

ARRIVEE  
-9 JUN 1970  
SUPPORTS D'ENGINS

BALLONS CAPTIFS DE GRAND VOLUME : DEVELOPPEMENT,  
TECHNIQUES DE MISE EN OEUVRE ET PROBLEMES DE SECURITE.

C. Ayçoberry, J. Barrère, V. Coutrot, P. Perroud,  
M. Saunois, M. Sylvestre-Baron et B. Vieille\*

Commisariat à l'Energie Atomique, Direction des  
Applications Militaires, Sous-Direction des Essais.

(\* Société d'Etudes et de Travaux, SODETRA.)

::::::::::::::::::::

Présenté au 1970 AFCRL Scientific Balloon Symposium,  
Wentworth-by-the-Sea, New Hampshire, U.S.A.  
8, 9, 10 Juin 1970.

	VISA	TRAVAIL	LIBRE	
CHEF				3
BALLONS				2
NACELLES				2
T. S.				1
A. A.				2
SECRETARIAT				2

## TABLE DES MATIERES

### RESUME

#### 1. INTRODUCTION

#### 2. BALLONS CAPTIFS AERAZUR DE GRAND VOLUME

2.1. Description sommaire d'un ballon

2.2. Caractéristiques principales d'un ballon ARZ  
de 6 500 m<sup>3</sup>

2.3. Coefficients aérodynamiques

2.4. Toiles de construction

#### 3. MISE EN OEUVRE

3.1. Aire de gonflement et de campement

3.2. Problèmes de sécurité liés à l'hydrogène

3.3. Ascension

#### 4. PERFORMANCES EN VOL

4.1. Vol sur un câble

4.2. Vol sur tripode de câbles

#### 5. CONCLUSION

PRINCIPALES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

## RESUME

Après un bref historique des ballons captifs français de forme aérodynamique (ballon à ballonnet, type BB-Caquot (1915) et ballon dilatable, type BD-Letourneur (1925), on passe en revue les différentes étapes de la résurrection de ces ballons en France qui commence en 1962 (tous les matériels ayant été complètement anéantis pendant la Seconde Guerre Mondiale). La poursuite d'objectifs nouveaux devait permettre la mise au point de ballons opérationnels de 4 000 m<sup>3</sup> en 1966, suivis d'autres de plus grand volume.

Une brève description du nouveau type de ballon utilisé est donnée : ballon souple à fuseaux extensibles, allongement de la carène 3/1, empennages souples gonflés à l'air et disposés en "Y" à 120°, etc... Ainsi que des organes accessoires.

A leur sortie d'usine, ces ballons sont éprouvés à l'air et à l'hélium sous hangar, où l'on procède en outre à différents réglages.

L'emploi de grandes quantités d'hydrogène et l'usage de toiles synthétiques (matériaux fortement électrisables) ont nécessité la mise sur pied de mesures de sécurité inhabituelles.

Le gonflement à l'hydrogène et la mise en place des organes accessoires sont effectués sur des aires bétonnées qui permettent des manoeuvres aisées de montée et de descente par treuils et poulies de renvoi grâce à de nombreux haubans fixés à demeure sur la carène.

En opération, ces ballons sont l'objet de contrôles et de soins constants en raison du vieillissement des matériaux constitutifs d'une part et de leur vulnérabilité par mauvais temps d'autre part. Deux méthodes de campement sont utilisées : placage au sol sur l'aire de gonflement ou amarrage à un seul câble à faible altitude.

RESUME (suite)

Tout au long de l'article, on donne quelques détails de divers incidents survenus au cours des essais.

## 1. INTRODUCTION

Pendant la Première Guerre Mondiale, les ballons furent abondamment utilisés comme poste d'observation des lignes ennemies. Ce type de matériel avait rendu de tels services aux Alliés qu'il fût pieusement conservé en France où il était encore en opération au début de la Deuxième Guerre Mondiale. Il fut naturellement le point de mire facile des avions de chasse allemands qui en abattirent un grand nombre ; le reste fut ensuite complètement détruit ou pillé par l'occupant.

Lorsque l'emploi de ballons captifs se fit sentir à nouveau en France, il ne restait pratiquement rien de ce qui fut la gloire de l'aérostation militaire. C'est grâce à quelques anciens aérostiers en retraite [4, 5], qui se mirent vaillamment à l'oeuvre, et à quelques petits ballons rescapés de la tourmente trouvés dans un surplus, que les ballons captifs allaient revivre de façon éclatante dans notre pays.

La résurrection commence en 1962, à Chambarran (Isère), où à l'aide de ballons (vieux de 20 ans), de volume variant de 90 à 550 et 1 000 m<sup>3</sup>, nous avons élaboré les techniques de mise en oeuvre et réinventé les matériels accessoires (gonflement à l'hydrogène, campement, treuils, poulies, câbles, soupapes, etc...) tenant compte des objectifs nouveaux. En 1964, un ballon expérimental de 1 500 m<sup>3</sup>, réalisé par la Société Aérazzur [4] permit de poursuivre nos efforts. De nombreux essais furent alors effectués tant sur terre que sur mer pour la mise au point du nouveau ballon lui-même, de ses agrès et des matériels auxiliaires. Ce ballon donna bien vite toute satisfaction et servit de modèle à tous ceux de volume beaucoup plus grand qui suivirent (4 000, 6 500, 10 000 et 14 000 m<sup>3</sup>).

## 2. BALLONS CAPTIFS AERAZUR, DE GRAND VOLUME

Pour la construction de ballons captifs souples, deux techniques sont utilisées : ballons à ballonnet, type BB-Caquot (1915) et ballon dilatable, type BD-Letourneur (1925). Les avantages de ce dernier [3] : force ascensionnelle constante, centre de poussée fixe par rapport aux extrémités et masse de gaz constante, l'ont fait préféré au premier type.

### 2.1. Description sommaire d'un ballon

Une représentation schématique et une nomenclature sont données (Fig. 1, 2, et 3). Bien qu'au cours du développement durant ces dernières années, la technique de construction ait quelque peu évolué afin de répondre à de nouvelles exigences, les ballons étudiés et construits par la Société Aérazur [4] ont en commun les caractéristiques suivantes :

La carène (1), en forme théorique de deux demi-ellipsoïdes allongés raccordés au maître-couple, est constituée par des fuseaux de toile d'une seule longueur, collés ou cousus-collés. L'allongement  $L/D$  est de 3,1 à 3,2. Deux fuseaux extensibles (1.4 et 1.5), à soufflet et sandows de rappel, situés à babord et à tribord de la partie inférieure permettent la dilatation qui est complète lorsque la pression de la carène est voisine de 35 mm CE (mesure à la partie inférieure).

L'introduction de gaz se fait par deux valves, l'une de gonflement (1.16) à grand débit, l'autre de renflouement (1.19) à débit plus faible. En cas de largage accidentel, une soupape (1.21) ventrale permet d'éviter éventuellement l'éclatement

Fig. 1 : Vue générale

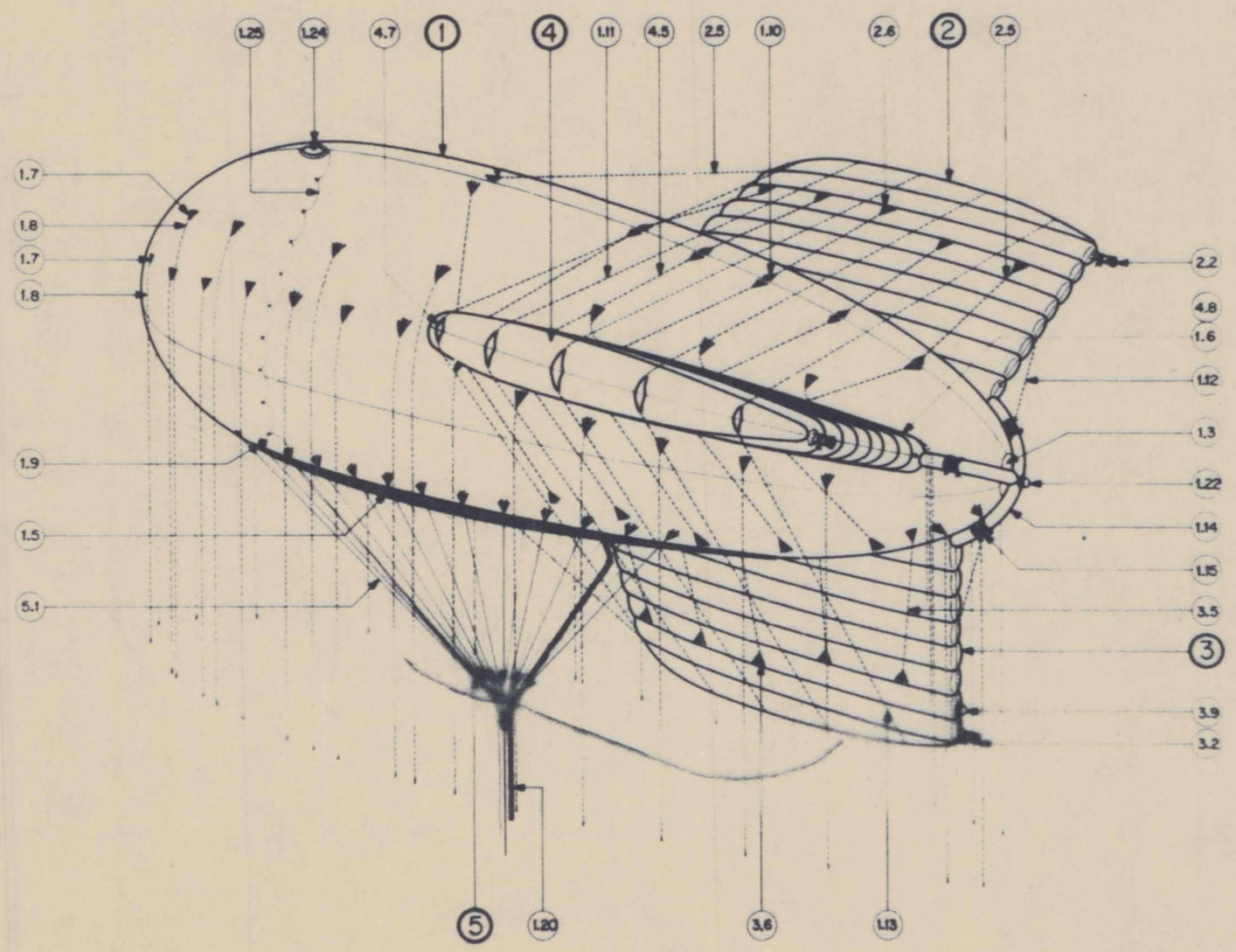
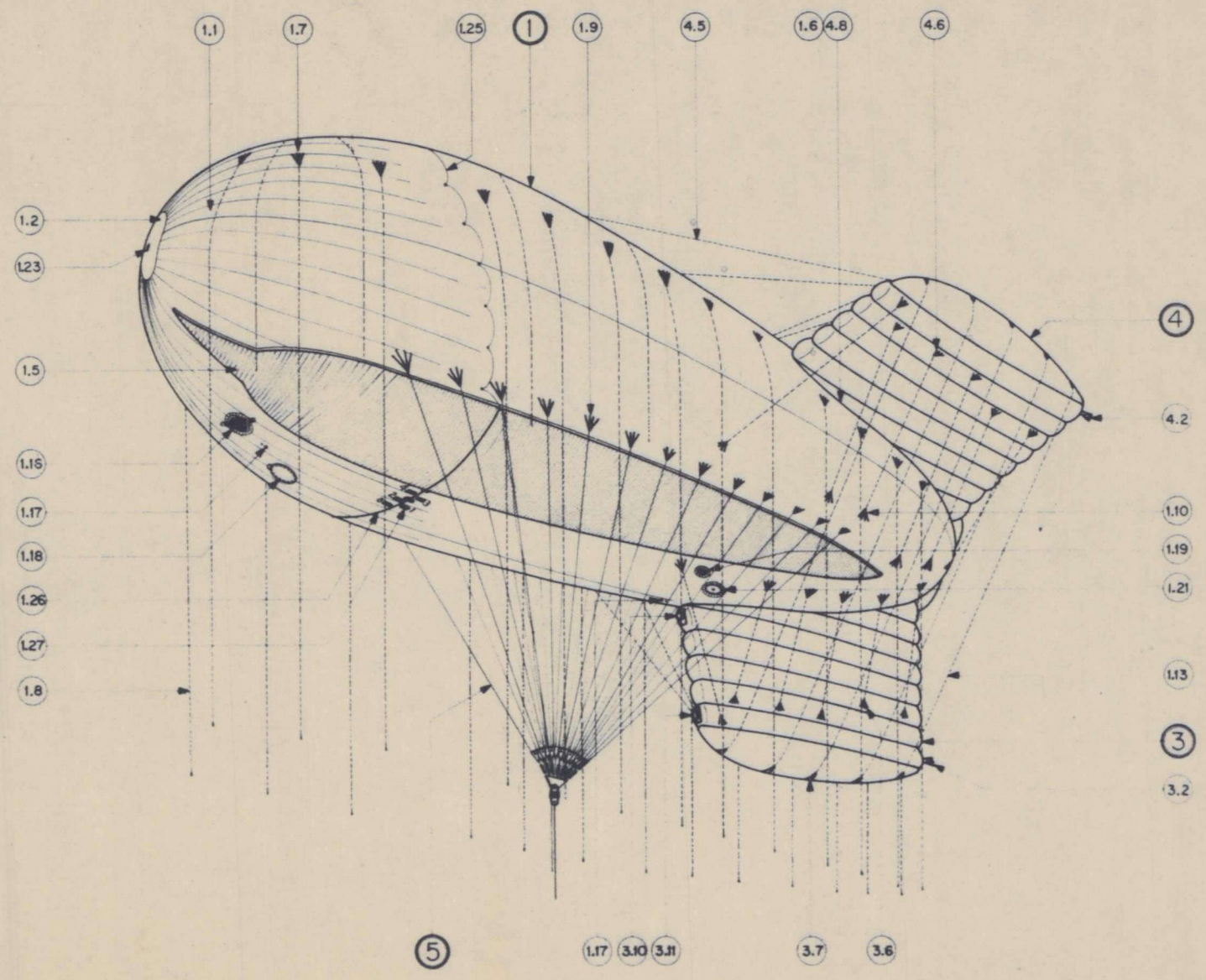


Fig. 2 : Vue générale.





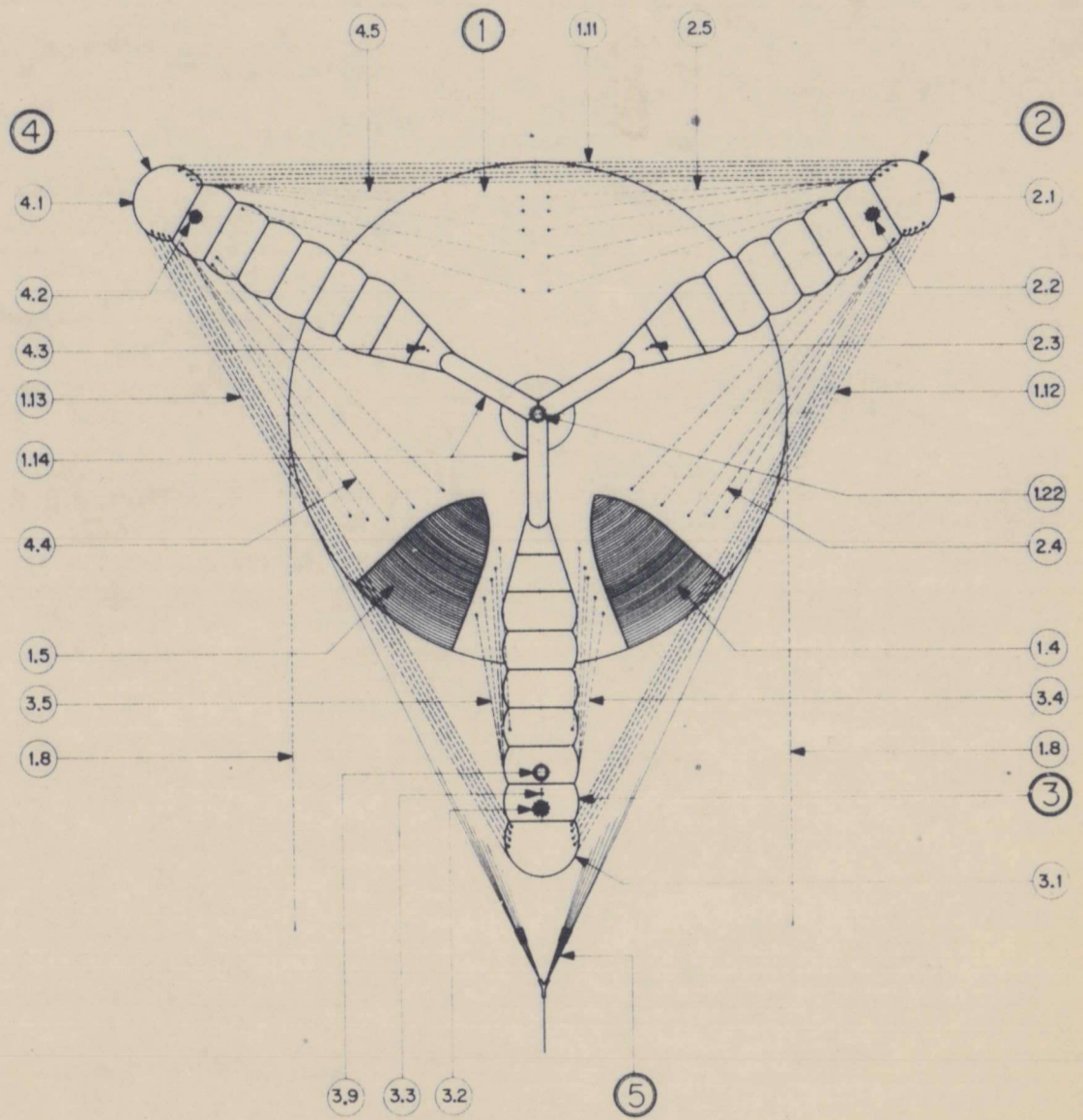


Fig. 3 : Vue arrière.

NOMENCLATURE RELATIVE AUX BALLONS CAPTIFS AERAZUR A  
FUSEAUX DILATABLES (voir Fig.1, 2, 3)

1. Carène

- 1.1. Fuseau de carène
- 1.2. Rondelle d'extrémité AV
- 1.3. Rondelle d'extrémité AR
- 1.4. Fuseau extensible droit
- 1.5. Fuseau extensible gauche
- 1.6. Ralingue d'empennage
- 1.7. Main de campement
- 1.8. Corde de campement
- 1.9. Main de suspension
- 1.10. Main de haubannage d'empennage
- 1.11. Entretoise supérieure
- 1.12. Entretoise latérale droite
- 1.13. Entretoise latérale gauche
- 1.14. Manche de communication des empennages
- 1.15. Manchon de liaison
- 1.16. Valve de gonflement
- 1.17. Prise de gaz (pression et pureté)
- 1.18. Manche de gonflement trou d'homme
- 1.19. Valve de renflouement
- 1.20. Manche de renflouement
- 1.21. Soupape A41
- 1.22. Soupape d'empennage
- 1.23. Trou de vidange
- 1.24. Soupape vide-vite
- 1.25. Câble de commande soupape vide-vite
- 1.26. Pige de dilatation
- 1.27. Repère mesure pression carène en vol

2. Empennage latéral droit

- 2.1. Saumon
- 2.2. Manche de dégonflement
- 2.3. Prise de gaz (pression)
- 2.4. Hauban inférieur
- 2.5. Hauban supérieur
- 2.6. Main de hauban
- 2.7. Patte d'entretoise
- 2.8. Ralingue

3. Empennage inférieur

- 3.1. Saumon
- 3.2. Manche de gonflement
- 3.3. Prise de gaz (pression)
- 3.4. Hauban latéral droit
- 3.5. Hauban latéral gauche
- 3.6. Main de hauban
- 3.7. Patte d'entretoise
- 3.8. Ralingue
- 3.9. Soupape d'empennage
- 3.10. Trompe de renflouement
- 3.11. Surpresseur de renflouement

4. Empennage latéral gauche

- 4.1. Saumon
- 4.2. Manche de dégonflement
- 4.3. Prise de gaz (pression)
- 4.4. Hauban inférieur
- 4.5. Hauban supérieur
- 4.6. Main de hauban
- 4.7. Patte d'entretoise
- 4.8. Ralingue

de la carène tandis qu'une soupape vide-vite (1.24), placée au point le plus haut et commandée par baro-contact réglé pour une certaine altitude, assure une vidange rapide.

Remarque : *Le classique panneau de déchirure, utilisé au début, a finalement été supprimé en raison des fuites qu'un collage défectueux pouvait occasionner.*

Les empennages souples formés par des lobes longitudinaux gonflés à l'air sont disposés à 120° en forme d' "Y", l'empennage inférieur étant vertical ; ils communiquent entre eux (1.14) et sont amovibles. La pression de service de 80 mm CE maintenue constante automatiquement par un surpresseur électrique (3.11) (avec en sécurité l'adjonction d'une trompe à air (3.10) ) leur donne la rigidité nécessaire qui jointe à l'action d'entretoises et de haubans (cordes de nylon) permet de conserver la configuration normale. En ascension, une ou plusieurs soupapes (3.9) limitent cette pression à la valeur initiale.

La suspension (5) est constituée d'un double éventail de câbles souples métalliques (comportant ou non des poulies de dédoublement) fixés sur la carène par des mains (pièces de tissu renforcé en forme de pattes d'oie), collés et réunis à l'aide d'une pièce en forme de "V" en un point d'où part le câble de retenue. Cette suspension est réglée de façon à donner à l'axe de la carène une incidence positive de 8° par vent nul.

Les manipulations du ballon au sol (gonflement et campement) sont possibles grâce à un grand nombre de cordes de nylon fixées à demeure sur la carène au moyen de mains collées (1.7).

## 2.2. Caractéristiques principales d'un ballon

ARZ de 6 500 m<sup>3</sup>

A titre d'exemple, voici quelques éléments concernant un ballon ARZ de 6 500 m<sup>3</sup>.

### Carène :

longueur de la carène  $L = 52$  m,  
diamètre au maître-couple  $D = 16$  m,  
incidence  $i = + 8^\circ$ ,  
51 fuseaux.

### Empennages :

volume de l'un d'eux : 260 m<sup>3</sup>, longueur 18 m,  
hauteur 15 m, aire d'une face : 175 m<sup>2</sup>.

Poids total du ballon équipé : 2 300 daN

Volume de la carène, à  $P_c = 36$  mm CE : 7 400 m<sup>3</sup>  
= 20 mm CE : 6 560 m<sup>3</sup>

Force ascensionnelle résiduelle (sous la pièce en Vé)

à 760 mm Hg et 25°C (gonflé à l'hydrogène, vent nul)  
FAR = 4 800 daN.

## 2.3. Coefficients aérodynamiques

La figure 4 montre les coefficients aérodynamiques  $C_x$ ,  $C_z = f(i)$  et  $C_N = f(j)$  mesurés en soufflerie sur maquette rigide en bois au 1/60 jusqu'à des vitesses de 28 m/s (courbe 1 correspond à la carène munie d'empennages, courbe 2 à la carène seule ;  $i$  et  $j$  sont respectivement l'incidence et le lacet). On remarque la valeur élevée du rapport  $C_z/C_x$  ; une force de sustentation importante, due au vent, vient donc s'ajouter à la poussée d'Archimède.

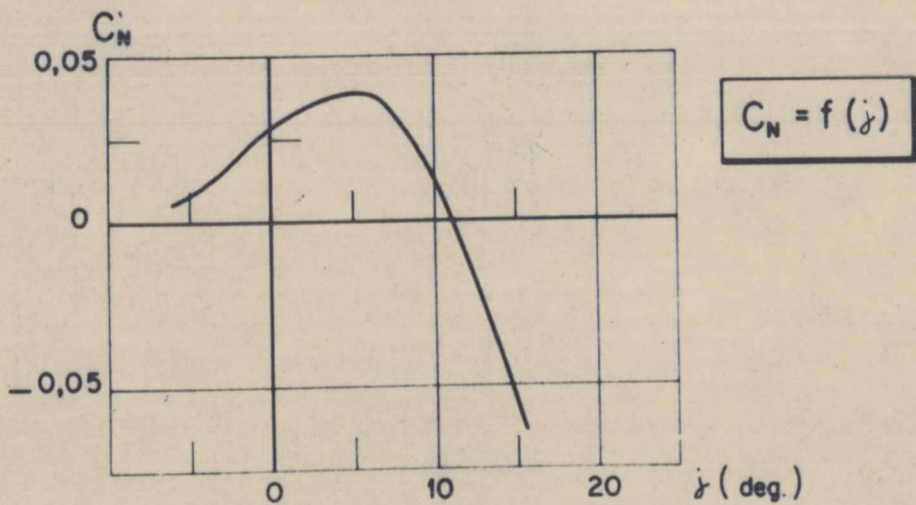
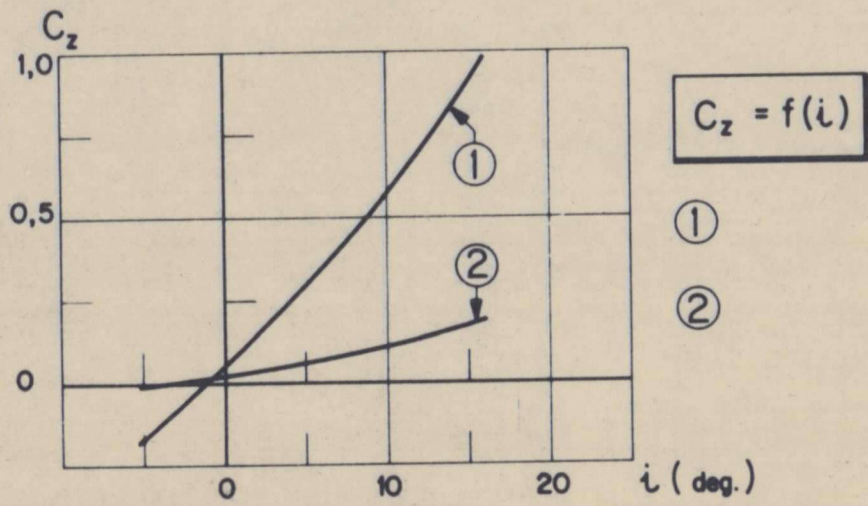
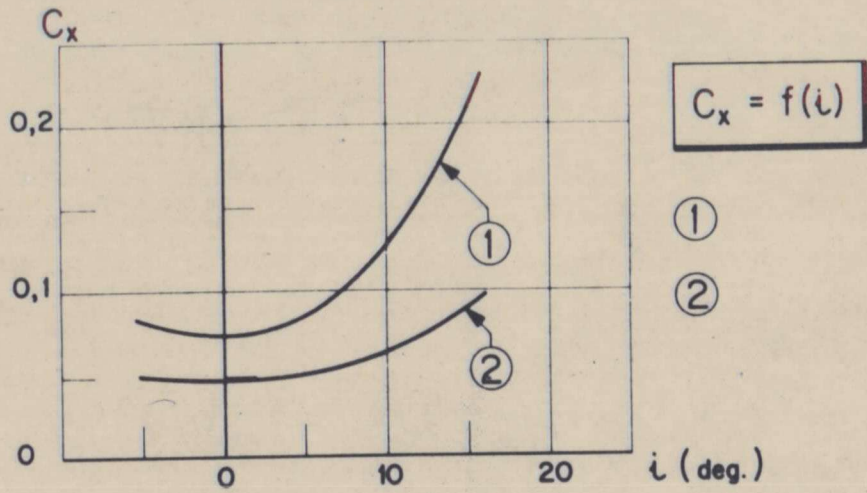


Fig.4 : Coefficients aérodynamiques.  
1. Carène avec empennages.  
2. Carène sans empennages.

La stabilité en lacet est un point délicat; l'expérience a montré l'intérêt de ne pas avoir des couples de rappel trop forts.

Ces excellentes propriétés aérodynamiques ne doivent cependant pas nous faire perdre de vue que le ballon réel souple se déforme par vent fort (en particulier les empennages) et que la similitude aérodynamique est loin d'être parfaite. De plus, un compromis doit être trouvé entre le souci d'obtenir un bon profil aérodynamique et celui de limiter l'importance des efforts dus au vent sur les câbles de retenue.

#### 2.4. Toiles de construction

Les toiles utilisées sont des matériaux synthétiques offrant une grande résistance mécanique jointe à une imperméabilité élevée à l'hydrogène. Elles sont constituées par un support de nylon simple ou double enduit à l'extérieur d'uréthane teinté en jaune et à l'intérieur de néoprène. Voici quelques caractéristiques :

		carène	empennages
Masse	$g/m^2$	380	280
Résistance mécanique (rupture)	daN/5 cm	250	150
Perméabilité à l'hydrogène	$l/m^2 \cdot 24 h$	3	5

*Note : Les résistances chaîne et trame sont peu différentes ; le chiffre donné correspond à la moyenne.*

En climat tropical maritime, le vieillissement du tissu est rapide ainsi que celui des collages. Des décollements de l'enduit d'uréthane sont observés en laboratoire à 70°C et 90 % d'humidité relative. L'emploi de ces tissus synthétiques à la place du coton ou de la soie introduit un danger

nouveau quand on utilise l'hydrogène en raison de leur pouvoir élevé d'électrisation. Heureusement, la résistance électrique superficielle décroît très vite avec l'augmentation de l'humidité de l'atmosphère.

Notons que la perte en hydrogène de nos ballons est de l'ordre de 1/100 de leur volume par jour. Un appoint en gaz est donc nécessaire tous les 3 ou 4 jours afin de maintenir la pression de la carène à une valeur suffisante.

### 3. MISE EN OEUVRE

#### 3.1. Aire de gonflement et de campement (Fig. 5)

Les ballons sont gonflés à leur sortie d'usine d'abord à l'air (carène et empennages), pour un contrôle général de la fabrication puis à l'hélium sous hangar (ou à l'hydrogène à l'air libre) pour le réglage des suspentes. Cette opération initialement réalisée avec difficulté à l'extérieur, se pratique maintenant facilement sous un ancien hangar de dirigeables qui offre l'espace nécessaire. Les ballons en sortent éprouvés avec leurs appareillages réglés, prêts pour le service sur un site où ils sont transportés en emballage spécial sous atmosphère sèche.

Les aires, où s'opère le gonflement et le campement, orientées dans le sens du vent dominant, sont en béton avec chape lisse. Elles comportent trois treuils, un treuil central (1) permettant l'ascension et de deux treuils latéraux (6) le campement.



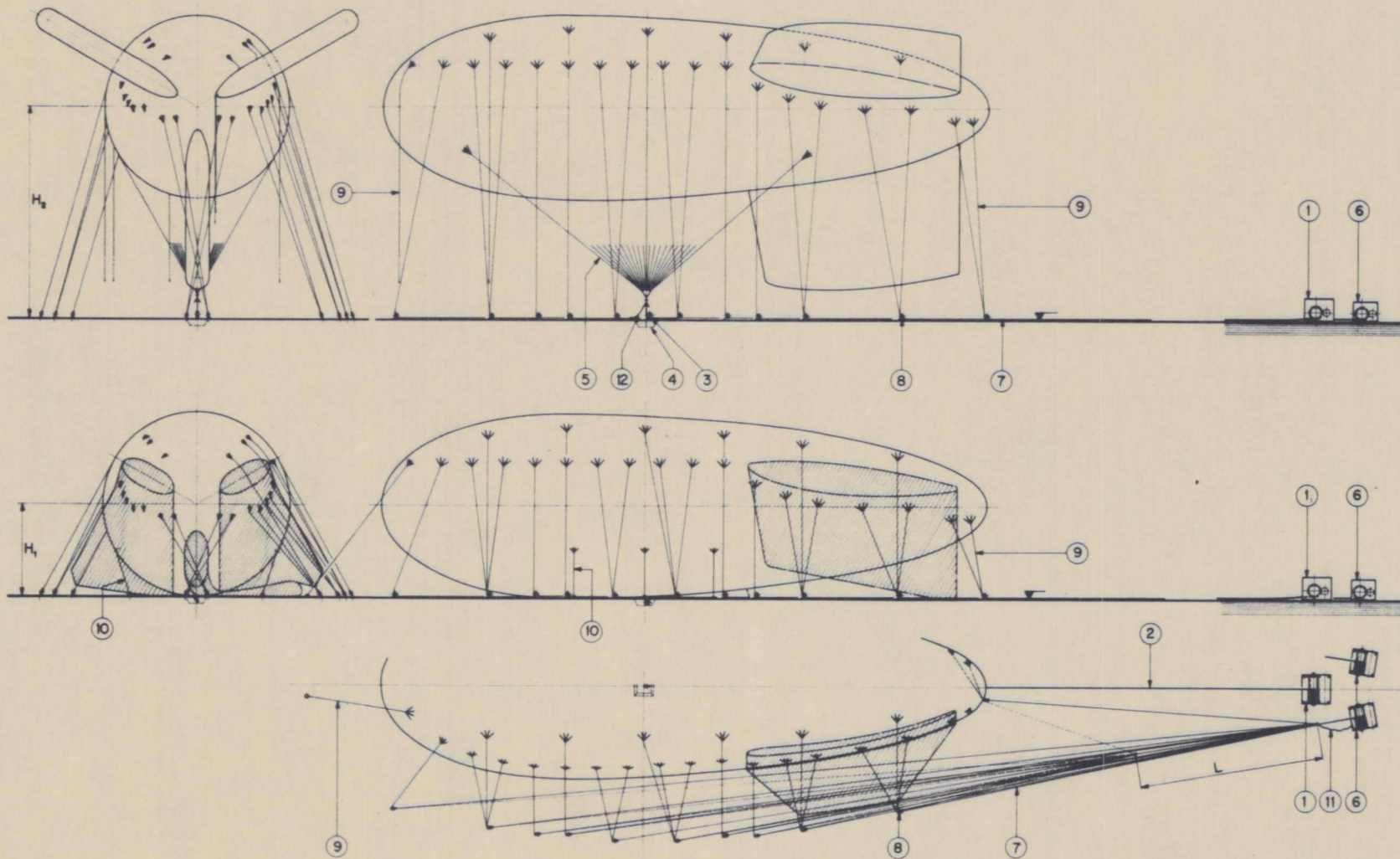


Fig. 5 : Aire de gonflement et de campement.

AIRE DE GONFLEMENT ET DE CAMPEMENT (voir Fig.5)

1. Treuil central
2. Câble du treuil central
3. Poulie de renvoi
4. Fosse pour poulie de renvoi
5. Suspension
6. Treuils latéraux
7. Pieuvres
8. Poulies de renvoi des cordes de campement
9. Cordes de campement
10. Cordes anti-roulis
11. Elingue de sécurité sur treuil secondaire
12. Elingue de sécurité sur treuil principal

Les manoeuvres du ballon sont aisées grâce aux nombreux haubans (9) fixés sur la carène et réunis de chaque côté par l'intermédiaire d'une pieuvre (7) en un point unique d'où part le câble du treuil latéral correspondant, après être passées chacune sur une poulie de renvoi (8). Lorsque le vent n'est pas dans la direction de l'axe de l'aire, cette technique permet de ramener le ballon de positions atteignant 90° de l'axe. Des murs pare-vents disposés autour de l'aire rendent le gonflement possible par vent dépassant 10 m/s.

Le campement du ballon au sol à cause du mauvais temps ou en vue d'une réparation est ainsi aisé. Les empennages sont alors dégonflés et amarrés et toutes mesures de renforcement de sécurité peuvent être ainsi prises. Cependant, par fort vent de travers, empennages et carènes peuvent souffrir. Un tel campement a bien tenu dans des vents de travers dépassant 30 m/s pendant une nuit sous pluie battante... Cependant, on lui préfère un campement aérien sur le lieu même d'utilisation sur câble unique à 150 m d'altitude environ où les vents sont moins tourbillonnaires. La limite des vents admissibles atteint 25 m/s.

### 3.2. Problèmes de sécurité liés à l'hydrogène

L'hydrogène utilisé de pureté supérieure à 99,6 %, contenu dans des tubes sous pression de 200 bars, est introduit dans la carène par la valve de gonflement principal (1.16) après avoir été détendu à pression voisine de la pression atmosphérique. Le débit est de 5 000 à 10 000 Nm<sup>3</sup>/h et la pression de la carène recherchée est de 20 mm CE. Le gonflement est une opération délicate en raison d'une part, des risques d'incendie et d'autre part,

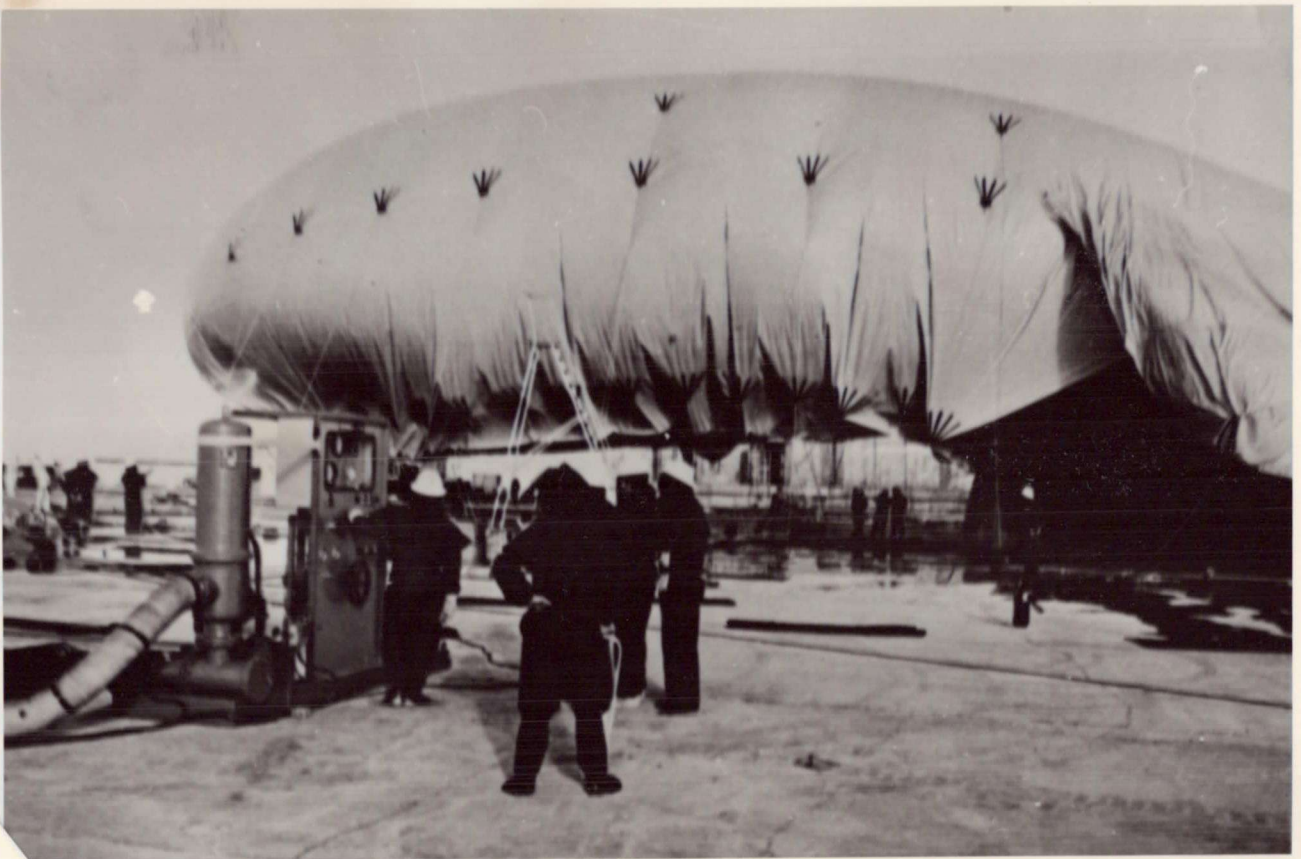


Photo 1 - Gonflement d'un ballon ARZ à l'hydrogène.

de l'action possible du vent (on se limite à 10 m/s avec murs pare-vent et à 7,5 m/s sans ceux-ci).

Sachant que l'hydrogène est inflammable dans l'air avec une très faible énergie d'ignition ( $10^{-5}$  Joule) dans des limites comprises entre 4 à 74 % et détonant de 18 % à 59 %, les principes de sécurité classiques ont été rigoureusement appliqués: éviter la formation de mélanges combustibles ou détonants et la présence de sources d'ignition.

Tous les éléments métalliques de l'aire sont reliés à une masse commune et l'on prend soin de maintenir une forte humidité de l'atmosphère par arrosage constant des points réputés dangereux afin d'éliminer les charges d'électricité statiques qui pourraient s'accumuler sur les tissus synthétiques. Le personnel porte des combinaisons d'amiante et travaille sous le regard vigilant des pompiers...

Malgré ces précautions un accident se produisit lors d'un gonflement et 4 000 Nm<sup>3</sup> d'hydrogène brûlèrent dans l'espace d'une dizaine de secondes. Grâce à la diffusion rapide du gaz vers le haut, les dommages causés au personnel furent heureusement minimes.

Ainsi que l'ont montré des expériences en laboratoire, les risques d'incendie dus à une petite fuite d'hydrogène sur la carène sont réduits [6].

En cours d'opération, la pureté de l'hydrogène du ballon est fréquemment contrôlée à l'aide d'un appareil à conductibilité.

### 3.3. Ascension

Le ballon ainsi préparé sur l'aire de gonflement est transporté sur les lieux d'utilisation

par camion spécial comportant à l'arrière un treuil et une poulie de renvoi oscillante permettant une ascension à faible altitude. Dans le cas d'un site marin, le camion et son chargement aérien sont embarqués dans un bateau à fond plat pouvant aborder une plage (EDIC de la Marine Nationale : engin de débarquement d'infanterie et de chars). Le transbordement a lieu sur la barge principale (voir Fig. 6). Très pratique par bonne mer, ce mode de transport peut devenir dangereux par grosse mer en raison des coups de fouet donnés au câble d'ascension par l'action de la houle ou encore par l'action du vent ce qui accroît le fartage.

Quand on recherche une position fixe dans l'espace, il est nécessaire d'utiliser un tripode régulier de câbles (voir Fig. 6). Les sommets du triangle équilatéral sur un site maritime sont alors matérialisés par des barges (4)(5) amarrées sur le fond à faible profondeur et portant chacune un treuil. La barge principale (4) et son treuil servent à l'accrochage et à l'ascension de la nacelle et au campement aérien, les treuils secondaires au positionnement. Les treuils utilisés sont à cabestan (8) et tambour de stockage (9) ; un moteur électrique imprime une vitesse constante au câble de 0,3 m/s. Les poulies de renvoi (6) et (10) sont oscillantes autour d'un axe longitudinal et conçues pour être pratiquement indéraillables. Constitués de fils d'acier spécial à haute résistance ( $200 \text{ daN/mm}^2$ ) toronnés, le câble principal (2) et secondaire (3) travaillent respectivement à  $1/3$  et  $1/2$  de la limite de rupture dans le cas normal le plus défavorable. La tension au sol est mesurée en continu par tensiomètre à trois poulies.

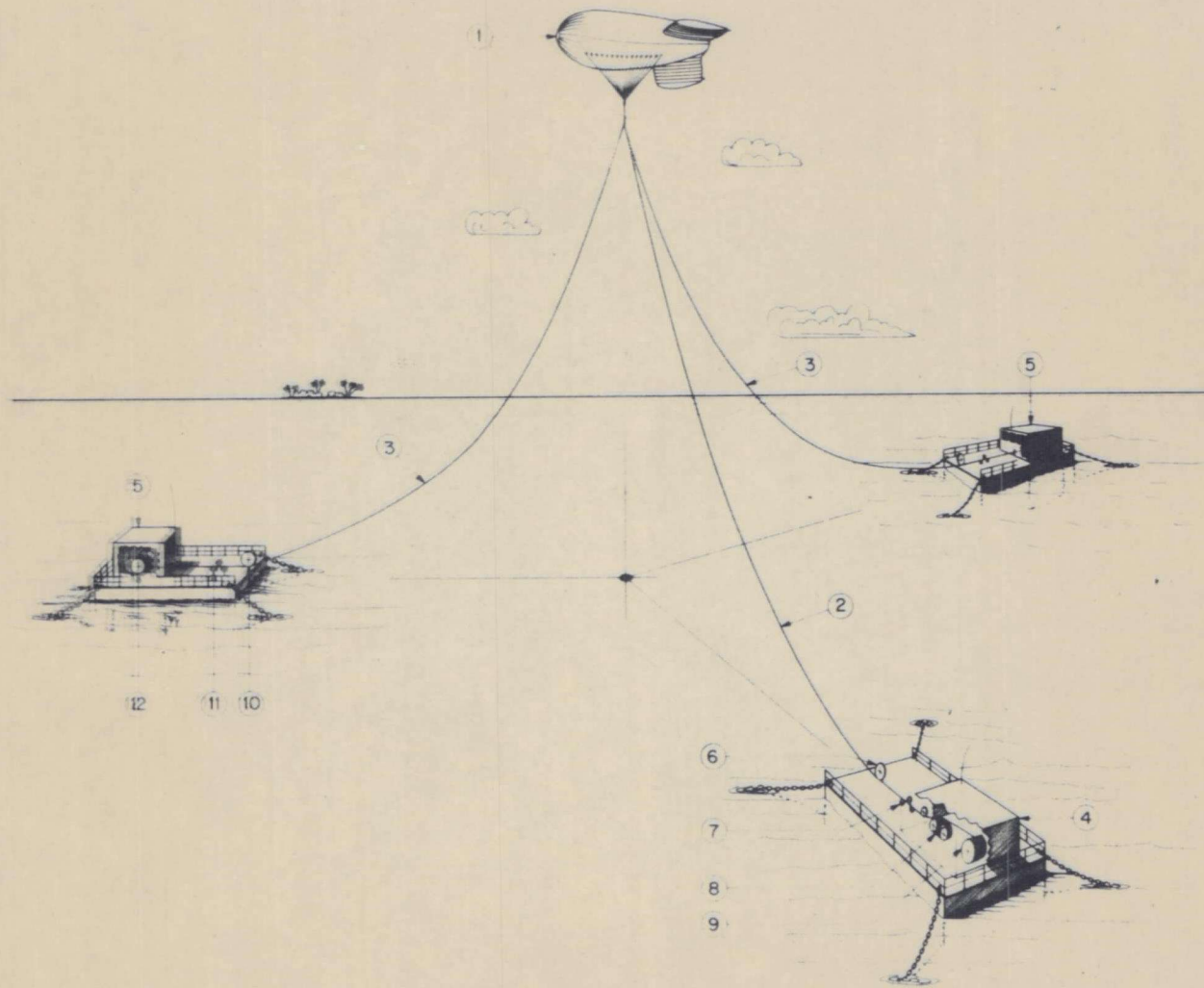


Fig.6 : Vol sur tripode de câbles.

VOL DE BALLON SUR TRIPODE DE CABLES (voir Fig.6)

1. Ballon
2. Câble principal
3. Câbles secondaires
4. Barge principale
5. Barges secondaires
6. Poulie de renvoi oscillante
7. Tensiomètre
8. Cabestan treuil principal
9. Enrouleur (stockage du câble)
10. Poulie de renvoi oscillante
11. Tensiomètre
12. Treuil secondaire



#### 4. PERFORMANCES EN VOL

En vol, les paramètres suivants sont transmis au sol et enregistrés : pression de la carène et des empennages, vitesse et direction du vent par rapport au ballon, signalisation d'un défaut de fonctionnement sur un des systèmes de renflouement des empennages.

Le comportement en vol est lié aux caractéristiques aérodynamiques de celui-ci et des forces mises en jeu. L'adjonction d'un parachute de queue améliore dans certains cas la tenue du ballon dans le vent.

##### 4.1. Vol sur un câble

Cette configuration est utilisée le plus souvent pour le campement aérien des ballons. C'est ainsi qu'un ballon retenu par un câble de 150 m de longueur peut sans trop de fatigue et de danger pour lui, subir des vents de 20 m/s (déplacements latéraux atteignant 40 m). Au-delà, les dérapages du ballon sont tels qu'il peut se mettre en travers du vent. La carène se courbe alors en forme de banane, les empennages se raccornissent, et le ballon perd ses qualités aérodynamiques. Il peut rester dans cette position à faible altitude en exerçant une force énorme sur son câble qui fait alors un angle faible avec l'horizontale, ou continuer sa chute pour venir toucher le sol entraînant ainsi sa perte.

Le bon comportement d'un ballon en vol dépend en grande partie des caractéristiques du vent. A cet égard, les changements brusques de direction du vent s'avèrent beaucoup plus nuisibles que les variations rapides de vitesse.

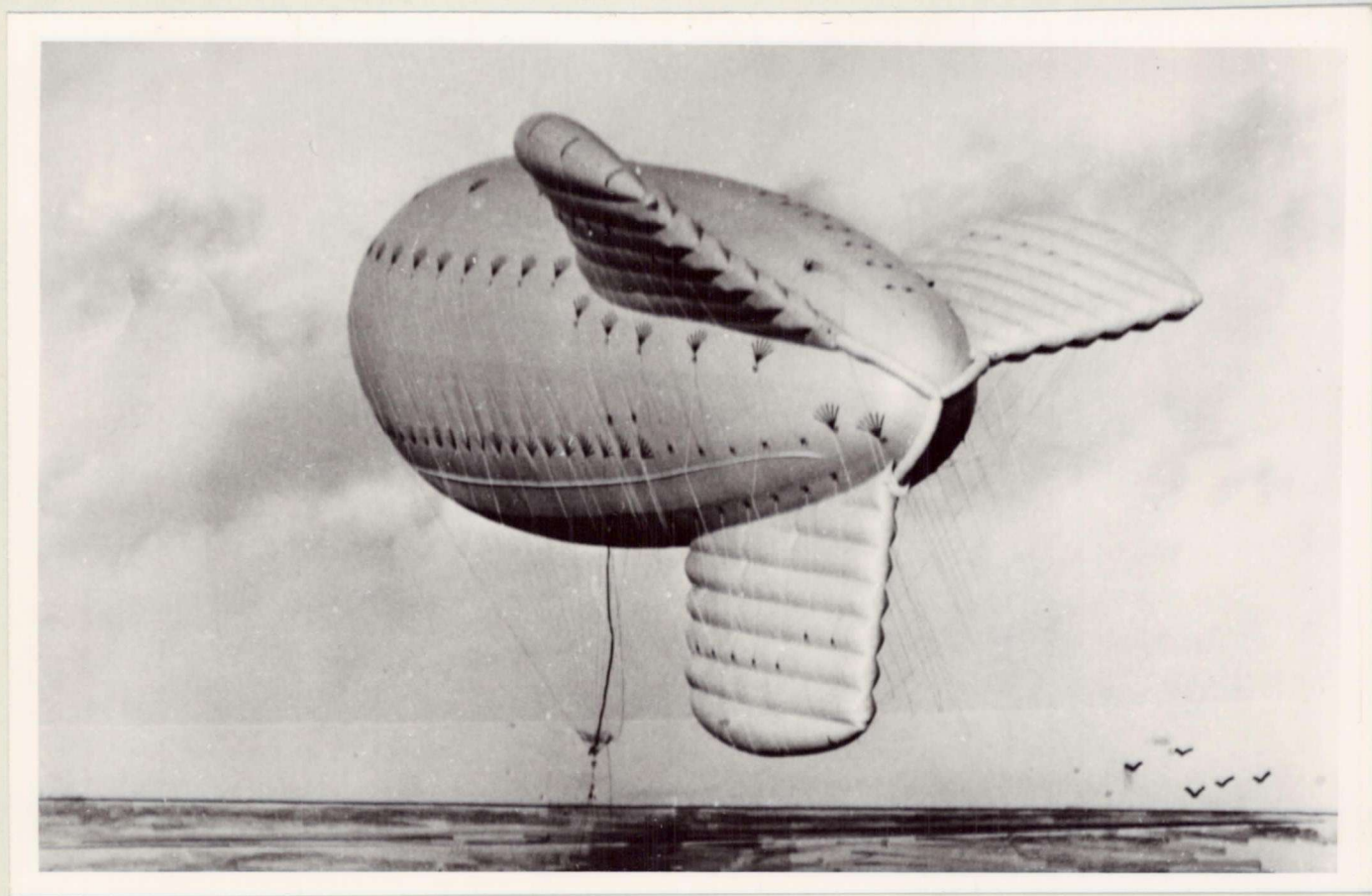


Photo 2 - Ballon ARZ en vol par vent de 10 m/s.

#### 4.2. Vol sur tripode de câbles

La stabilité d'un tripode régulier formé par trois câbles identiques ou non dépend des forces mises en jeu au point triple. La limite de stabilité de ce tripode qui dépend aussi de la direction relative du vent est atteinte lorsque l'un des câbles fait un angle nul avec l'horizontale en son point d'ancrage. Dès lors, il est impossible de ramener le point triple au sommet du tétraèdre régulier fictif en tirant sur les câbles.

Pour les ballons utilisés, nous avons calculé les limites de stabilité d'un tripode donné (diamètres et poids des câbles connus) donnant la vitesse critique du vent  $V_c$  en fonction de sa direction et de la force verticale  $F_v$  avec laquelle on tire sur les trois câbles. Un exemple est donné Fig. 7. Les déplacements horizontaux du point triple autour du point théorique à l'altitude  $H$  sont alors de  $0,075 H$ .

Pour des vitesses de vent inférieures à la vitesse critique, les déplacements sont moindres et l'expérience montre que pour une force  $F_v$  double de celle du poids des câbles ils sont respectivement de  $0,015 H$  pour un vent de 5 m/s et  $0,05$  à  $0,06 H$  pour un vent de 10 m/s.

Les variations en altitude du point triple sont voisines du quart des valeurs précitées.

Pour des vitesses de vent supérieures à la vitesse critique les câbles se tendent ou se détendent alternativement, les efforts soudains de traction ainsi engendrés peuvent atteindre les limites de rupture des câbles et libérer le ballon avec sa charge.

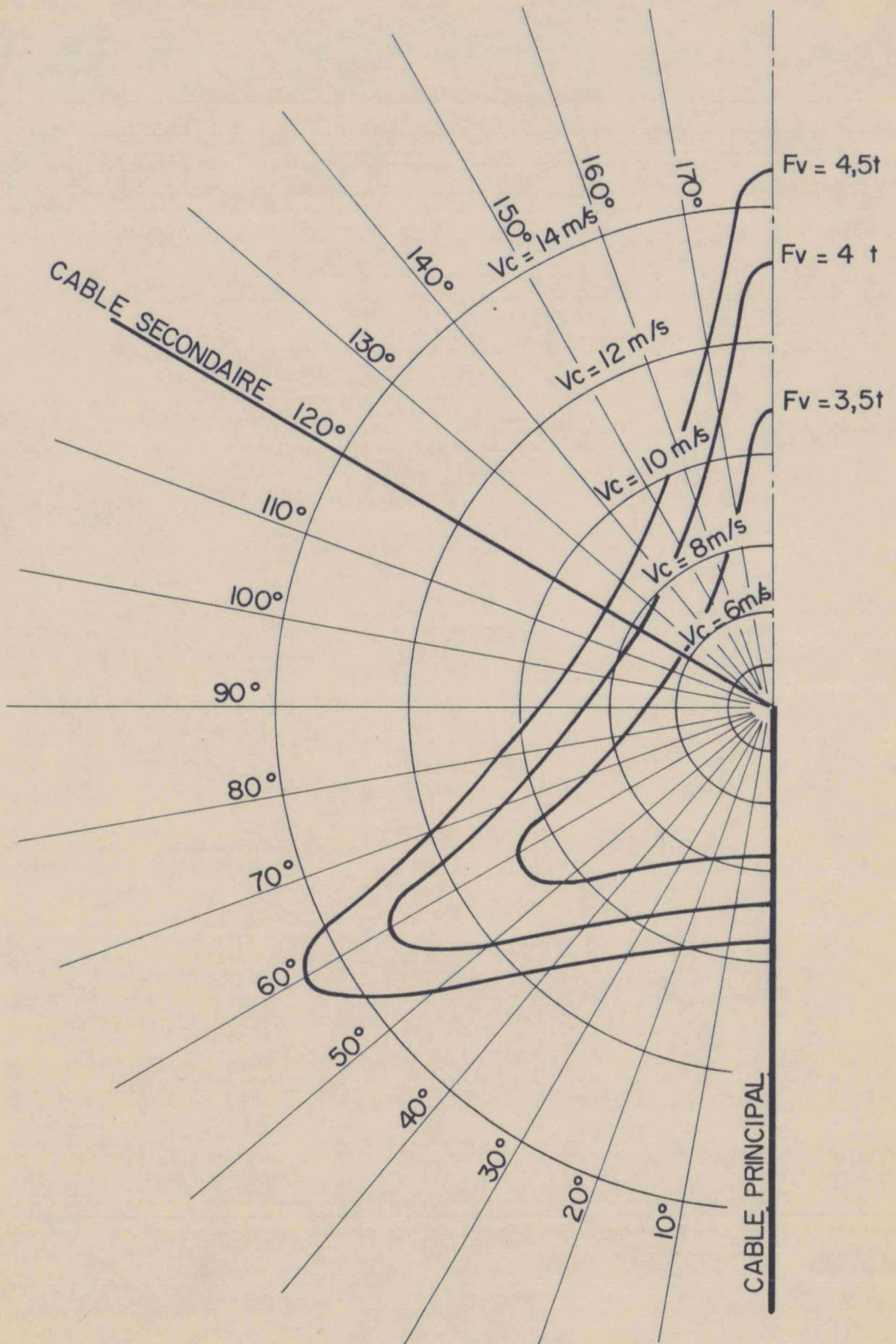


Fig. 7 : Limites de stabilité d'un tripode. Altitude  $H = 600m$ .

On peut noter aussi que la stabilité du tripode a une incidence directe sur celle du ballon lui-même ; les dérapages restant limités dans cette configuration.

Enfin, des campagnes de mesures des paramètres de vol ont été effectuées mais l'analyse des résultats s'est avérée délicate en raison de l'interdépendance de ces paramètres.

## 5. CONCLUSION

Ainsi, la poursuite d'objectifs nouveaux a permis à la France, berceau de l'aérostation, de développer au cours des six dernières années des ballons captifs de grand volume. Ces ballons à carène dilatable, merveilleusement réalisés par la Société Aérazur de Paris, ont des performances remarquables dans des vents atteignant 20 à 25 m/s.

L'usage d'hydrogène a été possible, malgré l'emploi de tissus synthétiques facilement électrisables, grâce aux techniques de gonflement utilisées. Un danger potentiel subsiste néanmoins qu'il ne faut jamais oublier, aussi quand cela est possible, l'hélium doit être préféré.

Les appareillages accessoires, les matériels de manoeuvre et les techniques de mise en oeuvre expérimentées au cours des nombreuses campagnes tant en France qu'au Pacifique, donnent actuellement entière satisfaction.

*In memoriam : M. Pierre Leroy (1893-1969), récemment décédé, consacra plus de cinquante années de son ardeur créatrice au service de l'Aéronautique Française et fut l'un des principaux artisans de la construction des ballons à la Société Aérazur où il était Directeur Technique.*

-:-:-:-:-

PRINCIPALES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] JAUBERT G.F.  
La fabrication industrielle de l'hydrogène  
pour le gonflement des ballons militaires.  
Imprimerie Nationale. Paris, 1912.
- [2] Instruction pratique sur la manoeuvre des  
ballons militaires.  
Ministère de la Guerre.  
Imprimerie Nationale. Paris, 1925.
- [3] JOUGLARD P.  
Leçons sur la mécanique des ballons et sur  
leur construction.  
Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique.  
Paris, 1933.
- [4] FORICHON A., LEBASTARD M., LEROY P. et  
GAILLARD A.  
Société Aérazor. 58 boulevard Galliéni,  
92-ISSY-les-MOULINEAUX, France.
- [5] CAQUOT A.  
Paris. Communications personnelles.
- [6] GUIZOUARN L. et PERROUD P.  
Dangers relatifs à l'emploi de l'hydrogène  
gazeux.  
Mesures de sécurité à observer pour le  
gonflement d'aérostats de grande capacité.  
Note CENG/ASP N° 63-07. 1963.

NEW FRENCH TETHERED BALLOONS OF LARGE VOLUME :  
DEVELOPMENT, HANDLING TECHNIQUES, AND SAFETY PROBLEMS.

C. Ayçoberry, J. Barrère, V. Coutrot, P. Perroud,  
M. Saunois, M. Sylvestre-Baron et B. Vieille\*.

Commissariat à l'Energie Atomique, Direction des  
Applications Militaires, Sous-Direction des Essais.  
(\* Société d'Etudes et de Travaux, SODETRA.)

-:-:-:-:-:-:-:-

Presented at the 1970 AFCRL Scientific Balloon  
Symposium, Wentworth-by-the-Sea, New-Hampshire,  
U.S.A. 8, 9, 10 Juin 1970.



## TABLE OF CONTENTS

ABSTRACT

1. INTRODUCTION

2. NEW FRENCH TETHERED BALLOONS OF LARGE VOLUME

2.1. Description of an Aératur Balloon

2.2. Main characteristics of an ARZ balloon

2.3. Aerodynamic coefficients

2.4. Fabrics

3. HANDLING OPERATIONS

3.1. Inflation and anchorage area

3.2. Safety problems related to the use of hydrogen

3.3. Balloon ascent

4. PERFORMANCE IN FLIGHT

4.1. Flight on a single cable

4.2. Flying on a tripod of cables

5. CONCLUSION

BIBLIOGRAPHICAL REFERENCES

## ABSTRACT

After a short historical review of French aerodynamically-shaped tethered balloons (balloon with ballonnet, Caquot's type (1915), and dilatable balloon, Letourneur's type (1925), the different steps in the resumption of use of such balloons in France, which began in 1962, are presented (all materials having been completely destroyed during the Second World War). New-type requirements for heavy payloads have led to the development of operational balloons of several thousand cubic meters capacity by 1966, followed by others of yet larger volume.

A brief description of the balloons used is given. Each has a soft expendable hull of three-to-one fineness ratio, with three tail-fins in "Y" configuration equally spaced and air inflated, as well as accessory equipments.

After manufacture, these balloons are indoor-inflated with air to test gas tightness, and afterwards with hydrogen in order to make various adjustments.

The use of large quantities of hydrogen, together with synthetic fabrics (material highly electrifiable) requires unusual safety techniques to make the balloons as safe as possible.

Fitting of accessory apparatus and hydrogen inflation are carried out on special areas made of concrete. This allows easy handling of the balloon with the help of two winches and many pulleys, aided by the numerous handling ropes attached all along the hull.

In field operation the balloons are constantly controlled and great care is taken because of their vulnerability to bad weather and to ageing of their structural materials. Two methods of anchorage are used : a) tightly pulled down to the ground on the inflation areas or, b) in flight, at low altitude, tethered by a single cable.

Throughout the paper, special emphasis is given to incidents which happened during the numerous test-series in France and abroad.

## 1. INTRODUCTION

During the First World War, tethered balloons were widely used as posts for observation of enemy lines.

This type of equipment gave such good service to the Allies that it was religiously preserved in France, where it was still in operation at the beginning of the Second World War. Tethered balloons were, naturally, good targets for the German Air Force, who shot down a great number ; the remainder were afterwards completely destroyed or looted by the invaders.

When the use of captive balloons was again necessary in France, practically nothing was left of the past glory of military Aerostatics.

Tribute must be paid at this point to some former balloon specialists [4], [5], who started valiantly to work, and to some small wartime balloons rescued from a surplus dump. The revival of tethered balloons was thus possible in our country.

Resumption began in 1962, at Chambaran (Isère) where, with balloons 20 years old and of 90 to 550 and 1,000 m<sup>3</sup> capacity, we elaborated the handling techniques and again invented the accessory apparatus (hydrogen inflation, anchorage, winches, pulleys, cables, valves, etc...) taking into account new-type requirements. In 1964, an experimental balloon of 1,500 m<sup>3</sup> capacity, manufactured by Société Aérazur [4] permitted the continuation of our efforts. Numerous test-series were then made, either and land or on sea, for the development of both the new balloon and its auxiliary apparatus.

This balloon soon proved to be satisfactory, and served as a model for those of larger capacity which followed (4,000, 6,500, 10,000 and 14,000 m<sup>3</sup>).

## 2. NEW FRENCH TETHERED BALLOONS OF LARGE VOLUME

For the construction of soft captive balloons, two techniques are used : a) balloon with ballonet, BB-Caquot's type (1915) and, b) dilatable balloon, BD-Letourneur (1925). The advantages of the latter [3] : constant buoyancy lift, constant center of buoyancy and constant gas mass, have led to its choice.

### 2.1. Description of an Aérazur Balloon

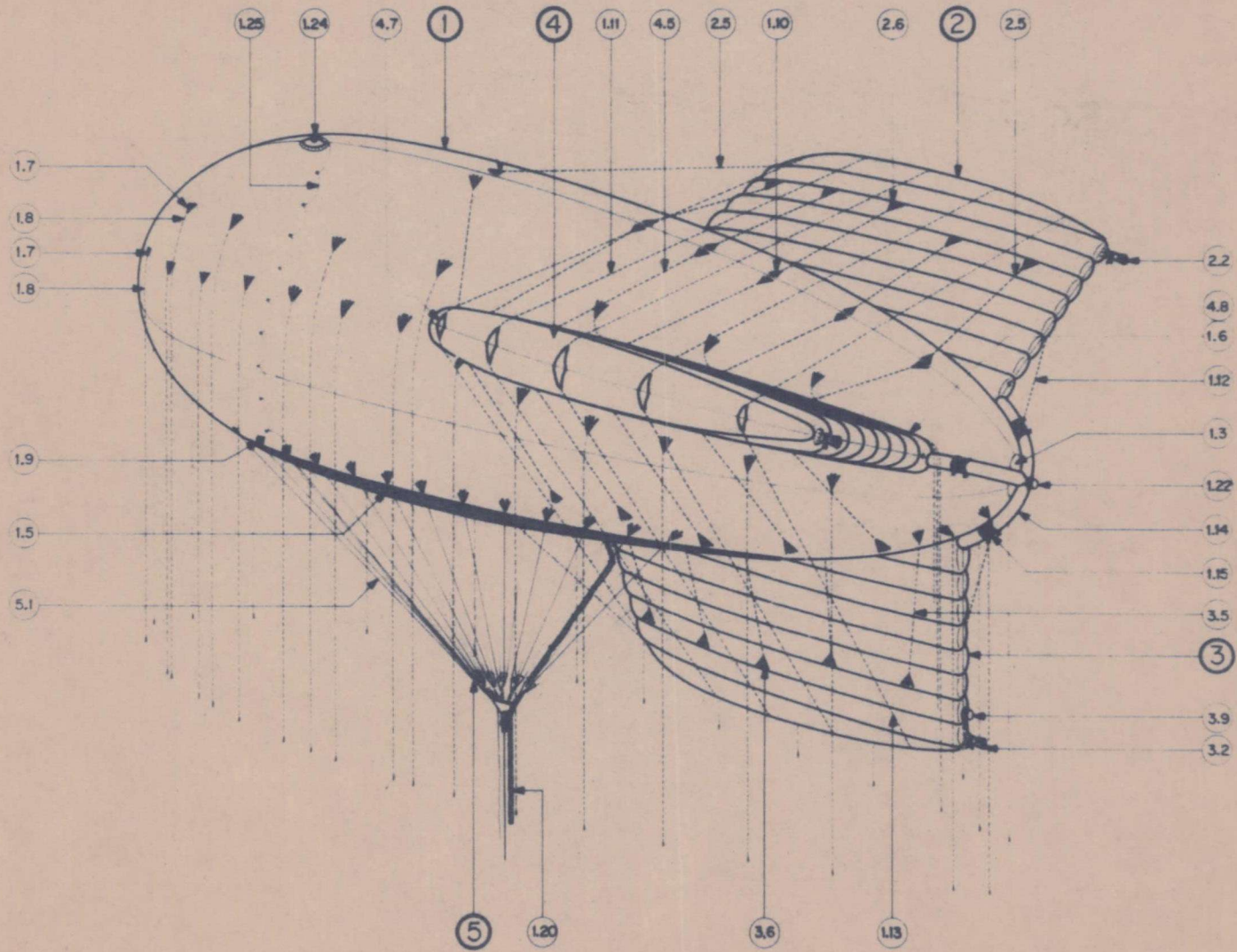
Fig. 1, 2, and 3 show schemes of a typical balloon and give a detailed description. Although in the course of development during the last six years, the technique of manufacture has changed somewhat, in order to meet new requirements, balloons designed and constructed by Société Aérazur of Paris [4] have the following characteristics in common :

The hull (1), having the theoretical shape of two half-ellipsoids joined at the maximum diameter, is made of single-length gore fabric bonded with adhesive and seamed.

The fineness ratio  $L/D$  is in the range 3.1 to 3.2. Two extensible gores (1.4) and (1.5) with bellows and elastic ropes, situated at the lower part on the right and the left sides, permit extension which is completed when pressure in the hull  $P_c$  is about 3.5 mb (measured near the hull bottom).

The introduction of gas is effected by means of two valves, one for high inflation flow rate (1.16), the other for refloat inflation (1.19) at lower flow rate. In case of accidental escape of the balloon, a calibrated relief valve (1.21) avoids a possible hull burst while a device (1.24), situated at the highest point and electrically monitored by a barocontact adjusted for a given altitude, insures rapid emptying.

Fig. 1 : Dilatable ARZ balloon.  
Side view.



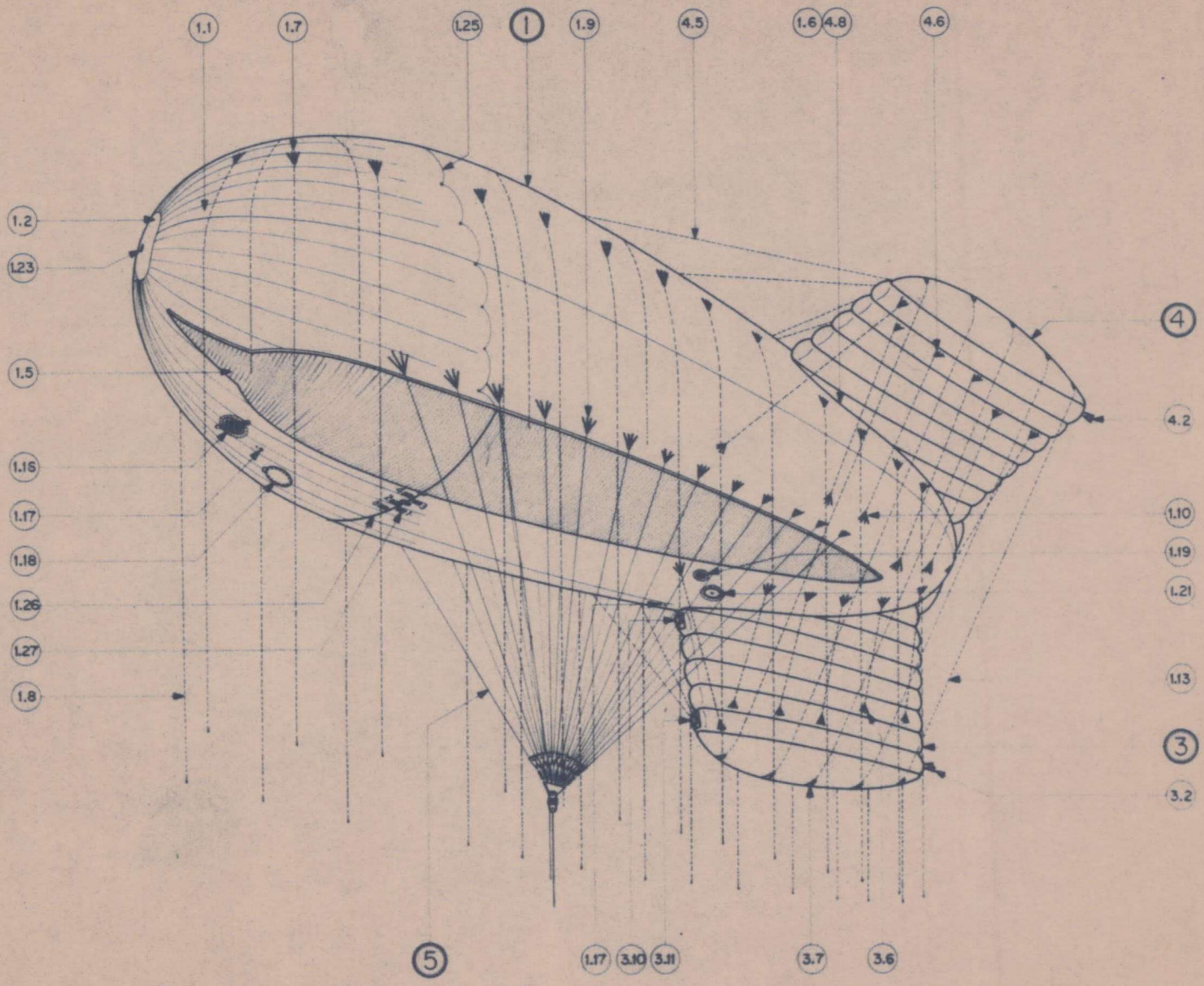


Fig. 2 : Dilatatable ARZ balloon.  
Side view.

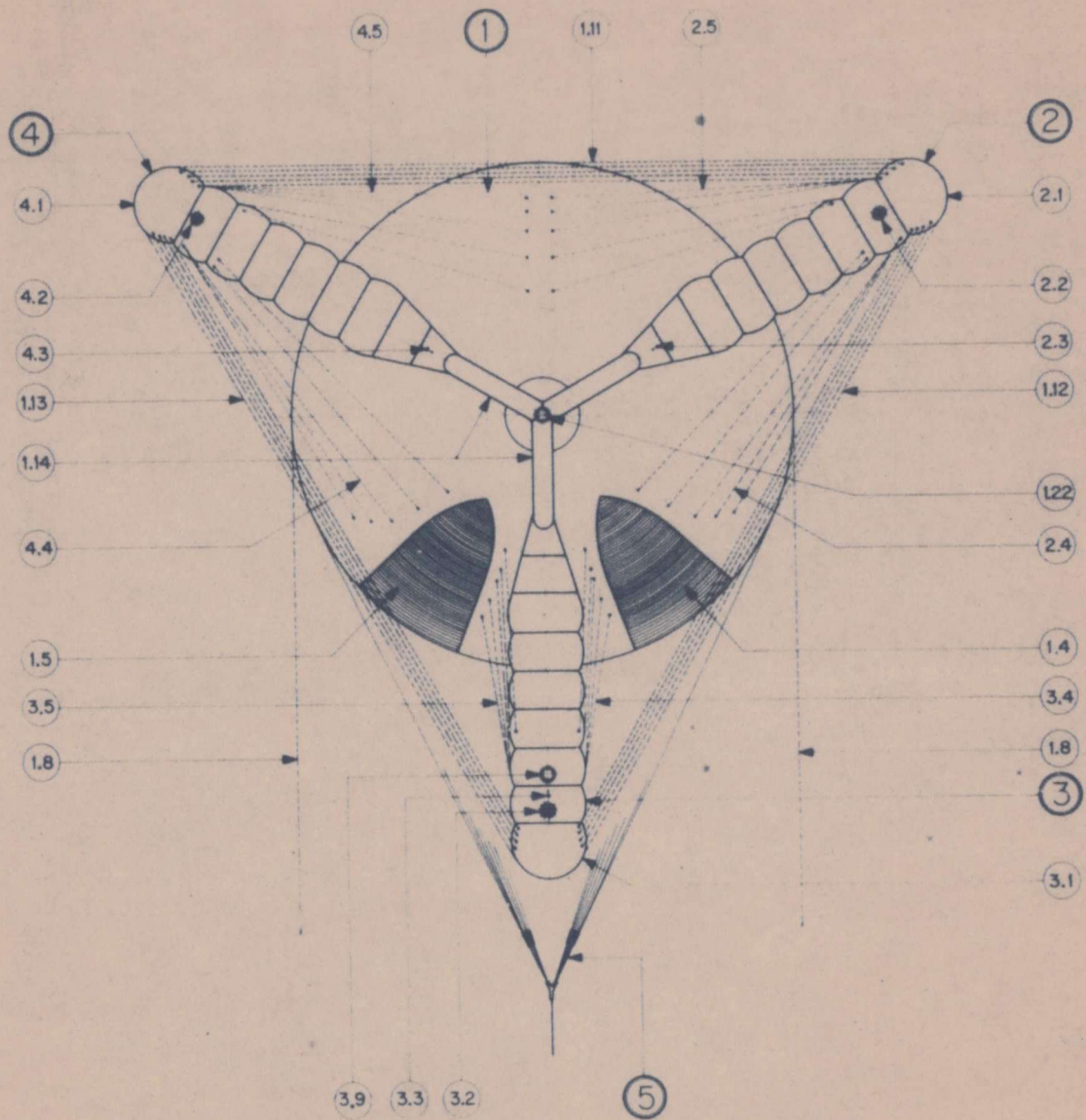


Fig. 3 : Dilatable ARZ balloon.  
Stern.



NOMENCLATURE RELATIVE TO ARZ TETHERED DILATABLE  
BALLOONS (see Fig. 1, 2, 3)

1. Hull

- 1.1. Hull gore
- 1.2. Bow disc
- 1.3. Stern disc
- 1.4. Right extensible gore
- 1.5. Left extensible gore
- 1.6. Fin attachment
- 1.7. Handling guy gusset
- 1.8. Handling guy
- 1.9. Harness cable gusset
- 1.10. Fin guyline gusset
- 1.11. Upper bracing
- 1.12. Right lateral bracing
- 1.13. Left lateral bracing
- 1.14. Tail-fins duct
- 1.15. Duct link
- 1.16. Inflation valve
- 1.17. Purity and pressure teat
- 1.18. Inflation sleeve and man hole
- 1.19. Refloat valve
- 1.20. Refloat hose
- 1.21. Relief valve
- 1.22. Fin air relief valve
- 1.23. Emptying hole
- 1.24. Rapid-emptying valve
- 1.25. Electrical cable for rapid-emptying valve
- 1.26. Dilation gauge band
- 1.27. Scale for in-flight pressure measurement

2. Right lateral fin

- 2.1. Salmon (fin extremity)
- 2.2. Deflating sleeve
- 2.3. Pressure teat
- 2.4. Lower bracing
- 2.5. Upper bracing
- 2.6. Bracing gusset
- 2.7. Bracing patch
- 2.8. Fin attachement

3. Lower fin

- 3.1. Salmon
- 3.2. Inflation sleeve
- 3.3. Pressure teat
- 3.4. Right lateral bracing
- 3.5. Left lateral bracing
- 3.6. Bracing gusset
- 3.7. Bracing patch
- 3.8. Fin attachement
- 3.9. Air relief valve
- 3.10. Air ejection pump
- 3.11. Electrical blower

4. Left lateral fin

- 4.1. Salmon
- 4.2. Deflating sleeve
- 4.3. Pressure teat
- 4.4. Lower bracing
- 4.5. Upper bracing
- 4.6. Bracing gusset
- 4.7. Bracing patch
- 4.8. Fin attachement

Remarks : *The classical rip panel formerly utilized has been finally discarded because of possible gas leaks caused by defective sealing.*

The tail-fins, consisting of soft air-inflated longitudinal ribs are equally spaced in "Y" configuration, the lower one being vertical ; they communicate with each other by a duct (1.14) and are removable. The constant pressure of 8 mb maintained automatically by an electrical blower (3.4) (with a standby ejection pump (3.10) ) gives them the necessary rigidity which combined with the action of cross-bracings and guy ropes (made of nylon) permits maintenance of normal shape. During ascent, one or several calibrated relief valves (3.9) limit this pressure to the initial value.

The double fan-shaped harness comprises flexible metal cables (either having or not pulley-blocks) attached to the hull by gussets of reinforced fabric in the shape of goose feet and joined at a point by a V-shaped piece from which the main mooring cable starts. This harness is adjusted so as to give to the longitudinal hull axis a positive incidence of  $8^\circ$  at zero wind speed.

Balloon handling on the ground (inflation and anchorage) are made possible by means of a large number of nylon handling ropes attached all along the hull by the help of glued gussets (1.7).

## 2.2. Main characteristics of an ARZ balloon

By way of example, here are some characteristics of an ARZ balloon of  $6,500 \text{ m}^3$  capacity :

<u>Hull</u> . Length	L = 52 m
. Maximum diameter	D = 16 m

- . Capacity at  $P_c = 3.5 \text{ mb} : 7,400 \text{ m}^3$   
 $P_c = 2 \text{ mb} : 6,560 \text{ m}^3$
- . Angle of incidence  $i = + 8^\circ$
- . Number of gores : 51

#### Tail-fins

Volume of one fin:  $260 \text{ m}^3$ , length 18 m, height 15 m, area of one side  $175 \text{ m}^2$ .

Total weight of the balloon fully equipped=2,300 daN.

Residual lift force under the V-shaped piece, at sea level and  $25^\circ\text{C}$ , hydrogen inflated, zero wind speed, RLF : 4,800 daN.

#### 2.3. Aerodynamic coefficients

Fig. 4 shows the aerodynamic coefficients : drag  $C_x$ , lift  $C_z = f(i)$  and yawing-moment  $C_N = f(j)$  resulting from wind tunnel measurements on a rigid model made of wood at scale 1/60 ; wind speeds have reached 28 m/sec. (curve 1 corresponds to hull with fins, curve 2 to hull alone) ;  $i$  and  $j$  are respectively angle of incidence and yaw angle. The high values of the ratio  $C_z/C_x$  may be noticed ; an important extra lift-force due to wind speed is added to the buoyancy force.

Balloon stability in yaw motion is a delicate point ; experiments have shown the desirability of having restoring moments which should be not too great.

These excellent aerodynamic properties must not, however obscure the fact that real balloon is soft and is deformed by strong winds (particularly

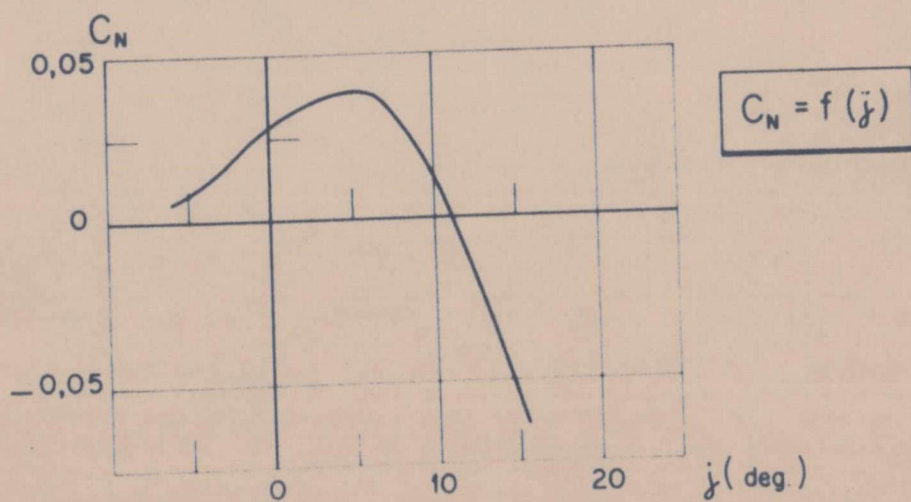
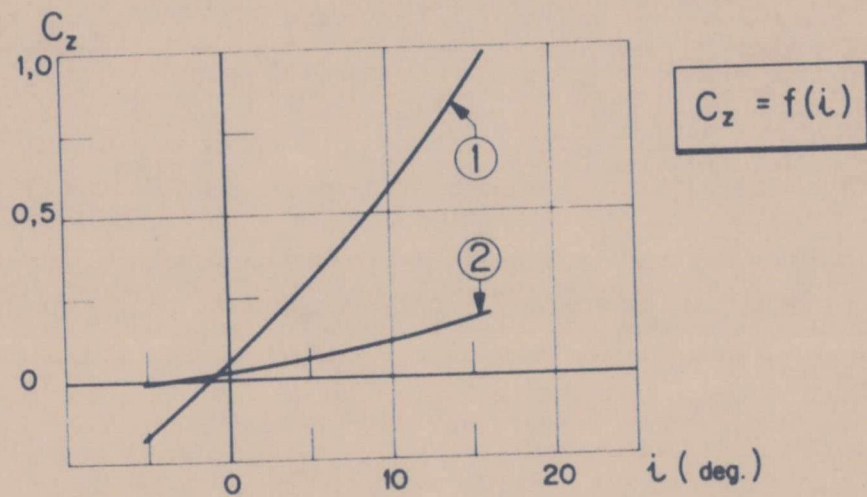
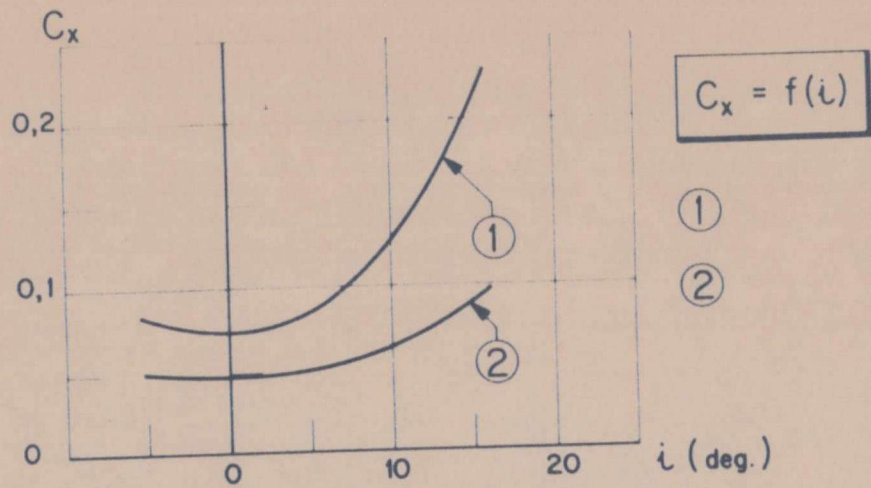


Fig. 4 : Aerodynamic coefficients.  
 1. Hull with tail-fins.  
 2. Hull without tail-fins.

the tail-fins) and that exact aerodynamic similitude is far from being achieved. Moreover, a compromise must be found between the need to obtain a good aerodynamic profile and the need to limit the wind forces on tethering cables.

#### 2.4. Fabrics

The fabrics used are synthetic materials offering great mechanical strength together with high hydrogen tightness. They consist of a substrate of single or double nylon coated on the outside by yellow urethane and on the inside by neoprene.

Here are some characteristics :

	Hull	Tail-fins
Mass $g/m^2$	380	280
Dead load strength daN/5 cm	250	150
Hydrogen permeability $l/m^2-24 h$	3	5

*Note : Mechanical strength warp and fill are not very different ; the above figures correspond to the average.*

In marine tropical climates, fabrics and adhesive bonds age very rapidly. Removal of the urethane coating occurs in the laboratory at 70°C temperature and 90 % relative humidity. The utilization of these synthetic fabrics instead of cotton or silk introduces a new danger when hydrogen is used, because of their high capacity for electrostatic charge. Fortunately, the surface electrical resistivity decreases rapidly when the atmospheric humidity increases.

Let us note that the daily hydrogen losses for our balloons are of the order of 1/100 of their volume. Gas refilling is thus necessary every 3 or 4 days, in order to maintain the hull pressure at a sufficient value.

### 3. HANDLING OPERATIONS

#### 3.1. Inflation and anchorage area (Fig. 5)

After manufacture, balloons are first indoor air-inflated (hull and tail-fins), for a general inspection and then they are inflated with gas in order to adjust the harness and accessory equipment.

This operation, initially carried out with some difficulty outdoor, is now easily made under an old dirigible shed, which offers the necessary space. Balloons thus leave fully tested, with the accessory apparatus well adjusted and are then ready for service on a remote site, to which they are transported in a special packing under a dry atmosphere.

The areas where inflation and anchorage are carried out, oriented in the direction of the prevailing wind, are made of concrete with a smooth surface. They have three winches, a central one (1) permitting ascent and two lateral ones (6) permitting anchorage on the ground.

Balloon handling is made easier by the great number of nylon guy lines (9) attached all along the hull and joined on each side with the help of cables to a point from which starts

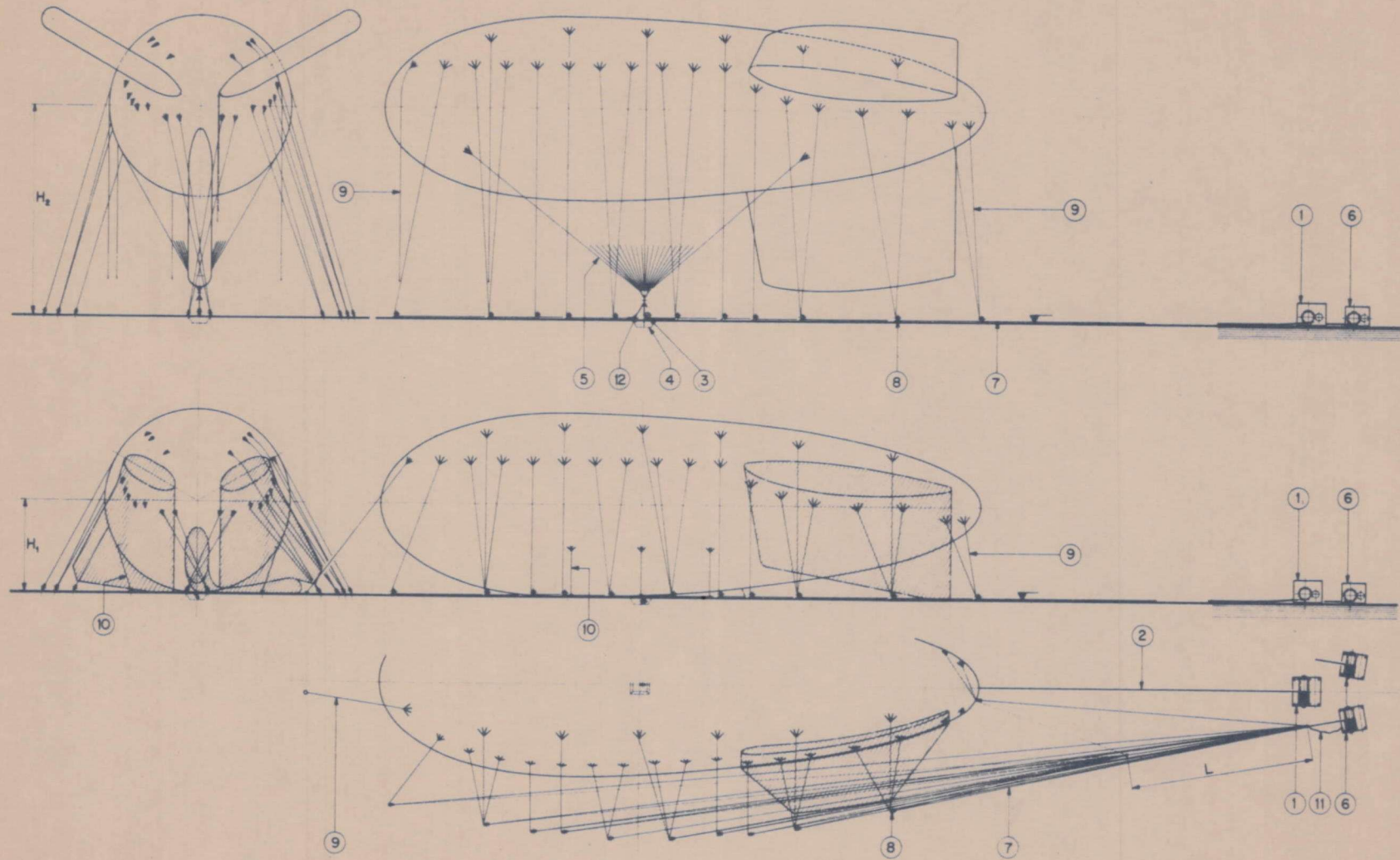


Fig. 5 : Area of inflation and ground anchorage.



AREA OF INFLATION AND GROUND ANCHORAGE (see Fig. 5)

1. Central winch
2. Central winch cable
3. Fairlead
4. Fairlead hole
5. Harness
6. Lateral winches
7. Anchorage cables
8. Handling line pulleys
9. Handling lines
10. Anti-roll anchorage ropes
11. Safety mooring cable for lateral winch
12. Safety mooring cable for central winch

the cable of the corresponding lateral winch, each of them passing first round a pulley block (8). When the wind does not blow in the direction of the area axis, this technique permits bringing in the balloon from positions up to 90° of the axis. Walls to provide wind-breaks arranged around the area, make inflation possible, even at wind speeds greater than 10 m/sec.

Ground anchorage of the balloon in the event of bad weather, or for repair, is thus made easy. The tail-fins are then deflated and moored tightly and all necessary safety-measures can be taken. However, in strong cross winds, tail-fins and hull can suffer. Such an anchorage has stood well, however, against cross winds of speeds greater than 30 m/sec., during an entire night under heavy rain...

### 3.2. Safety problems related to the use of hydrogen

The hydrogen used has a purity greater than 99.6 % , and is contained in cylinders under a pressure of 200 bars. It is introduced into the hull through the inflation valve (1.16) after having been depressurized to pressure slightly above atmospheric pressure. The flow rate is 5,000 to 10,000 STP m<sup>3</sup>/h and the desired hull pressure is 2 mb (at the bottom). The inflation operation is delicate because of : 1) fire risk, and 2) possible wind action. Operations are not carried out if the wind speed exceeds 10 m/sec. with the wind-break walls, and 7,5 m/sec., without them. Knowing that hydrogen is inflammable in air at a very low ignition energy (10<sup>-5</sup> Joule) within the limits of 4 to 74 % ,



Photo 1 - Inflation of an ARZ balloon with hydrogen.

detonating from 18 to 59 %, the classical principles of safety have been strictly applied : 1) avoid inflammable or detonating mixtures, and 2) eliminate ignition sources.

All metal parts of the area are electrically connected and grounded ; great care is taken to maintain a high atmospheric humidity by constant watering of known dangerous places in order to eliminate electrostatic charges which could be generated on synthetic fabrics. The crew wear asbestos cloths and work under the careful supervision of firemen...

In spite of these precautions, an accident did occur during a balloon inflation and 4 000 STP m<sup>3</sup> of hydrogen burned within about ten seconds. Thanks to rapid gas diffusion upwards injury to personnel was fortunately light.

As laboratory experiments have shown, the fire risks due to a small hydrogen leak on the hull are relatively small [6].

During operation, the purity of the hydrogen in the hull is frequently checked with the help of a conductivity-type apparatus.

### 3.3. Balloon ascent

The balloon prepared in this way on the inflation area is transported on to the launching site by a special truck having on its rear end a winch and a fairlead permitting ascent to low altitude. In the case of marine launching sites, the truck and its aerial load are embarked on to a flat bottomed landing craft (French Navy type LCT). The transshipment is made on to the main barge (see Fig. 6). Although very practical in a calm sea, this method of transport can become dangerous in a heavy

sea, by reason of the whiplashes given to the cable by the action of the waves, or, more so, by wind action which increases the drag on the boat.

When a fixed position in space is required, it is necessary to make use of a regular tripod of cables (see Fig. 6). The vertices of the equilateral triangle on the sea are then provided by barges (4) (5) moored to the bottom in shallow water and each carrying a winch. The main barge (4) and its winch serve for attachment and raising of the gondola and for placing the balloon on standby in the air, and the secondary winches for positioning. The winches used have each a capstan (8) and a storage drum (9). An electric motor gives a constant speed of 0.3 m/sec. to the cable. The fairleads (6) and (10) are able to oscillate about a longitudinal axis and are designed so that it is practically impossible for the cable to leave the pulley. Made up from twisted wires of special hightensile steel ( $200 \text{ daN/mm}^2$ ), the main tether cable (2) and the positioning tether cables (3) work respectively at  $1/3$  and  $1/2$  the rupture limit under the most unfavorable case for normal conditions. The cable tension at ground level is continuously measured by a three-pulley tensiometer.

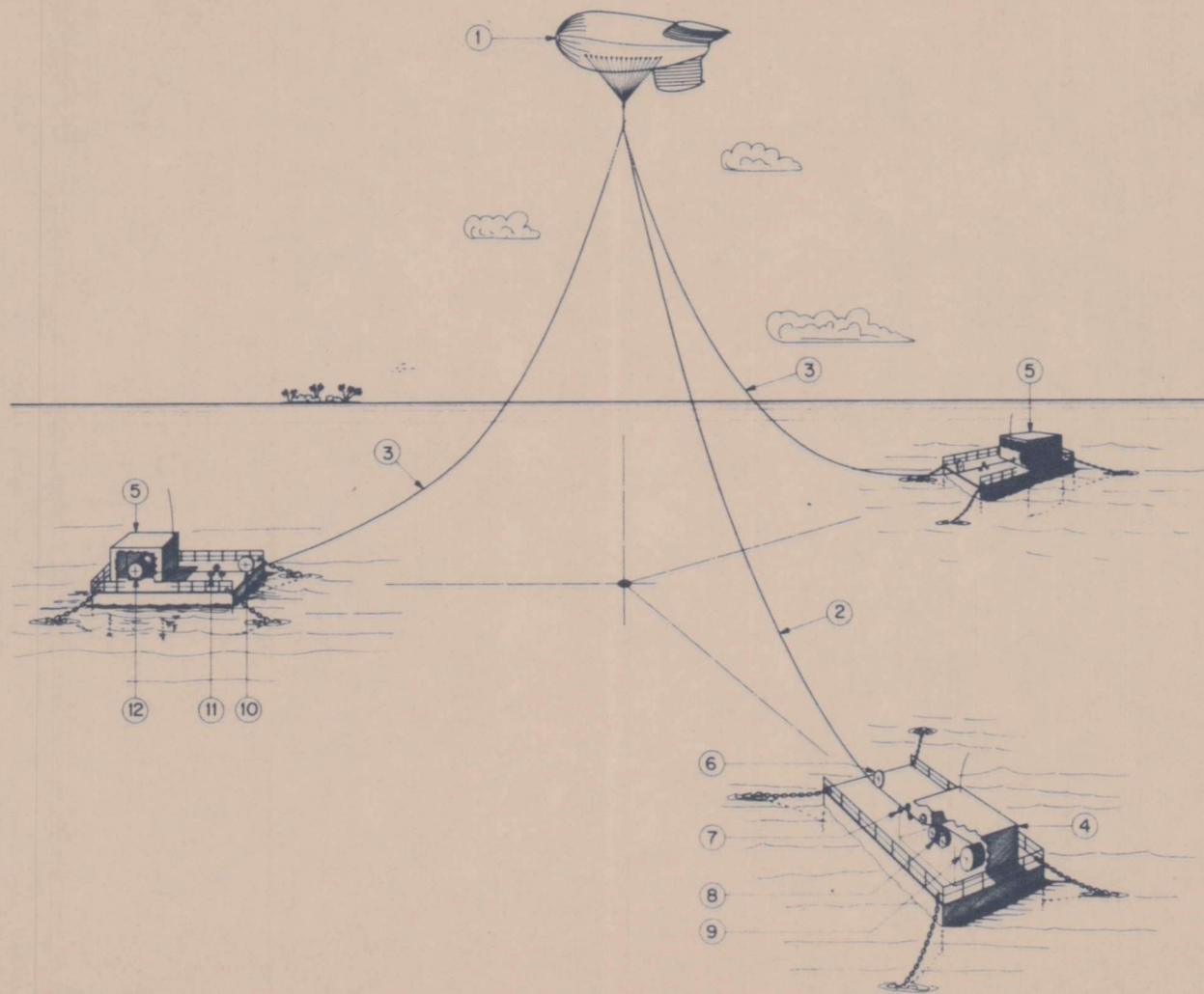


Fig. 6 : Flying the balloon on a tripod of cables.

FLYING THE BALLOON ON A TRIPOD OF CABLES (see Fig.6)

1. Balloon
2. Main tethering cable
3. Positioning cable
4. Main barge
5. Positioning barges
6. Oscillatory fairlead
7. Cable tensiometer
8. Capstan of main winch
9. Drum for cable storage
10. Oscillatory fairlead
11. Cable tensiometer
12. Positioning winch

#### 4. PERFORMANCE IN FLIGHT

In flight, the following parameters are transmitted to the ground and recorded : a) hull and fins pressure, b) speed and direction of wind relative to balloon, and c) warning of malfunction of one of the systems for refloating the fins (pressurizers).

The behaviour in flight is related to the aerodynamic characteristics of the balloon and to the forces applied to it. Addition of a tail parachute in certain cases improves the stability of the balloon in a wind.

##### 4.1. Flight on a single cable

This configuration is most often used while the balloon is "on standby" in the air. Thus, a balloon tethered by a 150 m cable can undergo, without too much strain or hazard, winds of up to 20 m/sec. (lateral displacements reaching 40 m). Beyond that point, sideways drift of the balloon is so great that it can turn across the wind. The hull then curves in the form of a banana, the fins are deformed and the aerodynamic qualities of the balloon are lost.

It can either remain in this position at low altitude, exercising a very strong force on its cable, which then makes a low angle with the horizontal, or it can continue its fall until it hits ground and is wrecked.

The good behaviour of a balloon in flight depends strongly on wind characteristics. In this respect, sudden changes in wind direction prove to be much harmful than rapid changes in wind speed.



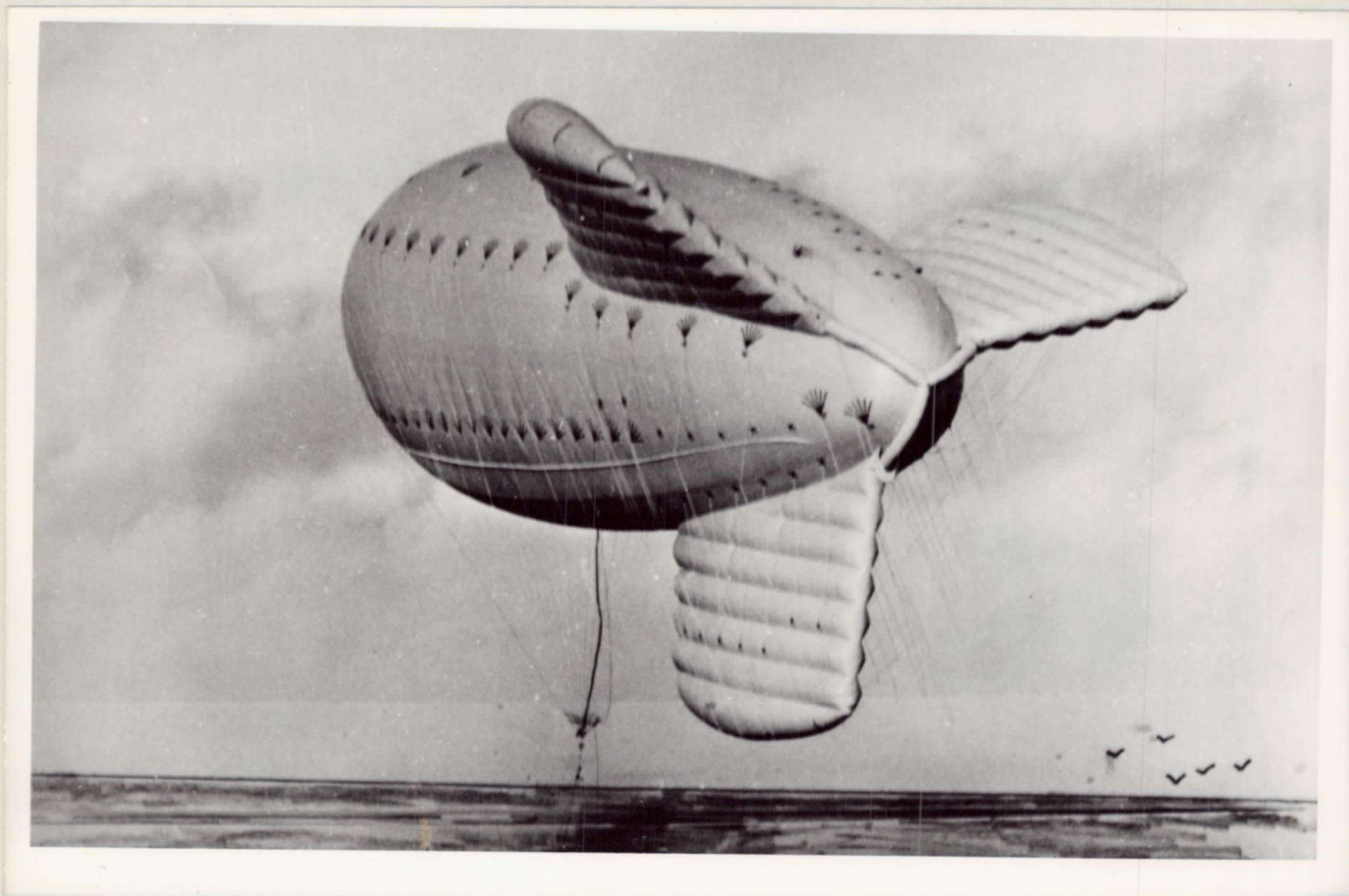


Photo 2 - Dilatable Balloon ARZ in flight in wind speed of  
10 m/sec.

#### 4.2. Flying on a tripod of cables

The stability of a tripod formed by three cables depends on the forces acting at the triple-point. The stability limit of this tripod, which also depends on the relative direction on the wind, is reached when one of the cables makes a zero tangential angle with the horizontal at its point of anchorage. After that, it is impossible to bring the triple point to the summit of the imaginary regular tetrahedron by pulling on the cables.

For the balloons which have been used, we have calculated the limits of stability of a given tripod (diameter and weight of the cables being known), giving the critical wind speed  $V_c$  as a function of its direction, and the vertical force  $F_v$  applied to the three cables.

An example is given in Fig. 7. The horizontal displacements of the triple-point around the theoretical point at altitude  $H$  are then of value  $0,075 H$ .

For wind speeds lower than the critical value the displacements are less, and experiments show that for a force  $F_v$  double that of the weight of the cables, they are respectively of value  $0,015 H$  for a wind speed of 5 m/sec. and  $0,05$  to  $0,06 H$  for a wind speed of 10 m/sec.

The variations in altitude of the triple-point are in the neighbourhood of one-quarter of the above-quoted values.

For wind speeds above the critical value, the cables extend and contract alternately, and the sudden tensile forces thus set up in the cables can reach then rupture limits, setting free the balloon with its load.

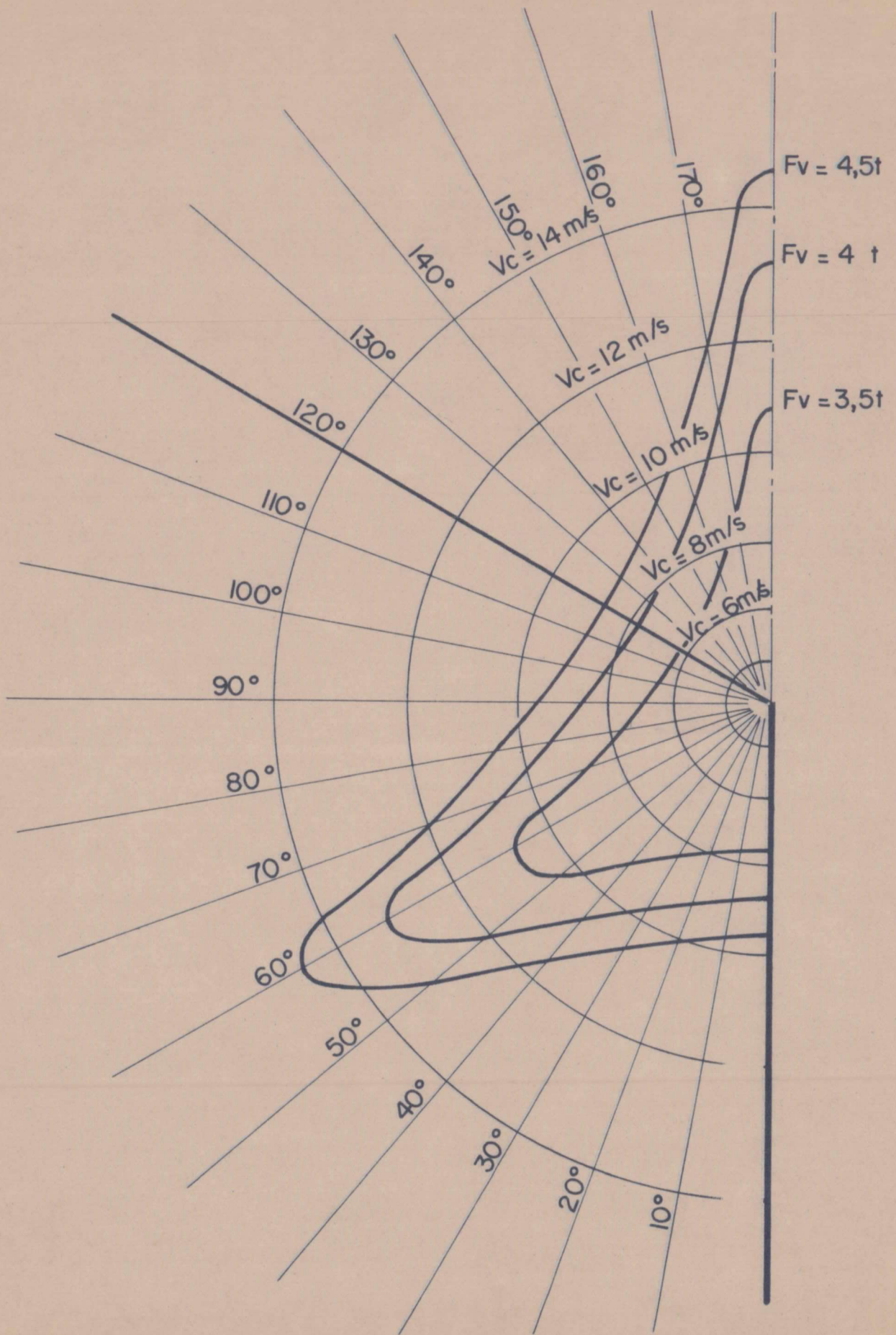


Fig. 7 : Limits of stability of a tripod. Altitude  $H = 600$  m.

It may also be noted that the stability of the tripod has a direct effect on that of the balloon itself, sideslip being limited in this configuration.

Finally, test-series for measurements of flight parameters have been carried out, but analysis of the results has proven to be delicate, by reason of the interdependence of these parameters.

## 5. CONCLUSION

Hence, requirements of a new type have permitted France, cradle of Aerostatics, to undertake during the last six years the development of tethered balloons of large volume. These balloons, having an expandable hull and carefully manufactured by Société Aérazur of Paris [4], have shown outstanding performances in wind speeds up to 25 m/sec.

Inflation with hydrogen has been possible, in spite of the use of synthetic fabrics (material highly electrifiable), as a result of the inflation techniques we have developed. Nevertheless, a potential danger still remains which should always be kept in mind ; therefore whenever it is possible, helium must be preferred.

Accessory apparatus, handling equipment and handling techniques tested out during the numerous test-series in France and abroad, are now entirely satisfactory.

-:-:-:-:-:-:-

*In memoriam : M. Pierre Leroy (1893-1969), recently deceased, spent more than fifty years of his creative genius in the service of French Aeronautics. He was instrumental in manufacture of the balloons at Société Aérazur of Paris, of which he was Technical Director.*

BIBLIOGRAPHICAL REFERENCES

- [1] JAUBERT G.F.  
La fabrication industrielle de l'hydrogène  
pour le gonflement des ballons militaires.  
Imprimerie Nationale. Paris, 1912.
- [2] Instruction pratique sur la manoeuvre des  
ballons militaires.  
Ministère de la Guerre.  
Imprimerie Nationale. Paris, 1925.
- [3] JOUGLARD P.  
Leçons sur la mécanique des ballons et sur  
leur construction.  
Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique.  
Paris, 1933.
- [4] FORICHON A., LEBASTARD M., LEROY P. et  
GAILLARD A.  
Société Aérazur. 58 boulevard Galliéni,  
92 - ISSY-les-MOULINEAUX, France.
- [5] CAQUOT A.  
Paris. Communications personnelles.
- [6] GUIZOUARN L. et PERROUD P.  
Dangers relatifs à l'emploi de l'hydrogène  
gazeux.  
Mesures de sécurité à observer pour le  
gonflement d'aérostats de grande capacité.  
Note CENG/ASP N° 63-07. 1963.