kg/cm.}$$

$$MB = \frac{P_e l^2}{z} = 4,25 \times \frac{112^2}{z} = 13.328 \text{ Kg/cm.}$$

$$\begin{array}{l} T_1 A = 280 \text{ kgs} \\ T_2 A = 550 \text{ kgs} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} R_A = 830 \text{ kgs.} \\ \\ \end{array} \right.$$

$$\begin{array}{l} T_1 B = 625 \text{ kgs} \\ T_2 B = 475 \text{ kgs} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} R_B = 1.100 \text{ kgs.} \\ \\ \end{array} \right.$$

*Semelles.* — Pour des raisons constructives, leur section est de 15/15, soit 2,25 cm<sup>2</sup> constante sur toute la longueur. Or, le moment fléchissant est maxima en B où les semelles sont écartées de 36 cm. d'axe en axe (fig. 106).

Il en résulte un effort de :

$$\frac{13.328}{36} = 374 \text{ kgs par semelle.}$$

ou un taux de travail de :

$$\frac{374}{2,25} = 165 \text{ kg. } \bar{5} \text{ par cm}^2.$$

Elles sont donc surabondantes, mais les nécessités du clouage ne permettent pas d'en réduire la section.

*Ames :* L'effort tranchant est maximum à gauche de B du côté de la travée. Si l'âme est un contreplaqué bouleau de 3 mm., il travaille à  $\frac{625}{0,3 \times 38} = 55 \text{ kgs par cm}^2$  qui n'est pas un chiffre exagéré.

Les risques de flambage local nécessitent cependant un raidissement qui sera constitué par un montant de 15 × 15 en spruce à l'écartement de un varangue sur deux.

Un tel montant peut supporter au flambage

$$\frac{\pi^2 E I}{L^2} = 293 \text{ K} = \frac{10 \times 100.000}{38^2} \times \frac{1,5^4}{12}$$

Au dessus de cet effort, on prendra des montants de 15 × 20 (couples 4 à 10 inclus). Dans le sens du plus petit moment d'inertie, le flambage est empêché par le cp. Dans l'autre sens, le montant tient :

$$\frac{\pi^2 EI}{L^2} = 691 \text{ K.}$$

Dans les régions où l'effort tranchant dépasse 290 k., on



met une baguette 15 × 20 et on raidit en biais par une baguette 15 × 15 de 4 à 5 et de 7 à 9 arrivant à la répartition de la figure 106.

**5. Calcul des flancs.** — Leurs efforts sont dans le rapport :

$$\frac{3,4}{8,5} = \frac{4}{10} \text{ des précédents.}$$

Pour des raisons constructives, l'âme et les semelles ont le même échantillonnage que la poutre centrale. Il suffit donc de les raidir par des montants de couple de 15 × 15 partout (sans diagonale).

*Pont.* — Les barrots de pont terminant le cadre du couple font 15 × 15. En outre, sur le pont une baguette en peuplier extérieure en demi-rond de 15 tous les 7 cm. permet de marcher sans glisser (fig. 106).

*Cloisons.* — La cloison du redan (couple 9) doit transmettre la réaction  $R_p$  : 1.100 K de la poutre centrale aux attaches de mâture au moyen de deux jambes obliques (fig. 107) encaissant chacune 760 kgs en compression longueur 48 cm.

$$\frac{\pi^2 EI}{L^2} = \frac{10 \times 100.000 \times 1}{2.300} = 760.$$

$$I = \frac{760 \times 23}{1.000} = 1,75$$

Soit une section de 20 × 25.

Elle est constituée par un contreplaqué de 3 en 2 parties, avec des renforcements à déterminer au cours de l'étude des ferrures d'attache de train d'amerrissage et un remplissage pour redan (voir fig. 107).

## SECTION VI. — DEVIS DES POIDS.

### Bordés et contreplaqués.

Fond : 2 (4,50 × 0,70) =	6 m <sup>2</sup> 30
Flancs et poutre centrale : 3 (1.225) =	3 675
Pont : 4,50 × 0,70 =	3.15
Cloisons : 2 × (0,38 × 0,7)	$\frac{10}{13} \text{ m}^2 \text{ 530}$
× 2 K 2250 =	30 k. 700

<i>Lattes.</i>			
Frêne...	{	varangues { 7 m. en 15 × 30	
		{ 10,5 en 15 × 20	
		quilles 27 m. en 15 × 15	
		densité 0,8 .....	9 k. 880
Spruce..	{	montants { 6 m. 120 en 15 × 20	
		des couples { 3 m. 40 en 15 × 15	
		densité 0,5 .....	1 k. 300
Peuplier.	{	barrots de pont 9m. 80 en 15 × 15	
		lattes de pont 1/2 rond de 15 39 m. 50	
		densité 0,42 .....	2 k. 400
			43 k. 280
Manquent.	{	remplissages, étrave, étambot, ferrures d'at- tache et de remorque et la peinture (400 gr. au m <sup>2</sup> , soit 4kgs environ).	

Il faut donc gagner du poids si nous voulons rester au chiffre de 46 k. 2 proposé section 2.

Pour cela, on peut agir :

Sur les lattes (toupillage des varangues et couples, montants de couple en solides d'égale résistance au flambage).

Mais surtout sur les bordés *qui représentent les 2/3 du poids du flotteur* (mettre le pont en contreplaqué de 2 mm., essayer le devis de poids comparé d'un fond en 5 mm. avec varangues plus serrées, etc...).

#### SECTION VII. — CALCUL DU TRAIN D'AMERRISSAGE.

Il se compose (voir fig. 103) :

1° D'une façade AV comprenant 2 barres verticales intérieures, deux barres extérieures obliques, une barre horizontale et un croisillonnement de haubans;

2° D'une façade AR identique à la façade AV;

3° De deux jambes de recul obliques joignant dans le plan des barres verticales le nœud AV de fuselage au nœud AR de flotteur.

Nous utiliserons le règlement allemand (IV<sup>e</sup> partie, chapitre II) avec :

où

$$e = C_0 \frac{1 + a}{1 + a + a^2} V^{1,5}$$

$$V = 90$$

$$C_0 = \frac{1}{125}$$

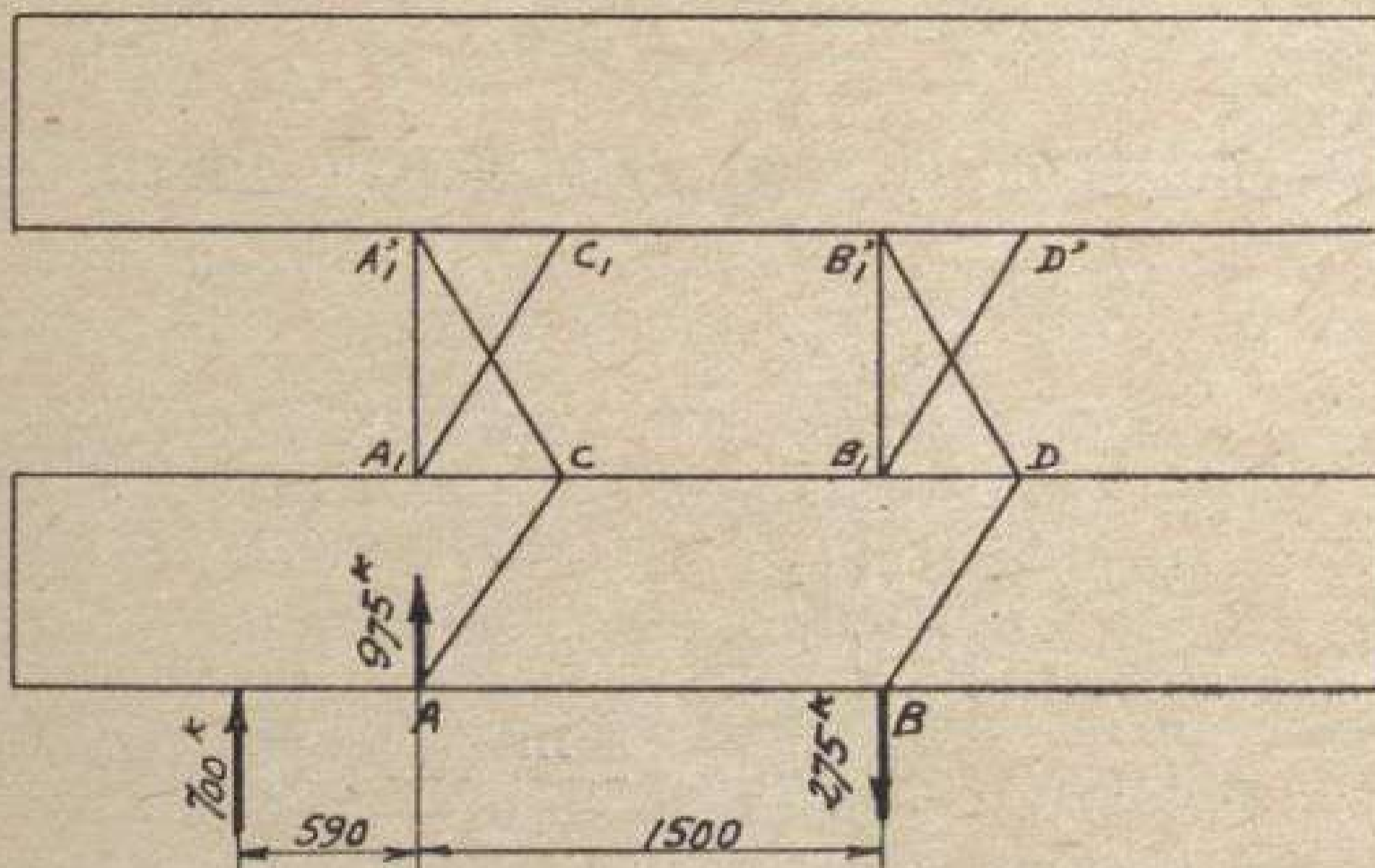
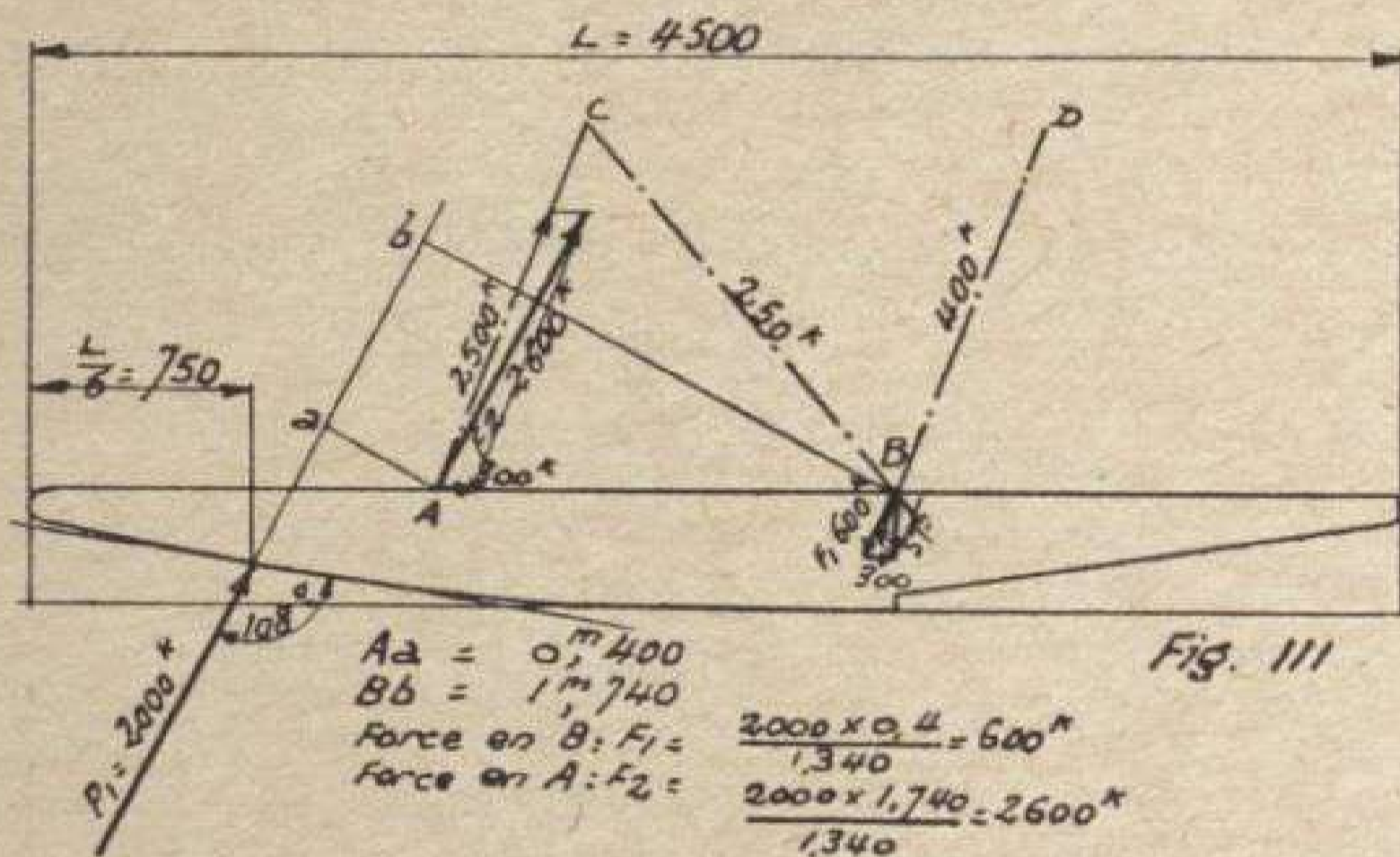
$$a = \sqrt[3]{0,785}$$

$$C_1 = 1 \text{ puisque } B = 180^\circ.$$

$$C_2 = 1.$$

}  $e = 4,7.$

Cas d'amerrissage Ia



Cas d'amerrissage III a

Il y a neuf cas de calcul à considérer, soit neuf décompositions d'effort. Faute de place, nous en traitons trois, les six autres faisant l'objet d'épures analogues.

Fig. 112

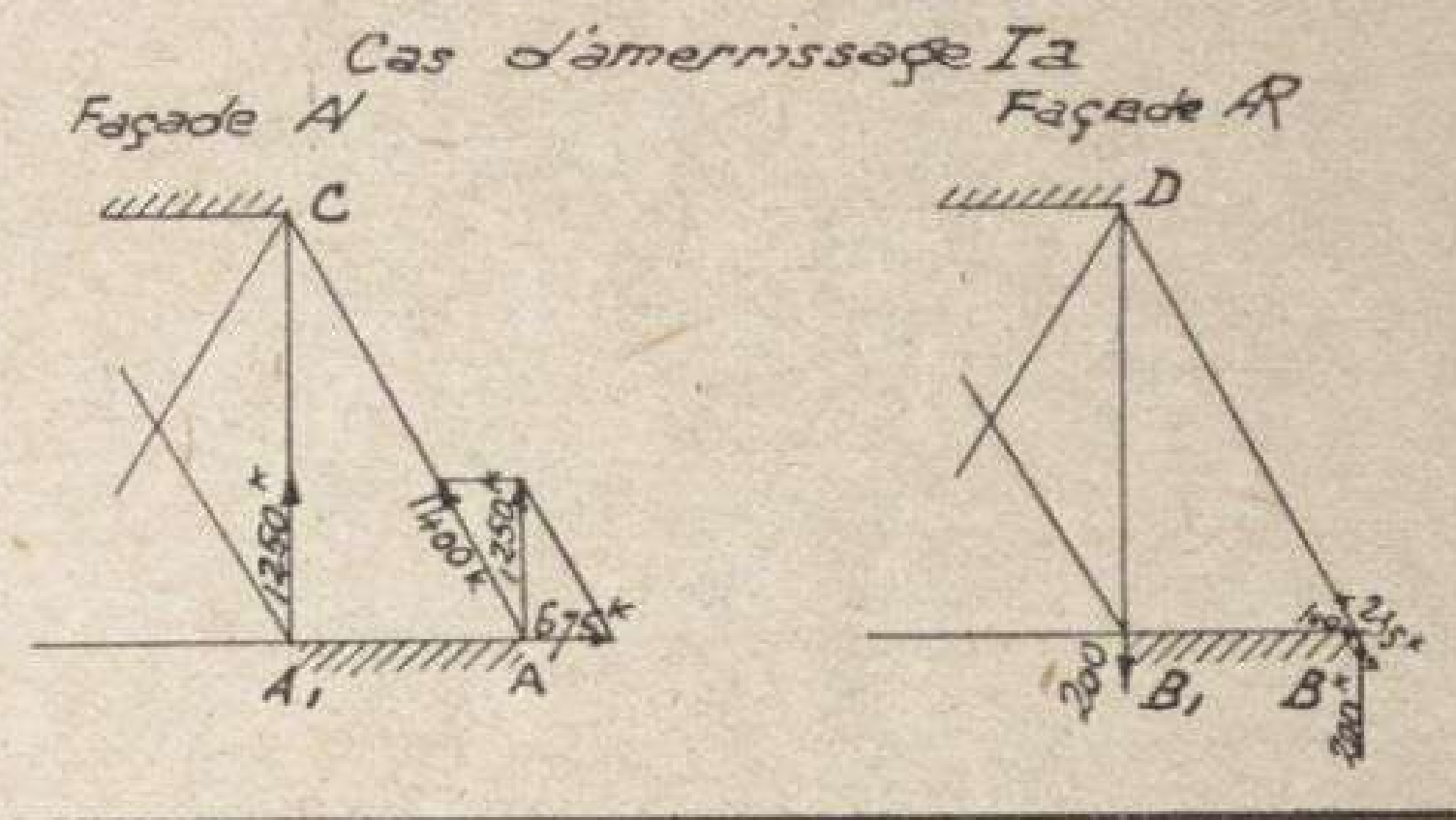
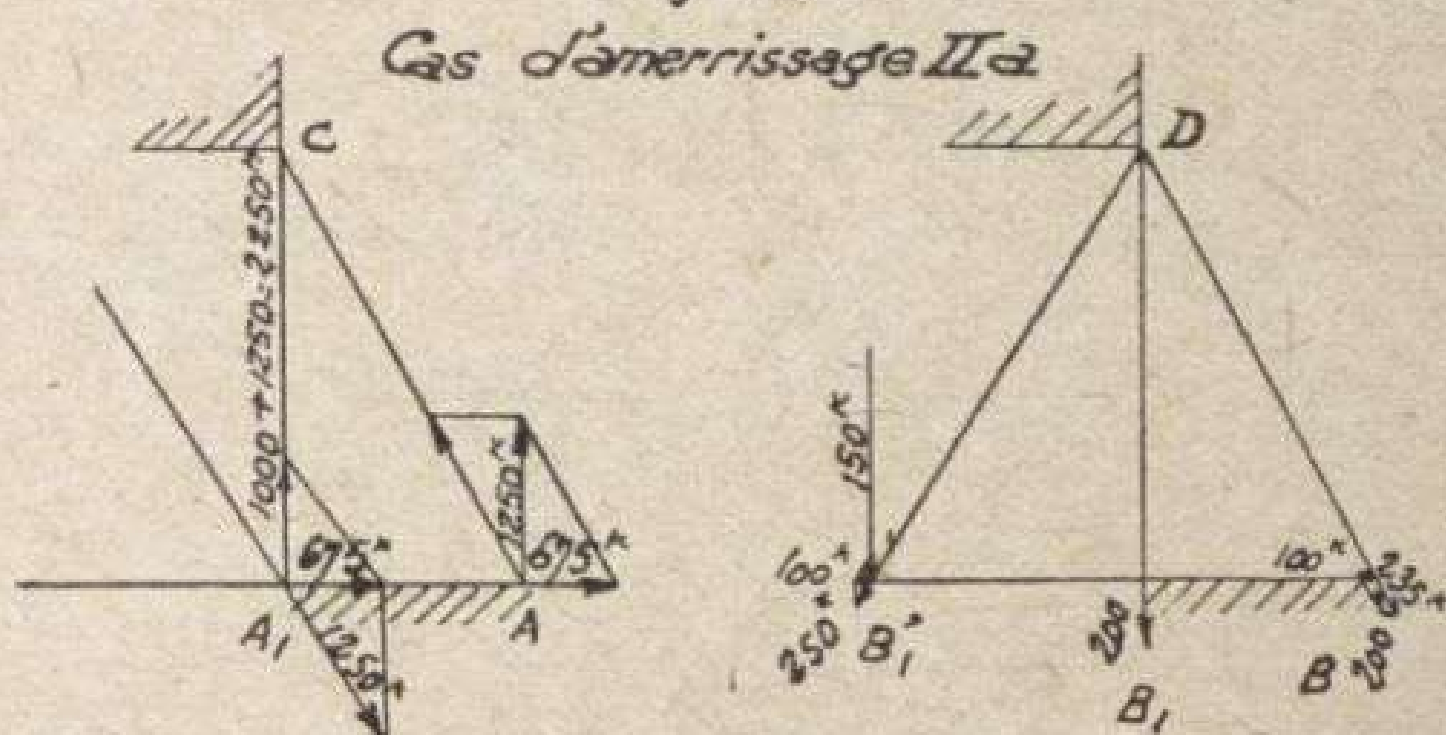


Fig. 113



Nous choisissons les cas Ia, IIa, et IIIa (amerrissage sur l'AV) :

Ia  $P' = 0,7 (ec_1 c_2 P) = 3,29 \times \frac{785}{2}$  sur chaque flotteur,

IIa  $P' = 0,35 (ec_1 c_2 P) = 1,645 \times 785$  sur un seul flotteur,

IIIa  $P' = 0,12 (ec_1 c_2 P) = 0,564 \times 785$  sur un seul flotteur,

soit, en les multipliant par le coefficient de sécurité 1,55.

$P_1 = 2.000$  kgr. appliqué à  $\frac{4 \text{ m. } 500}{6}$  de l'AV de chaque

flotteur verticalement sous un angle de  $108^\circ$  avec la tangente au fond (fig. 68 b et 111).

$P_2$  = égal à  $P_1$  mais appliqué sur un *seul* flotteur, ce qui crée des efforts dissymétriques (fig. 71 b et 111).

$P_3$  = égal au 1/3 de  $P_2$  soit 700 kg. et dirigé perpendiculairement (fig. 72 b et 111). Il se combine avec  $P_2$ .

Fig. 115

Cas d'amerrissage IIa et IIIa combinés

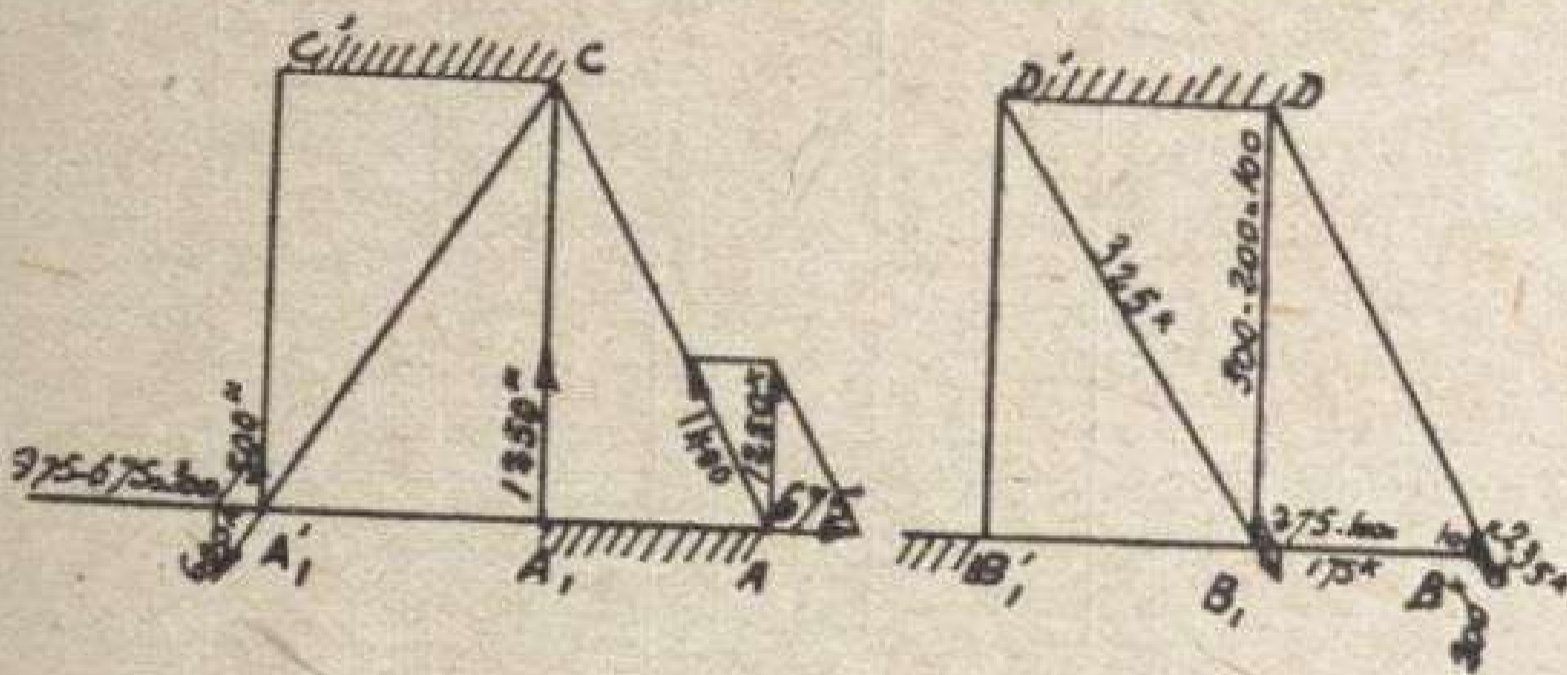
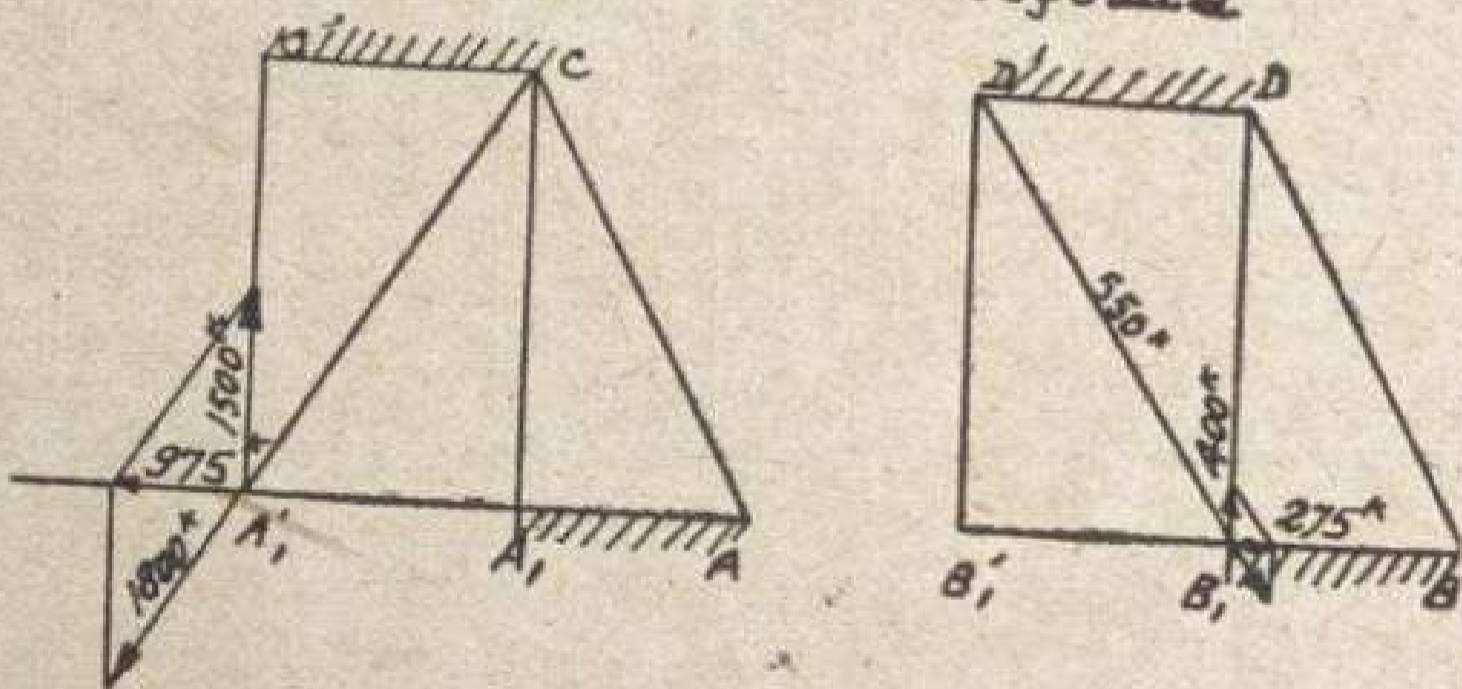


Fig. 114

Cas d'amerrissage IIIa



Les Cremonas des figures 111 et suivantes donnent la recherche des fatigues dans les barres.

Les efforts secondaires dus à la flexion propre du flotteur sont négligés, mais particulièrement dans le cas III, il y aurait lieu d'en tenir compte, car le point d'application de  $P_3$  n'est pas au nœud lui-même, mais 0 m. 38 plus bas.

On déduit le tableau des fatigues { + compression.  
- traction.

EFFORTS RÉSULTANTS.

		Ia (fi- gure 112)	IIa (fi- gure 113)	IIIa (fi- gure 114)	IIa et IIIa (fi- gure 115)	Efforts ma- xi- mums
Montant oblique extérieur avant	$\left\{ \begin{array}{l} AC \\ A'C' \end{array} \right.$	+ 1400	+ 1400	0	+ 1400	+ 1400
Montant vertical. interne avant...	$\left\{ \begin{array}{l} A_1C \\ A_1'C' \end{array} \right.$	+ 1250	+ 2250	+ 1500	+ 1250	+ 2250
Haubans Avant.	$\left\{ \begin{array}{l} A_1C' \\ A_1'C \end{array} \right.$	0	0	-1800	- 600	-1800
Barre horizontale de jonction avant .....	$\left\{ \begin{array}{l} A_1A' \end{array} \right.$	- 675	- 675	+ 975	+ 300	+ 975, -675
Jambe de recul.	$\left\{ \begin{array}{l} B_1D \\ A_1'D' \end{array} \right.$	- 250	- 250	0	- 250	-250
Montant oblique. extérieur arrière	$\left\{ \begin{array}{l} CD \\ C'D' \end{array} \right.$	- 235	- 235	0	- 235	-235
Montant vertical. intérieur arrière	$\left\{ \begin{array}{l} B_1D \\ B_1'D' \end{array} \right.$	- 200	- 200, + 150	+ 400	+ 100	+400, -200
Haubans arrière.	$\left\{ \begin{array}{l} B_1D' \\ B_1'D \end{array} \right.$	0	- 250	- 555	- 325	-550
Barre de jonction arrière.....	$\left\{ \begin{array}{l} B_1B_1' \end{array} \right.$	+ 100	+ 100	- 275	- 175	+ 100, -275

Un tableau analogue serait dressé pour les autres cas; on déduit des efforts maxima de compression et de traction les échantillonnages à déduire pour les barres.

## CHAPITRE II

### COQUE MÉTALLIQUE

#### SECTION I<sup>re</sup>. — PROGRAMME.

Hydravion pour le transport de 300 kgr de poste pouvant à la rigueur emmener 2 personnes dans la cabine postale. Rayon d'action 1.000 km.

Équipage : un pilote, un mécanicien.

**1. Devis de poids.** — Ceci porte la charge utile à  $300 + 180 \text{ kg.} = 480 \text{ kg.}$  Si le combustible a un poids égal, cela fait 960 kg. représentant 33 % du poids total qui sera de l'ordre de : 2.800 kg. La puissance à 7 kg. par cheval sera de 400 CV.

La coque nue entre pour :  $\frac{2.800}{7} = 400 \text{ kgs}$  environ.

La coque aménagée pour 600 kg. environ, soit  $30 \sqrt{W}$ , les ballonnets pour 1/10 de ce chiffre, soit 40 kg. maximum et le devis s'établit ainsi :

Cellule.....	460
Coque nue .....	400
Aménagements de coque .....	200
Empennages.....	70
Ballonnets .....	40
Moteur .....	400
Installation moteur.....	260
	<hr/>
	1.830 kg.
Charge utile.....	480 kg.
Poids de combustible (rectifié par un calcul de rayon d'action) ..	460 kg.
	<hr/>
P =	2.770 kg.

**2. Type d'appareil.** — Nous choisissons un biplan monomoteur à coque centrale de type classique (voir

Introduction, fig. 4) en conduite intérieure. Diamètre d'hélice propulsive 3 mètres. Hauteur de l'axe d'hélice au dessus de la ligne zéro : 3 m. 070 pour des raisons d'habitabilité de coque et de garde d'hélice.

SECTION II. — DIMENSIONS DE LA COQUE.

**1. Longueur totale.** — Coque longue à queue courte :

$$L = [6,36 \sqrt[3]{P} - 13,20] \text{ sans correction}$$

$$1.500 < P < 18.000$$

avec

$$P = 2.770.$$

$$L = 10 \text{ m. } 612.$$

*Largeur de coque.* —  $b = (1,13 \times 2,77)^{\frac{1}{2,3}}$   
 $= (3,130)^{\frac{1}{2,3}} = 1 \text{ m. } 64.$

*Longueur en avant du centre de gravité.*

$$l_1 = 0,415 \sqrt[3]{\frac{W \times h}{\sqrt[2]{b}}} = 4 \text{ m. } 043,$$

$$\text{avec } \begin{cases} W = 400 \text{ CV.} \\ h = 3 \text{ m. } 07 \\ b = 1 \text{ m. } 64. \end{cases}$$

*Tirant d'eau.* — Nous prendrons un amortissement de  $18^\circ$

$$T = 0,8 \left[ \frac{P}{b \times l_1} + \frac{b}{3} \times \text{tg} (\alpha + 5^\circ) \right] = 0 \text{ m. } 57$$

**2. Angles caractéristiques de la coque.**

*Voilure avec ligne zéro.* — Cet angle est celui de portance maxima pour la meilleure finesse (qui est inférieur à celui de portance maxima)  $\varphi = + 2^\circ 14'$ .

*Fond AV sur la ligne zéro.* — Nous prendrons  $+ 3^\circ$ .

*Angle AR du redan à l'étambot.* — Nous prendrons  $11^\circ$ .

*Distance entre la verticale de centre de gravité et le redan.* — Nous adopterons 0 m. 70.

*Hauteur du centre de gravité.* — Par comparaison avec un appareil existant, nous pouvons prendre 1 m. 68.

*Angle de la verticale de G et de la droite joignant G au redan.* — Cet angle a pour tangente :

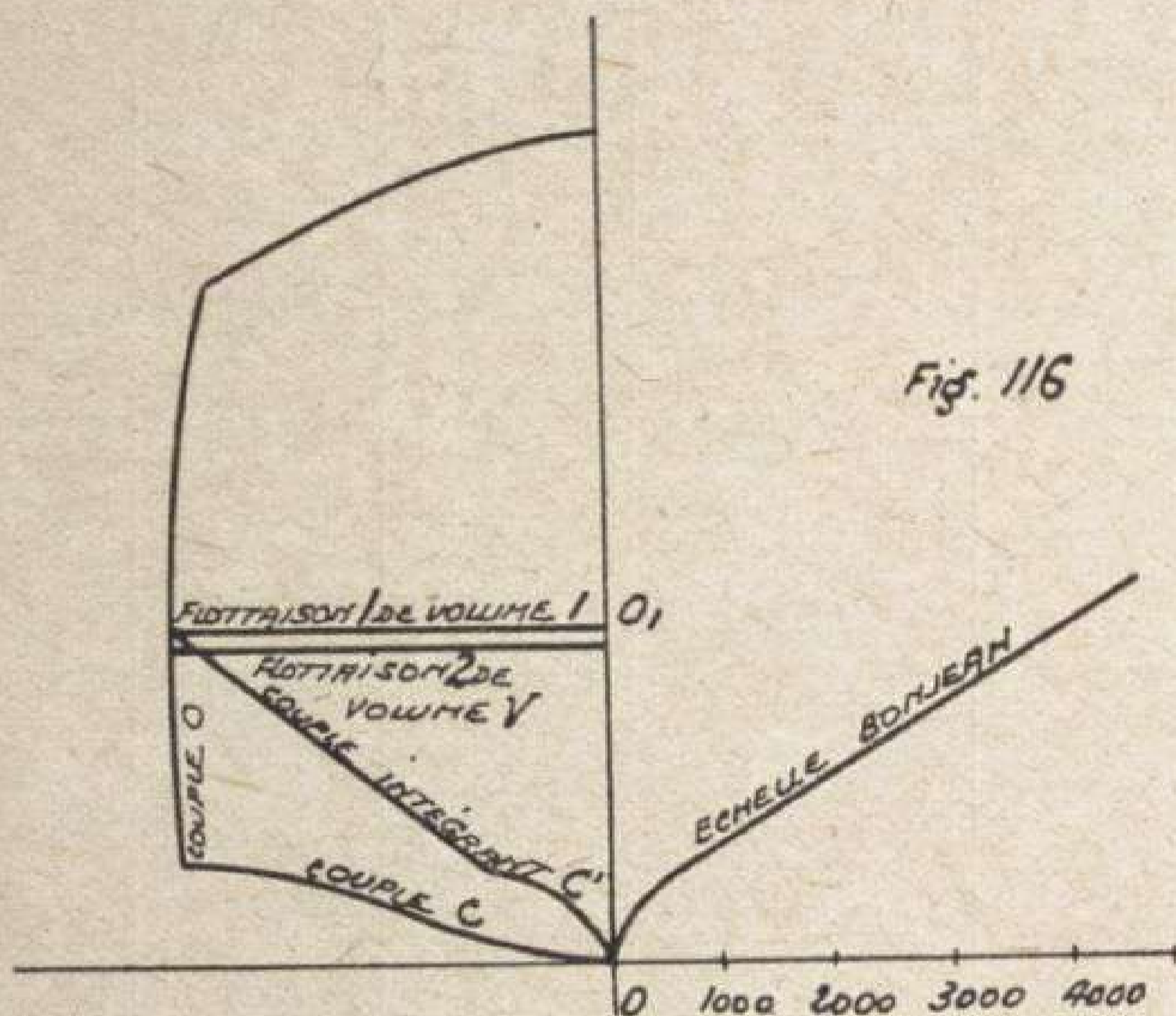
$$\frac{0,70}{1,68} = 0,4166 \text{ soit } 22^\circ 37'$$



Distance de l'étrave au redan. — 4 m. 043 + 0 m. 70  
= 4 m. 743.

De ces données se déduit le plan des formes (voir fig. 19).

**3. Calcul de la flottaison** (voir fig. 19). — Nous avons



Tracé du couple  $\delta AV$   
Echelle Bonjean et couple intégrant

trouvé un tirant d'eau de 0 m. 57. Afin d'avoir un volume suffisant, nous relèverons les couples et une ligne de flottaison telle que le tirant d'eau soit de 0 m. 62.

Nous avons tracé le couple  $\delta AV$  (fig. 116). Ce couple porte la flottaison (1) qui se trouve trop grande, la flottaison (2) correcte, en volume, l'échelle Bonjean et le couple intégrant  $C'$  de  $C$  limité à la flottaison (2) par rapport à 0.

Les opérations effectuées sur les couples nous permettent de constituer le tableau I.

**4. Trace de la courbe des volumes.** — Figure 117 nous avons tracé la courbe des volumes  $\Sigma_1$  avec les éléments de la première colonne du tableau I.

FLOTTAISON I				
Surface 1/2 couple dm <sup>2</sup>	Surface 1/2 couple intégrant dm <sup>2</sup>	00 <sub>1</sub> mètres	Moment dm <sup>3</sup>	N <sup>os</sup> du couple
4 dm <sup>2</sup>	3,35	0,44	14 dm <sup>3</sup> 8	2
18,75	12,90	0,48	62	3
26,5	17,30	0,51	88	4
31,7	19,80	0,53	105	5
35,5	21,8	0,57	124	5
40	23,2	0,60	139	7
42,5	24,1	0,62	149	8 AV
30	22,50	0,62	139,5	8 AR
26,50	19,40	0,65	126	9
17,00	13,50	0,705	95,2	10
5,5	5,15	0,76	39,1	11

La planimétrie de cette courbe  $\Sigma_1$  nous donne  $S_1 = 158 \text{ cm}^2 5$ .

$$\frac{V}{2} = 158,5 \times 0,4 \times 0,025 = 1 \text{ m}^3 585.$$

$$V = 3 \text{ m}^3 170.$$

Soit un volume trop grand de

$$3 \text{ m}^3 170 - 2 \text{ m}^3 770 = 0 \text{ m}^3 400.$$

**5. Correction de volume.** — Un tracé de la surface de flottaison nous donne sur la figure 118 :

$$S = 2 \times 125,5 \times 0,4 \times 0,1 = 10 \text{ m}^2 04.$$

La hauteur dont nous devons diminuer le tirant d'eau est donc de

$$h = \frac{0 \text{ m}^3 400}{10,04} = 0 \text{ m. } 04.$$

Sur chacun des couples nous portons la nouvelle hauteur de la flottaison égale à l'ancienne diminuée de 0 m. 04.

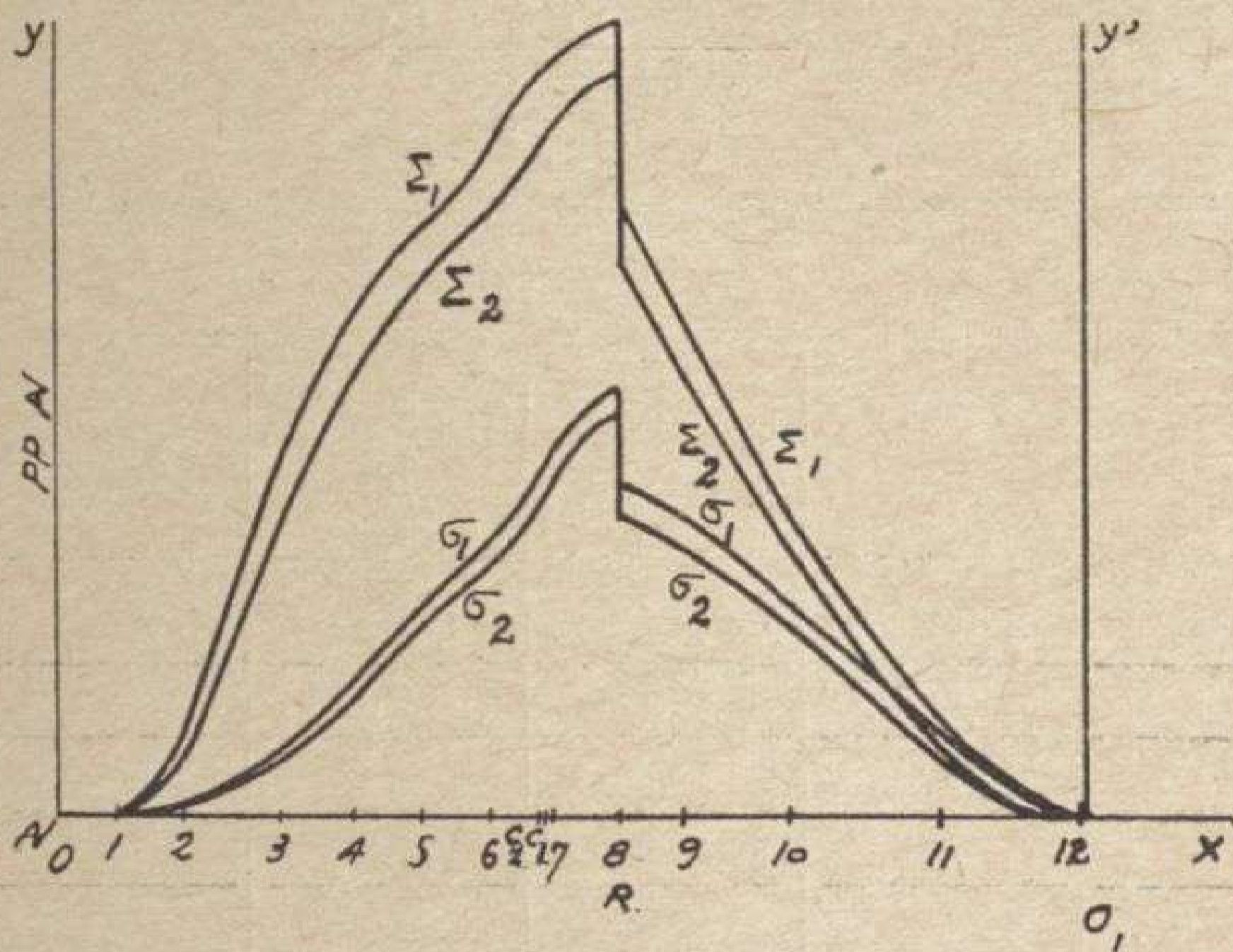


Fig. 117

Une nouvelle série de planimétries nous donne les éléments du tableau II relatif à la flottaison 2.

Les éléments de la colonne 2 du tableau II nous permettent de tracer (fig. 117) la courbe  $\Sigma_2$  dont la planimétrie donne  $S_2 = 138 \text{ cm}^2 5$ .

$$\frac{V}{z} = 138,5 \times 0,4 \times 0,025 = 1 \text{ m}^3 385,$$

$$V = 2 \text{ m}^3 770. \text{ Soit un volume correct.}$$

**6. Position des centres de carène.** — a) *En longueur :*

Sur la figure 117 nous avons tracé les courbes intégrantes premières  $\sigma_1$  et  $\sigma_2$ , des courbes des volumes  $\Sigma_1$  et  $\Sigma_2$ .

La planimétrie de ces courbes nous donne :

$$\text{aire de } \sigma_1 = 75,3 \text{ cm}^2$$

$$\text{aire de } \sigma_2 = 65,5 \text{ cm}^2.$$

d'où l'on déduit les distances des points  $c_1$  et  $c_2$  au point 0

$$Oc_1 = \frac{75,3 \times 22 \times 0,4 \times 0,4 \times 0,025}{158,5 \times 0,4 \times 0,015} = 4 \text{ m. } 18.$$

$$Oc_2 = \frac{65,5 \times 22 \times 0,4 \times 0,4 \times 0,025}{138,5 \times 0,4 \times 0,025} = 4 \text{ m. } 16;$$

TABLEAU II.

Nro du couple	Flottaison 2			
	Surface du 1/2 couple dm <sup>2</sup>	Surface du 1/2 couple intégrant dm <sup>2</sup>	Distance 00 <sub>1</sub> m.	Moment dm <sup>3</sup>
2	2 dm <sup>2</sup> 75	2 dm <sup>2</sup> 05	0,44	9 dm <sup>3</sup>
3	15,75	10,60	0,48	51
4	23	14,00	0,51	71,5
5	28,25	16,40	0,53	87
6	32,5	19,00	0,57	108
7	36,75	20,00	0,60	120
8	39,5	21,20	0,62	131,5
8 AR	30	19,60	0,62	121,5
9	23,75	15,80	0,65	102,7
10	14,50	11,10	0,705	78,3
11	3,75	3,45	0,76	26,2

b) *En hauteur :*

Les éléments des colonnes (moments) des tableaux II et III nous permettent de tracer les courbes  $S_1$  et  $S_2$  de la figure 118 ou courbes des moments des couples par rapport à la ligne zéro (OX).

La planimétrie nous donne :

$$\text{aire } S_1 = 162 \text{ cm}^2$$

$$\text{aire } S_2 = 134 \text{ cm}^2$$

d'où somme des moments par rapport à OX des couples sous la flottaison (1)

$$162 \times 0,4 \times 0,01 = 0 \text{ m}^4 648$$

somme des moments par rapport à OX des couples sous la flottaison (2)

$$134 \times 0,4 \times 0,01 = 0 \text{ m}^4 536.$$

On en déduit aisément les distances

$$e_1 C_1 = \frac{2 \times 0,648}{3,170} = 0 \text{ m. } 408$$

$$e_2 C_2 = \frac{2 \times 0,536}{2,770} = 0 \text{ m. } 386$$

Ces résultats sont portés sur la figure 19.

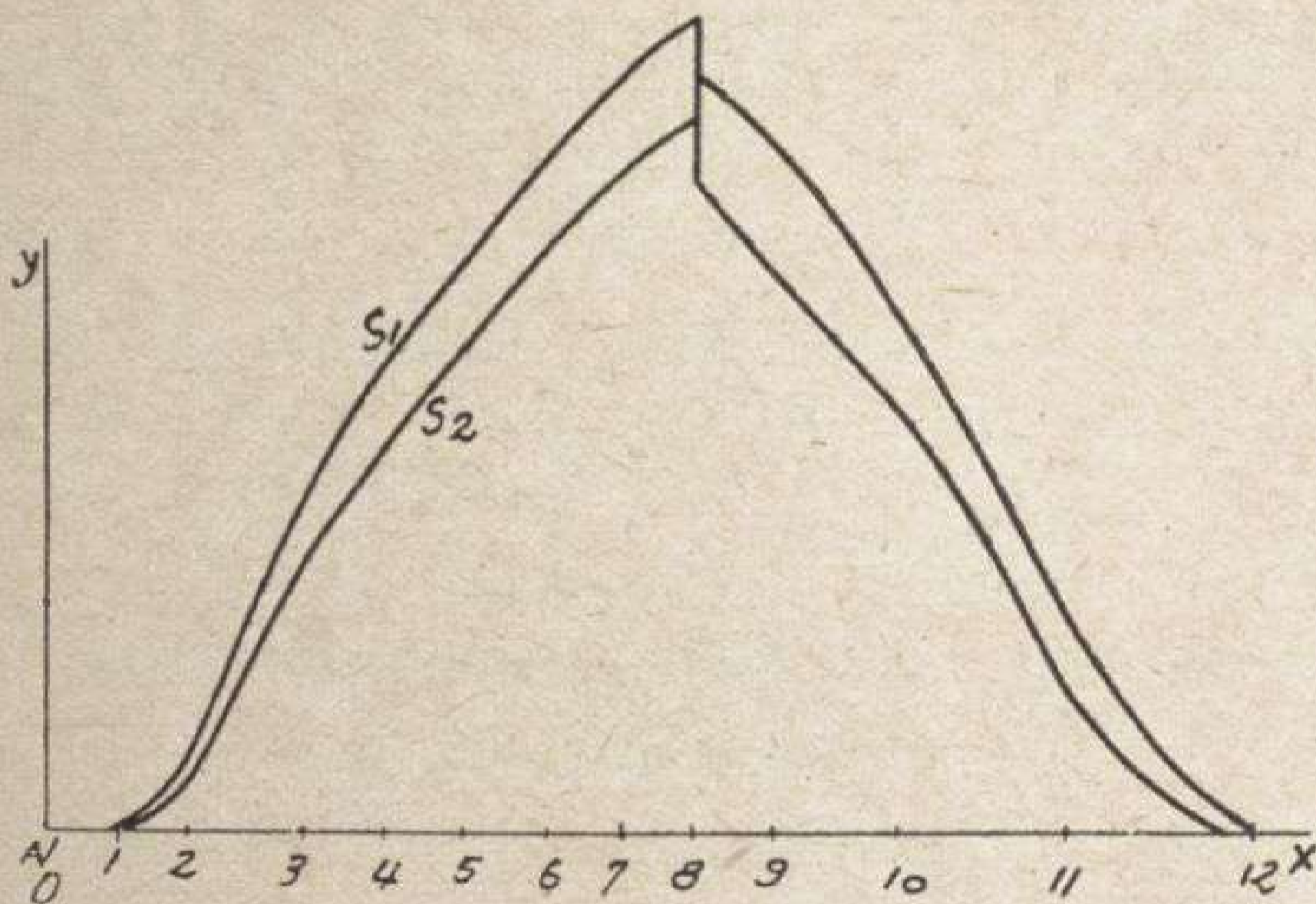


Fig. 11B

Nous constatons que la position du centre de carène  $C_2$  ne correspond pas à l'équilibre (il n'est pas sur la perpendiculaire menée de G à la flottaison 2).

**7. Correction d'assiette.** — Nous devons faire tourner la flottaison (2) d'un angle  $\theta$  autour du métacentre M pour l'amener en 3 (fig. 29).



TABLEAU III.

Flottaison 1			Flottaison 2		
Nomenclature	Calculs	Résultat	Nomenclature	Calculs	Résultat
Aire de la surface de flottaison	$S = 2 \times 12,5 \times 0,4 \times 0,1$	10 m <sup>2</sup> 04	Aire de la surface de flottaison	$S_2 = 2 \times 123 \times 0,4 \times 0,1$	9 m <sup>2</sup> 84
Moment par rapport à OY	$2 \times 61,5 \times 0,4 \times 0,1 \times 0,4 \times 22$		Moment par rapport à OY	$2 \times 60 \times 22 \times 0,4 \times 0,1 \times 0,4 \times 0,4$	
Distance de $g_1 g'_1$ à OY	$d_1 = \frac{2 \times 61,5 \times 22 \times 0,4 \times 0,1 \times 0,4}{2 \times 125,5 \times 0,4 \times 0,1}$	4 m. 31	Distance de $g_2 g'_2$ à OY	$p_2 = \frac{2 \times 60 \times 22 \times 0,4 \times 0,1 \times 0,4}{2 \times 123 \times 0,4 \times 0,1}$	4 m. 29
Moment d'inertie $I_{1,oy}$	$2 \times 36 \times 0,4 \times 0,1 \times \frac{22^2}{0,4^2}$	223 m <sup>4</sup>	Moment d'inertie $I_{2,oy}$	$2 \times 34,5 \times 0,4 \times 0,1 \times \frac{22^2}{0,4^2}$	213 m <sup>4</sup> 8
$d_1^2$	$4,31 \times 4,31$	18 m <sup>2</sup> 57	$d_2^2$	$4,29 \times 4,29$	18 m <sup>2</sup> 4
$d_1^2 S_1$	$18,57 \times 10,04$	186 m <sup>4</sup> 6	$d_2^2 S_2$	$18,4 \times 9,84$	181 m <sup>4</sup>
$I_1 g_1 g'_1$	$223 \text{ m}^4 - 186 \text{ m}^4$	36 m <sup>4</sup> 4	$I_2 g_2 g'_2$	$213,8 - 181$	32 m <sup>4</sup> 8

La construction est détaillée *fig. 29*.

Soient les deux flottaisons, les deux centres de gravité des aires  $g_1$  et  $g_2$ , les deux centres de carènes  $C_1$   $C_2$  et le centre de gravité  $G$ . En  $g_2$  et en  $C_2$  élevons des perpendiculaires  $g_2 N$  et  $C_2 M$  à la surface de flottaison (2). Portons  $g_2 N = 9$  m. et  $C_2 M = 11$  m. 84, décrivons la circonférence de rayon  $g_2 N$ ; joignons  $MG$ . L'angle des droites  $MG$  et  $MC_2$  est l'angle  $\theta$  cherché. Il ne reste plus qu'à mener la tangente au cercle décrit de  $N$  comme centre avec  $N g_2$  comme rayon, perpendiculairement à la droite  $MG$  pour avoir la flottaison (3) sensiblement isocarène de (2).

L'angle  $\theta$  dont nous avons tourné étant plus petit que  $1^\circ$  nous admettrons que la flottaison est correcte et qu'il n'y a pas lieu de faire une nouvelle correction.

Une vérification faite sur la courbe des volumes de (3) donne  $V = 2.780$  l. Le centre de carène  $C_3$  peut être pris à l'intersection de  $MG$  et du cercle de centre  $M$  et de rayon  $M C_2$ .

#### SECTION IV. — ÉTUDE DE LA STABILITÉ.

Nous nous bornerons à la détermination du volume de ballonnet (voir 4<sup>e</sup> partie, appendice).

$$P = 2.770 \text{ kg.}$$

Distance du pied de mât de voileure biplane (où nous fixerons le ballonnet) à l'axe d'appareil : 5.400 m.

$$\text{Volume de ballonnet} = \frac{0,6 \times 2.770}{5.400} = 306 \text{ litres.}$$

#### SECTION V. — CALCULS DE RÉSISTANCE.

Le manque de place ne nous permet que de les ébaucher.

Nous adoptons le système transversal : couples en treillis écartés d'environ 500 mm. s'appuyant sur les flancs de coque.

La coque est en duralumin ( $R = 40$  kgs), mais nous ne dépasserons pas  $E = 25$ ).

**1. Efforts sur le fond.** — Appliquons le règlement Véritas :

$$p = K \left( \frac{100}{V} \right)^2 \times \sigma_r$$



$K = 0,5$  pour amortissement de 18.

$V = 90$  km heure vitesse d'amerrissage.

$\sigma_r =$  coefficient de sécurité pris égal à 2.

Il vient  $p = 0,5 \left(\frac{90}{100}\right)^2 \times 2 = 0$  k. 810.

Nous prendrons 1 kg. pour simplifier, en échantillonnant très juste.

**2. Calcul du bordé de fond.** — Faisons le calcul pour la région comprise entre le redan et la cloison immédiatement en avant à 536 mm. Le calcul des autres régions s'en déduit.

a) *Portions planes ou convexes.* — Un lissage longitudinal écarté de 10 centimètres crée des mailles de  $10 \times 52,6$  centimètres.

L'épaisseur de tôle est de 16/10.

$$t = 0,75 \frac{\left(\frac{10}{2}\right)^2}{0,16^2} \times \frac{2 \times 1}{1 + \left(\frac{10}{52,6}\right)^2} = 14 \text{ k. } 17.$$

Taux de travail très acceptable, si l'on tient compte que cette région encaisse les efforts d'échouage et ceux dus au premier contact lors de l'amerrissage.

b) *Lisses des parties planes ou convexes.* — Elles supportent un rectangle de fond de  $10 \times 52,6$  cm. Si on les suppose sur appuis, le moment de flexion maximum au centre a pour valeur.

$$M = \frac{(1 \times 10) \times 526^2}{8} = 34.584 \text{ kg/mm.}$$

correspondant à un  $\frac{I}{V}$  d'environ 1.000 pour  $R = 35$  k.

Un U de  $30 \times 15 \times 15/10$  a un  $\frac{I}{V}$  de 773 et un poids au mètre de 258 grammes.

Avec une bande de bordé de fond d'une largeur de 30 mm. que son rivetage rend solitaire, on dépasse le  $\frac{I}{V}$  de 1.000 demandé. En réalité, les lisses ont un certain degré d'encastrement et seront moins fatiguées que le calcul ne l'indique.

*Portions courbes.* — Dans cette région, le tracé des formes sera conduit de manière à réaliser vers la quille d'angle un rayon de 0 m. 600, dans la partie intermédiaire un rayon de 2 mètres se raccordant à la partie centrale avec un rayon concave inverse (fig. 120).

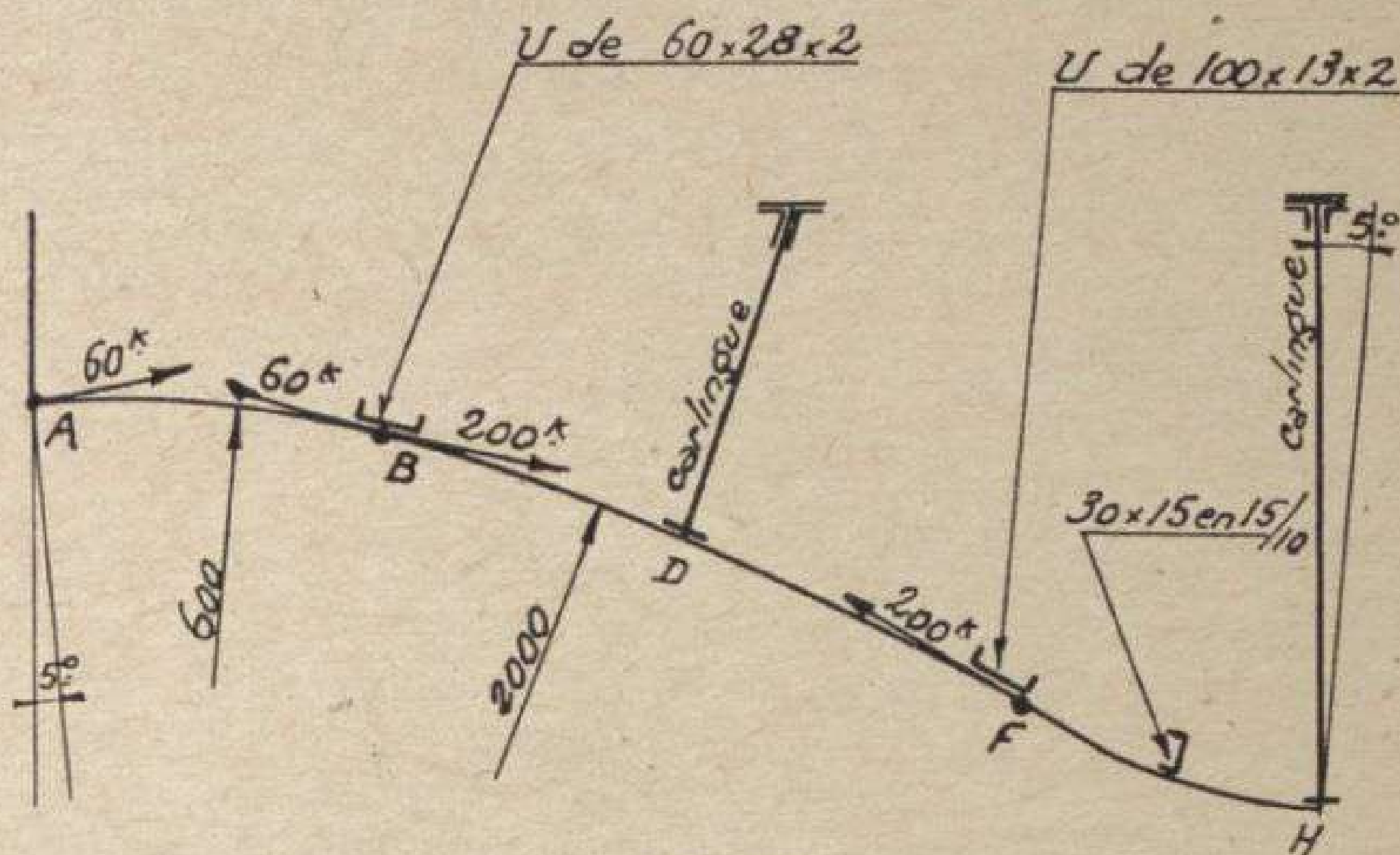


Fig. 120

La plus grande valeur de la fatigue de la tôle a lieu pour la plus grande valeur du rayon, soit

$$n = \frac{Rp}{10 e} = \frac{200 \times 1}{10 \times 1,6} = 12 \text{ kg. 5 par mm}^2.$$

Cette fatigue est une traction dans le plan de figure perpendiculaire au rayon du point considéré.

Que se passe-t-il aux génératrices extrêmes?

En A l'effort est de  $Rp = 60$  kgs au centimètre courant à encaisser par la quille d'angle.

En B, génératrice commune, il est de  $(200 - 60) = 140$  kgs au centimètre.

En F, point d'inflexion, il a sa valeur maximum 200 kgr.

Les efforts suivant la génératrice F entre les couples 7 et 8, vont être encaissés par une poutre en U rivée à plat sur le bordé de fond. Le moment de flexion au centre a pour valeur :

$$M = \frac{pl^2}{12} = \frac{20 \times 526^2}{12} = 461.126 \text{ kg/mm.}$$

nécessitant un  $\frac{I}{V}$  minimum de :  $\frac{461.126}{25} = 18.175$ .

Un U de  $100 \times 13 \times 2$  mm. faisant corps avec une bande de bordé de 200 mm. en 1 mm. 6 d'épaisseur réalise un  $\frac{I}{V}$  de 18.112, donc convenable.

A l'encastrement, le moment a pour valeur :

$$M = \frac{p l^2}{24} = 230.563 \text{ kg/mm.}$$

d'où un taux de fatigue :  $t = \frac{230.563}{18.112} = 14 \text{ kg. 3.}$

Cette fatigue  $t$  s'exerce également dans le bordé, mais perpendiculairement au plan de figure sous forme d'un cisaillement et s'ajoute à la fatigue  $n$  précédemment trouvée.

Selon les fibres, cette valeur change d'orientation et varie de la fatigue normale maxima

$$fn = \frac{1}{2} (n + \sqrt{n^2 + 4 t^2}) = 21 \text{ kg. 87}$$

à la fatigue tangentielle maxima

$$ft = \frac{1}{2} \sqrt{n^2 + 4 t^2} = 15 \text{ kg. 62.}$$

Ces valeurs étant des maxima que le glissement réciproque des fibres diminue.

On trouverait de même qu'au point B de changement de courbure  $(R - r) = 140$  kgr, il faut une membrure ayant un  $\frac{I}{V}$  de 9.280 réalisée par un U de  $68 \times 28 \times 2$  mm. rivé à plat et faisant corps avec une bande de bordé de 140 mm.

**3. Calcul d'une varangue.** — Chaque varangue est constituée d'un treillis dont les efforts se déterminent par un Cremona.

Nous étudierons la varangue 7 (fig. 121).

Elle correspond à une largeur de bande de 52 cm. 6 sur une longueur entre quilles d'angles de 1 m. 584. La longueur développée du fond est de 1 m. 750.

La varangue est constituée par une poutre en treillis

appuyée sur les flancs de coque en A et son symétrique, et soumise aux charges suivantes :

En A : réaction d'appui égale à la demi-charge

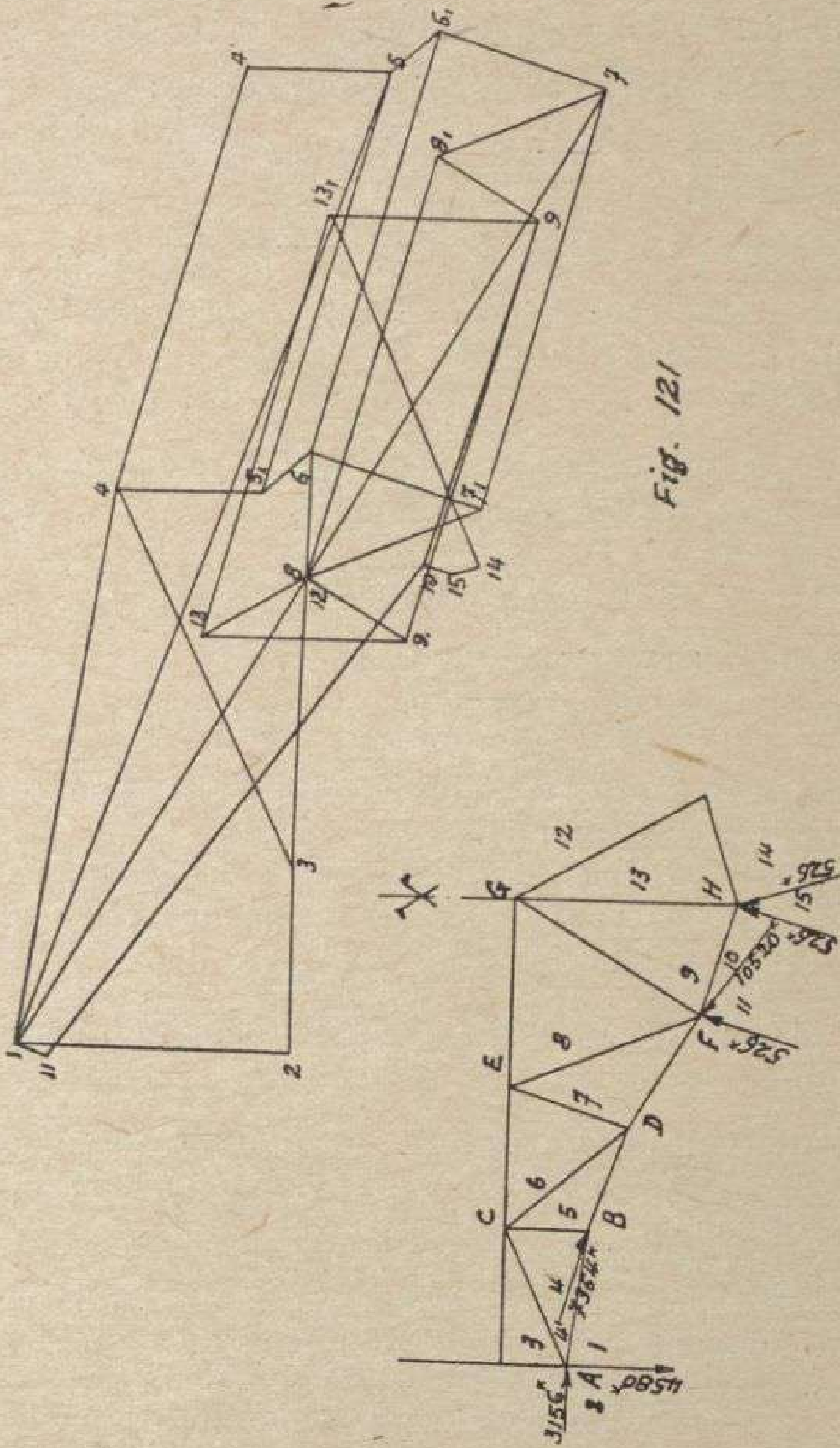


Fig. 121

$$1 \text{ kg.} \times \left( 52,6 \times \frac{1.740}{2} \right) = 4.580 \text{ kgs.}$$

dirigée vers le bas.

En A effort transmis par la quille d'angle dirigée selon la tangente au fond et ayant pour valeur :

$$Rp l = (1 \times 60 \times 52,6) = 3.156 \text{ K.}$$

En B, point de changement de courbure, effort tangent au fond transmis par la membrure calculée plus haut :

$$(R - r) p l = 1 \times 140 \times 52,6 = 7.364 \text{ K.}$$

En F, point d'inflexion, effort tangent au fond dû à la traction de la tôle, transmis également par le lissage :

$$Rp l = 200 \times 52,6 = 10.520 \text{ k.}$$

En F : demi-charge sur la partie convexe, large de 200 mm. par côté, perpendiculaire à FH, ayant pour valeur :

$$\frac{1 \text{ k.} \times 20 \times 52,6}{2} = 526 \text{ k.}$$

En G : deux demi-charges semblables, l'une due à FH, l'autre à son symétrique.

Nous avons établi (fig. 121) le Crémona des efforts. Il en résulte le tableau suivant :

Pied de varangue.....	{	AB = + 9.400 kgs
		BD = + 17.350 kgs
		DF = + 18.600 kgs
		FH = + 6.100 —
Haut de varangue.....	{	CE = — 7.000 kgs
		EG = — 5.500 kgs
Croisillons.....	{	AC = — 7.000 kgs
		CB = + 2.400 —
		CD = + 1.200 —
		ED = + 2.200 —
		EF = — 2.250 —
		FG = + 2.050 —
		GH = — 3.500 —

On en déduit les échantillons à donner aux barres par un problème classique de charpente métallique au moyen de cornières ou U accolés en duralumin ayant la section

et le moment d'inertie convenables et en mettant le nombre de rivets nécessaires aux assemblages.

**4. Carlingues.** — Théoriquement, il n'y en a pas besoin dans ce système.

Nous en mettons cependant trois, une centrale selon GH tout du long, deux latérales perpendiculaires au fond selon ED (fig. 120) dans la partie centrale seulement. Elles sont constituées en treillis analogue à la figure 80, et interrompues aux couples. Leur rôle sera le suivant :

1° Empêcher les varangues de se coucher (ce qui influencera sur l'échantillonnage de celle-ci en réduisant les longueurs de flambage).

2° Solidariser les couples autrement que par les parois de la coque, pour le cas où certains seraient particulièrement chargés.

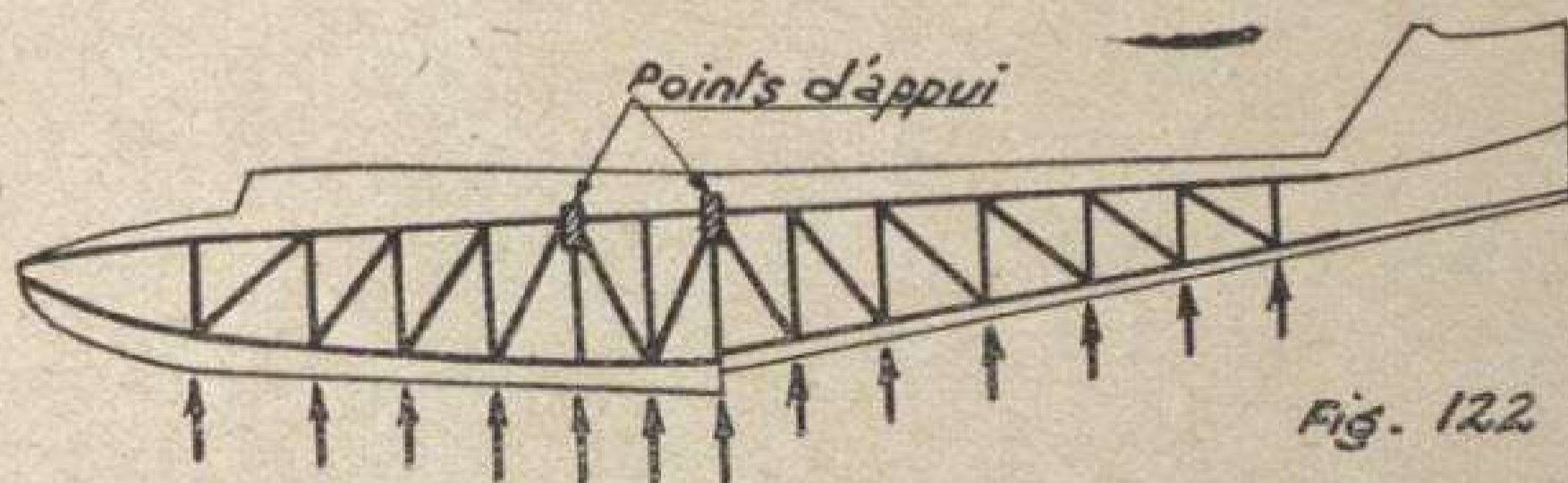
3° Supporter les planchers de circulation et d'habitacles qui ne peuvent être en porte-à-faux entre 2 couples et transmettre directement les charges qu'ils supportent au fond pour s'opposer à l'action de l'eau (fig. 62).

Leur calcul nécessite une hypothèse :

1° Les efforts dus aux charges contenues dans la coque sont connus avec précision. On les applique aux nœuds supérieurs.

2° Les efforts dus à l'eau sont les efforts *d'ensemble* sur le fond, c'est-à-dire la pression *moitié* de la pression unitaire envisagée plus haut (Règlement Véritas).

Les efforts se déterminent par un Crémone analogue à celui de la varangue.



**5. Calcul du flanc.** — On déduit des épures de varangues les réactions d'appui transmises aux flancs de coque. Conformément au règlement Véritas, on les divise par 2,

et on les applique aux nœuds d'un système constitué par figure 122) :

Deux poutres longitudinales, la quille d'angle et le livet de pont;

Des montants verticaux, les couples;

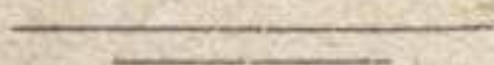
Des croisillons en diagonale, constitués par des U accolés, rivés au bordé, ou par le bordé seul travaillant en traction si l'effort est faible.

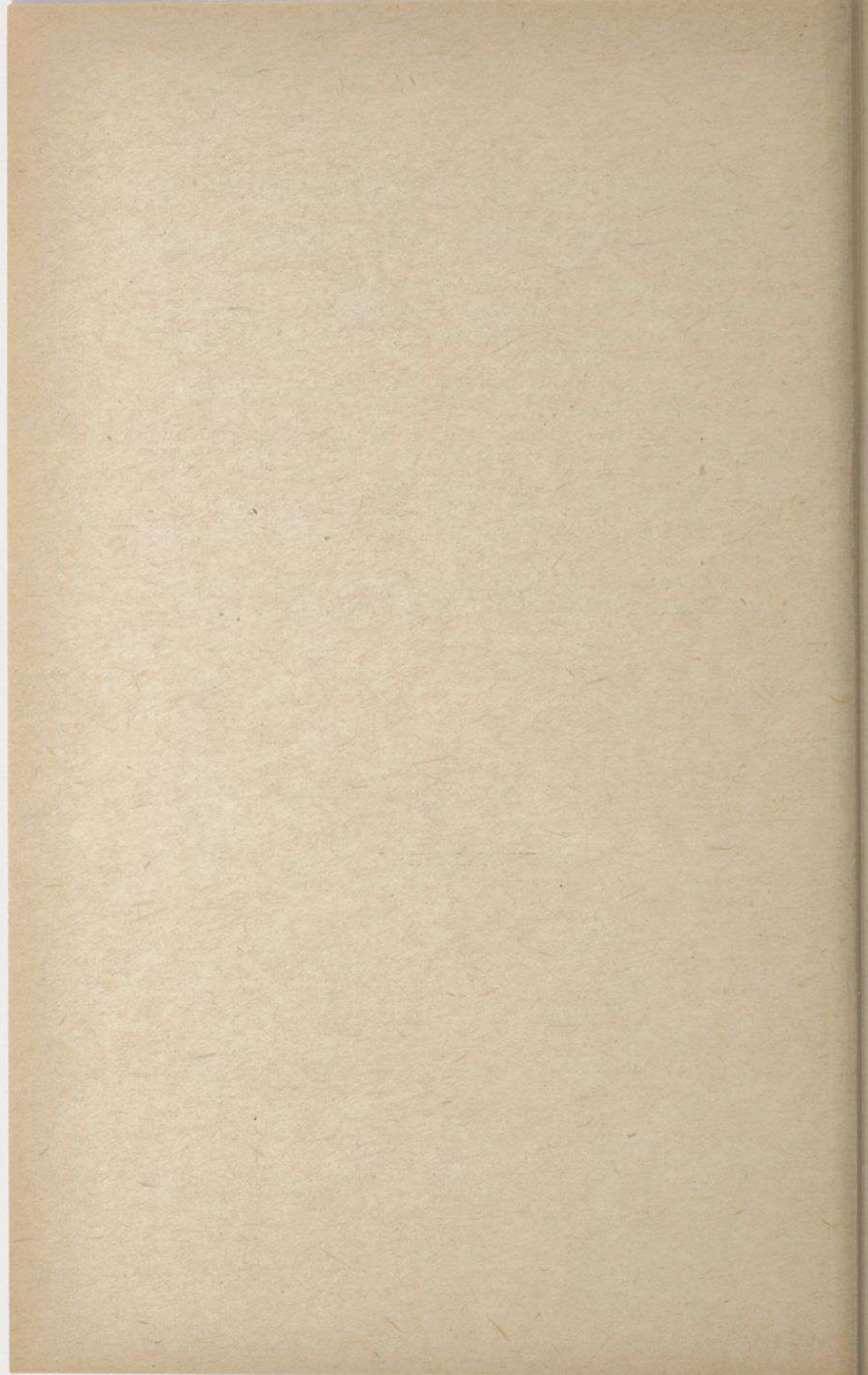
Les fatigues s'obtiennent par un Crémona analogue à celui des fuselages .

On établit ensuite le Crémona des fatigues dues aux empennages pendant le vol, et on établit les échantillonnages pour le cas de fatigue maxima.

Il peut être intéressant de vérifier que le règlement allemand ne donne pas des fatigues supérieures dans certaines barres.

La suite de l'étude (plan de charpente et devis de poids) se conduira comme dans l'exemple précédent.

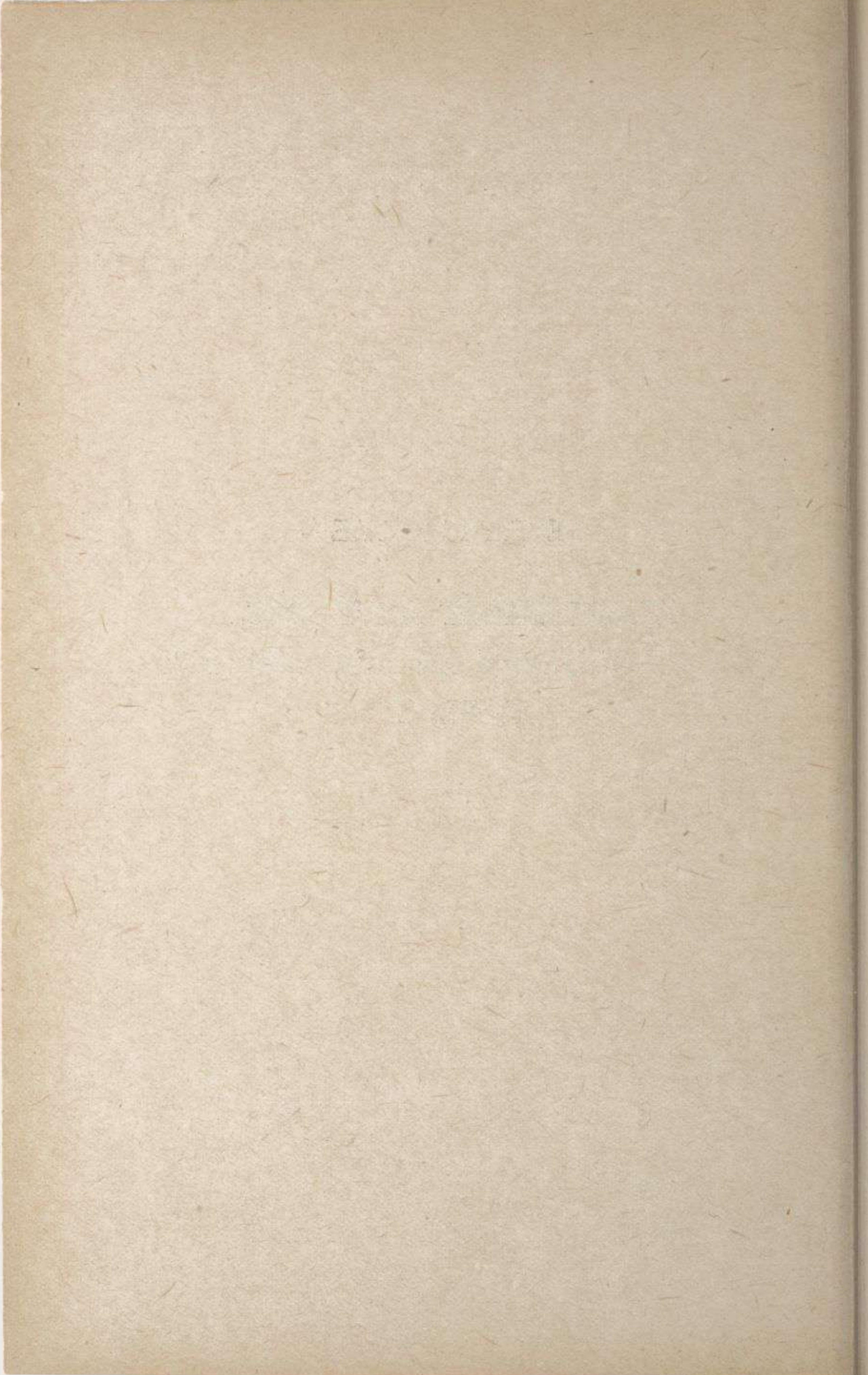






SEPTIÈME PARTIE

**COMPLÉMENT A L'ÉTUDE  
DE L'ÉQUILIBRE DE L'HYDRAVION  
A FLOT**



## CHAPITRE PREMIER (1)

### COURBES DE STABILITÉ

**1. Définition.** — L'étude de l'équilibre se fait au moyen de courbes de stabilité. On porte en abscisses les inclinaisons  $\theta$ , en ordonnées les valeurs du bras de levier  $GH = GN \sin \theta = (h - a) \sin \theta$  du couple de redressement dû à l'inclinaison  $\theta$  du flotteur (Voir fig. 123) ou les valeurs du moment :  $P (h - a) \sin \theta$  par rapport au centre de gravité.

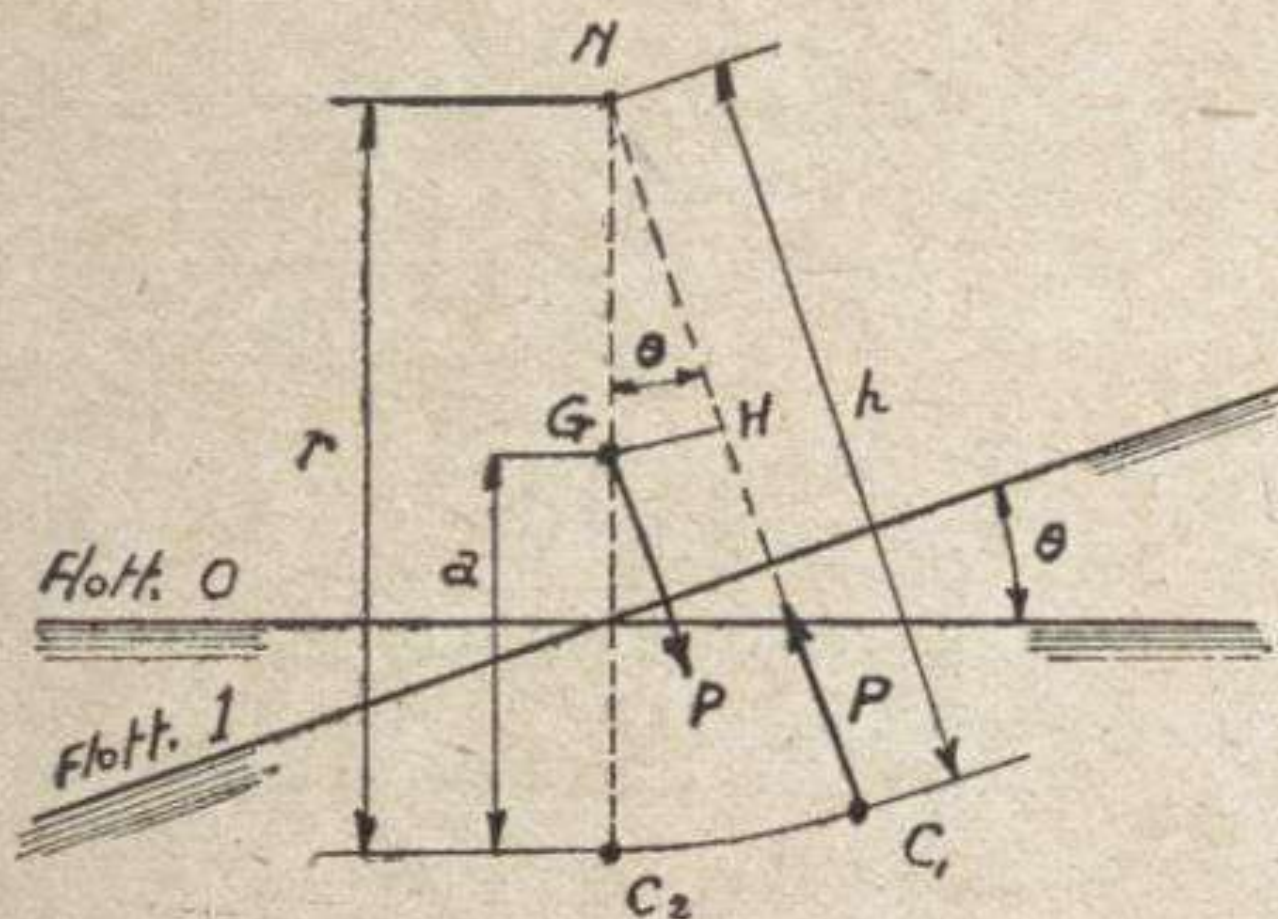


FIG. 123.

$P$  étant le poids de l'appareil, égal à la poussée de l'eau (principe d'Archimède),

$h$  étant la hauteur métacentrique variable correspondant à l'inclinaison  $\theta$ ,

$a$  étant la distance du centre de carène au centre de gravité.

(1) Cette étude ne fait pas partie du cours professé.

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

Pratiquement, on obtient une courbe représentée sur la fig. 124 qui a pour tangente à l'origine ( $\theta = a$ ), limite de :  $(h - a) \frac{\sin \theta}{\theta}$ , quand  $\theta$  tend vers 0.

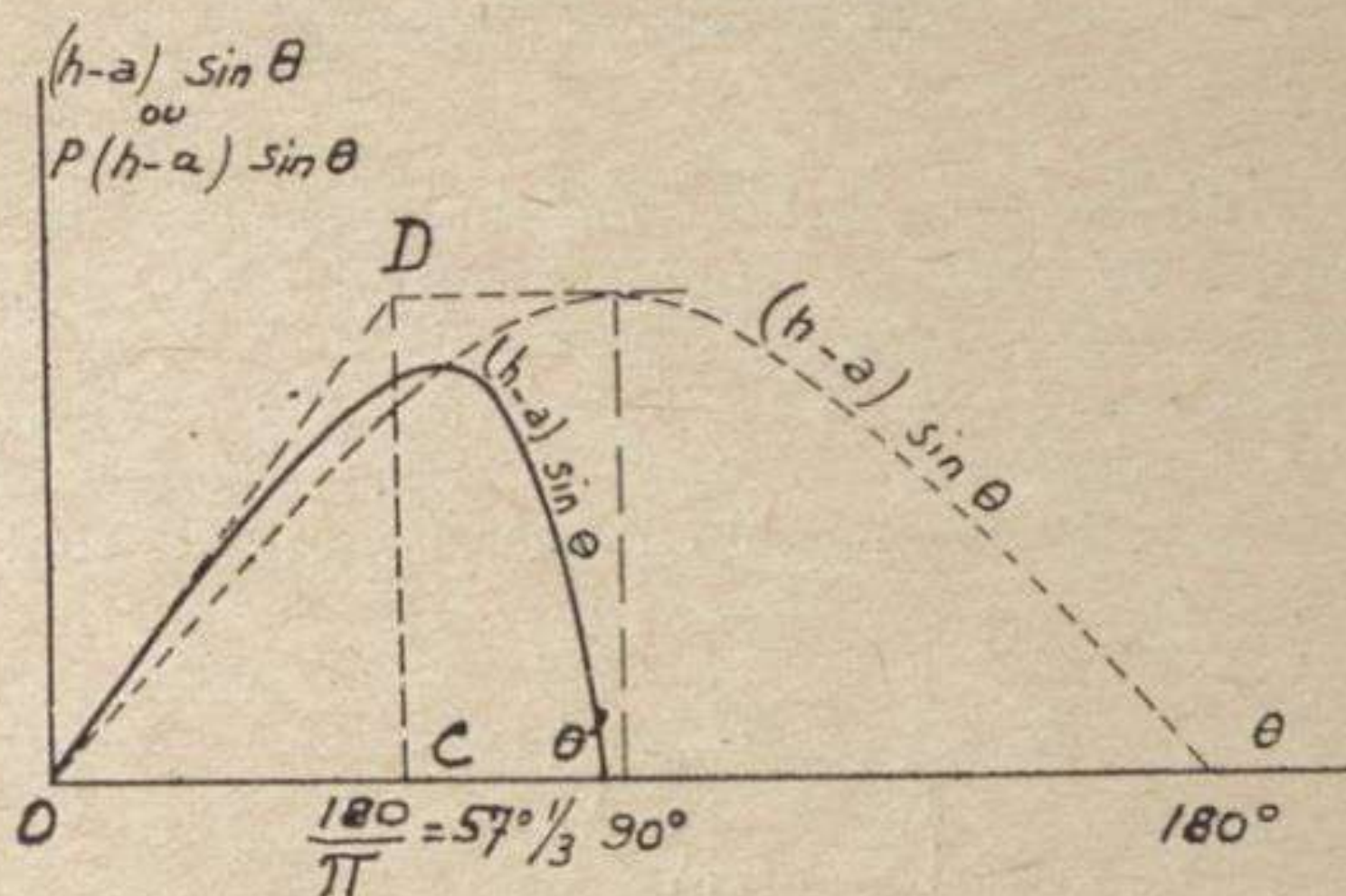


FIG. 124.

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

**2. Action statique d'un couple inclinant** (fig. 125). — Soit  $M = OA$  le moment d'un couple supposé appliqué lentement à la carène sans lui donner une vitesse appréciable dans son inclinaison (décentrement dû à une masse excentrée par exemple).

Pour les inclinaisons  $\theta_1$  et  $\theta_2$  (points E et F), on a :

$$M = P (h - a) \sin \theta,$$

donc équilibre entre le moment de redressement et de chavirement.

En E, l'équilibre est stable, car si l'on dépasse l'inclinaison  $\theta$ , le moment de redressement l'emporte sur le moment de chavirement  $M$  et le flotteur tend à revenir à l'inclinaison  $\theta_1$  ( $\theta_1$  est l'angle de bande). Inversement en F, l'équilibre est instable et  $\theta_2$  est le nouvel angle de chavirement.

**3. Stabilité dynamique.** — Supposons maintenant que le flotteur s'incline avec vitesse dans un milieu calme et non résistant.

Le travail élémentaire du couple  $M$  est  $Md\theta$ . Le couple de redressement qui s'oppose à cette inclinaison a pour valeur :

$$P (h - a) \sin \theta \, d \theta.$$

Son travail est donc :

$$T = \int_0^{\theta} P (h - a) \sin \theta \, d \theta,$$

c'est-à-dire l'aire délimitée par la courbe  $OE\theta'$  entre  $O$  et un angle  $\theta$  donné compris entre  $0$  et  $\theta'$ .

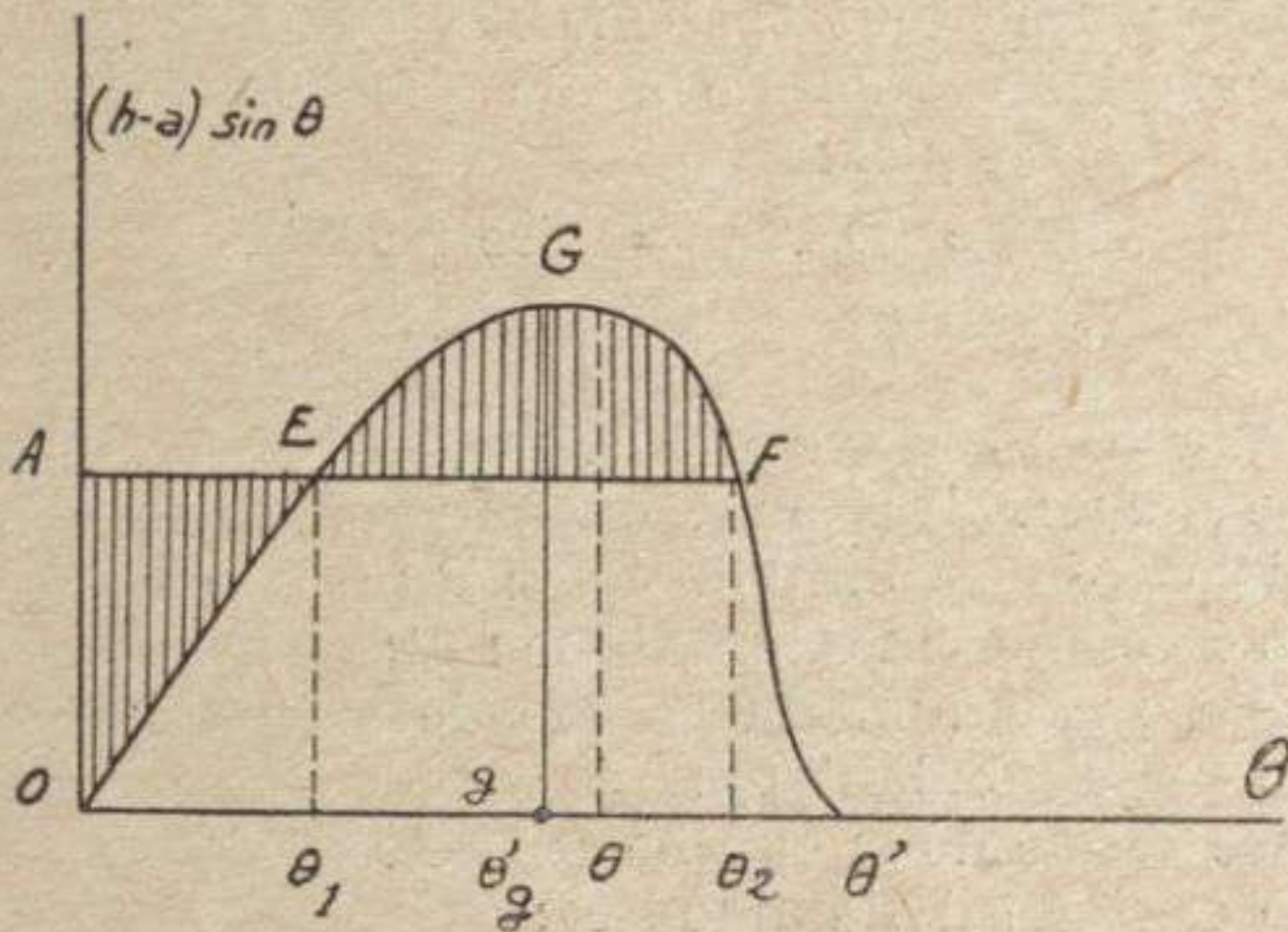


FIG. 125.

Cette aire est appelée *stabilité dynamique* du flotteur pour l'inclinaison  $\theta$ , c'est le travail à dépenser pour amener le flotteur à l'inclinaison  $\theta$ , en passant par une série de flottaisons isocarènes, avec un plan d'inclinaison variable et une vitesse finale nulle.

C'est la force vive emmagasinée normalement en cas de percussion provoquée par une houle qui agit dans un temps très court avant que l'inclinaison ne puisse être sensible.

L'aire totale représente donc la force vive maximum, ou

le travail de choc maximum de la lame que peut supporter le flotteur droit, sans risque de chavirer.

**4. Effet dynamique d'un couple inclinant permanent.** — Supposons que OA (fig. 125) soit un couple inclinant permanent (action des hélices, influence du vent, etc.).

$\theta_1$  est alors l'angle de bande ou inclinaison que va prendre l'appareil et  $\theta_2$  est son nouvel angle de chavirement.

La stabilité dynamique est réduite à l'aire E. F. G., ou réserve de stabilité.

Si l'aire OAE est supérieure à la réserve de stabilité, l'appareil chavirera, puisqu'il n'est pas capable d'encaisser la force vive fournie par le couple.

Il s'ensuit que tout système flotteur a un couple critique et un angle critique de bande que l'on peut calculer, c'est celui pour lequel :

$$\text{aire (OAE)} = \text{aire (EFG)},$$

définissant  $M_c$  et  $\theta_c$ .

**5. Caractéristiques de la stabilité** (fig. 3). — On compare d'un hydravion à un autre diverses données :

Coefficient de stabilité initiale :  $P (r - a)$ ;

Angle de chavirement statique :  $\theta'$ ;

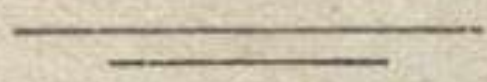
Moment maximum du couple de stabilité  $Gg$ ;

Angle correspondant  $\theta g$ ;

Surface totale de la courbe OEF $G\theta'$ ;

Angle critique dynamique  $\theta_c$ ;

Moment du couple critique dynamique  $M_c$ .



## CHAPITRE II

### ÉQUILIBRE LONGITUDINAL

**1.** — Son étude n'est généralement à pousser que pour les inclinaisons sur l'arrière (et seulement pour les petits appareils à coque ou les appareils à flotteurs ou à coque courte).

Prenons comme sens positif de rotation des moments, le sens des aiguilles d'une montre, l'avant de l'appareil étant supposé à gauche.

Prenons deux axes rectangulaires. En abscisses, on porte de gauche à droite les valeurs croissantes des angles, en ordonnées, de bas en haut, les valeurs croissantes des moments.

**2.** — Supposons la flottaison normale établie : On connaît le centre de carène, le métacentre, le centre de gravité de l'aire de flottaison. On déduit immédiatement la tangente à l'origine OD qui a pour valeur  $R - a$ . On porte en abscisses 1 radiant =  $57^{\circ} 19'$ , en ordonnée P ( $R - a$ ) ou ( $R - a$ ), ces valeurs ne différant que par une constante, le poids P de l'appareil.

**3.** — *Pour une inclinaison donnée  $\theta$  de l'hydravion, il n'y a qu'une seule position du plan de flottaison qui corresponde au volume de carène demandé.*

On adopte donc un angle d'inclinaison ( $5^{\circ}$  par exemple) et on vérifie le volume déplacé avec une flottaison à cette pente, mais tracée arbitrairement. S'il y a lieu, on fait une correction de volume.

On en déduit un point de la courbe de stabilité en abaissant du nouveau centre de carène  $C_1$  une perpendiculaire à la ligne de flottaison.

Si on appelle (fig. 123) N l'intersection de cette perpendiculaire avec le rayon métacentrique initial (souvent

situé en dehors de l'épure), (le bras de levier cherché, distance du centre de gravité  $G$  à  $NC_1$  est

$$GH = GN \sin \theta.$$

4. — On recommence avec une nouvelle inclinaison et ainsi de suite jusqu'à l'angle de chavirement.

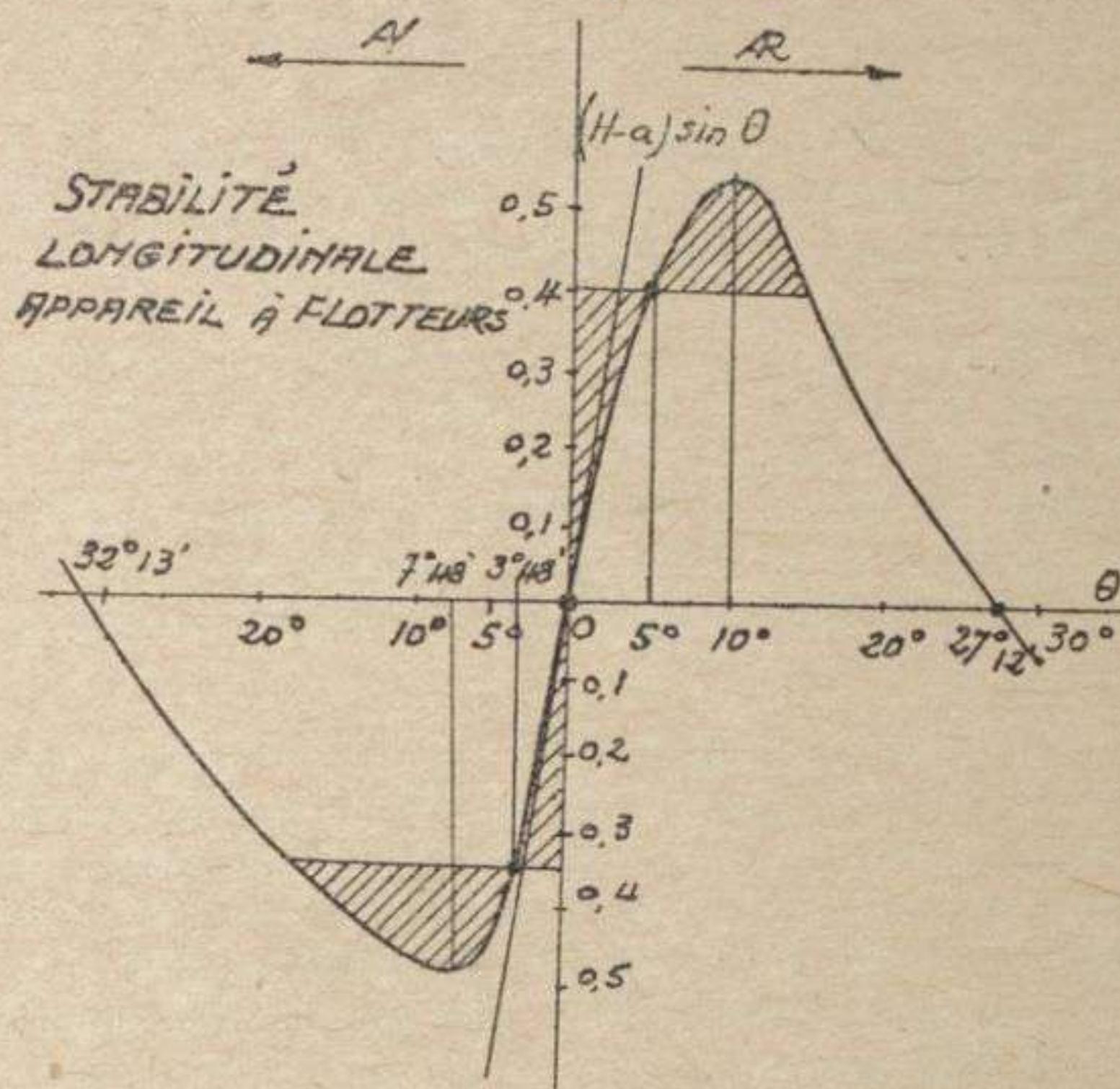


FIG. 126.

5. — Cette méthode, qui paraît longue et pénible, est singulièrement facilitée par le tracé des échelles Bonjean de surfaces et de moments exposé lors du calcul des flottaisons.

6. **Application numérique à un hydravion à deux flotteurs.** — Considérons l'hydravion à deux flotteurs étudié précédemment (VI<sup>e</sup> partie, chapitre I<sup>er</sup>).

Le tableau suivant résume la série des constructions effectuées par la méthode ci-dessus.



1° SUR L'AVANT

$\theta$	$H - a$	$\sin \theta$	$(H - a) \sin \theta$
			m.
5°	5,05	0,087	0,440
10°	2,67	0,174	0,465
20°	0,92	0,324	0,314
30°	0,12	0,500	0,060
40°	— 0,30	0,643	— 0,231

2° SUR L'ARRIÈRE.

5°	4,60	0,087	0,400
10°	3,20	0,173	0,556
20°	0,59	0,324	0,205
30°	— 0,125	0,500	— 0,0625

Les valeurs caractéristiques qui se déduisent du tracé de la courbe sont les suivantes (fig. 126).

Coefficient de stabilité initiale  $P (R - a) = 5.421 \text{ kgm}$ ,  
angle de chavirement statique :

$$\begin{aligned} \theta' &= 32^{\circ}13' \text{ sur l'AV,} \\ &= 27^{\circ}12' \text{ sur l'AR.} \end{aligned}$$

Moment maximum du couple de stabilité :

$$\begin{aligned} \text{sur l'AV} &= 378 \text{ kgm.} \\ \text{sur l'AR} &= 426 \text{ kgm.} \end{aligned}$$

Angles correspondants :

$$\begin{aligned} \text{sur l'AV} &= 7^{\circ} 48, \\ \text{sur l'AR} &= 10^{\circ}. \end{aligned}$$

Surface totale de la courbe :

$$\begin{aligned} \text{sur l'AV} &: 124 \text{ kgm.} \\ \text{sur l'AR} &: 106 \text{ kgm.} \end{aligned}$$

Moment du couple critique dynamique :

$$\begin{aligned} \text{sur l'AV} &: 279 \text{ kgm.} \\ \text{sur l'AR} &: 306 \text{ kgm.} \end{aligned}$$

Angles critiques dynamiques :

$$\begin{aligned} \text{sur l'AV} &: 3^{\circ} 48, \\ \text{sur l'AR} &: 5^{\circ}. \end{aligned}$$

7. Application numérique à un hydravion à coque centrale. — On tracerait de même (fig. 127) la courbe de

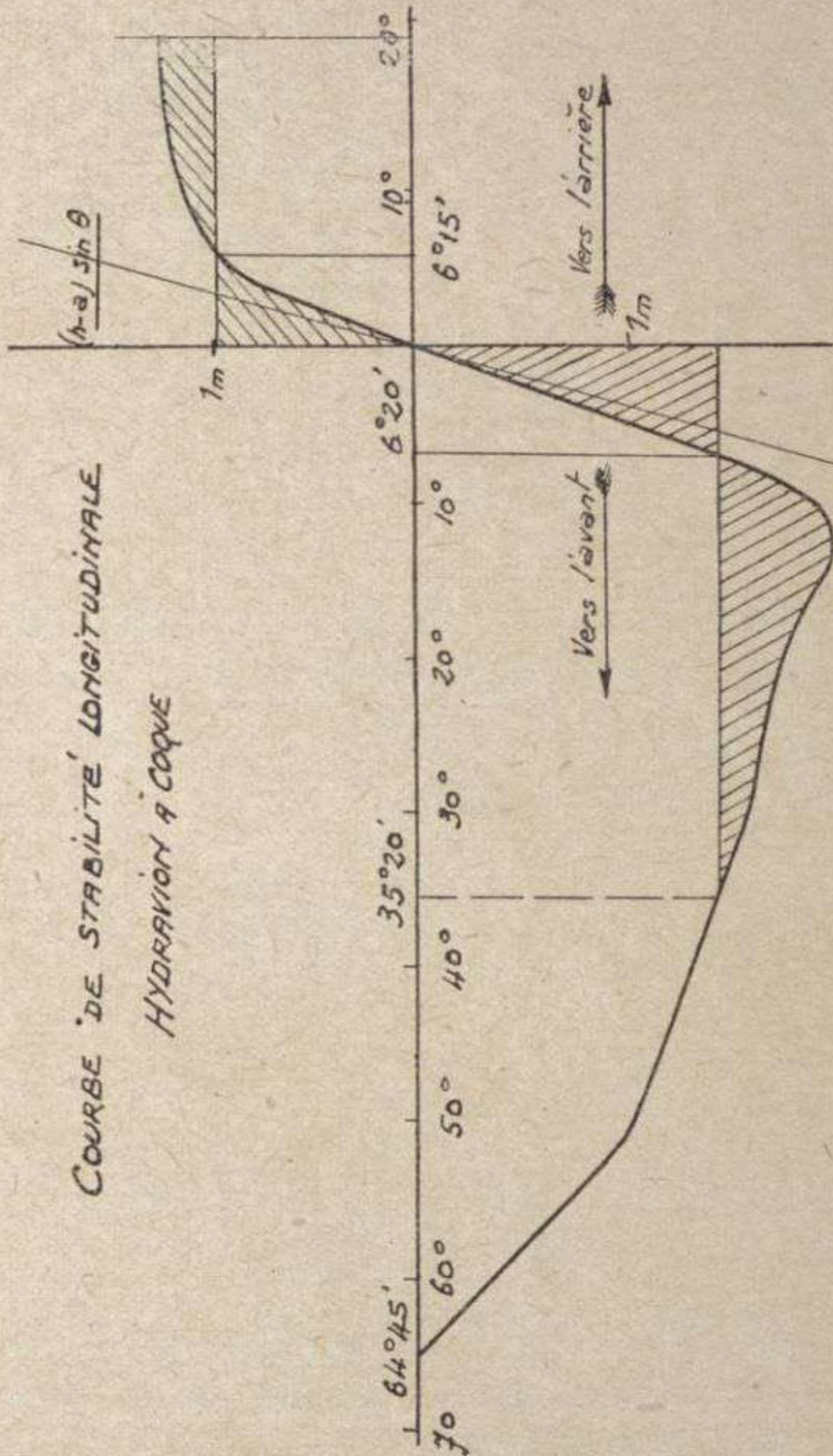


FIG. 127.

stabilité de l'hydravion faisant l'objet du second exemple numérique précédent (VI<sup>e</sup> partie, chapitre II).

Sur l'arrière, on remarquera que la courbe s'arrête brusquement pour un angle de  $20^{\circ}$ .

Cet angle correspond au début de l'immersion des empennages. Ceux-ci, bien que non étanches, donnent un moment de redressement lorsque l'inclinaison les applique violemment sur l'eau. Toutefois, il n'est pas souhaitable que ce cas se réalise, et les volumes de coque devront avoir un déplacement convenable (nécessité par ailleurs par les conditions d'assiette en flottaison normale) pour que le moment de redressement soit suffisant avant d'arriver à cette inclinaison.

Ce cas ne se produit d'ailleurs pas pour tous les appareils (voir exemple précédent). Mais s'il se produit, c'est l'angle de début d'immersion des empennages qui doit être *substitué à l'angle de chavirement* dans la détermination des caractéristiques qui sont les suivantes :

Coefficient de stabilité initiale :  $P(R - a) = 32.000 \text{ kgm.}$

Angle de chavirement statique :

sur l'AV :  $64^{\circ} 45'$ ;

sur l'AR :  $20^{\circ}$  (empennage).

Moment maximum du couple de stabilité :

sur l'AV :  $5.540 \text{ kgm.}$

sur l'AR :  $3.360 \text{ kgm.}$

Angle correspondant :

sur l'AV :  $11^{\circ}$ ;

sur l'AR :  $20^{\circ}$  (immersion des empennages).

Aire totale de la courbe :

sur l'AV :  $3.900 \text{ kgm.};$

sur l'AR :  $896 \text{ kgm.}$

Angles critiques dynamiques :

sur l'AV :  $6^{\circ} 20'$ ;

sur l'AR :  $6^{\circ} 15'$ .

Moment du couple critique dynamique :

sur l'AV :  $3.940 \text{ kgm};$

sur l'AR :  $2.610 \text{ kgm.}$

## CHAPITRE III

### ÉQUILIBRE TRANSVERSAL

**1.** — Nous avons à considérer d'une part les *hydravions à deux flotteurs*, stabilisés par un écartement approprié des flotteurs.

D'autre part, les *hydravions à coque ou flotteur central* stabilisés par l'un des 3 systèmes :

- a) Nageoires accolées à la coque (Dornier, Latécoère);
- b) Ballonnets, partiellement immergés et rapprochés de la coque (Rohrbach);
- c) Ballonnets de bout d'aile non immergés en position droite (solution classique).

**2.** — On peut étudier leur stabilité par la méthode habituelle exposée au chapitre précédent :

On se donne une inclinaison  $\theta$  et on cherche la hauteur du plan de flottaison parallèle à  $\theta$ , tel que le volume immergé de la coque et des ballonnets corresponde au poids de l'appareil.

Ce calcul est long et compliqué pour les raisons suivantes :

a) L'assiette longitudinale de la flottaison n'est pas initialement parallèle à la ligne zéro. Il y a donc intérêt à rapporter le plan des formes à une parallèle à la ligne de flottaison, à tracer un nouveau vertical dont les sections sont obliques par rapport aux sections initiales et à en chercher les échelles Bonjean de surfaces et de moments.

b) L'assiette longitudinale varie avec les diverses immersions obliques correspondant à chaque angle d'inclinaison transversale  $\theta$  choisi. Il faut, en effet, que le centre de carène reste dans le plan vertical transversal passant par le centre de gravité de l'hydravion.

Ce cas ne se produisait pas dans l'équilibre longitudi-

nal, car le centre de carène restait automatiquement dans le plan vertical longitudinal de symétrie de l'appareil.

On devrait donc faire pour chaque inclinaison, outre la correction de volume, une correction d'assiette.

Avec les formes ordinaires, l'angle de variation d'assiette est très faible et la correction est inutile. Toutefois, il sera bon de le vérifier pour une inclinaison considérée choisie assez forte, car on pourra être amené à retoucher la courbe que l'on est en train d'établir.

c) La trace du plan de flottaison sur les sections du vertical est oblique.

On peut à la rigueur négliger cette inclinaison aux angles faibles et lorsque les parois latérales du système flotteur sont verticales ou voisines de la verticale.

Mais aux fortes inclinaisons, ainsi que pour les parois en voûte, les échelles Bonjean deviennent inutilisables et on doit recommencer à chaque coup les planimétries.

**3.** — Une telle détermination devient donc très délicate et interminable.

Nous allons donc provisoirement renoncer au tracé direct de la courbe de stabilité et exposer une méthode d'étude de l'équilibre statique de l'hydravion au repos pour les diverses inclinaisons.

La méthode proposée est absolument inédite. Elle simplifie beaucoup les calculs (1).

Nous verrons ensuite que l'on peut déduire très facilement la courbe de stabilité des graphiques qu'elle conduit à établir.

**4. Postulats initiaux.** — a) Tout hydravion se présente transversalement comme un système de 3 flotteurs  $F$ ,  $F_1$ ,  $F_2$  reliés rigidement entre eux (fig. 6).

Dans le cas des ballonnets de bout d'aile,  $F$  est prépondérant par rapport à  $F_1$  et  $F_2$  qui sont de volume réduit et éloigné de l'axe.

Dans le cas des nageoires,  $F_1$  et  $F_2$  sont accolés à  $F$ .

(1) Elle a été établie avec la collaboration de M. Riess, ingénieur civil de l'Aéronautique, stagiaire au Bureau d'Études des hydravions Cams.

Dans le cas de l'hydravion à deux flotteurs,  $F$  n'existe pas et  $F_1$  et  $F_2$  ont un volume approprié.

$b)$   $C_1$  et  $C_2$  centres de carène des flotteurs  $F$  et  $F_2$  ne sont pas forcément contenus dans le plan transversal  $(P)$  contenant  $C_0$ , centre de carène de  $F$ , et perpendiculaire à la flottaison initiale.

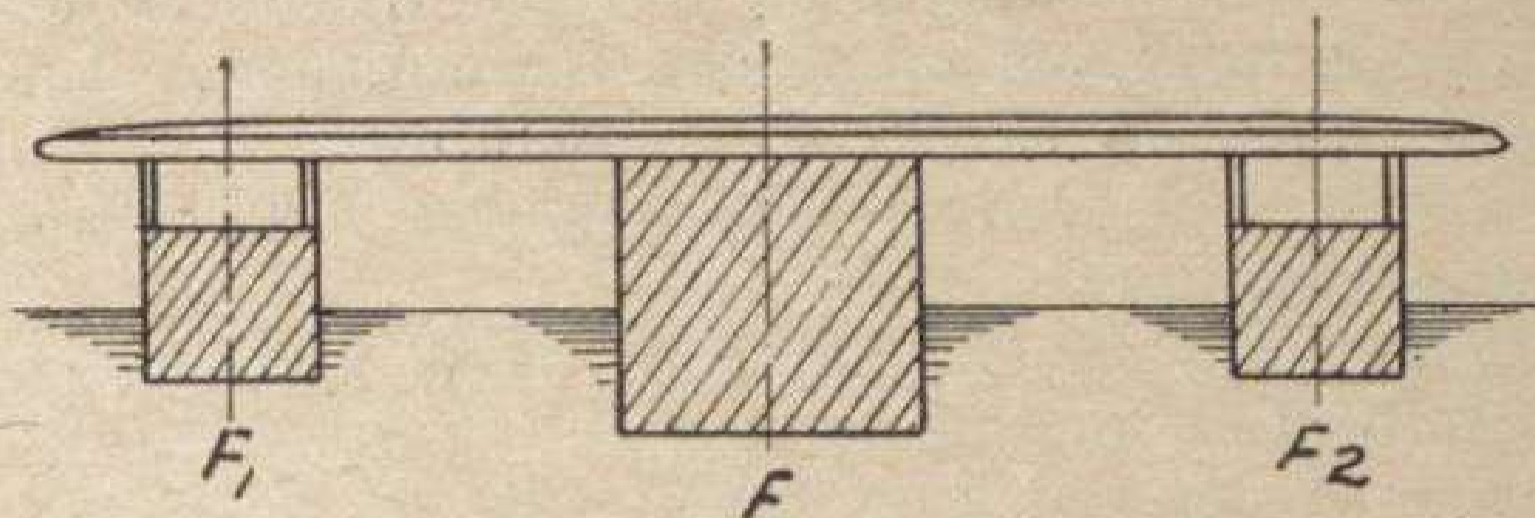


FIG. 128.

Dans ce qui suit, nous choisissons le plan transversal  $(P)$  comme plan de référence, et nous raisonnons sur les projections de  $C_1$  et de  $C_2$  sur ce plan. Pour simplifier nous appellerons ces projections centre de carène et nous les désignerons par les mêmes lettres, ces conventions ne changeant rien à l'équilibre transversal.

### 5. Principe de la méthode et mise en équation. —

On va substituer à la recherche directe du couple de redressement une évaluation des diverses forces en présence dues à la poussée archimédienne sur les trois flotteurs et résoudre graphiquement l'équation donnant leur équilibre.

Soient les trois flotteurs en position horizontale et  $C'_0, C'_1, C'_2$  leurs centres de carène respectifs (ou leurs projections selon postulat  $b$ ).

Soient  $G$  : le centre de gravité de l'hydravion,

$G_1$  et  $G_2$  les points où les verticales abaissées de  $C'_1$  et de  $C'_2$  rencontrent le plan horizontal contenant  $G$ .

Supposons que le système se trouve en équilibre statique lorsqu'il est incliné d'un angle  $\theta$  petit (fig. 129).

Soient  $C_0, C_1, C_2$  les nouveaux centres de carène et  $T$  le centre de carène résultant qui se trouve sur la verticale abaissée de  $G$  au plan de flottaison puisque le système est en équilibre.

Soit  $N$  l'intersection de la verticale  $C'_0G$  avec la perpendiculaire  $C_0N$  à la flottaison inclinée.

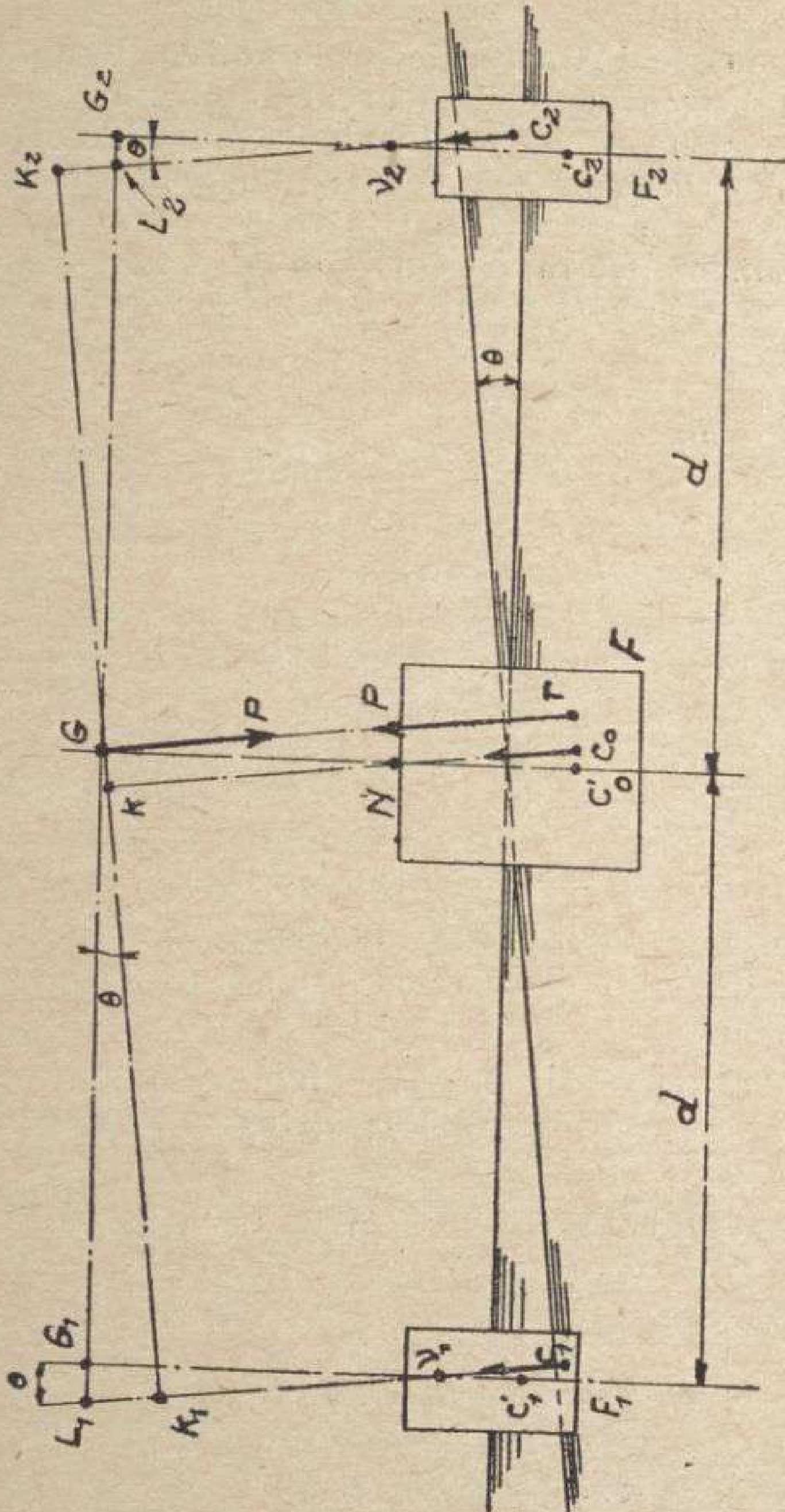


FIG. 129.

Écrivons l'équilibre sous la forme :  
 (Somme des moments par rapport à  $G$ ) = 0.

Les forces en jeu sont :

a) Le poids  $P$  de l'hydravion passant par  $G$ . Son moment est nul;

b) La poussée d'Archimède sur le flotteur  $F$ , appliquée en  $C_0$  et dirigée perpendiculairement au nouveau plan d'eau. Sa valeur est  $V$ , volume déplacé par le flotteur  $F$ . Sa ligne d'action coupe  $C'_0G$  en  $N$ , point métacentrique.

Son bras de levier  $GK = GN \sin \theta$ .

Son moment par rapport à  $G = V \times GN \sin \theta$ .

c) La poussée d'Archimède sur le flotteur  $F_1$  dirigée comme la précédente passant par  $C_1$  et rencontrant  $C'_1G$  en  $v_1$  et  $GG_1$  en  $L_1$ .

Valeur =  $v_1$ .

Bras de levier =  $GK_1 = GL_1 \cos \theta$ .

Or :  $GL_1 = GG_1 + G_1 L_1$ .

en posant :

$$d = GG_1.$$

$$G_1 L_1 = v_1 G_1 \operatorname{tg} \theta.$$

Il vient :  $G L_1 = d + v_1 G_1 \operatorname{tg} \theta$ .

Moment de  $V$  par rapport à  $G =$

$$v_1 (d + v_1 G_1 \times \operatorname{tg} \theta) \cos \theta.$$

d) De même on trouverait pour le moment de la poussée sur  $F_2$ . Moment de  $v_2$  par rapport à  $G =$

$$v_2 (d + v_2 G_2 \times \operatorname{tg} \theta) \cos \theta.$$

L'équation d'équilibre des moments s'écrit :

$$V. GM \sin \theta + v_1 (d + v_1 G_1 \operatorname{tg} \theta) \cos \theta - v_2 (d + v_2 G_2 \operatorname{tg} \theta) \cos \theta = 0.$$

Or si  $P$  est le déplacement de l'hydravion :

$$P = V + v_1 + v_2.$$

Il vient :

$$[P - (v_1 + v_2)] GM \sin \theta + v_1 (d + v_1 G_1 \operatorname{tg} \theta) \cos \theta = v_2 (d + v_2 G_2 \operatorname{tg} \theta) \cos \theta.$$

En posant :

$$GM = H.$$

$$v_1 G_1 = h_1.$$

$$v_2 G_2 = h_2.$$

L'équation prend la forme :

$$\operatorname{tg} \theta \left[ \frac{H}{d} \times [P - (v_1 + v_2)] + \frac{v_1 h_1}{d} + \frac{v_2 h_2}{d} \right] = v_2 - v_1.$$



Aux faibles inclinaisons qui nous intéressent, on peut supposer :

$$h = h_2 = h_1.$$

$$v_1 + v_2 = \text{constante} = \lambda P \quad \text{avec } \lambda \ll 1.$$

L'équation s'écrit :

$$\text{tg } \theta \left[ \frac{HP}{d} \cdot (1 - \lambda) + \frac{\lambda Ph}{d} \right] = v_2 - v_1$$

ou 
$$K \text{ tg } \theta = v_2 - v_1$$

en posant : 
$$K = \frac{HP}{d} (1 - \lambda) + \frac{\lambda Ph}{d}.$$

**6. Axe d'inclinaison.** — Cette équation est vérifiée quelle que soit la position du point d'intersection des deux flottaisons.

Dans le cas des ballonnets de bout d'aile, par suite du faible rapport du volume des ballonnets au volume de carène, pratiquement les flottaisons tournent autour de l'intersection de la flottaison initiale avec l'axe de symétrie de l'hydravion, ce point ayant baissé au maximum d'une quantité égale au quotient du volume du ballonnet par l'aire de flottaison lorsque la rotation est telle que le ballonnet soit entièrement immergé.

Cette quantité est de l'ordre du  $\frac{1}{20}$  du tirant d'eau.

Dans le cas des autres types d'appareils, on procédera de la même manière, mais il y a une erreur, d'ailleurs de faible importance au début, mais croissante, jusqu'à l'inclinaison correspondant à l'émersion totale d'un système flotteur. Pour les inclinaisons supérieures, il faudra appliquer au moins une fois (et même périodiquement pour les appareils à 2 flotteurs), la méthode générale pour se rendre compte de la position exacte de l'axe d'inclinaison (passant par le centre de gravité de l'aire de flottaison) et de l'ordre de grandeur de l'erreur que l'on est en train de faire.

Les points approchés obtenus en tournant autour de l'axe d'inclinaison contenu dans le plan de symétrie de l'appareil donnent l'allure de la courbe.

Lors d'une recherche d'un point exact par la méthode générale, on corrige la courbe pour la faire passer par ce

point. On continue alors la rotation autour du nouvel axe défini pendant cette opération, jusqu'à recherche d'un nouveau point exact qui donne un nouvel axe d'inclinaison et une nouvelle correction à faire subir à la courbe, et ainsi de suite.

Les corrections sont, d'ailleurs, peu importantes (et souvent négligeables) aux faibles inclinaisons correspondant à la branche ascendante de la courbe classique de stabilité (donc aux angles d'équilibre stable sous l'action d'un couple inclinant) qui est la plus intéressante à considérer.

Elles ne deviennent sensibles qu'au fur et à mesure qu'on approche de l'angle de chavirement. Si on les néglige, elles ne peuvent influencer que sur la mesure du couple et de l'angle critique qui auront des valeurs un peu différentes de leur valeur réelle (de l'ordre de 2° pour l'angle dans le cas d'un hydravion à deux flotteurs, et moins pour les autres types d'appareils).

**7. Méthode de résolution de l'équation.** — Nous allons construire séparément chacun des deux membres considéré comme fonction de  $\text{tg } \theta$ .

Les intersections des 2 courbes ainsi obtenues donnent les positions d'équilibre.

$$\begin{aligned} \text{Posons :} \quad y_1 &= K \text{tg } \theta. \\ y_2 &= v_2 - v_1. \end{aligned}$$

**8. Établissement de la courbe  $y_2$ .** — a) Hydravion à coque centrale et ballonnets de bout d'aile ( $v_2 - v_1$ ) représente la différence des volumes immergés. Or, les deux ballonnets ne s'immergent jamais en même temps. Une des valeurs  $v_2$  ou  $v_1$  est donc nulle pour une inclinaison d'un certain côté.

Supposons l'hydravion s'inclinant du côté du ballonnet  $F_2$ . Nous convenons de porter  $v_1 > 0$  vers le bas et  $v_2 > 0$  vers le haut.

$v_1$  est constamment nul,

$v_2$  est nul au début de l'inclinaison, le ballonnet est placé à quelques centimètres au-dessus de la flottaison normale pour éviter un cheval de bois au début du décollage.

Pour un angle  $\theta_1$ , le ballonnet commence à toucher l'eau et  $v_2$  croît d'abord lentement pour la partie correspondant à l'amortissement du fond, puis plus rapidement jusqu'à  $\theta_2$  correspondant à l'immersion complète (fig. 130).

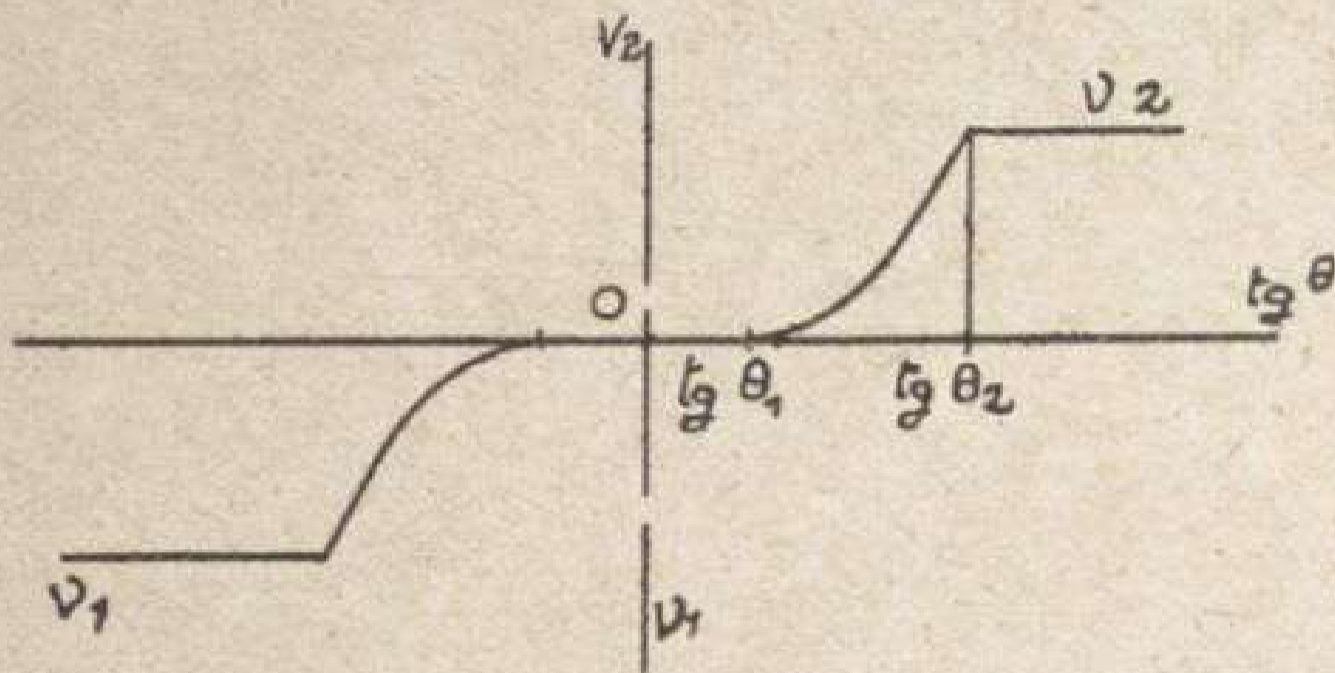


FIG. 130.

A ce moment, la courbe continue par une droite parallèle à l'axe des abscisses.

La courbe de  $v_1$  est symétrique de  $v_2$  par rapport à l'origine  $O$ .

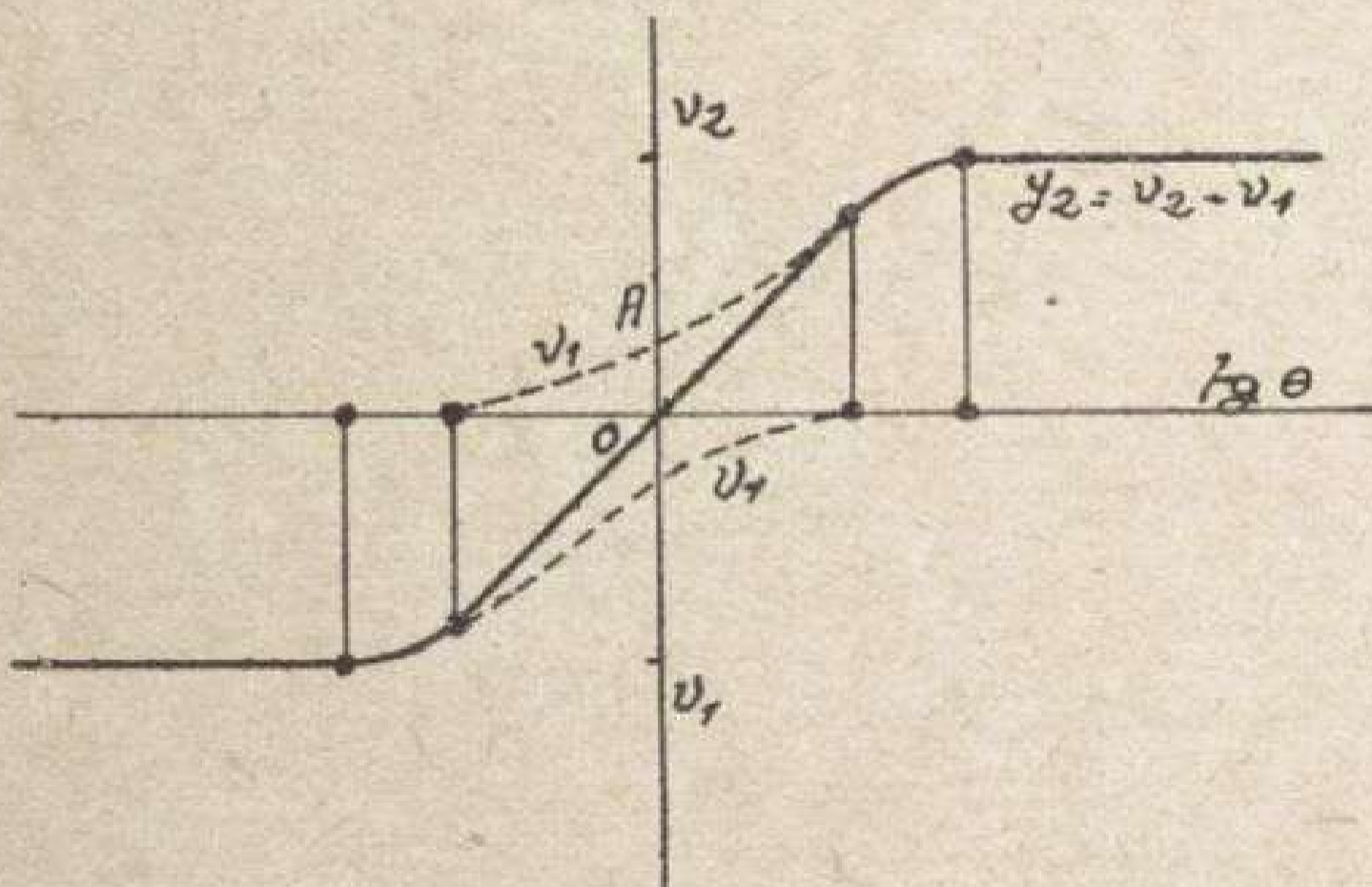


FIG. 131.

Si le ballonnet est à fond amorti, la courbe  $v_2$  est tangente à l'axe des abscisses pour  $x = \text{tg } \theta_1$ , car l'aire de flottaison s'annule avec le volume déplacé, et la coupe au contraire selon un angle si le ballonnet est à fond plat.

b) Hydravions à ballonnets rapprochés ou nageoires ( $v_2 - v_1$ ) résulte de l'addition algébrique des courbes  $v_1$  et  $v_2$  passe par l'origine et y présente un point d'inflexion dont la tangente a une valeur double de la tangente en A (fig. 131).

c) Hydravions à 2 flotteurs.

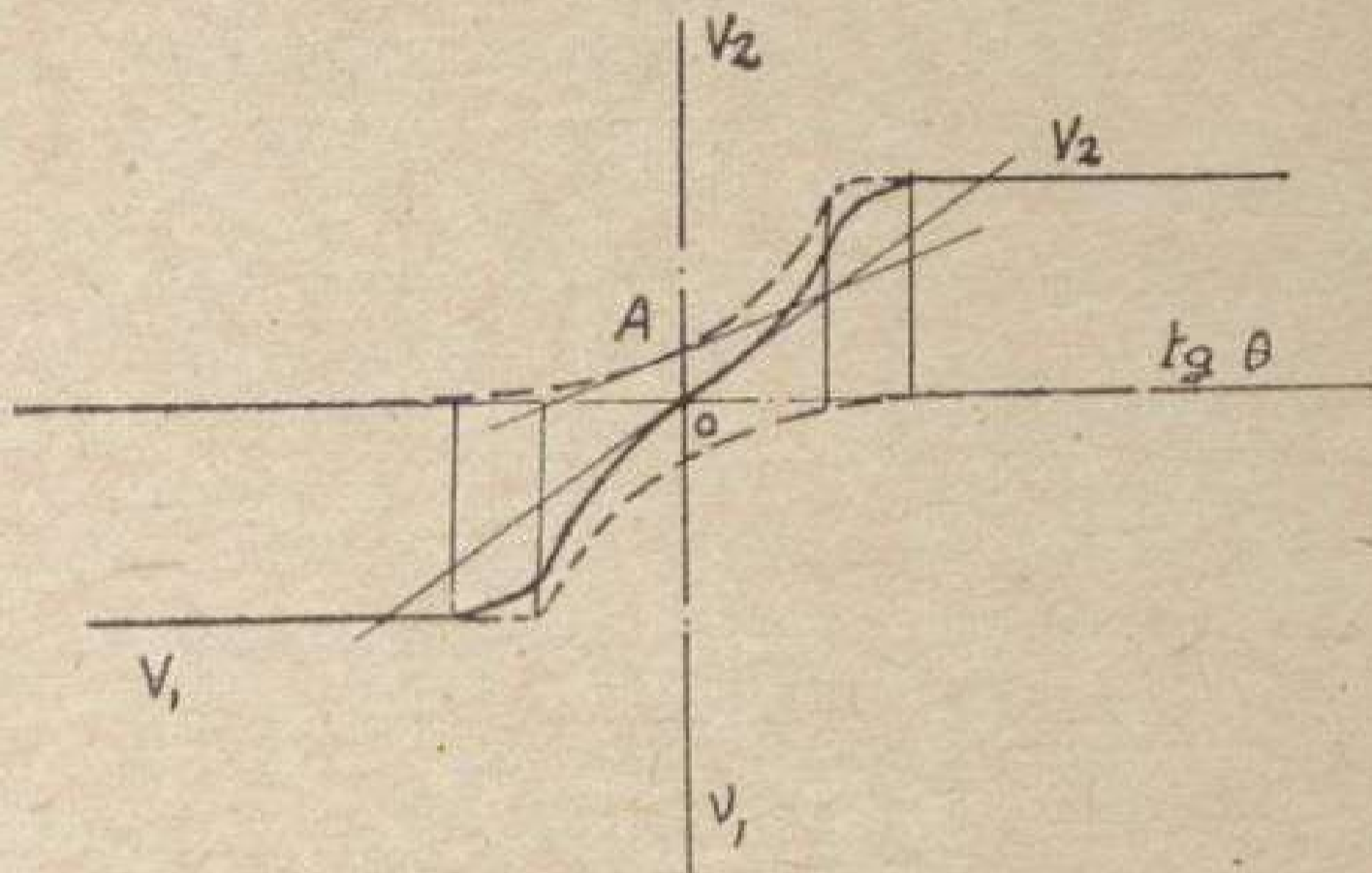


FIG. 132.

Par suite de la réserve de flottabilité, la courbe a un aspect particulier tout en restant analogue au précédent (fig. 132).

**9. Établissement de la courbe  $y_1$ .** — a) *Cas d'un hydravion autre que l'hydravion à ballonnets de bout d'aile.*

$$y_1 = \operatorname{tg} \theta \left[ \frac{HP}{a} (1 - \lambda) + \frac{\lambda Ph}{d} \right]$$

La partie entre parenthèses peut être considérée comme constante par des inclinaisons petites.

$y_1$  est alors en fonction de  $\operatorname{tg} \theta$ , une droite de pente égale à l'expression entre crochets.

Mais ensuite  $v_1 + v_2 = \lambda P$  n'est plus constant. On l'obtient pour chaque valeur de  $\operatorname{tg} \theta$  en ajoutant arithmétiquement  $v_1$  et  $v_2$  (voir paragraphe précédent).

En raison de la faible variation des valeurs de  $h_1$  et de  $h_2$ , nous les supposons constants, ce qui est pratiquement admissible; toutefois, cette hypothèse est à vérifier dans certains cas particuliers, spécialement sur les appareils à deux flotteurs.

Enfin à partir du moment où  $v_1$  est complètement émergé et  $v_2$  complètement immergé  $v_1 + v_2 = v_2$  maximum,  $h_1 = 0$  et  $h_2 =$  distance de  $G_2$  au centre de volume du ballonnet  $F_2 =$  constante.

La seule quantité sur laquelle nous devons faire une hypothèse est  $H$ . Nous le supposons constant.

$y_1$  redevient dans cette troisième période une droite.

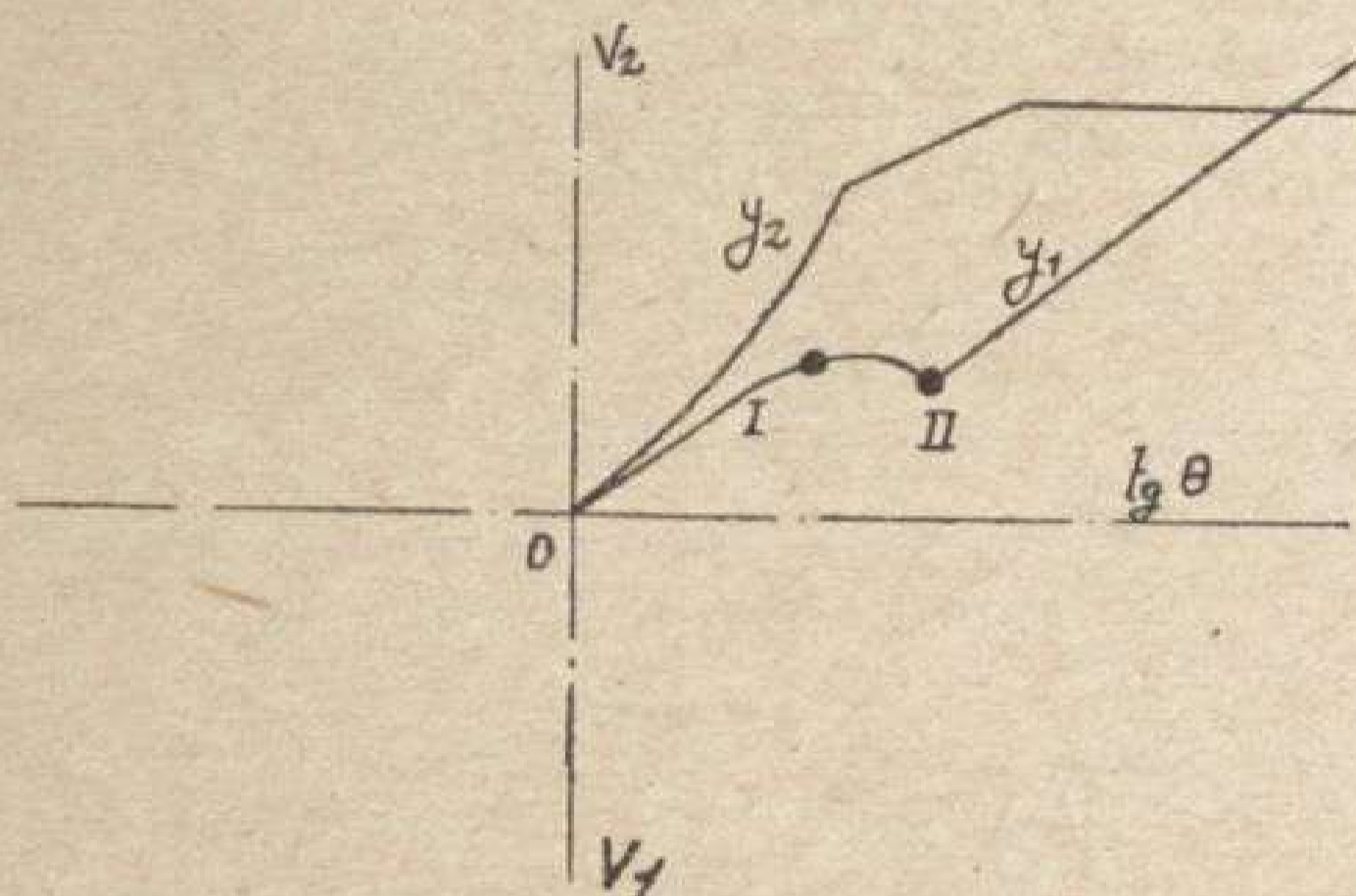


FIG. 133.

La figure 133 montre la correspondance entre une courbe  $y_2$  et une courbe  $y_1$ .

De 0 à I,  $y_1$  se confond avec une droite,

de I à II,  $y_1$  est une courbe.

A partir de II,  $y_1$  est une droite.

b) *Cas de l'hydravion à ballonnet de bout d'aile.* Dans ce cas,  $v_1$  est nul pour l'inclinaison du côté de  $F_2$ . Nous faisons  $v_1 = 0$  dans l'équation

$$v_2 = \operatorname{tg} \theta \left[ \frac{H}{a} (P - v_2) + \frac{v_2 h_2}{a} \right]$$

Aux faibles inclinaisons, nous avons le droit de négliger

$$\frac{v_2 H}{a} \text{ et } \frac{v_2 h_2}{a} \text{ devant } \frac{P H}{a}$$

$h_2$  et  $v_2$  sont très petits,  $d$  est très grand.

$y_1$  devient  $y_1 = \frac{P H}{a} \times \operatorname{tg} \theta$  qui est une droite en fonction de  $\operatorname{tg} \theta$ .

Aux plus fortes inclinaisons, on tient compte des termes en  $v_2$  et  $y_1$  sera comme ci-dessus une courbe dans la région (I, II) puis redeviendra une droite.

c) En résumé dans la partie intéressant l'équilibre transversal de l'hydravion,  $y_1$  est une droite. Ce n'est que pour un hydravion à ballonnets de bout d'aile qu'il y a lieu de prendre des précautions pour le cas où l'équilibre aurait lieu à un angle important (6 à 7°) (voir *supra*).

**10. Discussion de l'équation d'équilibre.** — a) *Cas d'un hydravion autre que l'hydravion à ballonnets de bout d'aile.*

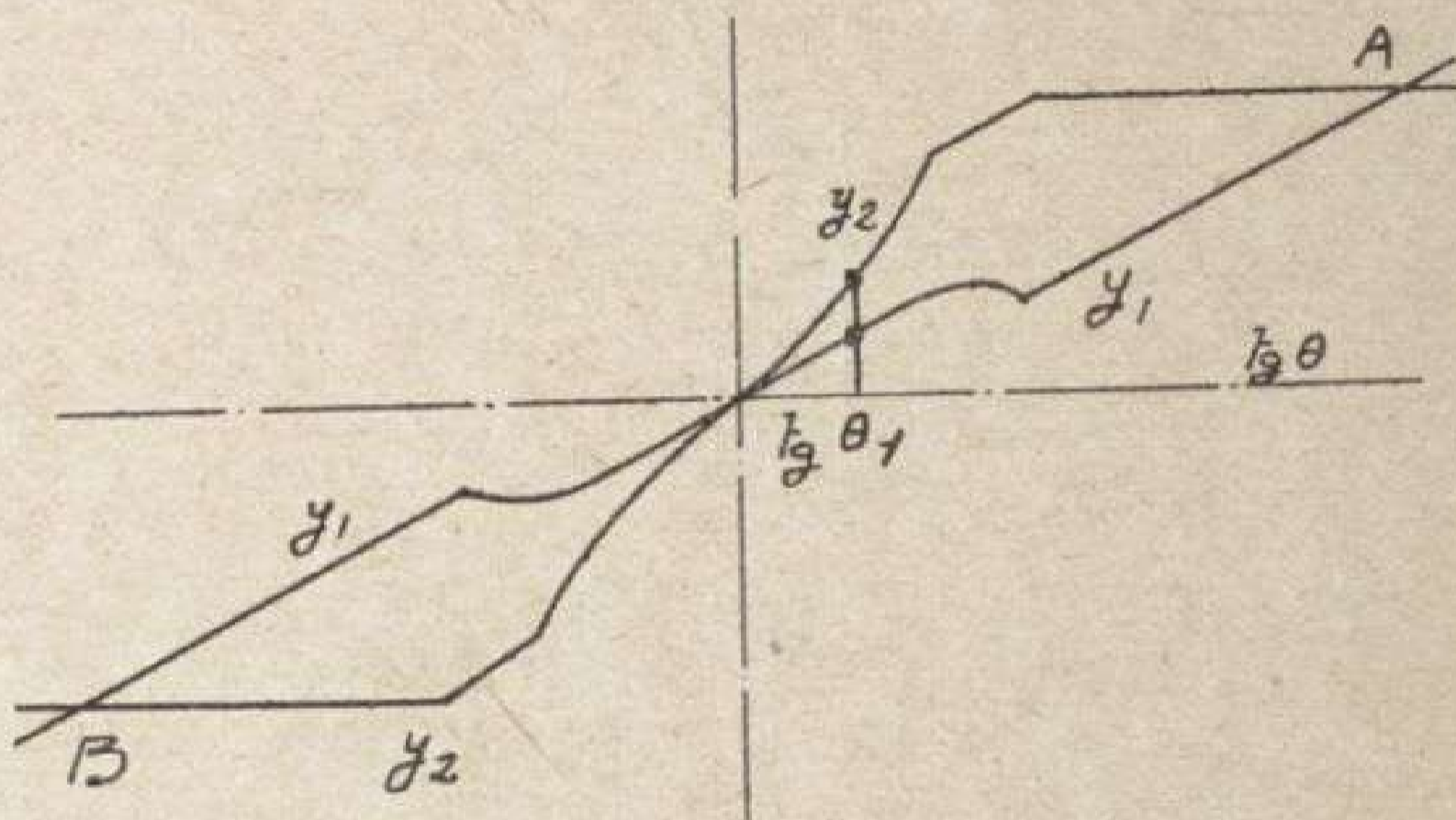


FIG. 134.

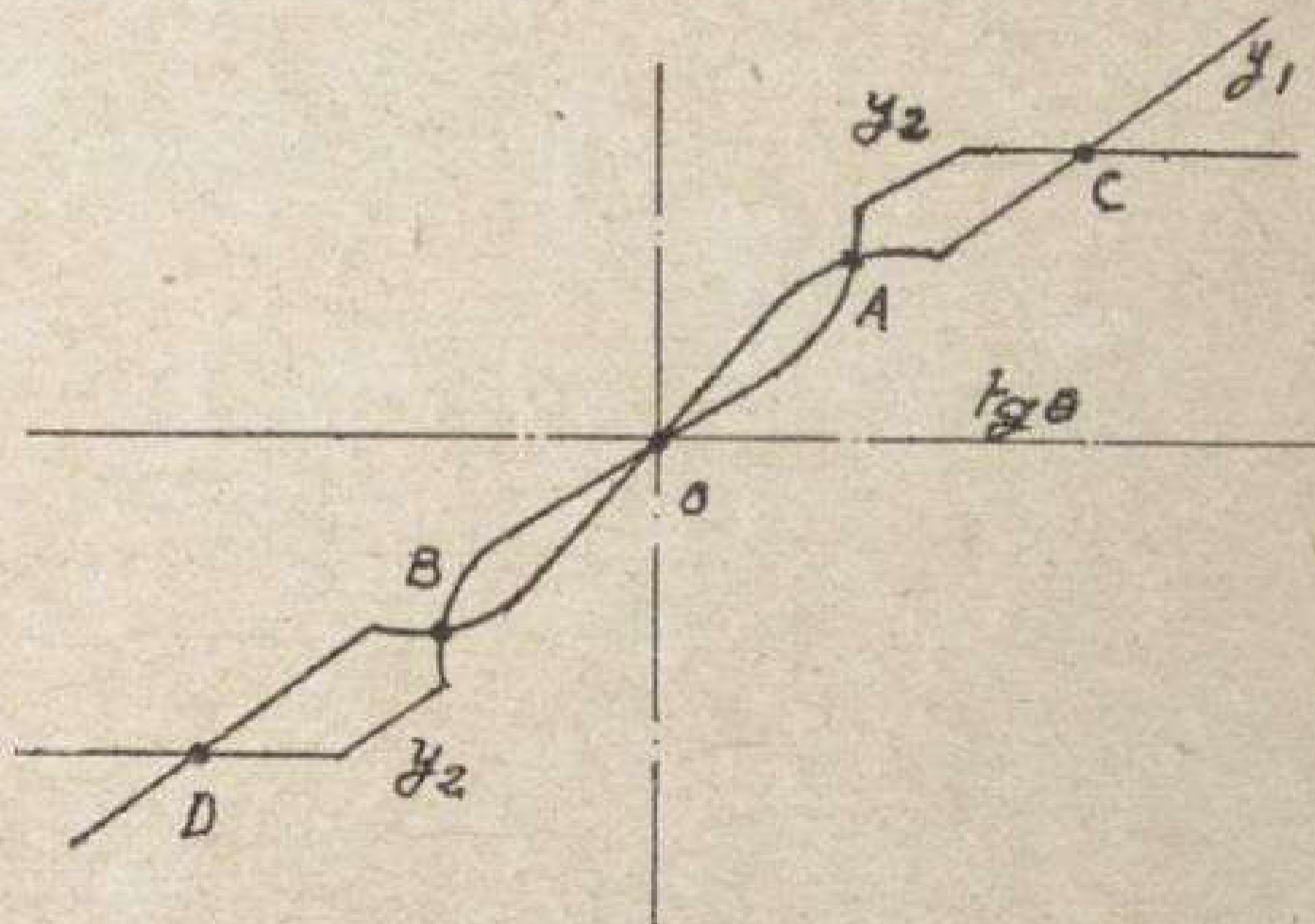


FIG. 135.

Les courbes  $y_1$  et  $y_2$  se coupent en 3 points satisfaisant l'équation  $K \operatorname{tg} \theta = v_2 - v_1$ ; il y a équilibre en ces 3 points O, A et B (fig. 134).

En O, l'équilibre est stable, car si l'on donne une légère inclinaison  $\theta_1$  positive (à droite par exemple)  $y_1$  a une valeur inférieure à  $y_2$ . Or  $y_1 = K \operatorname{tg} \theta$  est proportionnel au couple de renversement et  $y_2 = v_2 - v_1$ , est proportionnel au couple de redressement. Il y a donc tendance au retour à la position d'équilibre.

En A et B, un raisonnement analogue montre qu'il y a équilibre instable.

Si la figure a l'allure de la fig. 135 (qui peut correspondre à un hydravion à gros ballonnets rapprochés partiellement immergés), l'origine O est une position d'équilibre instable, A et B sont des positions d'équilibre stable, C et D des positions d'équilibre instable.

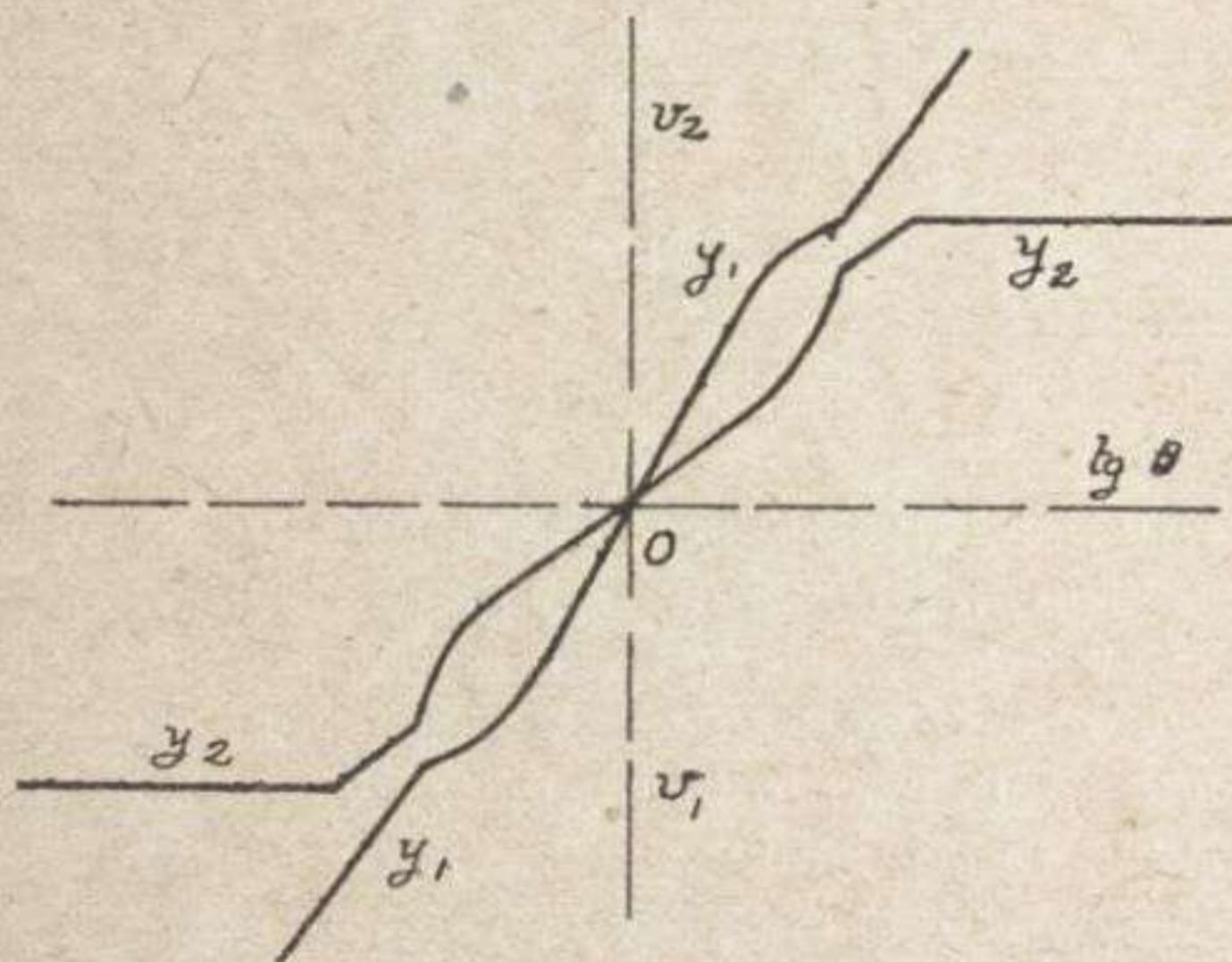


FIG. 136.

Enfin si  $y_2$  ne rencontre pas  $y_1$  (fig. 136) il n'y a pas d'équilibre possible : le système est toujours instable et l'hydravion chavirera dès sa mise à l'eau (ce serait par exemple le cas d'un hydravion à deux flotteurs trop rapprochés.)

b) Cas de l'hydravion à ballonnets de bout d'aile. — On retombe dans un des deux cas précédents.

On peut considérer la zone PR comme faisant partie de la courbe  $y_2$ , on a comme précédemment instabilité en O, C et D, stabilité en A et B (fig. 137).

Si  $y_1$  ne rencontre pas  $y_2$  (fig. 138), les ballonnets sont insuffisants et il y a lieu d'en augmenter l'efficacité en agissant sur l'écartement ou le volume.

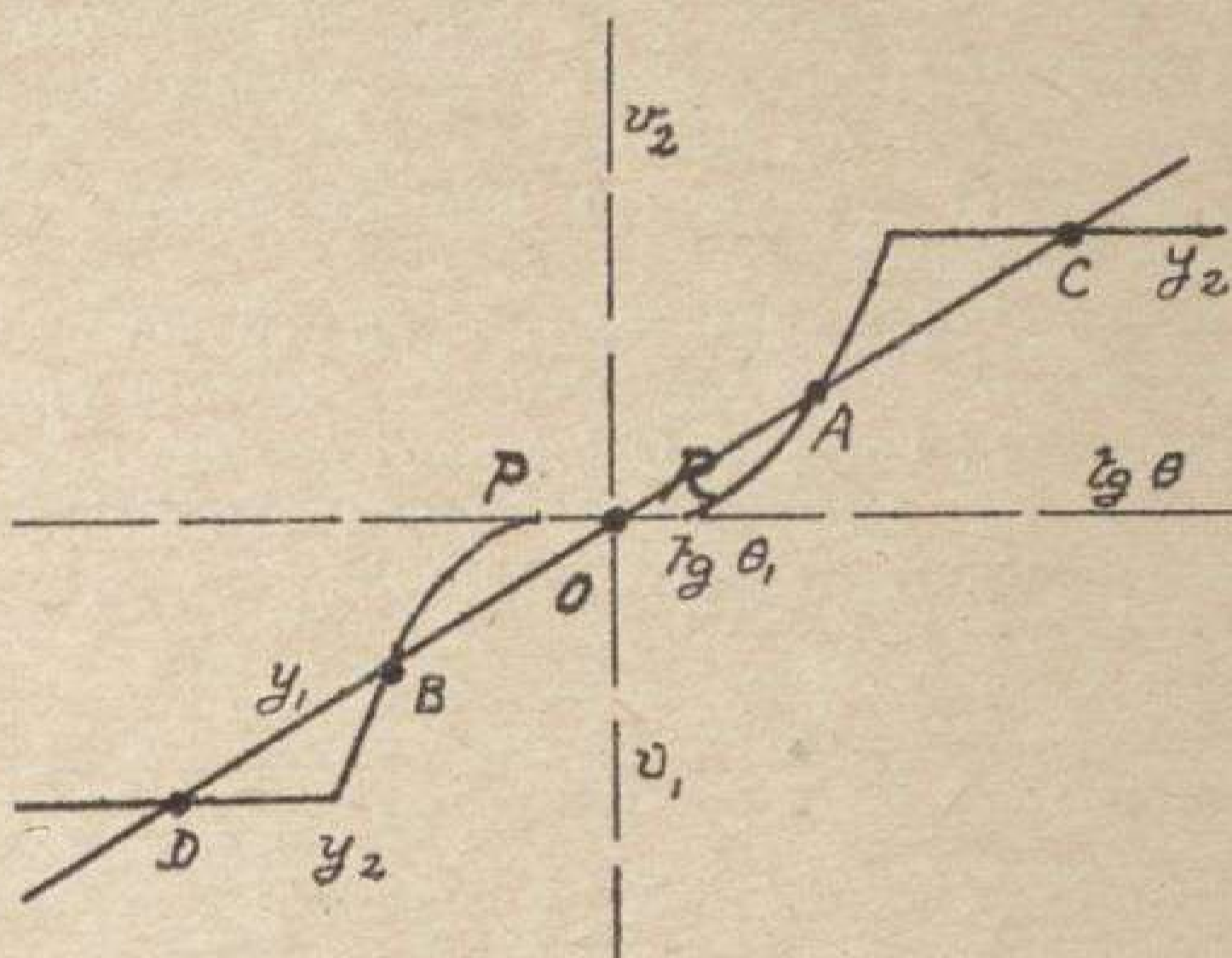


FIG. 137.

**11. Influence d'un couple inclinant.** — Nous avons établi au paragraphe 5 l'équation générale :

$$O = VH \sin \theta + v_1 (d + h_1 \operatorname{tg} \theta) \cos \theta - v_2 (d - h_2 \operatorname{tg} \theta) \cos \theta.$$

Nous venons de voir que cette équation n'est vérifiée que pour un nombre limité (3 ou 5) de valeurs de  $\theta$ .

Pour toute autre valeur de  $\theta$ , elle représente le couple de redressement C de l'appareil et l'on a :

$$-C = VH \sin \theta + v_1 (d + h_1 \operatorname{tg} \theta) \cos \theta - v_2 (d - h_2 \operatorname{tg} \theta) \cos \theta.$$

Divisons par  $d \cos \theta$  et groupons convenablement les termes, en observant la convention  $h_1 = h_2 = h$ .

Il vient :

$$-\frac{C}{d \cos \theta} = \operatorname{tg} \theta \left[ \frac{VH}{d} + \frac{(v_1 + v_2) h}{d} \right] + v_1 - v_2$$

qui peut s'écrire :

$$-\frac{C}{d \cos \theta} = y_1 - y_2.$$



Or, la force de chavirement a pour valeur :

$$y_2 - y_1 = + \frac{C}{a \cos \theta}$$

d'où la valeur de  $C = + (y_2 - y_1) d \cos \theta$ .

Nous pouvons déduire de cette expression la courbe classique de stabilité représentant le couple de redressement en fonction de  $\theta$ .

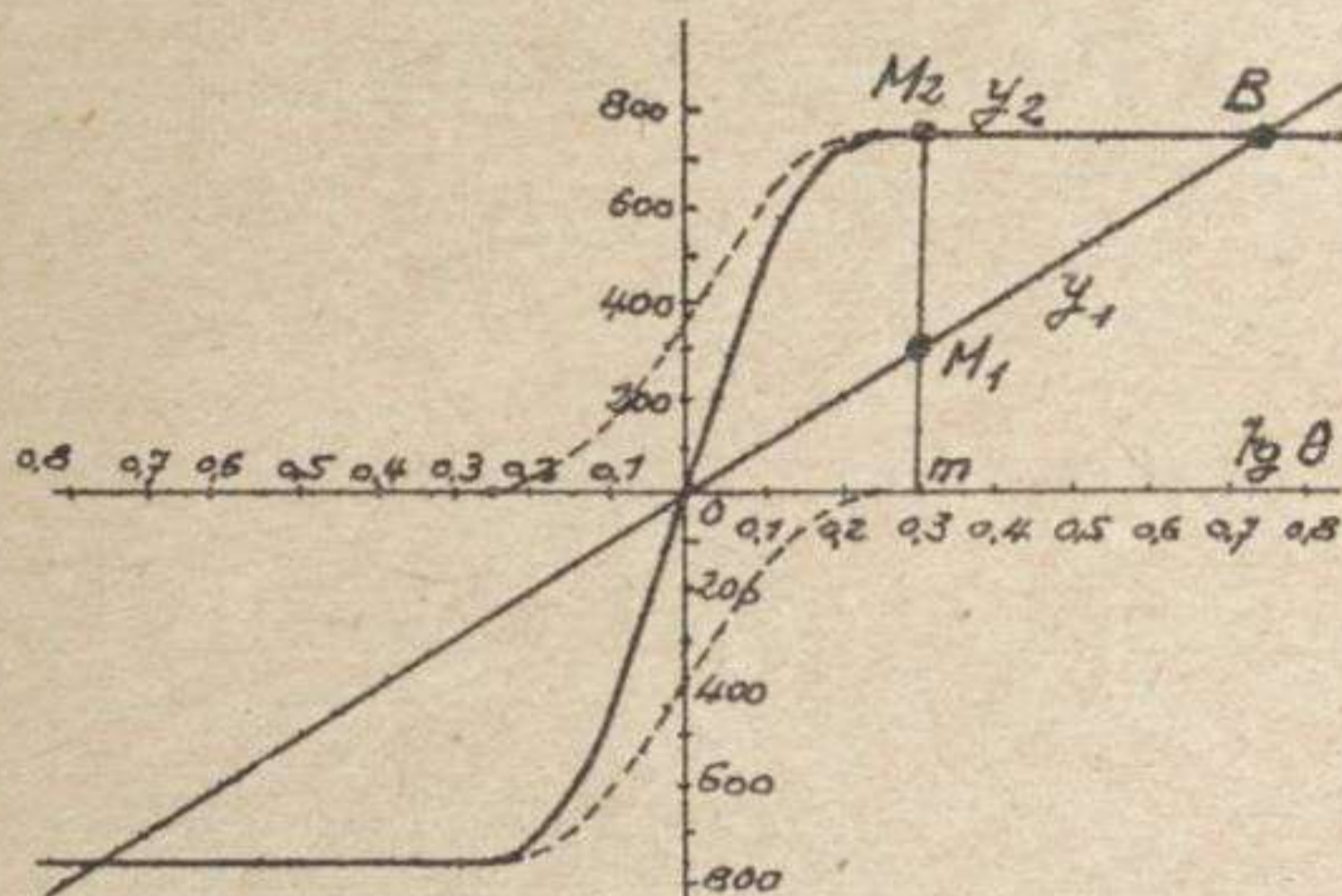


FIG. 138.

(Soit (fig. 138) une abscisse  $Om$  coupant  $y_1$  en  $M_1$  et  $y_2$  en  $M_2$ , nous avons :

$$\begin{aligned} m M_1 &= y_1 \\ m M_2 &= y_2. \end{aligned}$$

D'où  $C = M_1 M_2 d \cos \theta$  correspondant à l'angle d'inclinaison déterminé par  $\text{tg } \theta = Om$ .

L'angle de chavirement sera donné par l'abscisse du point B, où

$$\begin{aligned} y_1 &= y_2 \\ C &= 0 \end{aligned}$$

et nous savons déjà que l'équilibre y est instable.

*Remarque.* — Dans le cas de l'appareil à deux flotteurs, on a *a priori*  $V = 0$ .  
l'équation devient :

$$0 = v_1 (d + h_1 \text{tg } \theta) \cos \theta - v_2 (d - h_2 \text{tg } \theta) \cos \theta.$$

D'où l'on déduit par le même raisonnement

$$C = (y_2 - y_1) d.$$

Le facteur  $\cos \theta$  a disparu avec  $V$ .

**12. Application numérique à un hydravion à deux flotteurs.** — Considérons l'appareil déjà étudié (VI<sup>e</sup> partie, chap. I et VII<sup>e</sup> Partie, chap. II, § 6).

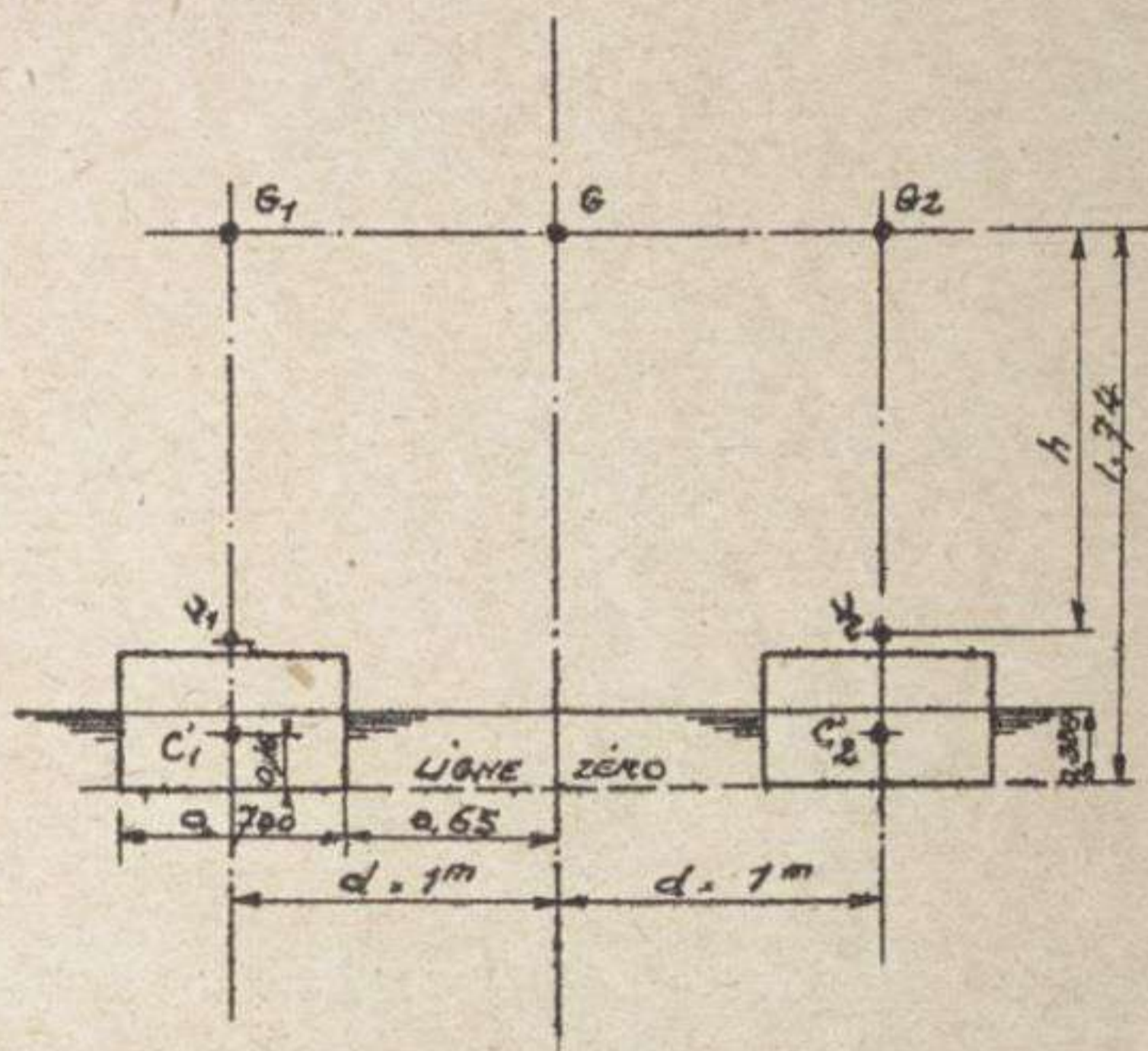


FIG. 139.

a) Établissement de la courbe  $y_1 = K \operatorname{tg} \theta$   
avec

$$H = 0.$$

$$v_1 + v_2 = P = \text{constante},$$

$$h = \text{constante}.$$

$$K = \frac{H}{a} [P - (v_1 + v_2)] + \frac{(v_1 + v_2) h}{a}$$

devient : 
$$K = \frac{Ph}{a}.$$

En fonction de  $\operatorname{tg} \theta$ ,  $y_1$  est une droite de coefficient angulaire  $K$ .

$$\text{Or, } h = G_2 c'_2 - v_2 c'_2.$$

Pour une très petite inclinaison,  $c'_2 v_2 = r = \frac{I}{V}$   
 c'est le rayon métacentrique transversal d'un flotteur.

Or, nous avons vu lors du calcul de flottaison :

$$\begin{aligned} I_G &= 1054,5 \text{ dm}_4 \\ V_2 &= \frac{765}{z} = 382,5 \text{ dm}^2 \\ r &= 2,76 \text{ dm.} \end{aligned}$$

Nous avons vu par ailleurs que  $G_2 c'_2 = 16 \text{ dm}$ .

On déduit :

$$h = 16 - 2,76 = 13,24 \text{ dm}$$

et  $y_1 = \frac{Ph}{d} \quad \text{tg } \theta = 765 \times \frac{13,24 \text{ tg } \theta}{10} = 1.000 \text{ tg } \theta$

qui se construit (fig. 16) en portant :

$$\text{tg } \theta = 0,1 \quad y_1 = 100$$

et en joignant à l'origine.

On constate pratiquement que l'erreur commise en admettant  $h = \text{constante}$  est négligeable et de l'ordre des erreurs de graphique.

b) Établissement de la courbe  $y_2 = v_2 - v_1$ .

Tournons autour de l'intersection du plan de flottaison et de l'axe de symétrie.

Soit un angle tel que  $\text{tg } \theta = 0,1$ .

On trouve :

$$\begin{aligned} v_1 &= 22,15 \times 7 = 155 \text{ dm}^3 \text{ 05} \\ v_2 &= 90,75 \times 7 = 642 \text{ — 25} \\ v_1 + v_2 &= 797,3, \text{ déplacement trop faible de } 32,3 \text{ dm}^3. \end{aligned}$$

La surface de flottaison :

$$S = \left[ \frac{30 + 21,4}{z} + \frac{44 + 45,6}{z} \right] \times 7,05 = 497,5 \text{ dm}^2.$$

Le tirant d'eau différentiel :

$$dt = \frac{32,3}{497,5} = 0,065 \text{ dm.}$$

Vérification avec le nouveau plan de flottaison :

$$v^2 = 619$$

$$v_1 = 147$$

$$v_1 + v_2 = 766, \text{ considéré comme correct.}$$

— On recommence avec  $\text{tg } \theta = 0,15$  et  $0,25$ , d'où le tableau résumant les calculs.

$\text{tg } \theta =$	0,1	0,15	0,25
$v_1$	147	59	0
$v_2$	619	705	765
$v_2 - v_1$	472	646	765
$v_1 + v_2$	766	764	765

La courbe  $y_2$  est tracée figure 138.

c) Établissement de la courbe de stabilité

$$c = (y_2 - y_1) d \text{ avec } d = 1 \text{ mètre.}$$

Le tableau ci-après résume les calculs et les résultats sont reproduits figure 140.

$y_1$	50	100	150	200	250	500	600	765
$y_2$	235	470	645	725	765	765	765	765
$y_2 - y_1$	185	370	495	525	515	265	165	0
C (kgm)	185	370	495	525	515	265	165	0
$\text{tg } \theta$	0,05	0,1	0,15	0,20	0,25	0,50	0,60	0,765
$\theta$	2°52	4°43	8°32	10°21	14°3	26°34	30°58	36°51

Sur cette courbe, nous mesurons les caractéristiques :

Coefficient de stabilité initiale :

P ( $r - a$ ) = .....	4.112 kgmètres
Angle de chavirement statique $\theta =$	36°51.
Moment maximum du couple de stabilité.....	530 kgmètres.
Angle correspondant .....	12°24'.
Surface totale de la courbe.....	199 kgmètres.
Moment du couple critique dynamique .....	402 kgmètres.
Angle critique dynamique.....	5°24'.

d) Interprétation des résultats.

En comparant avec les résultats de la stabilité longitudinale exposés au chapitre précédent, et avec la condition  $(r - a)_{\text{minimum}} \geq 0,6 \sqrt[3]{P}$  exposée en VI<sup>e</sup> partie chap. I<sup>er</sup>, nous voyons que la stabilité transversale est meilleure

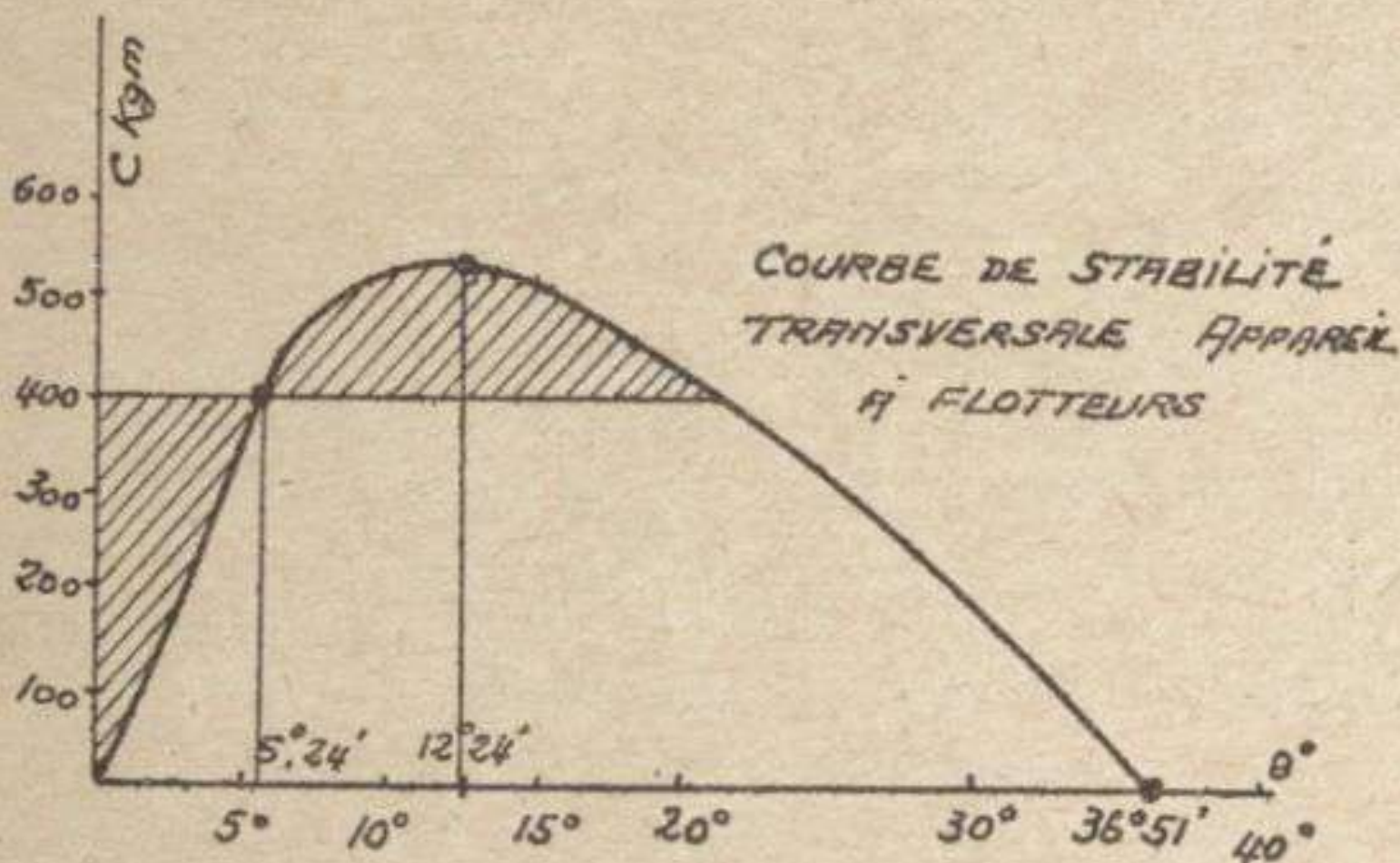


FIG. 140.

que la stabilité longitudinale (valeurs plus fortes des moments critiques, angles critiques, couple maximum et angle correspondant) alors que la condition du  $(r - a)_{\text{minimum}}$  semblait indiquer le contraire, ce qui montre l'intérêt d'approfondir l'étude de la stabilité.

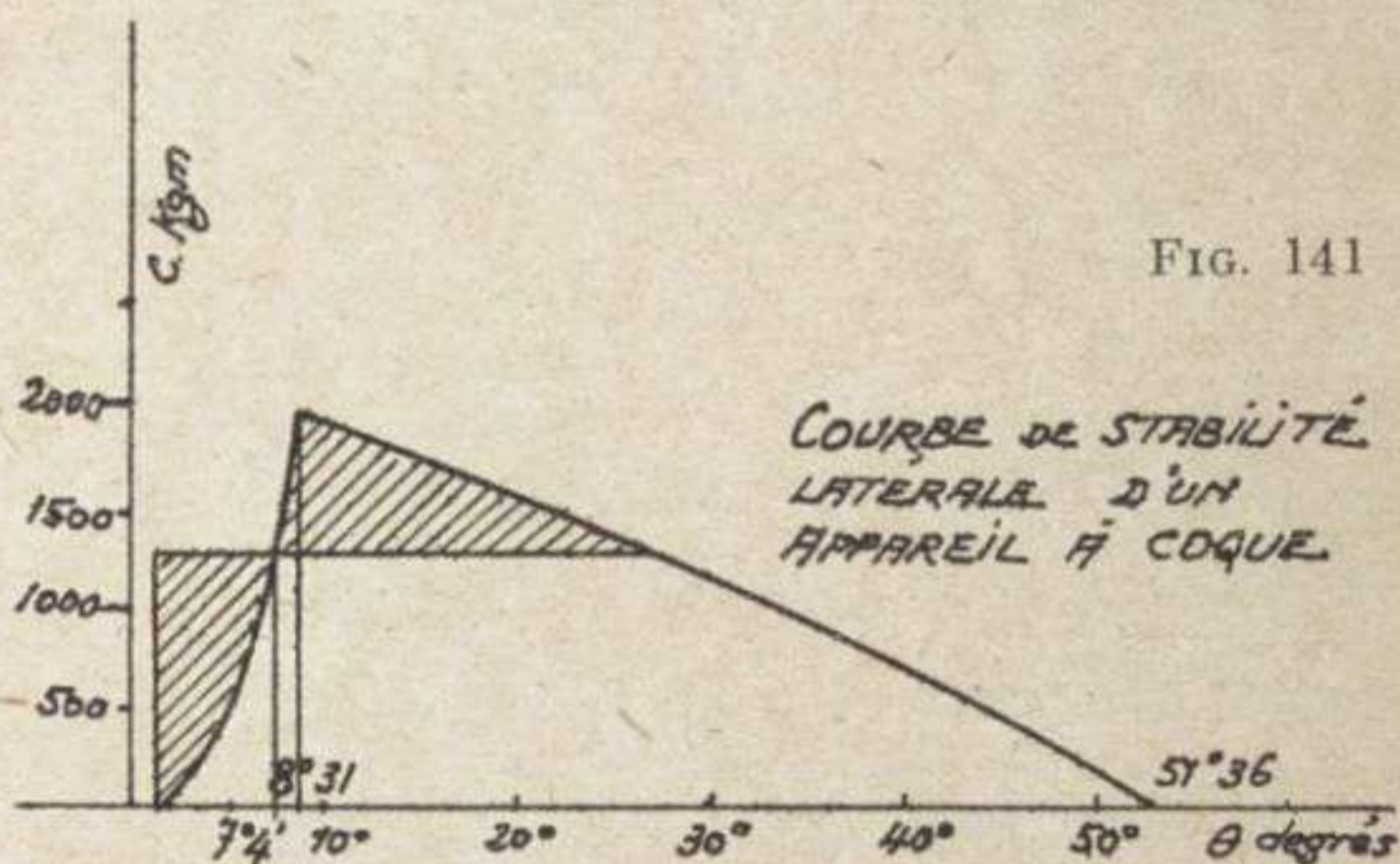
Les valeurs les plus faibles sont obtenues dans la stabilité longitudinale avant (les stabilités longitudinale arrière et transversale sont à peu près comparables). Comme les formes sont déterminées par les raisons de décollage, nous ne pouvons y apporter aucune modification et devons nous borner à constater que ce type d'appareil se défendra moins bien sur l'avant que dans les autres directions.

**13. Application numérique à un hydravion à coque.** — Considérons l'appareil déjà étudié (VI<sup>e</sup> partie, chap. II et VII<sup>e</sup> partie, chap. II, § 7).

a) L'application de la méthode conduit à la courbe de stabilité de la figure 141, dont les valeurs caractéristiques sont les suivantes :

Coefficient de stabilité initiale :	
P (r — a) = .....	5.350 kgmètres.
Angle de chavirement statique: $\theta =$	51°36.
Moment maximum du couple de stabilité = .....	1.990 kgmètres.
Angle correspondant.....	8°31.
Surface totale de la courbe :....	950 kgmètres.
Angle critique dynamique.....	7°4.
Moment du couple critique dynamique :.....	1.300 kgmètres.

b) En comparant avec la courbe de stabilité longitudinale (VII<sup>e</sup> partie, chap. II, § 7), on voit que la stabilité longitudinale vers l'AV est très supérieure aux autres (ce qui s'explique par la très grande réserve de flottabilité), et que les valeurs les plus faibles sont obtenues pour la stabilité transversale, ce qui était à prévoir.



#### 14. Comparaison entre les courbes de stabilité transversale des divers appareils.

a) Si nous considérons l'allure des figures 140 et 141, nous constatons une différence sensible.

Pour une inclinaison faible  $\theta$  donnée, l'appareil à flotteurs a une moment de rappel très fort, ce qui donne un renvoi brusque, mais sans choc. Si  $\theta$  croît, l'appareil a tendance à sauter d'un flotteur sur l'autre, l'appareil à coque réagit moins vite.

Pour un couple donné, l'appareil à flotteurs réagit le premier, avec une inclinaison faible. Sur l'appareil à coque, on aura un moment de rappel d'abord faible, puis croissant très rapidement avec l'immersion du ballonnet, d'où un choc et un effort brusque de grande valeur, qui se transmet à la voileure.

*b)* Si les ballonnets sont gros et rapprochés de la coque; les effets de choc s'atténuent ainsi que la valeur de l'inclinaison. Le roulis de cet appareil sera plus doux, et la voileure moins fatiguée.

*c)* Pour l'appareil à nageoires, cet effet s'atténue encore et l'hydravion aura des qualités marines très satisfaisantes, se rapprochant de celles des navires.

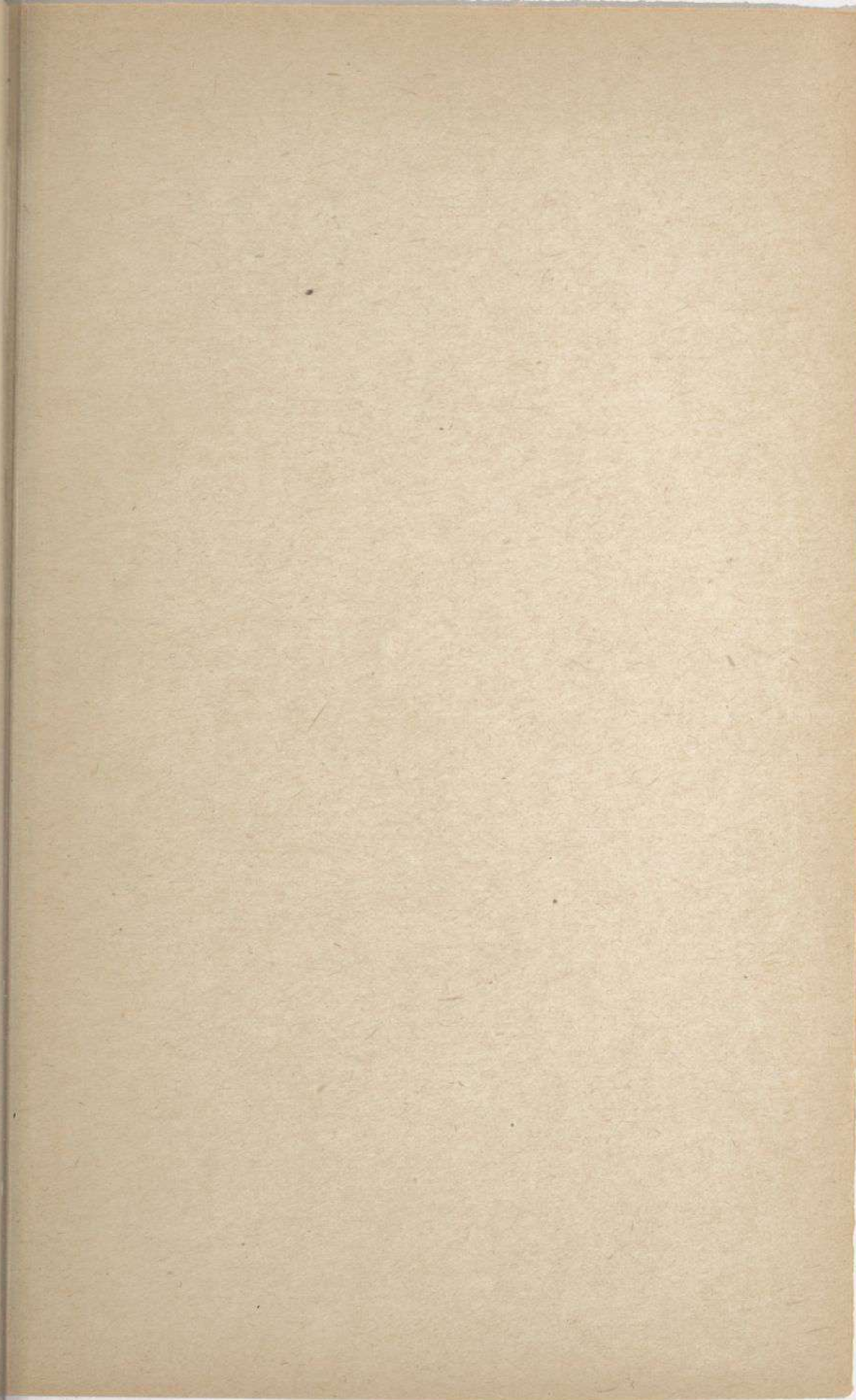
---

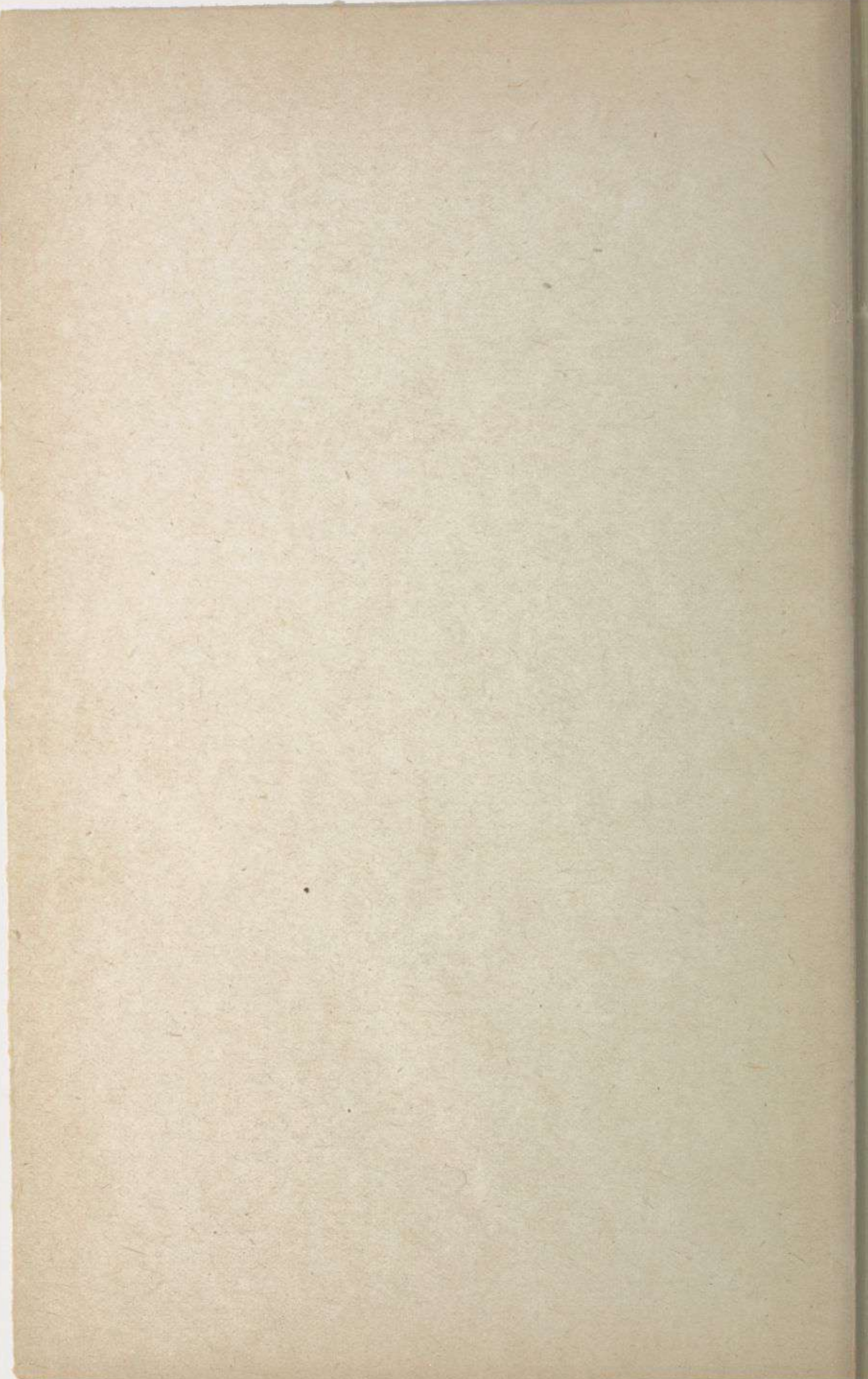
---

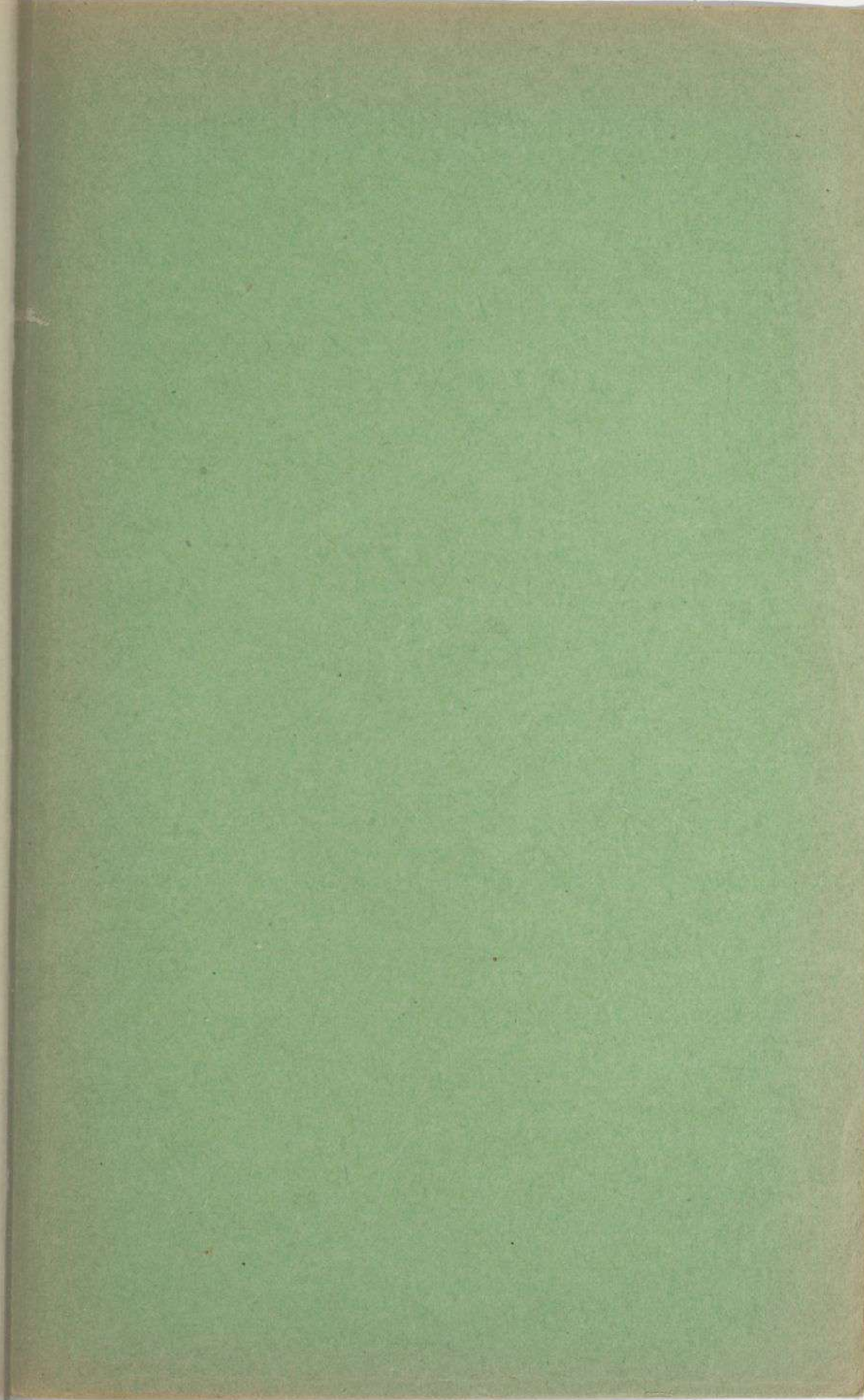
IMPRIMERIE DE MONTLIGEON  
LA CHAPELLE-MONTLIGEON (ORNE)  
(23120-6-31)

---









# 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 monoplan 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 »
MARJOU LIS. — 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 <sup>3</sup> , 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 5 304