

## **La restauration d'un Aérostat ULM classe V**

*Arnaud Deramecourt, Président de Montgolfière France Records*

*Michel Lafourcade, Président de Air Aventure*

Voici le résumé d'un projet de restauration d'un dirigeable à air chaud, classé dans la catégorie ULM classe 5.

J'échafaudais depuis 2000 la construction d'un dirigeable à gaz ou à air chaud. Cependant, par manque de temps, ce projet était sans cesse repoussé, malgré les plans, recherches, ébauches et calculs que je réalisais de temps à autres. En discutant avec un pilote de ballon libre du voisinage, Michel Lafourcade, nous nous sommes rendus compte que nous avions le même projet. Nous étions alors plein d'entrain, pensant que le projet allait désormais avancer à grands pas, deux volontés réussissant toujours à mieux avancer qu'une seule.

Cependant, Michel avait un emploi du temps aussi chargé que le mien et au bout d'un an, nous n'avions réussi à générer que de nouveaux plans, de nouvelles idées de ballons mixtes gaz / air chaud. Bref l'atelier était toujours aussi vide et la machine n'était pas prête de poindre son nez.

Début 2004, au hasard d'une éternelle recherche d'information sur les dirigeables, je trouvais une occasion intéressante à l'étranger. Il s'agissait d'un petit dirigeable à air chaud, cubant 1980 mètres, prévu pour emporter un pilote et un passager. La machine n'était pas très récente, mais nous eûmes rapidement l'idée que cela pouvait accélérer la réalisation de notre projet commun. Le prix négocié la rendait très séduisante. Même si ce type de dirigeable à air chaud n'était pas l'une de nos idées initiales, acquérir cette machine nous donnait une bonne occasion de commencer à faire du dirigeable, d'apprendre les contraintes opérationnelles, les limites de ces machines... tout ceci pour un coût et des délais raisonnables.

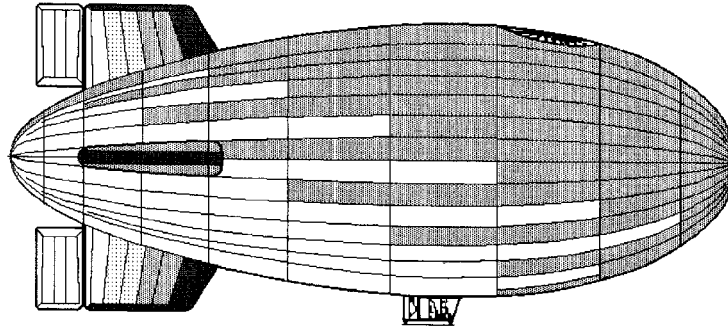
Après un voyage au Royaume-Uni pour juger de l'occasion, nous concluons l'achat et faisons livrer le dirigeable à Toulouse. En juillet 2004, la machine était arrivée et nous avons aussitôt procédé à un premier gonflement pour estimer les réparations et aménagements à opérer.

La présentation qui suit est articulée de la manière suivante :

- Présentation d'un type d'aérostat classe 5 à air chaud, les contraintes et les avantages de ces machines.
- Opérations de réfection déjà réalisées, tests au sol et en vol.
- Aménagements à venir.

### **1 Présentation d'un type de dirigeable à air chaud**

Un dirigeable à air chaud est une machine dérivée de la montgolfière. L'enveloppe est généralement profilée pour augmenter les performances aérodynamiques. L'air chaud étant peu porteur, une enveloppe de dirigeable à air chaud aura un volume plus de trois fois supérieur à une enveloppe de dirigeable à gaz de portance équivalente.



**Figure 1 : un dirigeable à air chaud moderne**

Le volume important implique un coefficient de traînée important. A motorisation équivalente, un dirigeable à gaz sera donc plus rapide et plus maniable. Mais au-delà de cette comparaison réductrice du volume et de la puissance, entrons dans le détail des avantages et inconvénients d'un dirigeable à air chaud. L'allongement est moindre que pour une machine équivalente à gaz (max. 2,5:1). La machine paraît un peu plus courte et ventrue qu'une dirigeable à gaz.

### **1.1 Caractéristiques des dirigeables à air chaud**

- La vitesse est limitée : ne pas compter aller au-delà de 10 à 30km/h, selon le modèle. Des problèmes de pressurisation interne et d'enfoncement de nez se posent alors.
- Les conditions d'utilisation doivent être calmes, comme pour l'utilisation d'une montgolfière (avec des difficultés supplémentaires au gonflement). Le vent au sol n'excédera donc pas 5 à 15 km/h.
- Le rayon d'action : directement lié à l'autonomie en carburant de la machine et du vent présent. Il est limité à quelques kilomètres ou quelques dizaines de kilomètres.
- Autonomie en carburant : il y a deux carburants embarqués. Celui du moteur, qui a consommation raisonnable et celui destiné à réchauffer l'enveloppe, qui va s'épuiser beaucoup plus vite. En effet, une montgolfière immobile dans la masse d'air présente déjà un bilan thermique défavorable. Le dirigeable a sans cesse un courant d'air qui le refroidit, sa consommation va être bien supérieure, du type de celle qu'on relève lors de vols captifs de montgolfière avec vent. Les plus petites machines auront une autonomie de 1 heure, les plus grosses jusqu'à 4 heures.
- L'altitude est limitée, cependant moins que sur un ballon à gaz. La limite est donnée par la température maximale admissible par les matériaux.
- L'utilisation d'une cabine ouverte, légère est suffisante. Les vols sont assez courts et les conditions météo bonnes (pas de précipitations). La vitesse est faible et le petit courant d'air n'est pas gênant pour l'équipage à bord.
- L'usage est sportif, publicitaire ou scientifique. Pour le transport de passagers, c'est une machine bien trop coûteuse. La quasi-totalité des machines ont vu le jour dans un but publicitaire. Quelques unes dans un but scientifique, dont la plus connue est sans doute le "radeau de cimes". Un usage de formation de pilotes et d'équipiers est aussi intéressant.
- Le coût à l'heure de vol est intéressant, car il n'y a pas usage d'hélium ou d'hydrogène. De plus, le matériel est d'un entretien aisé, en particulier au niveau de l'enveloppe.
- La logistique est simplifiée à l'extrême : le ballon se transporte facilement dans une grande remorque. L'équipe au sol est réduite : quatre personnes pour un biplace, six personnes pour un quadriplace. Il n'y a pas besoin de hangar ni de mat d'amarrage.

- La construction personnelle est possible. Il est cependant fortement recommandé d'avoir une expérience préalable dans le domaine de la construction d'aérostats (toile) et/ou d'ULMs (GMP, équipements).



**Figure 2 : le dirigeable à air chaud le plus connu, dans la mission "radeau des cimes"**

## **1.2 Réglementation**

Actuellement en France, les dirigeables à air chaud peuvent évoluer sous les régimes suivants :

- ULM de classe 5, s'il respecte la limite de volume et de puissance (80kw de puissance en continu pour un biplace, 2 000 m<sup>3</sup> de volume d'air chaud).
- CNRA (construction amateur), s'il respecte les limites liées au CNRA : nombre de places limité à 4, pas d'usage à but lucratif.
- CDN, français ou étrangers, sans limite particulière.

Les régimes CNRA et ULM classe 5 sont des régimes nationaux. Attention donc au statut des appareils bénéficiant de ces régimes lors de vols à l'étranger.

Plusieurs dirigeable à air chaud, sous CDN, anglais et allemand la plupart du temps, ont déjà évolué en France (essentiellement en manifestation aérienne). A ma connaissance, il n'y a pas eu de dirigeable en CNRA.

Rappelons que le régime de l'ULM classe 5 est plus léger concernant les contraintes de contrôle technique, ainsi que les licences et brevets nécessaires pour piloter un classe 5. C'est le statut que nous avons choisi pour la machine que nous avons acquise.

### **1.3 Autres dirigeables à air chaud existants**

Plus d'une centaine de dirigeables à air chaud ont été construits depuis 1970 dans le monde, par différents constructeurs professionnels ou quelques amateurs éclairés. Une des machines les plus performantes est fabriquée par la firme Gefa Flug, d'Allemagne. Nous avons repris de nombreuses idées des aéronefs produits par cette société pour nos améliorations (cf. Figure 13 p 14).

A titre d'information, cette machine cube 3000 mètres et peut transporter 4 personnes. Au mètre cube, l'enveloppe mesure 18 mètres et la longueur totale est de 42 mètres. Sa vitesse maximale est donnée pour 32km/h. Son prix est d'environ 200 000 euros.

## **2 Opérations de réfection déjà réalisées, tests**

Nous avons acquis cette machine en juillet 2004. Cette machine affichait 65 heures de vol pour l'enveloppe et 165 heures pour la nacelle et son moteur. Cela peut paraître peu, mais les enveloppes de dirigeable sont soumises à des températures et des surpression nettement plus importantes que celles que subissent les enveloppes de ballons libres à air chaud. Il n'est pas rare de voir des enveloppes de dirigeables à air chaud réformées au bout d'une centaine d'heure.

Dès le début, nous avons donc mené une inspection détaillée pour estimer l'ampleur des travaux à réaliser. Ensuite, en fonction des travaux listés, nous avons opéré, la plupart du temps sans nécessité de gonfler la machine, car beaucoup de travaux étaient concentrés sur la nacelle.

Le but de nos tests et remise en forme était de pouvoir procéder à des tests en vol dès le printemps 2005, ce que nous avons pu faire.

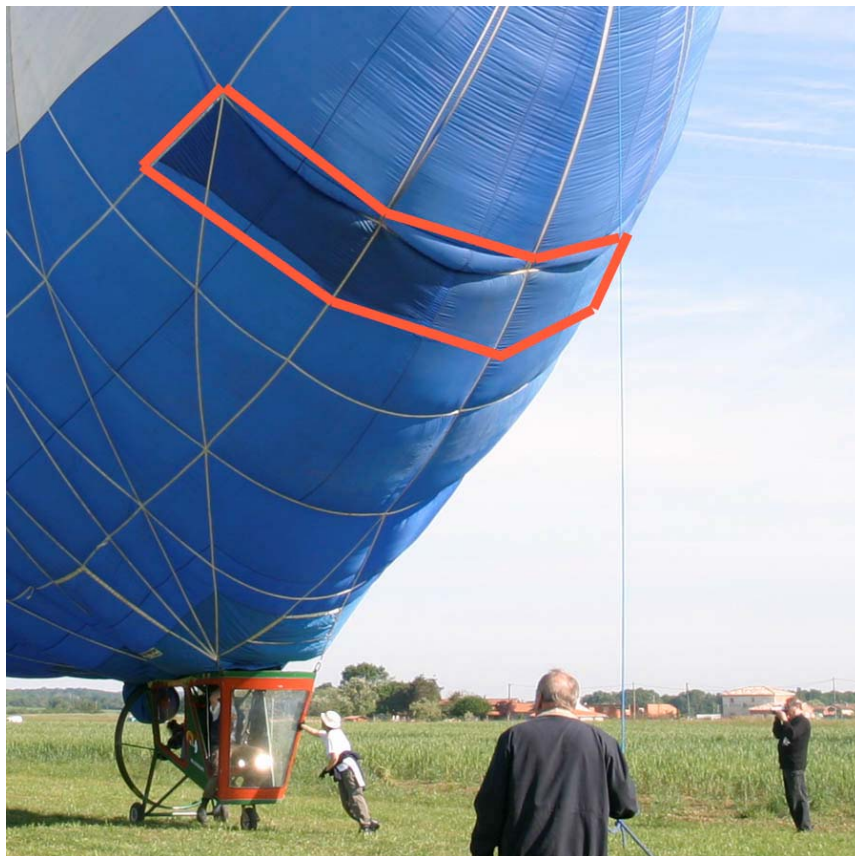
L'observation de cette machine nous a aussi permis d'établir une liste de points mal conçus et à programmer leur modification.

### **2.1 Inspection de l'enveloppe**

Le premier gonflement a été l'occasion d'une ventilation complète de l'enveloppe afin d'en inspecter les moindres recoins. Comme pour une enveloppe de ballon à air chaud, nous sommes rentrés dans l'enveloppe lors du gonflement. Il est à noter que le gonflement s'opère par une bouche située à l'avant de l'enveloppe. Cette bouche est mal pratiquée, car lorsque le gonflement est presque terminé, elle se relève nettement, empêchant les équipiers de la maintenir ouverte. D'autre part, en vol, nous ne sommes pas certains qu'elle ne perturbe pas le comportement de l'avant de l'enveloppe, maintenant mal la pressurisation, et favorisant ainsi l'enfoncement du nez, ce que nous avons pu observer à faible vitesse.



**Figure 3 : bouche du ballon lors du gonflement**

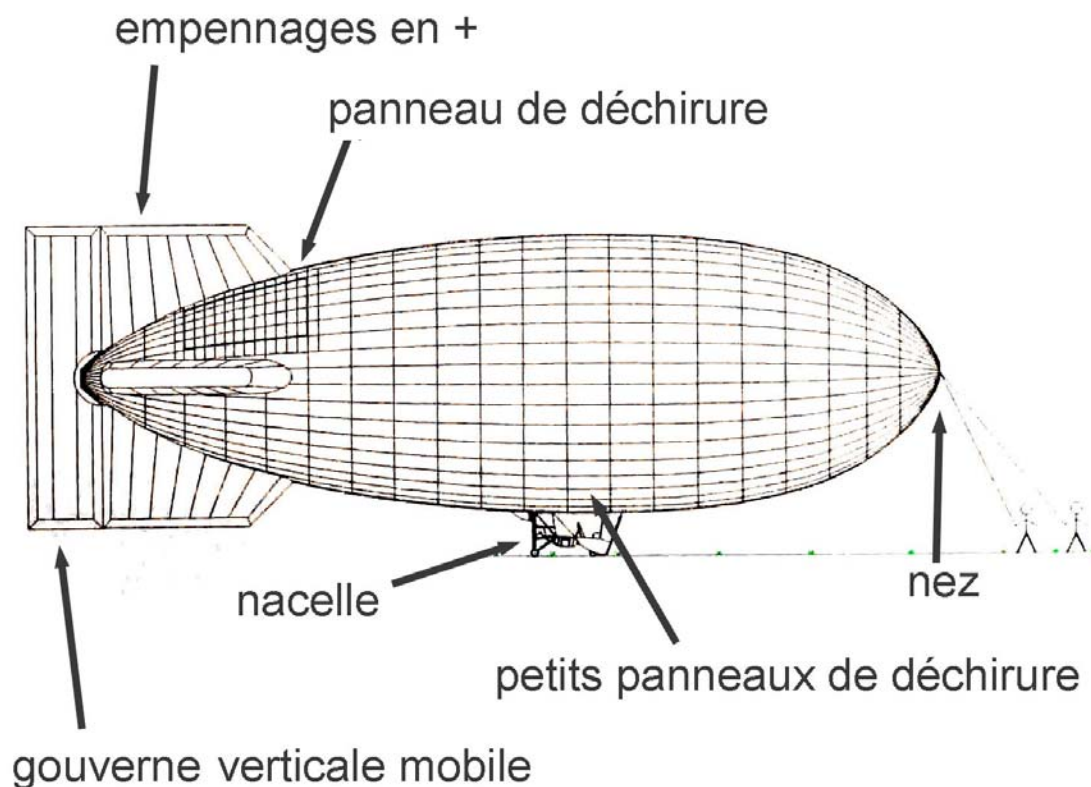


**Figure 4 : bouche de gonflement en position de vol (zone en rouge)**

L'enveloppe est constituée d'une chambre non cloisonnée de volume total  $1980\text{m}^3$ . Le tissu est sur le tiers supérieur (partie qui souffre le plus) un tissu haute résistance. Pour les deux tiers inférieurs, c'est un tissu de montgolfière classique. Les matériaux employés semblent être du Nylon,

malheureusement. Cela ne nous semble pas être le matériau le mieux adapté. L'ensemble du ballon est en bon état. Le tissu inférieur nous a semblé un peu poreux en quelques endroits.

L'inspection des cordages a révélé une réparation de fortune sur la corde de panneau de déchirure. Cette réparation aurait pu causer une rupture de poulie. Nous avons pu observer le système d'évacuation d'air destiné à limiter les surpressions. Il s'agit de deux ventaux taillés dans les flancs de la machine. Ces ventaux sont diamétralement opposés. En cas de trop forte pression, un cordage qui le relie l'un à l'autre les actionne et libère de l'air.



**Figure 5 : dirigeable à air chaud**

Sur les dirigeables à air chaud, les gouvernes sont réduites la plupart du temps à une commande pour tourner à droite et à gauche. On considère que le tangage est contrôlé par la chauffe et une part d'habileté du pilote. A l'arrière de notre machine sont situés des empennages et une gouverne verticale. Un seul point d'accroche est prévu pour commander la rotation de la gouverne verticale, c'est insuffisant.



**Figure 6 : l'unique point d'accroche sur la gouverne est insuffisant**

Pour garder une forme aplatie, les empennages sont "caissonnés". Leur dégonflement est facilité par des bandes de velcros, comme pour certaines montgolfières de forme spéciale. Les empennages comme certaines parties inférieures nous ont semblé un peu poreux. Nous avons pu constater par la suite lors des vols un manque de pressurisation des empennages, qui pourrait être lié à la porosité. Ce point reste à confirmer.

Les cordes de commandes disponibles en nacelle sont : le panneau de déchirure du sommet, la commande droite/gauche sur la gouverne, ainsi que la commande de deux petits panneaux de déchirure destinés à alimenter le brûleur en air frais en cas de panne de la ventilation.

Il y a deux cordes de manœuvre à l'avant, destinées aux deux équipiers de nez.

Ballon gonflé et en vol, nous avons pu constater une difficulté à pressuriser correctement les gouvernes, ainsi que l'enveloppe. Une vitesse d'une dizaine de kilomètres heures a provoqué l'enfoncement du nez.

## **2.2 Inspection du brûleur**

Le brûleur est un brûleur simple, standard de chez Cameron. Il est monté verticalement, ce qui pose quelques problèmes opérationnels (lors de la mise en œuvre et en vol).

Il est en bon état, ayant servi moins de 200 heures. Quelques points de corrosion sans conséquence sont relevés sur la visserie de fixation du serpent. Pas de déformation suspecte. Les injecteurs sont correctement verrouillés. Les vannes ne fuient pas. Le brûleur fonctionne correctement.

Nous avons aussi inspecté le circuit complet de gaz : les flexibles basse et moyenne pression, le serrage des raccords, le bon fonctionnement et l'étanchéité des vannes, de l'électrovanne.



**Figure 7 : brûleur en position**



**Figure 8 : brûleur en position, le pilote est obligé de l'incliner pour chauffer l'enveloppe**

Dès le premier gonflement, nous avons rencontré un problème de mise en œuvre très simple : lorsque l'enveloppe est gonflée d'air, le brûleur est monté vertical et ne peut plus bouger. Le risque est alors quasi certain d'endommager l'enveloppe lors des premiers coups de chauffe. Nous avons pourtant examiné le manuel de vol d'appareil. Il n'y a aucune explication dedans pour éviter de brûler l'enveloppe. Nous avons donc décidé de prolonger les lignes de gaz pour pouvoir incliner le



brûleur vers la droite (à tribord) et en arrière lors du gonflement. Cette opération était impossible dans la configuration initiale.

Au dégonflement, nous avons constaté qu'il fallait démonter complètement le brûleur, ou le protéger, car même refroidit il pouvait endommager l'enveloppe qui s'affaisse dessus.

Nous avons donc déjà prolongé les flexibles d'alimentation du brûleur et cherchons actuellement le meilleur moyen de rendre le brûleur orientable.

### **2.3 Inspection du moteur**

Le moteur est un König quadricylindre en étoile de 570cc. Le fabricant, d'origine allemande a désormais disparu. Les moteurs König étaient initialement destinés à des drones. Il y a eu quelques paramoteurs importés en France, équipés de ce matériel ou de son petit frère, le tricylindre 430cc. Un fabricant canadien a produit quelques moteurs après avoir racheté la licence. Aujourd'hui, il n'y a plus que quelques stocks de pièces qui traînent ci et là. A terme, cela peut être un vrai problème en cas de casse de pièce importante.

Pour les spécifications et le manuel d'entretien des 50h, nous avons la documentation d'origine. Rien cependant pour l'inspection des 300 heures. Un site de discussion paramoteur nous a permis d'établir le contact avec des gens qui avaient cette documentation. Les avis de la communauté paramoteur étaient partagés. Certains avaient eu des problèmes très tôt avec ce moteur, d'autres l'avaient fait tourner près de 1000 heures sans entretien particulier.



**Figure 9 : moteur en étoile König, avec son réducteur**

Le moteur est équipé d'un démarreur électrique, ce qui est heureux vu la courroie de réduction qui est montée en sortie pour alimenter l'hélice. Nous avons noté un alternateur, qui n'est vraisemblablement pas d'origine, mais qui permet de garder une charge batterie correcte d'un vol

sur l'autre, sans nécessité de recharge (la nacelle est en effet équipée d'origine d'une prise de charge 12V).

Nous avons vérifié la fixation du bloc moteur et des échappements, l'état des silents blocs. Deux Durits fatiguées furent changées. Nous n'avons pas vérifié les compressions. Après avoir vérifié la bonne fixation de l'hélice, nous avons procédé aux essais. Le moteur a démarré assez facilement.

Nous avons procédé à des essais de vibration à différents régimes et d'endurance au régime maximal. Le moteur vibre peu, sauf au ralenti (1000 tours). Nous avons pu relever la puissance fournie en fonction du nombre de tours. Nous obtenons la puissance maximale de 50kg de poussée pour 3500 tours/min.

Selon la documentation, ce moteur consomme environ 5 à 6 litres à l'heure.

Nous gardons un œil sur l'hélice. En effet, elle est en bois, à pas réglable, et est fixée par un moyeu en aluminium. Des ULMistes nous ont indiqué que cette configuration pouvait poser problème.

Il est à noter que nous ne sommes pas très inquiets d'une panne moteur, car l'aérostat dirigeable en panne de moteur se transforme en aérostat libre. Nous connaissons déjà assez bien les ballons libres et savons nous poser en vol dérivant. Même si poser un dirigeable en marche arrière, incliné vers l'arrière, sans soupape, mais seulement avec un panneau de déchirure, ne nous tente pas beaucoup (voici la configuration qui nous inquiète le plus).

## **2.4 Remise en état électrique, des instruments**

Un dirigeable a automatiquement plus d'équipements électriques qu'un ballon libre. En effet, il a plus de besoins électriques :

- instruments supplémentaires : jauge à carburant, intercom
- équipements : ventilateur de pressurisation/ alimentation en air frais de la zone brûleur, démarreur, piezo électrique

Cela implique une batterie fixée à demeure, un circuit de charge (alternateur régulé et antiparasité), un tableau de coupes-circuits, un tableau d'interrupteurs de bord et un panneau de commandes. Les connecteurs et interrupteurs doivent être de bonne qualité pour éviter les problèmes de corrosion. Il ne s'agit pas d'avoir une panne en vol, la plus ennuyeuse à prévoir étant une panne du circuit d'allumage ou du démarreur. Les autres instruments ne sont pas fondamentaux en ballon.

Nous avons donc procédé à une vérification complète du circuit électrique, des connexions, de l'état de corrosion des connecteurs, du bon fonctionnement des interrupteurs et des coupes-circuits. Il y avait quelques points de corrosion et des questions quant à un instrument manquant en façade avant (intercom + VHF).

Nous avons aussi vérifié de la tenue de la charge de la batterie. Nous avons procédé à une charge complète, mesuré la différence de potentiel dès la fin de la charge, puis le lendemain et enfin plusieurs semaines plus tard.

Le coupe circuit de démarreur saute de temps en temps, lors de tentatives prolongées de démarrage.

En dehors de ces considérations électriques, notons aussi l'échange d'un pneu et d'une chambre à air au niveau de la nacelle.

## **2.5 Aménagement d'une remorque pour le transport**

Ce point peut paraître secondaire mais il est essentiel. Si pour une montgolfière de petit volume, une remorque plateau ou bâchée, un fourgon font l'affaire, le problème est bien différent pour un dirigeable. Il s'agit de pouvoir transporter et (dé)charger facilement le matériel de la remorque. L'enveloppe pèse plus de 150 kg et la nacelle sans occupants pèse dans les 300kg, avec un centre de gravité assez élevé, qui conduit à des oscillations importantes lors de virages sur la route. Même en équipant la remorque d'un plancher de débarquement, il n'est pas question de la laisser descendre brutalement. Il faut donc prévoir un système de retenue.

Nous avons opté pour l'aménagement d'une remorque 1200kg de PTAC, freinée, simple essieu que nous avons déjà en stock. La remorque n'était malheureusement pas assez large pour pouvoir embarquer la nacelle complètement : l'empiètement au niveau des roues arrière est trop grand. De plus, sa longueur de 250cm ne permettait pas le chargement de tout le matériel. Nous avons donc eu l'idée d'aménager de petits supports, en dehors de la remorque, qui puisse accueillir les roues arrière. Ainsi, cela revient à prolonger la remorque. La nacelle peut désormais rentrer sur la remorque, ainsi que l'enveloppe. Nous avons trouvé une répartition du matériel qui permet un bon équilibrage de l'ensemble.

Un jeu de trois rampes et d'un moufle permet de facilement charger et décharger la nacelle sur la remorque. Pour sécuriser le matériel, nous utilisons 8 sangles à cliquet réparties tout autour de la nacelle, et au niveau des roues.

Pour protéger l'aéronef de la pluie et du rayonnement solaire, nous avons fabriqué une bâche en PVC épais. Cette bâche prend appui directement sur la nacelle; il n'y a pas eu ajout d'arceaux ni de structure. Il a fallu pour cela "protéger" des points anguleux de la nacelle pour éviter une dégradation rapide de la bâche de protection.



**Figure 10 : support arrière de nacelle**



**Figure 11 : vérification des dimensions de la bâche avec un modèle transparent**

### **3 Aménagements à venir**

Nous avons faits quelques tests avec une machine de conception ancienne, et avons rencontré des difficultés, des limitations que nous avons envie de rapidement escamoter. Cela passe par des modifications plus ou moins complexes. Nous ferons ces modifications dans deux optiques : améliorer l'enveloppe existante et l'user jusqu'à la fin de son potentiel, puis capitaliser nos expériences pour une nouvelle enveloppe que nous ferons complètement.

### 3.1 Enveloppe

Cette partie de l'aérostat sera la plus lourde à modifier. Nous avons deux types de modifications prévues :

- Les modifications destinées à améliorer la navigabilité : maîtrise de le tangage, amélioration de la commande de la gouverne...
- Les opérations de maintenance consistant à l'échange de panneaux présentant une porosité trop importante.

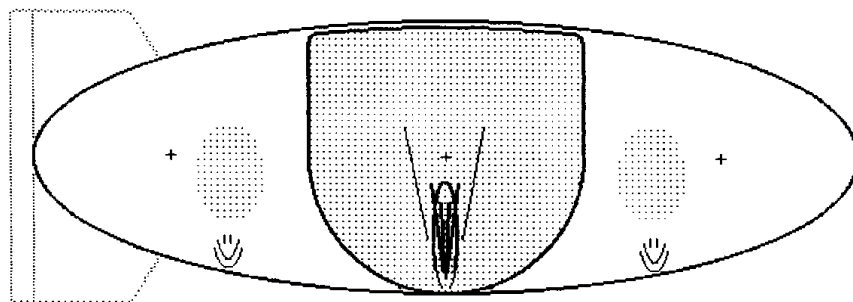
#### 3.1.1 Amélioration de la navigabilité

##### Cloisonnement de l'enveloppe

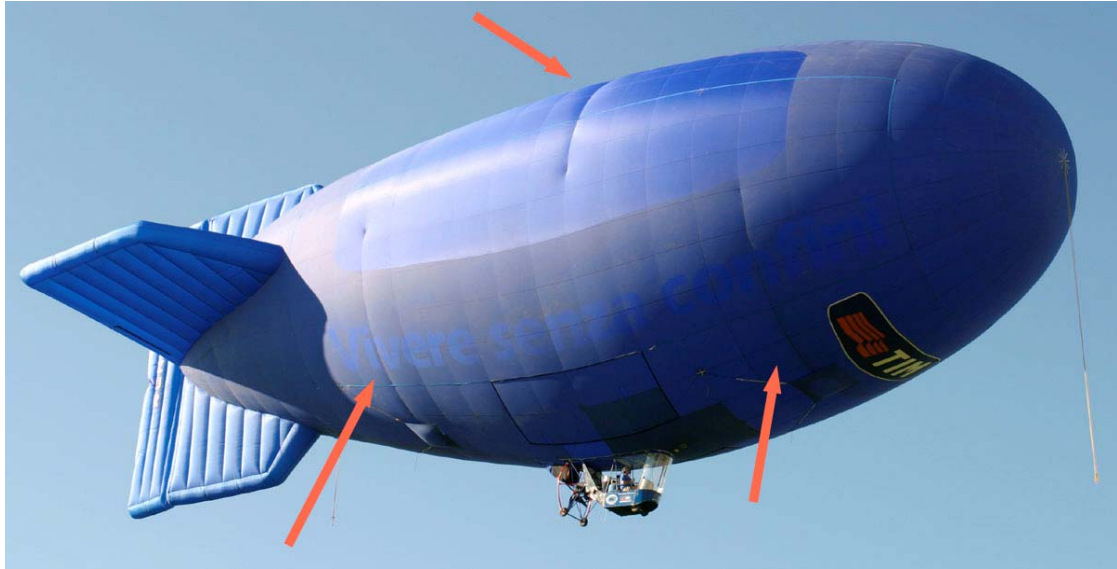
Une caractéristique très désagréable des dirigeables à air chaud non cloisonnés est leur instabilité due à la possibilité de l'air chaud de "rouler" le long de l'enveloppe. Cela se caractérise par le phénomène suivant :

- Le dirigeable a le nez vers le bas, car l'air chaud est à l'arrière. Si on continue la chauffe, l'air chaud va à l'arrière et la situation reste stable. Si on met les gaz, le dirigeable descend irrémédiablement, jusqu'à ce que parfois la poussée, qui est appliquée sous le centre de gravité fasse pivoter le ballon et le redresse à l'horizontale. Malheureusement, si on est trop près du sol, la descente peut aller jusqu'au sol. Il faut dans ce cas réduire les gaz sous peine de collision.
- A l'inverse, si le nez est vers le ciel, il le restera si on continue de chauffer. La mise des gaz aggravera le problème à cause du couple de poussée. Une portance artificielle est provoquée par l'effet de carène et le ballon retombera dès les gaz coupés.

Nous avons décidé d'appliquer une méthode vue sur les dirigeables modernes ainsi que sur les ballons à forme spéciale : le compartimentage, associé à un double brûleur (voir suite). L'enveloppe est divisée en plusieurs compartiments qui empêchent l'air de glisser librement. Le pilote chauffe l'un ou l'autre des compartiments.



**Figure 12 : principe de plusieurs compartiment, associés à plusieurs sources de chaleur**



**Figure 13 : sur ce modèle (Gefa Flug), la séparation est réalisée par trois demis disques (un supérieure au milieu, deux inférieurs devant et derrière)**



**Figure 14 : détail interne du demi disque supérieur du modèle Gefa Flug**

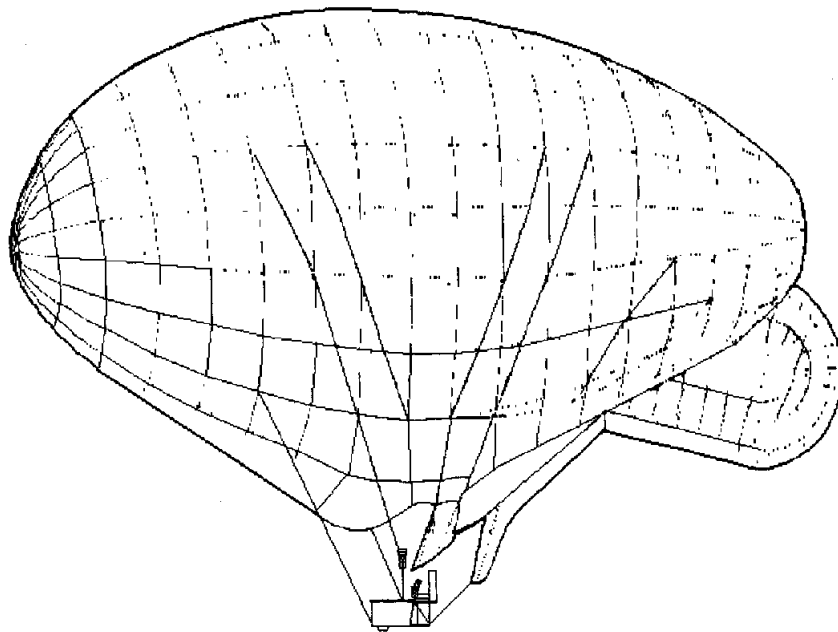
Cette modification alourdit l'enveloppe de 60 à 180m<sup>2</sup> de tissu (soit environ 3 à 9kg), selon l'option choisie (une, deux ou trois cloisons). Une première étape sera de disposer un demi disque en tissu à la verticale du brûleur, dans la partie supérieure de l'enveloppe. Le brûleur devra bien entendu être modifié (voir suite).

#### **Pose d'un réseau de ralingues**

Un autre point qui nous paraît essentiel pour améliorer la forme du ballon et minimiser les contraintes est d'ajouter un réseau de ralingues intérieures. Ce réseau est constitué de plusieurs cordelettes reliées à deux sangles courant de part et d'autre du sommet du ballon, dans la longueur. Ce réseau sert à porter la nacelle complètement (on s'appuie directement sur les surfaces portantes) et évite de tirer à la base de l'enveloppe.

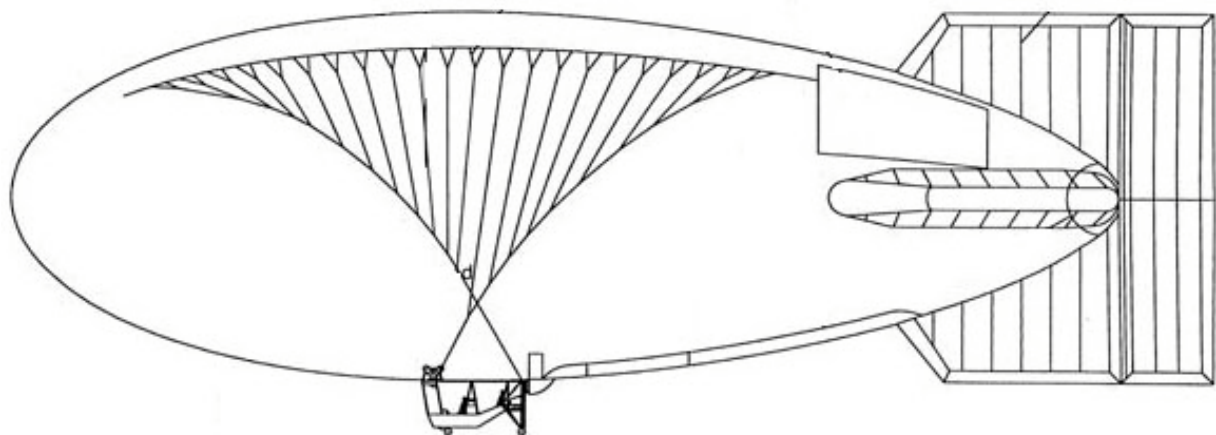


**Figure 15 : exemple de caténares internes, vue de devant, vue de profil (coupes)**



**Figure 16 : le dirigeable DP96 de Cameron, sans ralingues ; toutes les forces sont transmises par un réseau de forces extérieures**

Ce réseau de ralingues permet aussi d'accroître la stabilité du ballon car il est équivalent à un croisillon de "rigidification".



**Figure 17 : réseau de caténares croisés**

Nous espérons avec cette modification obtenir une meilleure répartition des forces, et pressuriser de manière correcte l'enveloppe afin d'éviter l'enfoncement du nez, ainsi que d'avoir des gouvernes fermement gonflées.

Les cordages choisis sont de type Aramide, pour leur bonne tenue à la température, et leur poids assez faible. Le réseau complet devrait ainsi peser moins de 3kg, ce total comprenant les ralingues, et le dispositif de liaison avec l'enveloppe.

Ce système de ralingues a été utilisé la première fois dans un projet construction amateur américain, en 1965. Il était utilisé avant cela dans les dirigeables à gaz depuis plus longtemps.

### **Fermeture du nez**

Nous avons abordé le système de gonflement peu adapté. Nous souhaitons fermer cette "bouche" de l'enveloppe par une couture, et utiliser plutôt une manche de gonflement localisée, soit sur l'enveloppe (manchon obturateur, soit sur la nacelle).



**Figure 18 : maintient de la bouche du dirigeable par les équipiers sur 31BZ**



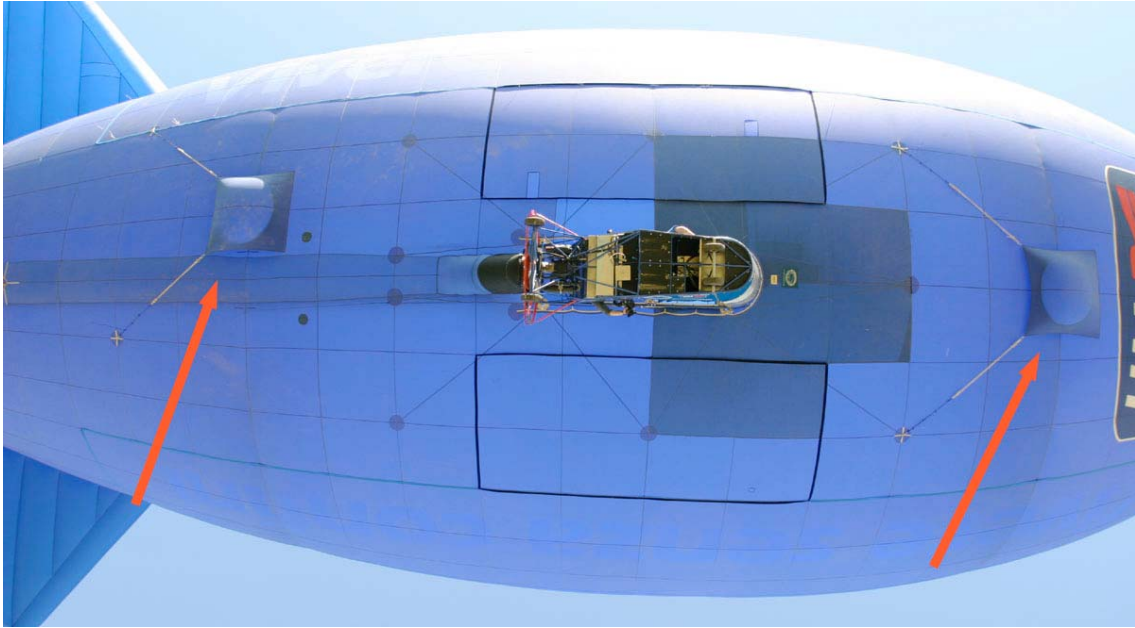
**Figure 19 : gonflement du GEFA avec manche de gonflement raccordée à la nacelle et au ventilateur**

### **Valve de surpression**

Sur notre machine, le système de surpression nous paraît peu adapté : difficulté de réglage, position assez haute qui fait qu'il va évacuer de l'air chaud plutôt que de l'air froid. Nous préférons un système vu sur d'autres dirigeables : une manche à la base de l'enveloppe, orientée vers le bas, à l'avant et/ou à l'arrière du dirigeable. Cette manche d'une trentaine de centimètres est obturée par une soupape retenue par des Sandows à l'enveloppe. Ainsi, le réglage de la tension des Sandows définit la pression interne que l'on souhaite ne pas dépasser. C'est un dispositif à rapprocher des appendices de ballons à gaz.

Le jumelage de ce système avec un jeu de trois cloisons permet une bonne circulation de l'air et une utilisation optimale des calories dissipées par le brûleur.

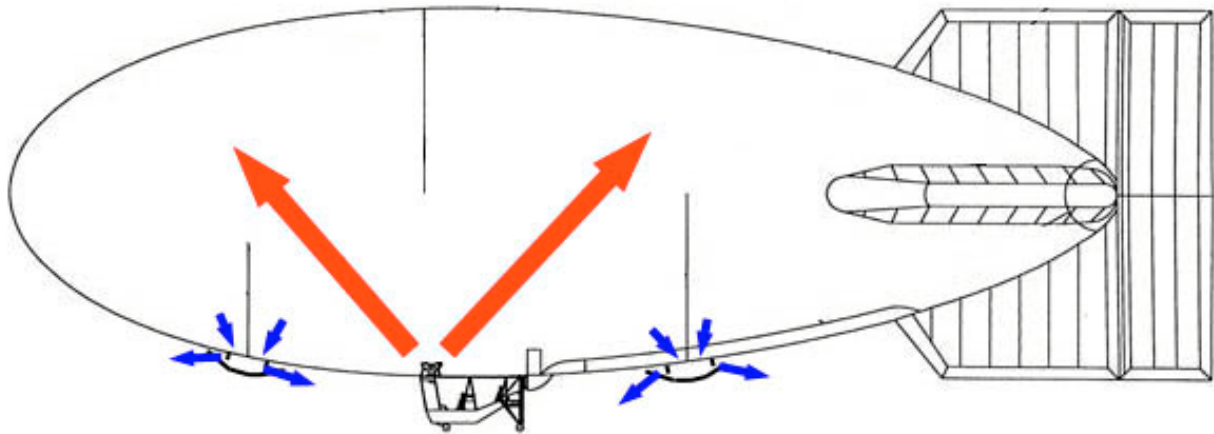




**Figure 20 : deux soupapes de surpression fléchées en rouge**



**Figure 21 : gros plan sur une soupape de surpression**



**Figure 22 : circulation d'air dans une configuration à trois cloisons**

### 3.1.2 Maintenance



Après vérification par sondages au porosimètre, nous serons peut-être amenés à remplacer certains panneaux. En fonction de la quantité de travail, nous choisirons soit de remplacer, soit de procéder à la fabrication d'une nouvelle enveloppe directement.

**Figure 23 : porosimètre de type JDC**

### 3.1.3 Nouvelle enveloppe

La nouvelle enveloppe, prévue lorsque l'enveloppe actuelle sera en fin de vie, comprendra les modifications listées précédemment, ainsi que le déplacement du panneau de déchirure, qui nous paraît mal placé.

L'action du panneau de déchirure, actuellement situé au centre du ballon, vide partiellement l'enveloppe mais retient une grande quantité d'air à l'arrière. L'arrière se relève alors et met du temps à se dégonfler, car il n'y a aucune ouverture. De plus, c'est systématiquement l'arrière qui va retenir une bulle car nous dégonflons face au vent. Nous utiliserons à l'avenir un panneau de déchirure en position arrière comme vu sur une machine déjà. Cela permet un dégonflement rapide de l'enveloppe, ce qui est un facteur de facilité opérationnelle mais aussi de sécurité.



**Figure 24 : état du dirigeable après ouverture du panneau de déchirure en position centrale**



**Figure 25 : état du dirigeable après ouverture du panneau de déchirure en position arrière (machine Gefa Flug)**

Un des points durs de la fabrication de cette nouvelle enveloppe sera la recherche d'un matériau présentant un bon compromis entre le poids, la tenue mécanique (UV, chaleur, contraintes), la facilité d'assemblage et le prix.

Enfin, notons qu'une enveloppe gaz pourrait aussi très bien se gréer sur la nacelle, en supprimant le circuit de gaz et en remplaçant les réservoirs de gaz par des réservoirs de carburant moteur.. Il faudrait ajouter quelques instruments comme la pression et la température de enveloppe.

## 3.2 Circuit de brûleur

### Orientation du brûleur

Nous avons entrepris une première modification, qui consiste à rendre orientable le support du brûleur. Cela nous permettra de modifier l'inclinaison du brûleur et de chauffer sans risque de dégradation.

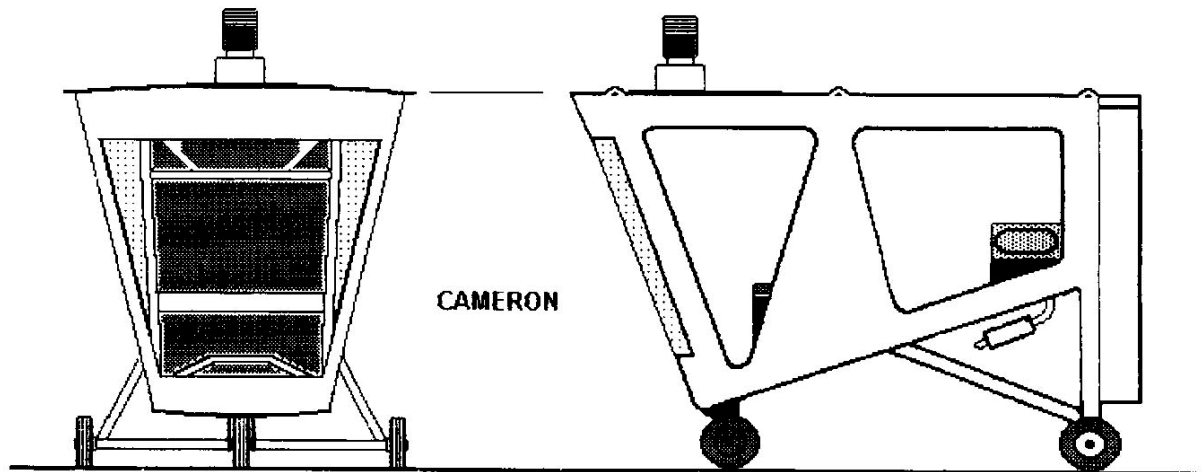


Figure 26 : schéma de nacelle Cameron. Le brûleur est fixe et ne peut pas bouger.

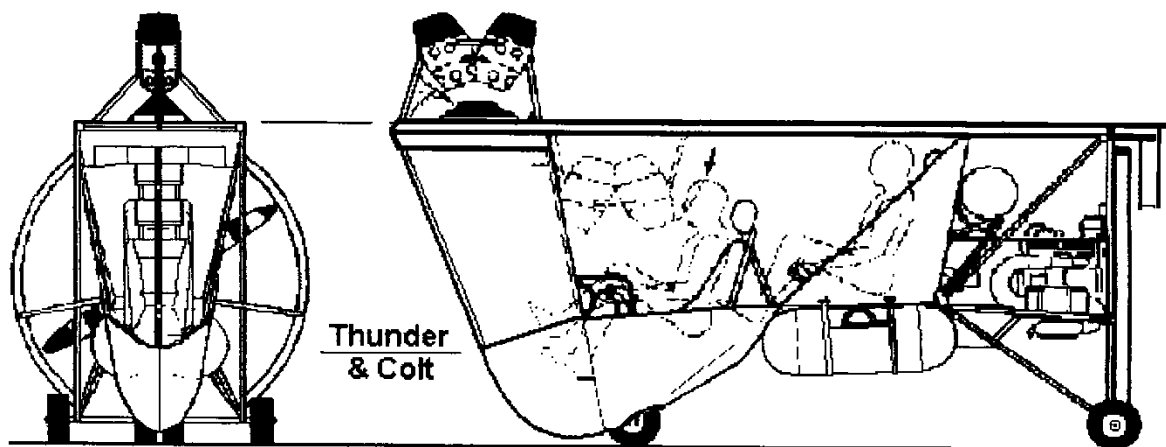
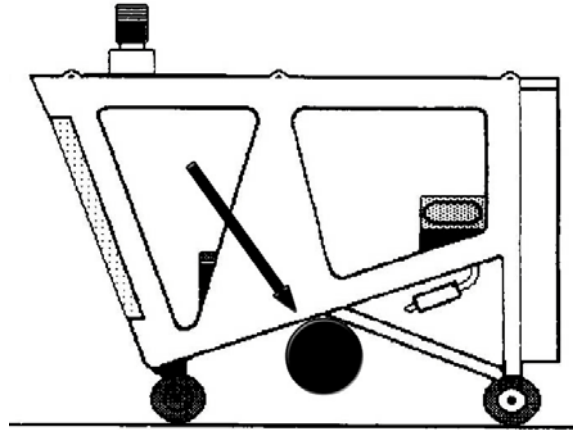


Figure 27 : schéma de nacelle T&C. Le brûleur est monté sur articulation. Il peut aussi être replié dans la nacelle pour le transport.

### Augmentation de l'autonomie

Après quelques essais de consommation, nous avons pu constater que la consommation en propane est assez élevée. Cela n'est pas étonnant, vu le flux d'air continu qui refroidit l'enveloppe. Nous avons donc trouvé une place, dans la partie inférieure de la nacelle, pour insérer un troisième cylindre horizontal de contenance 60 litres, ce qui donnerait une autonomie de près d'une heure et demie, sans modifier le centrage, ni l'arrivée d'air de l'hélice. Cela implique l'ajout d'un support pour le cylindre, ainsi que d'un système d'arrimage/désarrimage pratique. Il faudra aussi ajouter un flexible de gaz moyenne pression et une vanne.



**Figure 28 : emplacement du cylindre supplémentaire**

### **Double brûleur incliné**

Nous avons parlé précédemment de cloison verticale au-dessus du brûleur actuel. Cela entraînera la modification de la position du brûleur, et l'adjonction d'un second brûleur, à l'image de ce qui se fait sur les nacelles T&C. Sur ces nacelles sont montés deux brûleurs inclinés, un vers l'avant, l'autre vers l'arrière.

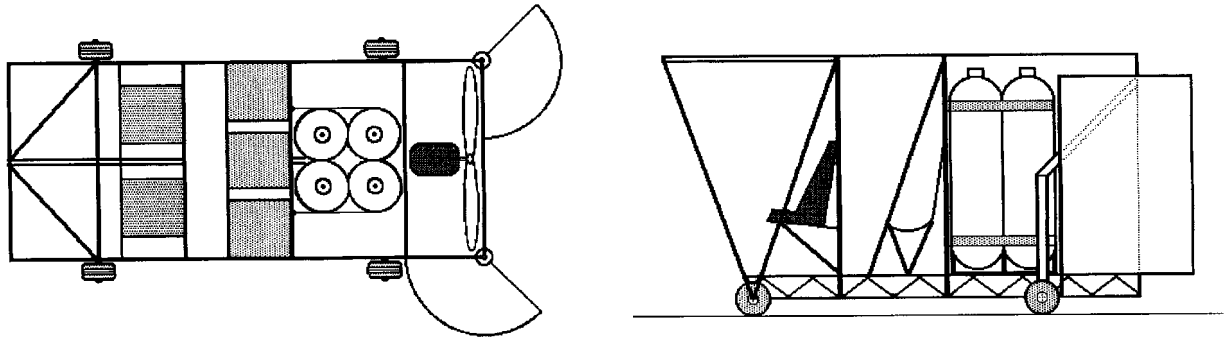
L'utilisation simultanée du cloisonnement et de deux brûleurs avant/arrière permet un équilibrage aisé du tangage. Cela permet aussi de diminuer la chauffe directement reçue par l'enveloppe.

Sur notre machine, le plafond de l'enveloppe est à une dizaine de mètres, ce qui nous semble très peu, car le brûleur est un brûleur standard, de pleine puissance. Il vaudrait mieux deux brûleurs de puissance bien moindre, inclinés que ce seul gros brûleur. Nous pensons à modifier le système. Cela impliquera une modification du circuit de phase liquide, l'ajout d'une électrovanne, l'ajout de deux contacteurs supplémentaires pour activer le brûleur avant, arrière, ou les deux à la fois.

### **3.3 Nacelle**

La nacelle est presque parfaite, mis à part certains éléments de câblage électrique pas très logiques (exemple : quand on coupe l'électricité générale, cela ne coupe pas le moteur thermique, ni l'électrique).

Parmi les modifications intéressantes sur l'on pourrait apporter : un système de gouvernes sur le moteur, reprenant ce qui a été monté sur le radeau des cimes, permettant un vol quasi stationnaire lors des opérations d'approche.



**Figure 29 : vues de la nacelle et de ses déflecteurs (râteau des cimes)**

## 4 Conclusion

En quelques pages, vous avez pu découvrir un projet de restauration et d'évolution d'un dirigeable à air chaud. Vous avez pu constater que des progrès sont toujours possibles, en partant d'une machine un peu dépassée, qui n'est pas "up to date", mais qui est cependant accessible. Nous espérons vous avoir donné envie de vous lancer dans un projet de ce type, ce qui inévitablement provoquera une poussée de nouvelles compétences et d'idées novatrices.



### **Bibliographie :**

- "Thermal blimps", Robert J Recks, 2000
- "Cameron airships, flight and maintenance manual", 1987
- "Flight and maintenance manual", Gefa Flug, 2001
- "Thunder & Colt AS-GD Flight and maintenance manual", Cameron, 1999
- "Airship technology", Cambridge Aerospace Series 10, 1999