

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :  
(A n'utiliser que pour les commandes de reproduction).

**2 470 049**

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21) **N° 79 29034**

(54) Procédé et dispositif pour l'exploration de l'atmosphère d'une planète.

(51) Classification internationale (Int. Cl.<sup>3</sup>). **B 64 B 1/58 // G 01 W 1/08.**

(22) Date de dépôt ..... 26 novembre 1979.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du public de la demande ..... B.O.P.I. — « Listes » n° 22 du 29-5-1981.

(71) Déposant : OFFICE NATIONAL D'ETUDES ET DE RECHERCHES AEROSPATIALES, ONERA,  
résidant en France.

(72) Invention de : Joseph Taillet et Jean Maulard.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Pierre Trobat, chef du service des brevets de l'ONERA,  
29, av. de la Division-Leclerc, 92320 Châtillon.

L'invention concerne un procédé et un dispositif pour l'étude d'une planète comportant une atmosphère dont la masse volumique et la température sont élevées et dans lesquels, procédé et dispositif, on met en oeuvre des ballons aérostatiques à enveloppe souple circulant selon les 5 vents et à des altitudes prédéterminées.

Connaissant les caractéristiques essentielles de l'atmosphère d'une planète considérée, comme la composition chimique, la pression atmosphérique et la température, il est possible de placer des ballons libres flottant en équilibre de pression avec l'ambiance. Ces ballons peuvent 10 porter un lest constitué par une nacelle contenant un appareillage scientifique de mesure et de transmission radioélectrique, ou encore un agencement de rétroréflecteurs ou réflecteurs radar, selon la mission qui est prévue. Une installation dans laquelle on dispose plusieurs ballons circulant à différentes altitudes déterminées permet une exploration systématique de la circulation atmosphérique de la planète considérée. 15

Ainsi on peut prévoir de lancer à partir de la terre en direction d'une planète choisie un véhicule-sonde contenant des enveloppes de ballon, des réserves de gaz comprimé et des moyens automatiques pour le gonflage des enveloppes avec le gaz. La sonde étant arrivée à proximité de 20 la planète, les enveloppes et les moyens de gonflage sont séparés de la sonde et introduits dans l'atmosphère de la planète. Les moyens de gonflage des enveloppes sont alors actionnés automatiquement au moment opportun.

Les ballons peuvent être soit ouverts, soit pressurisés.

25 Dans le premier cas, ils sont agencés de façon à perdre du gaz dès que l'enveloppe est gonflée. S'ils ont tendance par la suite à descendre, on lache du lest pour les maintenir à une altitude donnée. Si le lest est insuffisant le ballon est perdu.

Dans le deuxième cas, le maintien du ballon à une altitude pré-dé- 30 terminée dépend de leur surpression interne, c'est-à-dire de la tension de l'enveloppe. Si l'enveloppe se déchire par suite de cette tension, le ballon est perdu.

On conçoit donc que la mise en oeuvre des moyens ci-dessus dans des conditions de température et de pression élevées conduise à une 35 grande complexité et à une fiabilité incertaine. Mais la principale difficulté réside dans le fait que la masse emportée à partir de la terre s'ajoutant à chacun des ballons (réservoirs de gaz comprimés, moyens de gonflage) est très importante et limite, pour un véhicule donné, le nombre de ballons qu'il est possible d'embarquer et de larguer. En consé-

quence la quantité d'informations scientifiques collectées s'en trouve limitée.

L'invention permet d'éviter les inconvénients rencontrés dans l'état de la technique. Elle propose de conditionner les ballons avant le lancement du véhicule-sonde à partir de la terre, de telle sorte qu'ils se trouvent, après leur largage dans l'atmosphère de la planète visée, en condition d'équilibre de pression à une altitude prédéterminée sans que l'on ait à transporter des réserves de gaz comprimé ni à mettre en oeuvre des moyens de gonflage, ni à prévoir du lest, ni à mettre en oeuvre une surpression génératrice de contraintes sur les enveloppes des ballons.

Pour obtenir un effet de sustentation d'un ballon aérostatique et sa stabilisation à une altitude prédéterminée dans l'atmosphère d'une planète, le demandeur propose d'utiliser le changement d'état d'un fluide convenablement choisi, introduit à l'état liquide dans l'enveloppe étanche du ballon avant le lancement du véhicule-sonde à partir de la terre et dont les propriétés physiques sont telles qu'il se vaporise dans les conditions normales de fonctionnement dans l'atmosphère de la planète considérée. Avant le lancement de la fusée sonde, le fluide à l'état liquide utilise une partie seulement du volume de l'enveloppe du ballon et il est possible de le contenir dans au moins une enveloppe étanche. Largué au voisinage de la planète visée, le ballon descend dans l'atmosphère et subit une élévation de température. Le fluide se vaporise entraînant une diminution de la masse volumique et une accélération montante. L'effet inverse se produit si l'altitude du ballon vient à augmenter. On obtient donc, par la mise en oeuvre de l'invention, dans l'<sup>'atmosphère de'</sup> planète visée, en fonction de la pression et de la température ambiantes, un effet de sustentation d'un ballon aérostatique par la vaporisation du fluide contenu dans l'enveloppe et un effet de stabilisation en altitude en fonction de la courbe de changement de phase du fluide considéré.

Pour obtenir une stabilisation d'un ballon à une altitude prédéterminée, on choisira un fluide dont la courbe de saturation rencontre la courbe de pression en fonction de la température de l'atmosphère planétaire considérée en un point correspondant à l'altitude choisie.

Le procédé selon l'invention pour l'exploration d'une planète à l'aide de ballons aérostatiques à enveloppe souple largués à partir d'une sonde envoyée de la terre, les ballons supportant une nacelle et circulant en équilibre de pression avec le milieu ambiant à des altitudes pré-déterminées, est caractérisé en ce que l'effet de sustentation et de stabilisation des ballons en altitude est obtenu à partir du changement d'état liquide-vapeur d'un fluide introduit à l'état liquide dans l'enve-

loppe souple, étanche de chacun des ballons avant le départ de la terre et occupant une partie seulement du volume de l'enveloppe.

Selon une variante de réalisation de l'invention, l'effet de sustentation et de stabilisation en altitude est obtenu à partir du changement d'état de deux fluides distincts introduits à l'état liquide respectivement dans deux enveloppes souples étanches dépendantes l'une de l'autre.

La première enveloppe qui constitue le ballon porteur, contient un fluide dont la masse molaire est obligatoirement inférieure à celle de l'atmosphère de la planète visée, tandis que la seconde enveloppe, qui constitue le ballon stabilisateur, contient un fluide dont la masse molaire peut être supérieure à celle de ladite atmosphère.

L'invention prévoit de déterminer le volume de l'enveloppe étanche pour que dans les conditions normales de fonctionnement, le fluide étant à l'état de vapeur, la paroi de l'enveloppe ne soit jamais tendue de telle sorte que le risque d'éclatement soit éliminé.

Le ballon aérostatique à enveloppe souple pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention est caractérisé en ce qu'il est constitué par une enveloppe souple étanche contenant à la pression atmosphérique terrestre un fluide à l'état liquide occupant une partie du volume de l'enveloppe et dont les propriétés physiques sont telles qu'il se produit, dans les conditions normales de fonctionnement dans l'atmosphère de la planète visée, en fonction de la pression et de la température ambiante, un changement d'état liquide-vapeur du fluide qui assure le gonflage de l'enveloppe du ballon et son maintien à une altitude prédéterminée.

En variante, l'aérostat est caractérisé en ce qu'il comprend un ballon porteur dont l'enveloppe contient un premier fluide dont la masse molaire est inférieure à celle de l'atmosphère de la planète visée et un ballon stabilisateur dont l'enveloppe contient un second fluide dont la masse molaire est supérieure à celle de l'atmosphère de ladite planète.

Le dessin annexé illustre à titre d'exemple l'invention dans un cas où elle est destinée à l'exploration de l'atmosphère au voisinage de la planète Vénus et où l'on se propose d'étudier la circulation atmosphérique à l'aide de ballons aérostatiques libres circulant à des altitudes prédéterminées, comprises entre 46 km et 18 km.

La fig. 1 est un diagramme représentant la valeur de la pression atmosphérique en fonction de l'altitude selon l'état des connaissances relatives à l'atmosphère de la planète. Dans la figure,  
- la référence 1 représente les valeurs publiées par la NASA en 1972 ;

- les références 2, 3, 4 représentent respectivement les valeurs moyennes, maximale et minimale d'après MOROZ (1973) ;
- la référence 5 représente les données d'après les travaux de DOLLFUS.

A partir des données fournies par ces différents auteurs, l'évolution de la pression atmosphérique  $p$  peut être représentée par la relation suivante :

$$p = 10^7 e^{-(5,3 \cdot 10^{-2} Z + 7,3 \cdot 10^{-4} Z^2)} \quad (1)$$

dans laquelle  $p$  est en Pa et  $Z$ , l'altitude, en km. ( $Z = 0$  correspond à une distance de 6050 km du centre de la planète).

10 La figure 2 est un diagramme représentant la température en fonction de l'altitude. La température peut être représentée par la relation :

$$T = 760 - 8Z, \quad (2)$$

dans laquelle  $T$  est en K et  $Z$  en km.

15 La figure 3 est un diagramme représentant la masse volumique  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) de l'atmosphère type de Vénus composée en grande partie d'anhydride carbonique, en fonction de l'altitude  $Z$ . Les points tracés sont calculés à partir des pressions  $p$  et des températures  $T$  des figures 1 et 2 au moyen d'une équation du type Van der Waals :

$$20 \left[ \frac{p}{c} + 3 \left( \frac{\rho}{\rho_c} \right)^2 \right] \left[ 3 \frac{\rho_c}{\rho} - 1 \right] = 8 \frac{T}{T_c} \quad (3)$$

dans laquelle :

$$p_c = 74 \cdot 10^5 \text{ Pa} ; T_c = 304 \text{ K} \text{ et } \rho_c = \frac{8}{3} \frac{p_c M_{Co2}}{R T_c}, M_{Co2} = 44 \cdot 10^{-3} \text{ kg.}$$

On se propose de larguer des ballons supportant une charge de 2 kg environ constituée par une nacelle portant un réflecteur passif optique ou radar et/ou un émetteur radio-électrique et son alimentation.

La figure 4 représente, en fonction de l'altitude, la température d'ébullition en °C de différents liquides, alcool méthylique CH<sub>4</sub>O, benzène C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, cyanure de méthyle C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>N, 2-heptène(trans) C<sub>7</sub>H<sub>14</sub>, eau, tétrachlorure d'étain SnCl<sub>4</sub>, toluène C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>, 2-octène(cis) C<sub>8</sub>H<sub>16</sub>, et anisole C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>O.

Les points indiqués sur la figure permettent de choisir le fluide à utiliser en fonction de l'altitude choisie.

On aperçoit déjà qu'il est tout à fait possible d'utiliser comme fluide sustentateur et régulateur, pour des altitudes s'échelonnant entre 47 km environ et 55 km, l'eau, le cyanure de méthyle, le benzène ou l'alcool méthylique dont les masses molaires sont inférieures à celles de l'anhydride carbonique.

Dans une variante préférentielle de l'invention, l'aérostat est

constitué par un ensemble de deux ballons reliés à la même nacelle. L'enveloppe étanche du premier ballon, ou ballon porteur, contient dans les conditions de température et de pression de l'atmosphère de Vénus, un fluide à l'état de vapeur.

5 L'enveloppe étanche du second ballon, ou ballon stabilisateur, contient un second fluide dont le changement de phase produit un effet de stabilisation de l'altitude de l'aérostat.

Ainsi pour des altitudes inférieures à celles citées ci-dessus, on choisira comme fluide sustentateur du ballon porteur, l'eau et, comme fluide du ballon stabilisateur, le toluène pour l'altitude de 40 km environ, le 2-octène(cis) pour 35 km environ et l'anisole pour 20 km environ.

Selon les figures 5a et 5b, représentant deux configurations possibles de l'invention, l'aérostat 1 comporte un ballon porteur 10 et un ballon stabilisateur 11 solidaires d'une nacelle 13. Dans la première configuration les ballons 10 et 11 sont séparés, tandis que dans la deuxième configuration le ballon 11 est logé à l'intérieur du ballon 10.

Les enveloppes étanches des ballons 10 et 11 sont constituées par un matériau de type polyimide tel que du Kapton. L'aérostat est représenté schématiquement dans l'atmosphère de Vénus, au moment où commence 20 la stabilisation autour de l'altitude choisie.

L'enveloppe du ballon porteur 10 contient de la vapeur d'eau produisant une force ascensionnelle  $F$ . L'enveloppe du ballon stabilisateur 11 contient un liquide 14 dont le changement de phase liquide-vapeur ou vapeur-liquide, en fonction de la pression et de la température, crée, 25 selon le cas, une force additionnelle dirigée vers le haut +  $f$  ou vers le bas -  $f$ .

L'équation du mouvement vertical des ballons traduit l'équilibre entre la force d'inertie, la force ascensionnelle et le freinage aérodynamique dans le milieu. Si  $U$  désigne la vitesse instantanée,  $\Sigma$  l'aire du 30 maître couple et  $C_x$  le coefficient de traînée, on a :

$$m_t \frac{dU}{dt} - g \left[ \rho_{CO_2} (V + V') - m_t \right] + \frac{C_x}{2} \rho_{CO_2} U | \Sigma = 0 \quad (4)$$

Dans cette équation, les volumes  $V$  et  $V'$  des ballons sont sensiblement ceux des fluides intérieurs. La section  $\Sigma$  est pratiquement égale à 35 celle du ballon porteur, qui est le plus gros. Le coefficient de traînée est voisin de 2, valeur admise pour une sphère ; toutefois, il convient d'en rechercher, le cas échéant, une expression plus précise, compte tenu de la forme exacte des éléments du système.

La résolution de (4) permet d'optimiser le choix des paramètres de

manière que l'oscillation des ballons en altitude soit minimale. Il importe, en effet, de ne pas descendre trop bas en raison de la limite de résistance mécanique des enveloppes à la chaleur et de ne pas monter trop haut en raison du risque d'éclatement des enveloppes.

5 Les conditions initiales à introduire dans la relation (4) sont fixées par la vitesse prévue lors du premier passage à l'altitude de stabilisation. Si l'ensemble des deux ballons et de la nacelle est largué d'une altitude de 50 km avec les deux fluides à l'état liquide, il parvient à l'altitude prévue avec une certaine vitesse de chute.

10 La figure 6 présente le diagramme type du fluide stabilisateur du ballon 11 au cours des oscillations.

- En A, le fluide est liquide et sa température inférieure à celle de l'atmosphère ; l'accélération est négative, l'aérostat descend.

15 Entre A et B la descente continue. Le liquide s'échauffe jusqu'à sa température d'ébullition qui est atteinte en B.

- Le long de la ligne BC, l'évaporation s'effectue à température croissante, la pression augmentant ; la chaleur absorbée est utilisée pour l'échauffement du fluide et en partie pour son évaporation qui est complète au point C.

20 - De C à D, l'accélération est positive et la vitesse de chute diminue tandis que la vapeur continue à s'échauffer ; en D, la vitesse s'annule et change de sens (le point D peut éventuellement se situer sur la courbe P-T de l'atmosphère).

25 - Entre D et E, le ballon remonte en s'échauffant puis se refroidit de E à F où il passe par l'altitude de stabilisation avec une accélération positive.

- De F à G, le fluide reste vaporisé et le ballon s'élève en se refroidissant ; en G, il atteint la pression de saturation.

30 - Le long de G à H, le fluide condense à pression décroissante, la chaleur évacuée du ballon provient de cette condensation et du refroidissement.

- De H à I, la montée se ralentit puis s'annule.

- Entre I et J, la descente commence avec baisse de température, puis l'échauffement débute en J et la chute se poursuit.

35 - Au point K, le ballon repasse par l'altitude de stabilisation pour amorcer un nouveau cycle d'amplitude plus faible.

Avant le lancement chacun des fluides est introduit sous forme liquide dans une première enveloppe étanche, par exemple en Kapton, de volume réduit, elle-même introduite dans l'enveloppe même du ballon qui se trouve

à l'état non gonflé. L'ensemble est disposé dans un conteneur métallique étanche, les bases des enveloppes étant attachées à la nacelle contenant les appareils prévus.

Puis on procède au lancement du véhicule-sonde à destination de la 5 planète VENUS. On obtient la satellisation hors de l'atmosphère de la planète et l'on procède ensuite à la séparation, à l'aide de rétrofusées appropriées, du conteneur enfermant les ballons et qui effectue son entrée dans l'atmosphère de VENUS. A l'altitude de 50 km environ, le conteneur s'ouvre et un ensemble composé d'un ballon porteur et d'un 10 ballon stabilisateur se trouve placé en descente dans l'atmosphère. L'élevation de température consécutive à la descente produit, par dilatation et par vaporisation du liquide, l'éclatement de la première enveloppe de Kapton et le fluide (liquide et vapeur) se répand alors dans l'enveloppe du ballon porteur. La vaporisation quasi totale du fluide provoque le 15 gonflage de l'enveloppe et assure la sustentation. Cependant, la descente de l'ensemble se poursuit encore pendant un laps de temps car le fluide du ballon stabilisateur est encore à l'état liquide. Il se vaporise ensuite et l'on obtient la stabilisation de l'ensemble autour de l'altitude définie correspondant à la courbe du changement de phase du 20 fluide de stabilisation choisi. Le système est soumis à une série d'oscillations verticales amorties, dont on peut déterminer par le calcul l'amplitude en fonction du temps, connaissant les lois d'échanges thermiques et l'effet de freinage aérodynamique dans l'atmosphère.

Une optimisation des paramètres du système est nécessaire pour limiter 25 les amplitudes des oscillations verticales des ballons et pour que l'effet des courants vitaux locaux soit sans influence notable sur la stabilisation.

Dans l'exemple décrit ci-dessus, on a supposé que le conteneur largué depuis le véhicule placé en orbite porte un seul ensemble pour une 30 mission à une altitude prédéterminée. Mais les faibles dimensions des moyens nécessaires à la mise en oeuvre du procédé permettent de disposer, dans un même conteneur, plusieurs ensembles dans lesquels les fluides stabilisateurs sont de nature différente, de manière que chacun des ensembles de ballons se stabilise à des altitudes différentes. De même, il est possible 35 de placer plusieurs autres ensembles autour de la planète en procédant à des largages en des positions successives du véhicule sur son orbite.

L'invention trouve une application pratique dans tous les cas où l'on veut procéder à l'exploration de l'atmosphère d'une planète à l'aide de véhicules-sondes lancés depuis la terre.

REVENDICATIONS

- 1 - Procédé d'exploration de l'atmosphère d'une planète à l'aide de ballons aérostatiques à enveloppe souple largués d'un véhicule-sonde envoyé de la terre, les ballons supportant une nacelle et circulant en équilibre de pression avec le milieu ambiant à des altitudes prédéterminées, caractérisé en ce que l'effet de sustentation et de stabilisation des ballons en altitude est obtenu à partir du changement d'état liquide-vapeur d'un fluide introduit à l'état liquide dans l'enveloppe souple étanche de chacun des ballons avant le départ de la terre et occupant une partie seulement du volume de l'enveloppe.
- 10 2 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'effet de sustentation et de stabilisation des ballons en altitude est obtenu par le changement d'état de deux fluides distincts introduits à l'état liquide respectivement dans deux enveloppes souples étanches dépendantes l'une de l'autre.
- 15 3 - Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce que le fluide à l'état liquide introduit dans les enveloppes des ballons est préalablement introduit dans une première enveloppe étanche.
- 20 4 - Ballon aérostatique pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il est constitué par une enveloppe souple étanche contenant, à la pression atmosphérique et à la température ambiante terrestre, un fluide à l'état liquide occupant une partie seulement du volume de l'enveloppe et dont les propriétés physiques sont telles qu'il se produit, dans l'atmosphère de la planète, en fonction de la température et de la pression ambiantes, un changement d'état liquide-vapeur du fluide qui assure le gonflage de l'enveloppe du ballon et son maintien à une altitude prédéterminée.
- 25 5 - Ballon aérostatique selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'il comprend un ballon porteur dont l'enveloppe étanche contient un premier fluide dont la masse molaire est inférieure à celle de l'atmosphère de la planète viscé et un ballon stabilisateur dont l'enveloppe étanche contient un second fluide dont la masse molaire est supérieure à celle de l'atmosphère de ladite planète, les deux ballons comportant des moyens d'attache pour supporter la nacelle.
- 30 6 - Ballon aérostatique selon la revendication 5, caractérisé en ce que le ballon stabilisateur est logé à l'intérieur de l'enveloppe du ballon porteur.
- 35 7 - Ballon aérostatique selon l'une quelconque des revendications

4 à 6, caractérisé en ce que l'enveloppe souple étanche des ballons contient une enveloppe de contention du fluide à l'état liquide et qui se déchire par dilatation et vaporisation du fluide dans l'atmosphère de la planète.

2470049

1/3

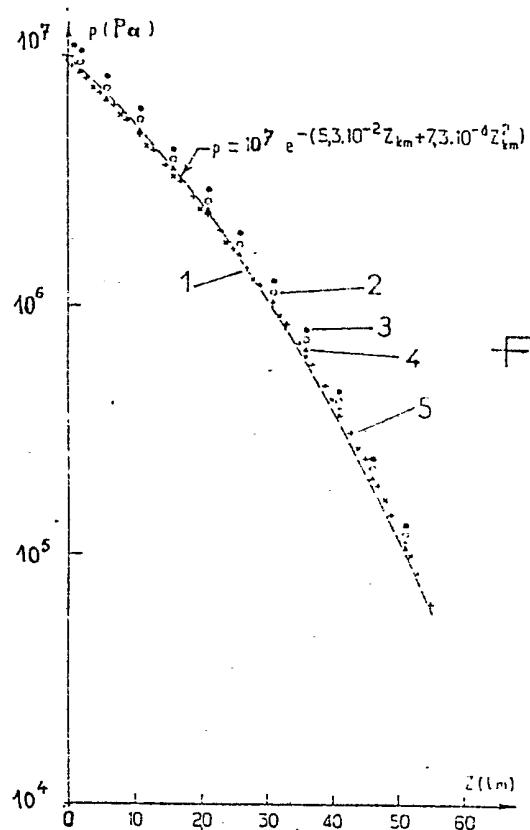


FIG. 1

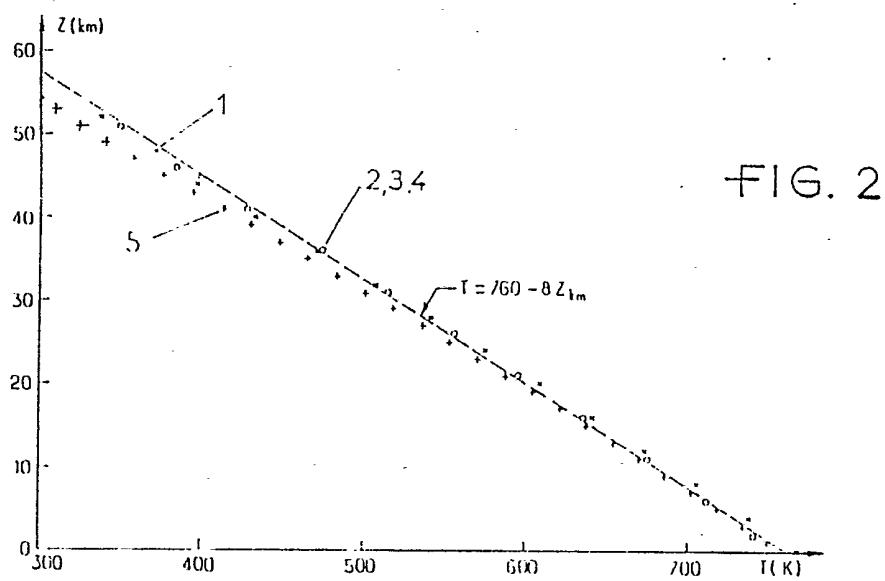


FIG. 2

2/3

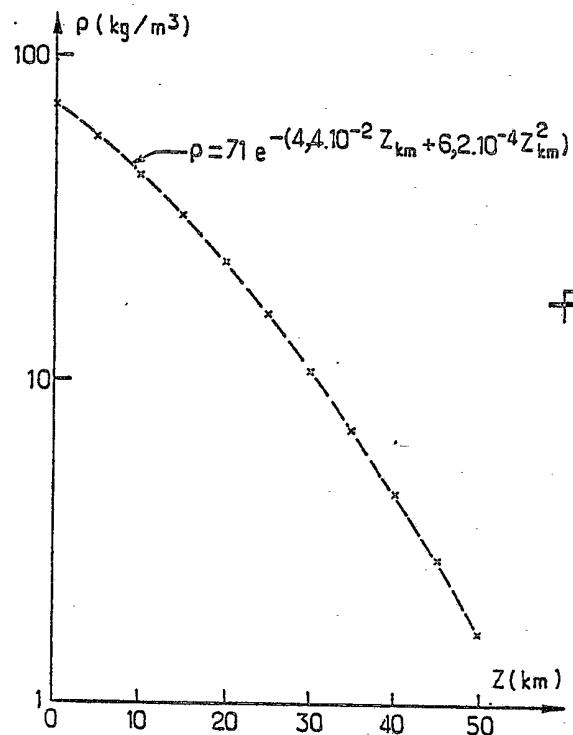


FIG. 3

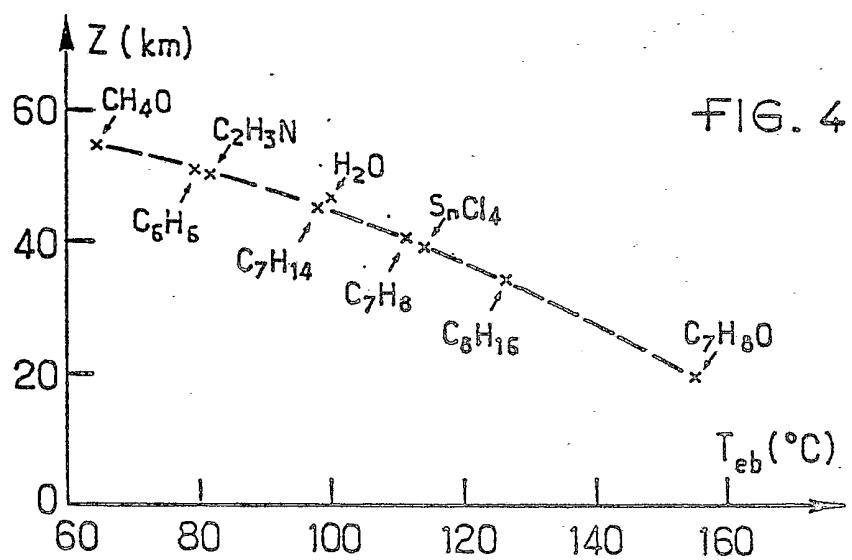


FIG. 4

3/3

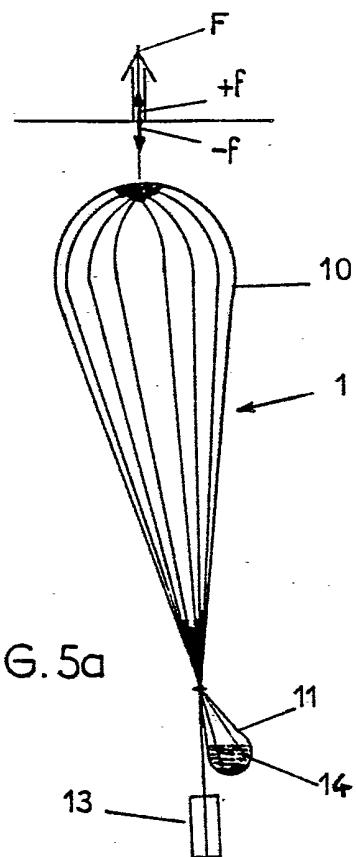


FIG. 5a

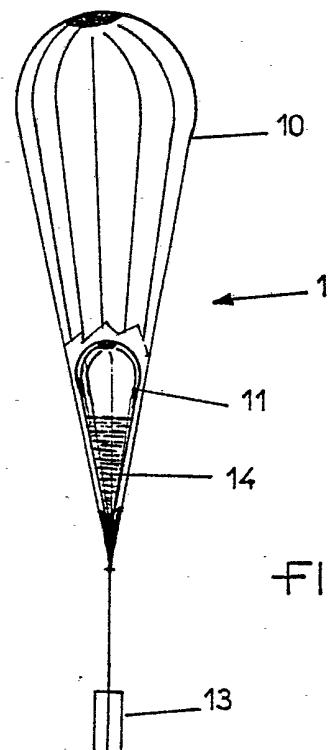


FIG. 5b

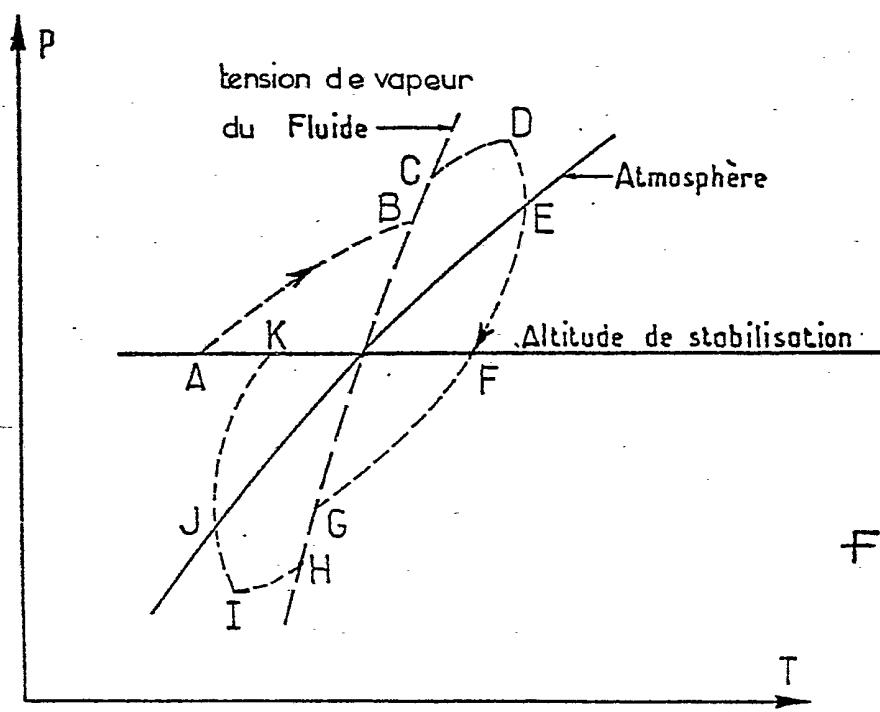


FIG. 6