



*Mise en place du Projet de  
Recherche et du Cadre de  
Développement du*

# **DIRIGEABLE GROS PORTEUR**

## **TOME I – RAPPORT**

Décembre 2003

Commande n° 03MT34 du 04/06/03 du Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement,  
Direction de la Recherche et des Affaires Scientifiques et Techniques

# Rapport d'Etude sur la Mise en Place du Programme de Recherche et du Cadre de Développement du « Dirigeable Gros Porteur »

Décembre 2003

## TABLE DES MATIERES

---

<b>RESUME DE L'ETUDE</b>	p 4
<b>INTRODUCTION</b>	p 6
A. RAPPEL DES OBJECTIFS DE L'ETUDE ET DE LA MISSION D'URBA 2000	p 6
I. Définition d'un programme d'études et de recherches	p 6
II. Propositions de recommandations en matière d'organisation des phases ultérieures	p 6
B. RAPPEL DES TRAVAUX ANTERIEURS	p 7
I. L'étude scientifique et technique	p 7
II. L'étude socio-économique	p 7
C. PRESENTATION DU RAPPORT D'ETUDE	p 8
<b>Première Partie :</b>	
<b>PREALABLE AU DEVELOPPEMENT DU DIRIGEABLE GROS PORTEUR</b>	p 9
A. PERFORMANCES TECHNIQUES ATTENDUES DU DGP	p 10
I. Méthodologie	p 10
II. Performances attendues et modes d'utilisation souhaités	p 10
1. Cadrage général	p 11
2. Performances attendues	p 11
2.1 Charge utile	p 11
2.2 Volume	p 11
2.3 Vitesse	p 12
2.4 Distances à parcourir	p 12
2.5 Précision d'emport et de dépose	p 13
2.6 Lieux d'intervention	p 13
2.7 Conditions atmosphériques et altitude	p 13
2.8 Sécurité	p 14
2.9 Autres critères	p 14
III. Secteurs d'activité concernés par l'utilisation du dirigeable gros porteur	p 14
1. Les unités de production d'énergie	p 15
2. Les usines clefs en main	p 15
3. Les unités off shore	p 15
4. Les équipements miniers et d'extraction	p 15
5. Les composants préfabriqués de bateaux	p 16
6. Les composants d'avions	p 16
6.1 Le cas de l'AIRBUS 380	p 16
6.2 Les autres avions	p 17
7. L'aérospatial	p 17
8. Les composants des infrastructures routières et autoroutières	p 17

IV. Tableau de Synthèse : critères de performances par type de produits	p 19
1. Présentation	p 18
2. Commentaires	p 20
3. Conséquences des critères de performances sur les fonctionnalités du dirigeable	p 20
B. LES CONDITIONS JURIDIQUES ET INSTITUTIONNELLES	p 21
I. La réglementation aérienne	p 21
II. La formation	p 22
1. La formation au métier de pilote de dirigeable	p 22
1.1 La situation dans le monde	p 22
1.2 La formation de pilote de dirigeable gros porteur	p 23
2. La formation au métier de technicien au sol pour dirigeable	p 23
<b>DeuxièmePartie :</b>	
<b>LES PROBLEMES A RESOUDRE ET LES COMPETENCES NECESSAIRES</b>	p 25
A. PROBLEMES A RESOUDRE	p 26
I. Les questions techniques	p 26
1. Questions techniques générales	p 26
2. Les questions techniques spécifiques au DGP	p 27
2.1. Structure et conception de l'engin	p 27
2.2. L'enveloppe textile	p 29
2.3. Les rotors	p 34
2.4. La source d'énergie	p 35
2.5. Le transfert de charge lors des opérations de chargement et de déchargement	p 35
II. Les questions économiques	p 39
1. Le problème des ressources naturelles	p 39
1.1. La consommation énergétique	p 39
1.2. La question de l'hélium	p 40
2. L'impact sur les infrastructures	p 42
B. IDENTIFICATION DES COMPETENCES NECESSAIRES	p 43
I. Recensement des compétences existantes	p 43
II. Situation de la recherche	p 45
<b>Troisième Partie :</b>	
<b>PROGRAMME D'ETUDES ET DE RECHERCHE</b>	p 48
A. ORGANISATION ET METHODOLOGIE DE LA RECHERCHE	p 49
I. Organisation proposée	p 49
II. Méthodologie	p 50
1. Le passage du dirigeable petit porteur au dirigeable gros porteur	p 50
1.1. L'exemple de Cargolifter	p 50
1.2. La démarche peut être progressive	p 50
2. Phase de sélection d'un concept pour le DGP	p 50
3. Phase des études et recherches avant la construction d'appareils importants	p 51
B. PROGRAMME DE RECHERCHE	p 51
I. Etudes techniques approfondies	p 51
II. Constitution d'un fonds documentaire sur l'aérostatique et établissement de liens avec les sciences et techniques associées	p 53
III. Etudes juridiques et économiques	p 54
1. Réglementation	p 54
2. Economie, développement industriel	p 54
2.1. Observations préliminaires	p 54

2.2. Les modèles d'entreprise	p 55
3. L'utilisation du dirigeable	p 56
3.1. L'approfondissement des utilisations publiques envisageables	p 56
3.2. L'approfondissement des utilisations envisageables par les entreprises	p 56
3.3. L'aide humanitaire, les catastrophes naturelles et les réfugiés	p 57
4. La formation	p 59
5. Sensibilisation et communication	p 59
<b>C. ANNEXES A LA PARTIE III</b>	p 60
I. Propositions d'études et recherches approfondies classées par domaine scientifique	p 61
1. Aérodynamique	p 62
2. Enveloppes Textiles	p 67
2.1. Mécanique des enveloppes	p 68
2.2. Technologie des toiles pour enveloppes souples et ballonnets	p 69
3. Moteurs et rotors	p 74
4. Attaches de charges, câbles et treuils	p 75
5. Gaz porteur	p 78
II. Budget et financements du programme d'études et de recherche	p 80
1. Etudes et Recherches	p 81
1.1. Les études techniques	p 81
1.2. Les recherches d'ordre économique, juridique et institutionnelles	p 81
2. Mise en place et animation de la structure de conduite du programme d'études et de recherche	p 82
3. Estimation globale	p 84
4. Modalités de financement	p 84
 <b>CONCLUSION</b>	 p 85

## RESUME DE L'ETUDE

Deux études sur le dirigeable ont été réalisées en 2001 et 2002 : l'une sur sa faisabilité scientifique et technique (étude ONERA commandée par le Ministère de la Défense (Délégation Générale pour l'Armement) et l'autre sur l'intérêt de cet engin pour le transport de charges lourdes (étude Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne dans le cadre du PREDIT).

La première de ces études ayant conclu que le dirigeable gros porteur était réalisable et la seconde ayant fait apparaître un intérêt majeur des entreprises pour ce moyen de transport, le Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement – Direction de la Recherche et des Affaires Scientifiques et Techniques - a confié à URBA 2000 une étude pour identifier l'ensemble des problèmes à résoudre pour que le dirigeable puisse être conçu, fabriqué et exploité, et, pour cela, de définir le programme de recherche et l'organisation qu'il convient de mettre en œuvre pour y parvenir.

**La première partie de l'étude** décrit les préalables au développement du dirigeable gros porteur. Ces préalables sont de deux ordres : l'existence d'un marché qui permette de déterminer des objectifs de performance du DGP, une réponse adaptée aux questions d'ordre juridique engendrées par l'existence de l'appareil.

Sur le premier point, liste des produits lourds et/ou volumineux susceptibles d'être transportés par un Dirigeable Gros Porteur (DGP) a été établie. Les caractéristiques et conditions de manutention et de transport de ces produits ont été précisées par les entreprises qui les fabriquent. Ces spécifications constituent la liste des performances que devra atteindre le DGP pour être plus efficace que les autres moyens de transport et occuper une part du marché suffisante pour justifier économiquement sa réalisation.

Sur le second point, le constat est que le dirigeable ne trouve pas complètement aujourd'hui l'environnement qui lui est nécessaire. Les diplômes ont été supprimés en France et la réglementation aérienne, qui ne prenait en compte que l'avion il y a encore peu de temps, est actuellement en train d'évoluer, dans un sens favorable, par le biais de la réglementation européenne. Il est clair que le dirigeable, s'il devait revenir, devrait trouver un personnel capable de le faire fonctionner et un cadre réglementaire adapté à ses spécificités, tant en certification qu'en navigation.

**La seconde partie de l'étude** analyse de manière approfondie les problèmes à résoudre et précise les compétences requises pour les résoudre.

Les problèmes sont d'abord d'ordre technique du dirigeable, et plus particulièrement le gros porteur. Il s'agit en particulier de la structure et conception de l'engin, enveloppe textile, rotors, source d'énergie, transferts de charge lors des opérations de chargement et de déchargement. L'étude permet de préciser la nature des questionnements et de fournir les solutions envisageables.

Les problèmes économiques concernent d'abord les questions d'énergie : le gaz porteur, l'hélium, est coûteux et n'existe pas en quantités illimitées. Pour autant que les précautions soient prises pour limiter les consommations énergétiques, Il ne semble pas cependant que ce problème soit de nature à condamner le retour du dirigeable.

Ils concernent ensuite l'impact du DGP sur les infrastructures : il est montré que, si le dirigeable gros porteur arrivait à occuper une part significative du marché des marchandises, les conséquences en matière économique seraient très positives tant au plan macro-économique qu'au plan micro-économique.

**La troisième partie de l'étude** est dédiée au programme d'études et de recherches suggéré. Elle est articulée en deux points : l'organisation et la méthodologie de la recherche et le programme lui-même. Cette partie est complétée par deux annexes : une série de propositions concrètes suite à une démarche d'appel à propositions, et une esquisse de budget et de répartition des financements.

L'organisation et la méthodologie sont un point essentiel. Le travail d'études et de recherche devra donner lieu à la création d'un cadre de travail qui favorise le rapprochement des différentes initiatives, qui souffrent aujourd'hui de leur dispersion. De très nombreux travaux ont été réalisés et ont permis de faire apparaître des critères de sélection non seulement sur les plans scientifiques et techniques, mais aussi économique et d'usage. Il conviendra, dans une première phase, de se mettre d'accord sur un concept de dirigeable générique au service duquel sera mis le programme d'études et de recherches.

Les disciplines qui doivent être abordées, tant dans le domaine technologique que dans le domaine des sciences humaines sont précisées ainsi que les axes dans lesquels doivent être orientés les différentes recherches. Les différents éléments du réseau de compétence correspondants sont précisés.

Les résultats de l'appel à propositions informel auquel URBA 2000 a procédé durant l'étude figurent dans le rapport et donnent une photographie d'une première série d'actions que l'Etat, avec le concours d'un comité de pilotage technique et scientifique, pourrait décider d'engager. Un chiffrage de ces actions est donné à titre indicatif ainsi que ce qui paraît être réaliste en matière de répartition de la charge financière.

**Le rapport d'étude conclut** en insistant sur la nécessité d'une approche de « *grossissement progressif* », c'est-à-dire sur la nécessité de prendre en compte des travaux portant sur les modèles de dirigeables actuels, afin de les utiliser « *par similitude* » pour le DGP.

Il est positif sur l'opportunité de lancer la démarche d'étude et de recherche en précisant le rôle central que doit jouer l'Etat pour assurer une cohésion d'ensemble et permettre à tous les autres partenaires, d'ores et déjà disposés à apporter leurs concours, d'agir de manière efficace.

# INTRODUCTION

## A. RAPPEL DES OBJECTIFS DE L'ETUDE ET DE LA MISSION D'URBA 2000

L'étude confiée par le Ministère de l'Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer (DRAST) à URBA 2000 sur le Dirigeable Gros Porteur (DGP) porte sur les questions suivantes :

### I. Définition d'un programme d'études et de recherches

Le lancement d'un programme pour un DGP implique l'examen de divers chapitres :

- besoins exprimés des utilisateurs potentiels,
- fonctions techniques à assurer, correction éventuelle des besoins,
- revue des solutions anciennes et propositions techniques existantes (publications, brevets...),
- examen de ces solutions et de leur adéquation aux besoins,
- faisceau de solutions, constituant un concept général préalable,
- compétences scientifiques, technologiques et industrielles à mobiliser pour assurer la faisabilité,
- aspects expérimentaux : matériaux, maquettes...,
- évaluation préliminaire de rentabilité du concept, à la taille du DGP,
- définitions des appareils intermédiaires, pour valider le concept et procurer leur propre rentabilité,
- aspects d'accompagnement : terrains, hangars, réglementation, formation, industrialisation...

Le présent rapport vise à définir les actions à mener dans une première étape de 18 mois.

Cette première étape devrait aboutir à une esquisse générale du projet et, si possible à l'avant-projet d'un premier appareil démonstrateur de la faisabilité des fonctions essentielles, dont la taille est à déterminer. Il n'est pas à exclure que la construction d'un premier appareil, de petite taille, puisse être déjà entreprise.

### II. Propositions de recommandations en matière d'organisation des phases ultérieures

Le schéma d'organisation doit reposer sur l'identification d'un réseau de compétences et sur la mise en place d'un dispositif de gestion du programme d'études et de recherches.

## **B. RAPPEL DES TRAVAUX ANTERIEURS**

De multiples études et propositions ont vu le jour depuis des dizaines d'années, dont, en France, divers projets parfois très "exotiques". Malgré diverses demandes, il n'a pas été possible de réunir une instance de critique et de sélection pouvant recommander à la puissance publique une action motivée.

### **I. L'étude scientifique et technique**

En 2002 et 2003 cependant, à la demande de la Délégation Générale pour l'Armement (DGA), l'ONERA a réalisé une étude sur la faisabilité et l'intérêt opérationnel des dirigeables de transport à capacité d'emport élevée. Les critères étaient notamment le transport d'une masse de 200 tonnes, de dimensions pouvant atteindre 50x10x10m, avec emport et dépose sur des espaces aussi réduits que possible.

L'ONERA a examiné six projets: Cargolifter, Skycat, AVEA, First, Liftium-1 (cale sous enveloppe) et Liftium-2 (hélicoptère allégé). Dans la partie non-confidentielle de son rapport, l'ONERA n'exprime pas d'avis technique sur les projets, ne retenant que les performances annoncées par les concepteurs. URBA 2000 n'a pas eu accès à la partie de l'étude relative aux besoins des armées remise à la DGA.

L'ONERA a remarqué que les structures industrielles pour réaliser les appareils proposés n'existaient pas encore. Pour permettre un développement, l'ONERA propose une fédération des différents projets, et un partenariat entre des organismes de recherche et des industriels reconnus.

### **II. L'étude socio-économique**

Le marché potentiel du dirigeable a été étudié par l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) et le cabinet Vox Populi.

Ils dressent le constat que le marché des charges lourdes et volumineuses connaît aujourd'hui une croissance supérieure à celle des autres marchandises. Ce constat résulte, d'une part, de l'analyse quantitative et qualitative des demandes d'autorisations de transport exceptionnels, et, d'autre part, d'entretiens avec des entreprises qui, unanimement, ont fait part de leur regret de ne pas pouvoir « faire davantage » en usine.

Le dirigeable gros porteur serait un moyen de transport apprécié, tout particulièrement parce qu'il apparaît pouvoir limiter les ruptures de charges et éviter les opérations amont et aval au transport (emballage, manutention, assemblage sur site...).

En outre, pouvoir fabriquer intégralement les produits en usine et les acheminer vers leurs lieux d'utilisation grâce à un engin de transport n'ayant pas les mêmes limites de taille et de poids que les autres, réduirait les délais de fourniture, les coûts, et améliorerait la qualité.

Néanmoins, les entreprises mettent l'accent sur les changements dans les méthodes de fabrication qu'engendreraient ces nouvelles possibilités de transport, et soulignent



que les avantages économiques n'apparaîtraient que progressivement. Elles souhaitent pouvoir mesurer les conséquences de leur dépendance vis-à-vis de ce nouveau moyen de transport et avoir une confiance totale dans celui-ci.

## **C. PRESENTATION DU RAPPORT D'ETUDE**

L'étude a été réalisée en partant des résultats des travaux qui viennent d'être succinctement rappelés et qui ont été considérés comme un acquis.

Le rapport qui suit est divisé en trois grandes parties :

- Une première partie qui traite des préalables au développement du dirigeable gros porteur : le but de cette partie est, à partir des caractéristiques des produits transportés et de leurs contraintes d'utilisation, de déduire les performances et les fonctionnalités que devra avoir le DGP.
- Une seconde partie qui décrit la situation et traite des problèmes à résoudre et des compétences requises. Elle permet, en particulier, d'apporter des réponses sur la constitution du futur « réseau scientifique » ou « réseau de compétences » prévu dans le cahier des charges de l'étude.
- La troisième partie qui porte sur le programme d'étude et de recherches qu'il est nécessaire de lancer et d'évaluer avant la fabrication et l'exploitation de dirigeables gros porteur. Logiquement, elle est la conséquence des conclusions recueillies dans les deux autres parties et constitue le point de départ à partir duquel la phase de recherche développement proprement dite pourra être engagée.



## **PREMIERE PARTIE :**

---

### **Préalables au développement du dirigeable gros porteur**

## **A. PERFORMANCES TECHNIQUES ATTENDUES DU DGP**

### **I. Méthodologie**

En phase amont, des entretiens avec une centaine d'entreprises, représentant les transporteurs et les producteurs de charges lourdes et/ou encombrantes, ont permis de mieux cerner le marché sur lequel le DGP pourrait se placer.

Durant l'étude, certains de ces contacts ont été approfondis pour identifier de manière plus précise les caractéristiques des produits à transporter et les contraintes pesant pendant leur transport.

Les entreprises retenues, une vingtaine environ, sont celles qui fabriquent des pièces ou des ensembles industriels d'un poids ou d'un volume unitaire très important et qui, par ailleurs, semblent être en mesure de faire appel au dirigeable par simple changement du mode de transport, sans qu'il soit nécessaire de modifier substantiellement les méthodes de production.

Afin de réunir des informations homogènes et plus faciles à analyser, les entretiens ont été faits à l'aide de questionnaires fermés ne laissant pas de place aux considérations personnelles des personnes interrogées. Cette méthode a permis d'avoir une vue concrète et claire des transports à assurer et donc des critères de performance du DGP<sup>(1)</sup>.

### **II. Performances attendues et modes d'utilisation souhaités**

Dans divers cas, les préoccupations des utilisateurs trouvent une réponse aisée, au moins qualitative, qui a été indiquée.

#### **1. Cadrage général**

Une étude de marché sur le DGP a été conduite à l'initiative du PREDIT en 2002.

Elle a mis en évidence le fait que le marché le plus prometteur pour le dirigeable est celui des charges indivisibles et très lourdes que les moyens de transport actuels ne peuvent pas déplacer.

La conception des produits prend en compte les limitations de poids et de taille imposées par les infrastructures de transport. Passer outre entraîne, en effet, la fabrication des produits sur leur site de fonctionnement ou la modification des infrastructures (cas de l'Airbus A380).

---

<sup>(1)</sup> Cette étude a été réalisée, pour le compte d'URBA 2000, par la société Vox Populi. Le rapport d'études détaillé est reproduit en annexe.

Les coûts font que ce marché, qui est le plus rentable, est aujourd'hui très étroit. Pour que ce marché existe à grande échelle, il faudrait que les entreprises modifient les produits et leurs modes de fabrication, ce qui suppose une confiance totale dans le dirigeable qui serait devenu un objet d'usage courant.

Le marché qui, en revanche, semble pouvoir être atteint est celui des produits que l'on fabrique actuellement, mais qui posent des problèmes importants pour leur transport.

A la différence du marché précédent qui est nouveau, et qui vise des opérations très exceptionnelles, le dirigeable devrait pouvoir se placer aisément sur le marché des charges lourdes. Les entreprises n'auraient pas en effet à modifier leurs processus de fabrication ni à procéder à des investissements spécifiques pour l'utilisation du dirigeable (ex : toits ouvrants dans les usines, déplacement des câbles aériens...).

En outre, le problème du niveau de dépendance vis-à-vis du fournisseur – qui serait très forte si le dirigeable était le seul mode de transport possible – serait, sur ce marché, nulle, le retour aux moyens conventionnels de transport étant à tout moment possible. Le recours au DGP se ferait donc uniquement sur critères techniques et économiques.

## **2. Performances attendues**

### **2.1. Charge utile**

Avec les moyens actuels, toute charge de plus de 200 tonnes ne peut être transportée. En deçà, les entreprises estiment que les moyens actuels apportent une réponse, même si elle est coûteuse et inconfortable.

Il est souligné que les charges à transporter sont de plus en plus lourdes. Cette progression existe depuis plusieurs années et devrait rester constante. Les performances observées chez les constructeurs et transporteurs pour faire mieux (camions « mille pattes », surbaissés, études de trajets...) en témoignent.

Il apparaît, par ailleurs, que l'essentiel du marché des charges lourdes n'est pas récurrent. Il est en effet lié à des opérations d'investissement des entreprises, ou, dans le champ humanitaire, à des opérations non prévisibles et non permanentes (inondations, incendies, guerres civiles).

Dans certains domaines d'utilisation, il n'est pas toutefois souhaité une trop forte augmentation des capacités d'emport. C'est le cas, en particulier, des utilisations humanitaires où un accroissement poserait des problèmes de gardiennage des aires de stockage, de pillage, de sécurité du personnel, de coût...

### **2.2. Volume**

L'objectif des entreprises est de ne plus avoir à faire d'opérations d'assemblage des produits, du fait de leurs dimensions, sur leurs sites de fonctionnement. Aussi, les volumes des charges sont-ils importants.

Il n'est pas toutefois possible de donner ici un chiffre car il est toujours possible d'aller au-delà du maximum en modifiant les infrastructures.

### **2.3. Vitesse**

Le temps du déplacement lui-même n'est qu'un élément du temps de déplacement total et la vitesse doit donc être relativisée. Les opérations amont et aval liées au transport, en particulier le démontage et remontage des produits, ont généralement une influence majeure.

La date de livraison apparaît en revanche comme devant être respectée. Les entreprises établissent en effet des calendriers pour la production des pièces ou ensembles lourds et de grandes dimensions. Ceux-ci sont fixés avant le démarrage de la fabrication, et, tout retard, à tout moment, se répercute sur l'ensemble de la chaîne de production. Les effets de cette répercussion sont encore plus sensibles avec les nouvelles méthodes d'organisation de la production des entreprises (flux tendus, just in time, identification du client au dernier moment, stock zéro...).

Par ailleurs, des aléas météorologiques peuvent empêcher l'approche des dirigeables des lieux où ils doivent prendre ou déposer les charges. Une marge de délai devra donc être prévue pour faire face à ces problèmes.

### **2.4. Distances à parcourir**

Les distances à parcourir sont importantes (elles peuvent dépasser 10 000 kms). Bien que les usines produisant des charges importantes aient pris en compte le problème du transport dans leur localisation (sur une voie d'eau, un port, desserte ferrée...), il est rare que les trajets puissent être effectués par un seul moyen de transport. Les rives du Rhin ont la plus forte concentration européenne d'usines spécialisées dans l'industrie lourde mais, sauf hasard, les produits qui y sont fabriqués sont livrés n'importe où. Ceci explique que le plus souvent les trajets s'effectuent par le Rhin jusqu'à Rotterdam où la mer prendra le relais.

Deux motifs semblent expliquer cette caractéristique des distances:

- Le marché du transport de charges lourdes correspond, tout d'abord, à la demande de pays comme la Chine ou l'Inde qui se dotent des infrastructures de production de base nécessaires à leur industrialisation (génie civil, matériel minier, énergétique...). Ces infrastructures sont majoritairement réalisées dans les pays développés.
- par ailleurs, les transports de charges lourdes et/ou indivisibles ont souvent pour cause le renouvellement ou l'accroissement par les entreprises de leur outil de production. Ces opérations ont donc un caractère exceptionnel ; aussi, les entreprises acceptent-elles d'aller un peu plus loin et d'attendre quelques jours pour avoir le matériel le plus performant.

## **2.5. Précision d'emport et de dépose**

Deux types de demandes des entreprises ont été enregistrées :

- le plus souvent, la précision demandée est sommaire car un travail sur le terrain doit être fait pour placer le produit dans sa position définitive. Un simple transfert du moyen de transport vers le lieu de l'installation est suffisant. Le dirigeable est soumis à la même obligation que les autres modes de transport : faire le déchargement sur le site sans grande précision, un travail distinct de mise en place devant être réalisé ;

- dans d'autres cas, le déchargement se fait par une grue qui transfère directement la pièce de la benne ou du wagon vers son lieu d'installation (c'est le cas en particulier dans le BTP).

Le dirigeable devra alors avoir la même précision que la grue : le ½ centimètre.

Pour y parvenir, il conviendra d'examiner la possibilité d'offrir au dirigeable des systèmes d'assistance au sol de guidage des charges.

## **2.6. Lieux d'intervention**

Les lieux de départ ou d'arrivée peuvent être très divers mais, dans la plupart des cas, il s'agit d'usines qui sont, souvent entourées d'obstacles. Sauf exception, le dirigeable, du fait de ses dimensions et de celles des charges transportées, ne pourra pas se poser.

Ceci élimine du marché des charges lourdes les engins qui doivent se poser et ceux qui fonctionnent par portance dynamique. La possibilité de disposer d'une piste sur les lieux sera également tout à fait exceptionnelle.

Bien sûr, il sera toujours possible pour ces engins d'utiliser un terrain voisin, mais l'inconvénient sera alors l'introduction d'une rupture de charge.

Par ailleurs, les cas examinés conduisent à considérer que souvent le dirigeable devra trouver une solution par ses propres moyens pour conserver une masse constante (absence d'eau, présence de population, problèmes de sécurité...).

## **2.7. Conditions atmosphériques et altitude**

Sauf équipements spéciaux, un froid extrême apparaît incompatible avec le transport de plusieurs types de charges.

Il en va de même pour l'humidité, la pluie, la neige, la glace et, dans un petit nombre de cas, de la pression. Il est généralement souhaité que les conditions atmosphériques du transport soient proches de celles qu'aura la charge sur son site de fonctionnement et une altitude ne dépassant pas 1 000 mètres semble raisonnable.

Ces souhaits sont le plus souvent en harmonie avec les nécessités opérationnelles du dirigeable lui-même. En effet, l'accumulation de l'eau, de la neige ou de la glace l'alourdiront inutilement. En outre, les altitudes élevées diminuent les capacités de portage.

## **2.8. Sécurité**

Bien entendu les chocs, les chutes et tout événement pouvant altérer les charges, sont exclus.

Les détériorations par roulis et tangages ont été évoquées pour certains produits. En réalité, si l'on doit prévoir par sécurité de fortes incidences de tangage, il ne peut s'agir de mouvements violents comme sur les bateaux.

La sécurité ne touche pas que le dirigeable, mais toute la chaîne du transport dont, en particulier, le levage et la manutention. Le DGP devra donc être un engin sûr non seulement pour le transport, mais aussi la prise et le dépôt de charges.

Les entreprises questionnées soulignent que ce point est essentiel, les produits transportés étant coûteux et leur fabrication. ayant demandé beaucoup de temps.

Une confiance totale dans la chaîne de transport est demandée.

## **2.9. Autres critères**

Les entreprises pouvant utiliser le dirigeable ont également évoqué des points qui portent moins sur les performances attendues de l'engin lui-même que sur ses modalités d'exploitation, et donc la réglementation :

- jours et heures d'exploitation possibles,
- possibilité de survol des zones urbaines,
- possibilité d'emport et de dépôt de charges dans ces mêmes zones,
- interventions directes dans les ports et les zones aéroportuaires.

## **III. Secteurs d'activité concernés par l'utilisation du dirigeable gros porteur**

Comme indiqué ci-dessus, l'enquête n'a porté que sur le marché des charges que l'on fabrique actuellement et qui sont transportées dans des conditions malcommodes et coûteuses.

Il n'a donc pas été tenu compte du marché qui, pour être atteint, supposerait une modification substantielle des méthodes de fabrication des entreprises, ni de celui des charges de poids et de volumes modestes pour lesquels les moyens de transport utilisés actuellement offrent des réponses satisfaisantes.

Dans ce contexte, les principaux produits pour lesquels le dirigeable pourrait apporter une bonne réponse sont les suivants :

### **1. Les unités de production d'énergie**

Les pièces à transporter sont volumineuses et lourdes surtout s'il s'agit d'équiper des sites nucléaires.

Elles sont le plus souvent fabriquées dans des usines « pieds dans l'eau » ; où elles sont acheminées puis testées et rodées. Les ensembles sont ensuite démontés pour être transportés. Parvenues sur leur site de fonctionnement, les pièces vont être une seconde fois assemblées, testées et rodées.

Les poids moyens sont de l'ordre de 200 à 500 tonnes. Le maximum rencontré est une pièce d'ITER pesant 700 tonnes. Celle-ci n'étant pas divisible, si la candidature de Cadarache était retenue, les infrastructures routières devraient être modifiées.

## **2. Les usines clefs en main**

Une grande partie des mises en place se font au Moyen-Orient et touchent à l'extraction et à la transformation du pétrole. Les méthodes utilisées sont voisines de celles utilisées pour la production d'énergie. Il semble toutefois que la part d'assemblage sur site soit encore plus importante.

Les noyaux central des usines ont un poids de 250 à 300 tonnes et sont donc intransportables sans division.

## **3. Les unités off shore**

Leur construction nécessite des transports de charges d'une masse considérable : de l'ordre de 5 000 tonnes, les pièces les plus lourdes pouvant aller jusqu'à 1 000 tonnes. Les distances à parcourir vont de 100 à 2 000 km.

Aujourd'hui, les pièces des plateformes sont acheminées en éléments vers des ports. Puis, après assemblage, les plateformes sont tirées par câble par navire du port jusqu'à leur lieu d'installation.

Le transport par dirigeable gros porteur sera soumis à des contraintes similaires à celles des navires notamment en ce qui concerne les conditions météorologiques et la précision.

## **4. Les équipements miniers et d'extraction**

Les excavateurs, trieurs, ponts-roulants...ont des poids d'environ 100 tonnes. Les volumes sont très grands et le transport est fait par éléments pour un assemblage sur site.

Les distances à parcourir oscillent entre 1 000 et 3 000 km.

Les contraintes de précision sont moins strictes que pour les charges précédentes. Les chargements se font généralement dans les ports et la possibilité d'un engin se posant sur les quais peut être examinée, mais cette possibilité serait exceptionnelle. Les déchargements ont généralement lieu dans des zones non urbanisées et l'examen d'un travail au sol peut être fait, mais, en règle générale, les cas où le DGP pourra se poser seront exceptionnels.



## 5. Les composants préfabriqués de bateaux

Pour des raisons de rentabilité et de spécificité des métiers, les composants des bateaux sont réalisés dans des lieux différents. Ceux-ci peuvent peser plusieurs centaines de tonnes (fréquemment plus de 500) et les déplacer peut, dès lors, poser des problèmes très difficiles, même dans un port où les questions de l'accès et des outils de manipulation des charges ne se posent pas. Les distances à parcourir sont faibles.

La précision souhaitée n'est pas extrême, la mise en place se faisant actuellement par un travail sur le bateau.

Comme pour les équipements miniers et d'extraction, la possibilité de se poser pourra parfois être examinée, mais dans la plupart des cas, le dirigeable devra poser les charges en vol stationnaire vertical.

## 6. Les composants d'avions

Les modules composant les avions (fuselage, voilure, réacteurs...) sont fabriqués par différentes entreprises dispersées géographiquement. Pour les gros porteurs, les poids sont très élevés.

### 6.1. Le cas de l'AIRBUS A 380

Il a mis en évidence le problème du transport dans l'aéronautique.

Les usines fabricant les composants sont localisées en Grande-Bretagne, en Espagne, en Allemagne et en France (Saint-Nazaire et Blagnac où se fait l'assemblage et où tous les composants doivent donc être acheminés). La solution retenue a été la route. Les inconvénients sont : le coût du transport qui est très élevé, particulièrement si on inclut les travaux faits sur les infrastructures, et les populations concernées, qui ne vivent pas pleinement le succès scientifique et technique que représente ce géant des airs.

AIRBUS Industrie aurait souhaité, pour mieux organiser sa production, pouvoir acheminer des pièces d'un volume et d'un poids encore plus importants (le composant le plus lourd aurait dépassé 350 tonnes). Cela étant impossible, la société a été contrainte d'y renoncer.

AIRBUS a examiné l'utilisation du dirigeable – lorsque celui-ci existera – pour porter les composants du A380.

Les conditions posées pour l'utiliser sont, bien sûr :

- la possibilité de pouvoir porter la charge, si possible d'un volume plus important, comme indiqué ci-dessus,
- la certitude que les délais de livraison seront respectés (du fait de la longueur de la chaîne de production et de la gestion en flux tendus),
- la certitude que les produits transportés ne courent aucun risque.

## 6.2. Les autres avions

Pour les autres avions, les tonnages vont jusqu'à 250 tonnes et les distances sont généralement comprises entre 2 000 et 6 000 km. La mise en place exige une précision absolue qu'aucun moyen de transport ne peut offrir. Dès lors, il suffit de poser la charge sur le lieu où se fera l'assemblage.

## 7. L'aérospatial

Le problème posé par les lanceurs de satellites est moins leur poids que leurs dimensions. A titre d'exemple, a été analysé les transports d'ARIANE ESPACE des Mureaux à Kourou.

Les ruptures de charges sont nombreuses :

- la route est utilisée pour le trajet les Mureaux Flins,
- la descente de la Seine se fait par barges jusqu'au Havre,
- la traversée maritime fait appel à un navire roulier.

Les navires rouliers qui utilisent ARIANE ESPACE pour acheminer ses fusées de ses usines européennes vers la Guyane, ont un hangar de 115 mètres de longueur, de 17 mètres de largeur et d'une hauteur de 8 mètres. Ils permettent de faire un transbordement horizontal des étages du lanceur. Afin d'atteindre Kourou, ils ont été conçus pour pouvoir naviguer et accoster en eaux peu profondes.

Ces navires ne peuvent effectuer qu'un nombre limité de rotations par an. L'accroissement des demandes de lancement de satellites conduit donc parallèlement à augmenter la flotte.

## 8. Les composants des infrastructures routières et autoroutières

Ces composants sont très lourds. Aussi n'est fait en usine que ce qui ne peut pas être fait sur place. Pour les ouvrages importants, une « usine foraine » est fréquemment installée.

Bouygues a fait deux simulations de l'utilisation du dirigeable : l'une pour le Stade de France et l'autre pour le viaduc de Millau.

Il est apparu que ces deux ouvrages auraient pu être réalisés mais beaucoup plus vite et pour un coût très inférieur. Ces baisses auraient été encore plus importantes avec une conception différente qui aurait été rendue possible si les contraintes de poids et de dimensions n'avaient pas été les mêmes.

Les charges auraient été de 250 à 500 tonnes, pour les composants courants ; les distances de quelques dizaines à quelques centaines de kilomètres ; la précision celle de la grue, l'engin devant se tenir immobile au dessus du lieu de déchargement.

## IV. Tableau de synthèse : Critères de performances par types de produits

## 1. Présentation

Le tableau de la page suivante reprend, en horizontale, les critères de performance attendues analysés en première partie (point A.II.2.) et, en verticale, les secteurs d'activité analysés en première partie (point A.III.1.).

Il convient de rappeler que les critères de performance qui seraient attendus d'un transport par DGP permettraient, tout particulièrement, d'éviter le sectionnement des produits et les opérations de désassemblage et d'assemblage qui en résultent.

Tableau page 19 et commentaires page 20

TYPES DE PRODUITS	CRITERES								
	Poids	Volume	Vitesse	Distance	Précision	Lieu de Prise	Lieu de dépôt	conditions atmosphériques	sécurité
Unités off shore	500 t	Excède les possibilités des infrastructures	Sans importance	100 à 2 000 km	Moyenne	Pas de possibilité au sol	Pas de possibilité au sol	Mer très calme	Normale
Unités de Production d'énergie	200 t	500 m <sup>3</sup>	Moyenne	500 à 10 000 km	Grande	Pas de possibilités au sol	Possibilités au sol rares	Normales	Normale
Usines clefs en main	250 t	1 000 m <sup>3</sup>	Moyenne	5 000 à 10 000 km	Grande	Pas de possibilités au sol	Rarement au sol	Normales	Renforcée (fragilité)
Equipements miniers et d'extraction	100 t	500 m <sup>3</sup>	Moyenne	1 000 à 2 000 km	Non essentielle	Possibilités au sol rares	Possibilités au sol rares	Normales	Normale
Composants de bateaux	500 t	500 m <sup>3</sup>	Sans importance	Faibles	Grande	Peu de Possibilités au sol	Pas de Possibilités au sol au sol	Normales	Normale
Composants d'avions	250 t	Grandes dimensions	Moyenne	2 000 à 6 000 km	Non essentielle	Possibilités au sol rares	Possibilités au sol rares	Bonnes	renforcée (fragilité)
Aérospatiale	50 t	1 000 m <sup>3</sup>	Moyenne	6 000 km	Non essentielle	Pas de possibilité au sol	Possibilité au sol	Bonnes	Renforcée (fragilité)
Composants des infrastructures routières et autoroutières	250 t	Grandes dimensions	Moyenne	Faibles à 1 000 km	Forte (grue)	Possibilités au sol rares	Possibilités au sol rares	Normales	Normale

## 2. Commentaires

Le tableau de la page précédente conduit aux conclusions suivantes :

- l'intérêt du DGP pour des charges lourdes et encombrantes se fait jour à partir de 50 tonnes et d'un encombrement de 500 m<sup>3</sup> ;
- la vitesse n'apparaît pas comme un critère décisionnel, le respect de la date de livraison est beaucoup plus important ;
- les distances à parcourir sont très variables : quelques kilomètres à 10 000 Km ;
- la précision demandée est également variable.
- dans le cas le plus courant, il est indiqué que la mise en place exige beaucoup de précision et qu'un travail sur le site doit être fait. Le simple déchargement étant insuffisant pour l'assurer, il est simplement demandé un dépôt sur le site.
- dans le BTP, la précision demandée est forte : 0.5cm, identique à la grue.
- à l'exception de quelques rares possibilités éventuelles, qui en outre ne portent pas sur une famille de produits, mais sur des opérations ponctuelles, les opérations de chargement et de déchargement ne pourront pas se faire avec le dirigeable au sol du fait de ses dimensions. Celui-ci devra donc opérer comme une grue ;
- les conditions atmosphériques ne sont pas considérées a priori comme un critère essentiel, mais, du fait de l'importance de la date de livraison, le plus souvent soulignée, elles le sont dans les faits ;
- la sécurité est fondamentale et ne s'apprécie pas seulement du point de vue de la chute ou du choc du produit ;
- à l'exception du matériel minier et d'extraction, les charges relatives aux autres types de produits devront progresser en taille et en poids rapidement.

## 3. Conséquences des critères de performance sur les fonctionnalités du dirigeable

Ils constituent l'amorce d'un volet technico-opérationnel qui permettra de définir, ou d'évaluer lorsque ce sont des projets, les caractéristiques idéales du DGP.

Le plan de développement qui en résultera devra permettre de répondre prioritairement aux segments de marché présentant un avenir commercial, et ainsi de limiter les besoins en financement.

Le comité de pilotage technique et scientifique (cf. Partie III, A.I.) pourra utiliser ces critères de performance, tout d'abord pour voir, en l'état actuel des possibilités techniques, lesquels d'entre eux peuvent être satisfaits, et en second lieu pour participer à la définition des actions qui permettront de progresser vers le DGP couvrant l'ensemble des besoins.

Il sera également un outil au profit des chercheurs afin qu'ils puissent situer leurs idées et mieux les formaliser

## B. LES CONDITIONS JURIDIQUES ET INSTITUTIONNELLES

### I. La réglementation aérienne

Au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, alors que l'avion prenait une place très importante sur les plans social, technique et économique, le dirigeable disparaissait, et, très vite n'a plus subsisté dans les mémoires que le souvenir d'un engin du passé. C'est précisément à cette époque que sont apparus tous les textes réglementaires relatifs à l'aéronautique (le document cadre – la convention de Chicago – date de décembre 1944). Le dirigeable n'y est pas spécifiquement pris en compte.

L'existence d'une réglementation spécifique est-elle un préalable au développement du dirigeable ? Nous le pensions lorsque cette étude a été proposée, nous apportons aujourd'hui une réponse plus nuancée.

*Comment fonctionne le processus général ?*

La Convention de Chicago prévoit des normes minimales visant à assurer la sécurité de l'aviation civile ainsi que la protection de l'environnement. Cette Convention est complétée par des réglementations nationales et des accords entre Etats.

Sur un plan opérationnel, les produits, pièces et équipements aéronautiques doivent être certifiés. Ces certificats sont délivrés dès lors qu'il est constaté qu'ils satisfont aux exigences de navigabilité et de protection de l'environnement, figurant dans les spécifications de certification établies par les administrations compétentes des Etats.

En Europe, la situation évolue depuis le début des années 2000. Un Règlement N° 1592/2002 du Parlement européen et du Conseil du 15 juillet 2002 définit des règles communes dans le domaine de l'aviation civile et institue une Agence européenne de la sécurité aérienne<sup>1</sup>. Cette agence, depuis septembre 2003 a en charge les missions de spécifications et l'établissement des documents d'orientation. Au terme d'une période de transition de quarante-deux mois, elle procédera à des constats techniques et délivrera les certificats requis. Elle assiste la Commission dans le contrôle de l'application du règlement et des règles arrêtées pour sa mise en œuvre. Elle a enfin en charge les relations avec les Etats tiers.

Le champ d'application des règlements est très vaste. Il couvre en effet « la conception, la production, l'entretien et l'exploitation de pièces et d'équipements aéronautiques, ainsi qu'aux personnels et aux organismes participant à la conception, la production et l'entretien de ces produits, pièces et équipements ».

*Quelle est la situation en ce qui concerne le dirigeable ?*

La convention de Chicago et le règlement européen du 15 juillet 2002 – et les textes qui l'ont complété en 2003 – s'appliquent donc au dirigeable.

---

<sup>1</sup> La version anglaise de ce règlement est reproduite intégralement dans les annexes générales. La version française peut être téléchargée sur le site de l'Union Européenne (<http://www.europa.eu.int>)

La réglementation complémentaire spécifique au dirigeable est actuellement en cours d'élaboration à l'Agence européenne de sécurité aérienne.

Deux documents servent de base de travail : la réglementation germano – hollandaise et un rapport établi par le Département américain des transports (Airship Design Criteria). L'objectif est en effet non seulement l'établissement des spécifications de certification et des documents d'orientation européens, mais également de parvenir à des règles identiques avec celles des Etats – Unis.

La réglementation vise les dirigeables pendulaires et de transport. La définition adoptée pour ces derniers inclut tous les types de construction (souples, rigides et semi rigides) et les décollages et atterrissages en mode horizontal ou vertical.

*Une réglementation française, un préalable ?*

La réponse est non. L'évolution actuelle est de placer la compétence en la matière au niveau européen. Dès lors, et ceci est confirmé par la Direction Générale à l'Aviation Civile, il n'est pas utile d'engager une réflexion nationale.

On doit noter cependant que les spécifications de certification n'ont pas, aujourd'hui, un caractère réglementaire et qu'elles peuvent évoluer. En fait, ces spécifications accompagnent le développement industriel, et vice versa, elles évoluent en fonction des besoins engendrés par la création de nouveaux appareils.

## **II. La formation**

L'exploitation du dirigeable fait appel à deux types de métiers spécifiques : le pilotage et les techniques au sol pour les manœuvres d'approche, d'accostage et d'amarrage.

### **1. La formation au métier de pilote de dirigeable**

#### **1.1. La situation dans le monde**

La France n'a plus, depuis 1954, ni formation ni diplôme de pilote adaptés. Par conséquent, la possibilité de développer l'exploitation du dirigeable suppose de réfléchir, dans le contexte d'aujourd'hui, aux programmes de formation nécessaires et à leur organisation. Cette réflexion pourrait s'appuyer sur les apports des expériences étrangères.

En effet, les Etats-Unis, l'Allemagne, les Pays-Bas et la Grande-Bretagne délivrent des diplômes de pilote professionnel. Ceux-ci peuvent être validés en France au profit de leurs porteurs, mais seulement pour des missions et des durées déterminées.

Il n'existe par ailleurs qu'un seul centre de formation ouvert dans le monde. Il est situé aux Etats-Unis et ses cours sont extrêmement onéreux, non seulement du fait de sa position de monopole, mais également parce qu'il dispose d'un matériel coûteux qui doit se rentabiliser sur un marché étroit. La formation intéresse aujourd'hui essentiellement les entreprises qui fabriquent et utilisent des dirigeables et elle est orientée exclusivement vers la satisfaction de leurs besoins.

La formation étant absente, les seuls pilotes et techniciens disponibles sur le marché du travail sont ceux qui ont quitté l'entreprise qui avait assuré leur formation. Dès lors, il n'existe aujourd'hui qu'une cinquantaine de pilotes professionnels dans le monde, soit un nombre sensiblement équivalent à celui des engins.

Les Etats-Unis sont le pays qui possède le plus grand nombre de dirigeables. Ils disposent également de moyens de formation et délivrent un diplôme, mais au cours des quarante dernières années, pas plus de deux cents personnes y ont été formées.

A titre anecdotique, deux personnes de nationalité française seulement sont titulaires d'un diplôme de pilote de dirigeable !

## **1.2. La formation de pilote de dirigeable gros porteur**

Les pilotes actuels ont été formés au pilotage des engins de petite taille. Les engins plus grands, capables d'emporter des charges lourdes, disposeront non seulement d'équipements supplémentaires, mais feront appel à des techniques de vol très différentes du seul fait de leurs dimensions.

En sens contraire, les dirigeables futurs seront impérativement plus faciles à piloter que leurs aînés, du fait surtout de puissants rotors à effet vertical, intervenant dans le sens d'un allègement sur un engin naturellement lourd. Il sera possible de monter ou descendre sans pratiquement tenir compte des températures des masses d'air rencontrées à diverses altitudes. Par ailleurs, le pilotage sera aidé par un calculateur de vol, et la formation sera largement assurée par un simulateur. Les difficultés de la formation semblent donc pouvoir être résolues en faisant bénéficier le dirigeable des progrès techniques apparus depuis sa disparition.

Une formation spécifique, complétant la formation initiale de pilote d'avion, sera cependant nécessaire.

Cette remarque montre que l'aspect de la formation est à considérer comme un des éléments à prendre en compte dans le programme de développement du DGP.

## **2. La formation au métier de technicien au sol pour dirigeable**

Ce métier consiste à guider les engins dans leur approche du sol et à les amarrer au sol. Le rôle du chef d'équipe, qui doit agir en parfaite coordination avec le pilote et connaître les réactions des appareils, est fondamental.

La formation du chef d'équipe doit donc être complète et poussée. Il doit posséder les bases de ce que doit connaître un pilote et un savoir faire particulier à sa propre profession. Par ailleurs, tous les engins ayant des particularités, la formation du personnel au sol sera spécifique en fonction des aéronefs concernés.



Le travail des équipes elles-mêmes est dangereux à cause de la présence de cordes, d'hélices, ainsi que de mouvements qui ne peuvent pas être prévus précisément du fait des conditions météorologiques. Elles nécessitent donc une technicité particulière.

Au stade de la conception, on doit obtenir que l'appareil puisse décoller et surtout atterrir sans l'aide d'un personnel au sol, sauf lorsque des guidages supplémentaires sont indispensables pour un dépôt précis de la charge.



## **DEUXIEME PARTIE :**

---

### **Problèmes à résoudre et identification des compétences**

## A. PROBLEMES A RESOUDRE

### I. Les questions techniques

#### 1. Questions techniques générales

Sont énumérées ci-dessous les briques technologiques intervenant dans la conception et la fabrication du dirigeable.

Cette liste, établie par l'ONERA en septembre 2001, a été complétée par URBA 2000 avec la coopération de Monsieur Didier Costes.

- L'enveloppe
  - Etanchéité
  - Vieillesse : résistance aux intempéries et UV
  - Poids
  - Assemblage
  - Propriétés mécaniques : résistance à la déchirure, contrainte à la rupture
  - Tests et méthodes de fabrication
  
- La structure
  - Choix du type de dirigeable : rigide, semi-rigide, souple
  - Forme du dirigeable , performances en aérodynamisme et en stabilité
  - Efforts appliqués à la structure et déformations d'ensemble
  - Accrochage des gouvernes
  - Accrochage des moteurs
  - Charge en cale ou suspendue
  
- La motorisation
  - Définition des moteurs sustentateurs et propulseurs : performances en rendement, vitesse et autonomie
  - Energie
  - Calculs d'hélices
  
- Le gaz porteur
  - Choix entre les différents gaz
  - Ravitaillement
  
  - Epuration
  - Stockage externe
  - Variation des conditions de température et de pression suivant les changements extérieurs (soleil, nuit, pluie, givre)
  
- Le stationnement

- Campement
  - Amarrage
  - Ballastage
  - Transfert de charge et dynamique du vol
- Les commandes de vol
- Pilotage automatique avec charge au sol
  - Dispositifs de commandes (électronique, transmissions ..)
  - Qualité de vol (vitesse, attache sous vents variables...)
  - Instrumentation (radar de bord, positionnement par GPS, imagerie, infos météo ..)
- Les phénomènes extérieurs
- Electricité statique
  - Foudre
  - Turbulence
  - Givrage
  - Vent
- Les effets sur l'environnement
- Pollution
  - Consommation énergétique

## 2. Les questions techniques spécifiques au DGP

A la différence de la liste précédente, qui mentionne l'ensemble des techniques intervenant dans la conception et la fabrication du dirigeable, ce paragraphe évoque uniquement celles qui sont liées au gros porteur.

### 2.1. Structure et conception de l'engin

#### *a. Approche en similitude*

Différentes formes de dirigeables sont envisageables et il convient d'effectuer un choix suivant les critères d'utilisation tout en ne négligeant pas les performances en stabilité, aérodynamisme, force ascensionnelle et efforts appliqués à la structure. Il y a donc lieu de conduire une réflexion approfondie et chiffrée sur les conséquences de chacun de ces choix.

L'approche en similitude, qui consiste à pouvoir extrapoler toute solution aux grands volumes à partir de maquettes et de prototypes de taille réduite, devrait pouvoir ainsi limiter les risques techniques et financiers.

La forme du dirigeable est maintenue par une pression de gaz suffisante à l'intérieur de l'enveloppe. Pour un dirigeable souple, la similitude impose des pressions de gonflage proportionnelles aux dimensions, ce qui impose, de ce fait, des contraintes plus

importantes (cf. enveloppe au chapitre suivant) et une limite de taille en fonction du matériau choisi, comme ce serait le cas pour des dirigeables rigides.

### ***b. Gestion des variations de pression***

La pression varie en fonction de l'altitude et des conditions climatiques du moment. Afin d'éviter des tensions trop importantes dans l'enveloppe, il est nécessaire de respecter en toutes circonstances une différence de pression faible entre l'intérieur et l'extérieur de l'enveloppe. Pour y parvenir, des ballonnets d'air situés dans l'enveloppe assurent la compensation des variations de volume du gaz porteur.

La montée crée une situation où les ballonnets doivent expulser un débit d'air considérable pour permettre l'expansion du gaz porteur, à pression constante. Par exemple, un dirigeable qui contient  $5000 \text{ m}^3$  de gaz porteur, et qui monte après décollage à  $10 \text{ m/s}$ , doit expulser plus de  $6 \text{ m}^3$  d'air par seconde. Ce débit important nécessite des soupapes de bon diamètre et des extracteurs relativement puissants.

A la descente, le problème inverse se pose, mais il est plus aigu. Le système de gonflement des ballonnets doit assurer le même débit que ci-dessus, mais en sens inverse. La demande d'énergie est plus élevée, car la contre-pression est plus importante.

En pratique, les dirigeables sont limités en vitesse verticale par les performances de leur système de pressurisation de l'air dans les ballonnets.

### ***c. Etude aérodynamique et forme de l'engin***

L'étude aérodynamique d'un dirigeable de grande taille doit tenir compte des déformations de l'enveloppe, notamment pour les dirigeables souples. On a utilisé jusqu'ici, pour les grands appareils ( $20\ 000$  à  $220\ 000 \text{ m}^3$ ), des carcasses rigides entoilées contenant des ballonnets d'hélium. Ces structures rigides permettent au dirigeable de garder une forme aérodynamique correcte en cas de fuite d'hélium. Ces carcasses sont toutefois soumises à des contraintes locales pour lesquelles des études s'imposent.

### ***d. Les problèmes liés à la sécurité***

Pour des dirigeables atteignant  $42\ 000 \text{ m}^3$ , des enveloppes souples avec des liens internes et des ballonnets ont été utilisées avec succès.

Dans la pratique, le décollage se fait avec des ballonnets pleins et le gaz se dilate au fur et à mesure que le dirigeable monte. Lorsque les ballonnets sont vides, la machine vole à son plafond. Il s'agit d'une limite de sécurité car c'est l'éclatement de l'enveloppe qui est en jeu.

Une grande robustesse a été obtenue mais on peut toutefois se préoccuper de l'apparition de déchirures dans l'enveloppe au contact d'obstacles ou sous l'effet d'agressions. Il est possible d'enfermer dans l'enveloppe souple une structure triangulée capable de maintenir une forme générale et le support des moteurs et empennages, lors d'un dégonflage progressif.

Il est également possible de compartimenter l'enveloppe souple de telle manière qu'une certaine rigidité soit préservée lors d'un dégonflage accidentel.

### ***e. Instrumentation***

Le pilotage des dirigeables est aujourd'hui très complexe. Les paramètres permettant d'évaluer le bilan de flottabilité sont en effet très nombreux : thermodynamique des gaz, aérodynamique des faibles vitesses, interactions avec les propulseurs...

Les vitesses de variation de ces paramètres sont extrêmement dissemblables. Les ressources des calculateurs numériques permettent néanmoins aujourd'hui de s'attaquer à ce problème en présentant au pilote une information utilisable et fiable.

Il faut collecter les signaux de très nombreux capteurs et définir une interface pour le pilote.

## **2.2. L'enveloppe textile**

L'enveloppe est l'élément le plus important puisqu'elle contient le gaz porteur. Sa légère surpression par rapport au milieu environnant assure la forme aérodynamique de la carène. Autrefois composée de fibres naturelles, elle est faite aujourd'hui de matériaux synthétiques qui lui confèrent une meilleure résistance à la rupture et sont d'un poids plus léger. L'enveloppe doit répondre à un certain nombre de critères de qualité, à des tests et à des méthodes de fabrication bien précises.

Pour des raisons de sécurité, l'hélium est actuellement utilisé comme gaz porteur. Sa molécule est de très petite taille et a un pouvoir de diffusion élevé à travers les membranes de l'enveloppe. Pour diminuer les pertes, le facteur d'étanchéité est important.

### ***a. L'enveloppe souple ou rigide***

On a su très tôt assembler les grandes carcasses en bois ou en aluminium avec des **enveloppes rigides**, et l'on pouvait les revêtir de toiles légères, et les garnir de ballonnets légers à hydrogène. Lors de la guerre 14-18, on a pu mieux maîtriser les enveloppes souples. Dans la période 1918-1937, les grands rigides ont subi de nombreux accidents, surtout d'origine mécanique par fragilité dans le mauvais temps, et l'incendie du Hindenburg, de 190 000 m<sup>3</sup>, a déclenché leur désaffection.

Les **semi-rigides**, dotés d'une longue quille et d'une enveloppe compartimentée, ont été appréciés dans cette période (le Roma de 34000 m<sup>3</sup> en 1923, suivi du Norge, de l'Italia, et des vedettes militaires des années 30). On appelle maintenant semi-rigides des appareils comme le Zeppelin NT à enveloppe souple et charpente interne reliant la cabine, les moteurs et les empennages. Le remplissage en hélium, par le haut à partir de l'enveloppe gonflée à l'air, s'effectue en stratification naturelle, la couche mélangée étant ensuite épurée. On a veillé aux concentrations de contraintes dans les raccordements entre toile et charpente.

Les **souples**, notamment les "blimps" militaires dans la période 1940-1945 ont pu, par la qualité des toiles et de la fabrication, obtenir une grande fiabilité. Le plus grand a été

construit en 1962 avec un volume de 42 000 m<sup>3</sup>. Un projet, datant d'une dizaine d'années, portait sur un appareil de 80 000 m<sup>3</sup>.

Une enveloppe souple est plus facile à construire, dès lors que la technique de jonction est acquise, les assemblages de tissus s'effectuant à plat de manière très répétitive, sans nécessiter une grande hauteur de hangar. Les dirigeables souples fuselés ont donné lieu, jusqu'ici, à une conception semblable pour toutes les tailles : enveloppe unique, suspentes internes, ballonnets, etc...

L'étude des enveloppes souples peut s'effectuer en progression de taille, **dans une similitude** respectant pour les effets dynamiques l'étagement des pressions aérostatiques, comme dans le cas de la similitude de Froude habituellement prise en compte pour les carènes sur l'eau. Les comportements seront semblables pour deux enveloppes si les pressions de gonflage varient comme les longueurs, et les vitesses d'air comme la racine carrée des longueurs. Pour un rapport épaisseur/diamètre constant, la contrainte de tension dans la toile s'accroît comme les longueurs, et ce sont les propriétés des toiles disponibles qui limitent la taille. L'approche en similitude, par exemple avec une progression de 10 sur les volumes ou 2,15 sur les longueurs, correspond à des appareils dont chacun doit trouver une rentabilité et valider les options pour l'appareil suivant (exemple : 1000 m<sup>3</sup> de sport, observation et expérimentation, 10 000 m<sup>3</sup> de patrouille maritime et de tourisme, 100 000 m<sup>3</sup> de transport de charges...).

Il est à vérifier que les matériaux disponibles permettent d'obtenir des toiles satisfaisantes pour de très grandes dimensions. Une qualité essentielle est de résister à des déchirures amorcées de longueur importante. Les conditions d'étanchéité à long terme et de protection contre le rayonnement solaire paraissent résolues.

Le compartimentage du gaz porteur a été pratiqué pour les rigides et pour les anciens semi-rigides mais non jusqu'ici pour les souples. Les enveloppes souples peuvent cependant être compartimentées, par des voiles internes longitudinaux qui assurent en même temps la fonction de suspension de la nacelle collée sous l'enveloppe, et par d'éventuels voiles transversaux. Les compartiments formés peuvent être garnis de ballonnets souples d'hélium, avec des communications, si nécessaire fermées, pour l'air sous les ballonnets. Ils peuvent aussi être remplis d'hélium et contenir des ballonnets d'air. Ces ballonnets présentent aussi l'intérêt de permettre les renouvellements et purifications de gaz porteur, sans dégonflage global et donc en maintenant l'appareil en stationnement extérieur. Le compartimentage transversal permet encore de limiter le manque de gonflage qui apparaîtrait en partie basse dans un fort basculement en tangage, et ainsi de limiter la pression de gonflage.

L'hypothèse d'une grande perte de gaz peut encore être requise, malgré de telles précautions et bien que la chute au sol reste, a priori, assez lente. On peut obtenir que l'enveloppe en dégonflage garde longtemps une forme profilée permettant le pilotage vers un terrain de détresse. On garnit pour cela l'enveloppe, tout le long des sillons formés par les voiles internes, de baguettes de rigidité empêchant une cassure de forme par le milieu, telles les baguettes actuellement prévues seulement sur le nez de l'appareil pour éviter son enfoncement en cas de pression insuffisante.

La discussion reste ouverte, sur la possibilité d'adopter de très grandes enveloppes souples, a priori plus économiques et plus fiables que les enveloppes rigides. Celles-ci permettraient d'obtenir des formes un peu plus aérodynamiques, mais ceci n'a pas un réel

intérêt quand on transporte un grand objet extérieur. Elles seraient plus chères et probablement, comme le montre l'expérience du passé, plus sujettes aux accidents.

### ***b. Forme de l'enveloppe***

Elle peut être fuselée, sphérique, lenticulaire, catamaran, ou aile delta.

La forme fuselée, classique, procure à volume donné la plus faible résistance à l'avancement, l'allongement longueur/diamètre étant de l'ordre de 4,5. Les empennages peuvent être réduits grâce à un pilotage automatique en tangage et lacet. Ils peuvent être formés dans l'enveloppe grâce à des liens internes, par exemple en « fléchette » à trois ailes delta, afin d'éviter des concentrations de contraintes sur des parties rigides, et d'accroître la rigidité de l'arrière pour y implanter des moteurs.

Un projet voulait enfermer des réservoirs cylindriques verticaux dans une enveloppe générale ayant une section horizontale en goutte d'eau, fermée en haut et en bas par des structures planes.

La forme sphérique a été proposée nue, pour soulever des charges ensuite tirées par des moyens au sol ou des hélicoptères. Un projet l'a associée à de grandes pales radiales dotées de propulseurs en extrémités faisant tourner le tout, pour obtenir un hélicoptère allégé, apte à des manutentions locales. Un autre a présenté une sphère en rotation sur un axe horizontal, couplée à une structure externe pour obtenir des effets Magnus de circulation, propulsifs ou sustentateurs.

La forme lenticulaire a été proposée pour permettre un arrimage au sol indifférent au vent, et pour son esthétique. Elle nécessite une jante en structure rigide. Le vol était d'abord prévu selon un cap quelconque, avec une propulsion par des moteurs orientables disposés autour de la jante. Le projet est revenu à un appareil orienté, avec un empennage de profondeur et lacet sous l'arrière, devant donner une faible prise au vent pour l'appareil arrimé. La portance aérostatique est près du centre, comme le point de charge, tandis que la portance aérodynamique se trouve au quart de la longueur, avec en vitesse un effet déstabilisant. Cette forme a été proposée pour un grand appareil stratosphérique et pour un transporteur de fret, notamment une "rosière" russe avec un compartiment à air chaud, en lentille à forte épaisseur, faite de tissus résistants en température.

La forme catamaran comporte deux enveloppes fuselées parallèles et un volume intermédiaire, le but étant de procurer une grande portance aérodynamique tout en réduisant la longueur. La charge est fortement accrue quand on admet une mise en vitesse sur une piste ou un plan d'eau.

La forme en aile delta épaisse peut procurer un centre de portance aérostatique à peu près au milieu de la longueur et un centre de portance aérodynamique également au milieu, ce qui améliore la stabilité. Elle est obtenue en structure gonflée, avec des parois internes donnant des sillons en surface. Elle peut atteindre une grande largeur relative dans la mesure où l'on admet de la relier à la nacelle par des suspentes externes, qui assurent également le pilotage, à la manière des parapentes. L'aile peut être ramenée à plat sur le sol à côté de la nacelle et amarrée en offrant peu de prise au vent

Il semble que le choix pourrait se limiter entre les formes fuselées et en aile delta.



### **c. La composition de l'enveloppe**

Afin de garantir une efficacité maximale, les enveloppes sont constituées de plusieurs couches :

- la couche tissée, qui supporte les efforts et les contraintes ; elle est faite de matériaux comme le polyester (terylène, dacron), le polyamide (nylon) ou l'aramid (kevlar)
- la seconde couche, qui assure l'étanchéité de l'hélium. Elle est faite de néoprene, polyuréthane ou polyvinylfluoride (PVF).
- la dernière couche, qui protège contre les éléments atmosphériques. Elle fait appel au tedlar

A titre d'exemple, le ZEPPELIN LZ 107 de 8 000 m<sup>3</sup> dont la longueur est de 75 m, le diamètre de 13 mètres et qui est capable d'embarquer 20 passagers, a une enveloppe composée d'une couche de polyester (matériau déjà très éprouvé et de grande résistance) et d'un film de PVF (basse perméabilité à l'hélium, résistant aux intempéries et d'une durée de vie de 15 à 20 ans).

### **d. Les critères de qualité**

En fonction des couches, il est possible de caractériser les matériaux suivant des indicateurs physiques :

- l'unité de finesse de la fibre textile en kg/m qui caractérise la légèreté de l'enveloppe est exprimée en Tex (1 Tex correspond à 1 gramme de fil long de 1 000 mètres),
- la contrainte à la rupture  $\sigma$  en M Pa (1 bar = 101325 pascals).  $\sigma = F/S$  (en N par m<sup>2</sup>) Cette contrainte s'applique également aux assemblages et aux zones de contrainte,
- la résistance spécifique  $s = \sigma / \rho$  en N/Tex ou N.m/kg. Pour un dirigeable gros porteur, la tension tangentielle croît avec le volume et il est donc nécessaire de faire appel à des matériaux suffisamment résistants,
- l'étanchéité de l'enveloppe caractérisée par la perte d'hélium en litres/m<sup>2</sup> pour 24 heures selon la pression partielle d'hélium,
- l'adhésion du film (bon, moyen, faible),
- les allongements élastiques et de rupture,
- la sensibilité à la déchirure,
- le comportement face aux intempéries et au soleil (bon, moyen, excellent),
- la résistance à l'abrasion,
- la durée de vie en années selon l'exposition,
- les méthodes de jonction,
- le coût,
- les méthodes de fabrication et la certification.

L'assemblage des différentes parties de l'enveloppe peut être réalisé avec des bandes résistantes collées ou soudées. L'effort à la rupture ne doit pas se produire au niveau du joint mais au niveau de l'enveloppe stratifiée.

Il convient également d'étudier les caractéristiques des ballonnets dont le matériau devra être :

- étanche à l'hélium (éviter la diffusion de l'hélium vers l'air contenu dans le ballonnet),
- flexible et résistant à l'abrasion et aux plis répétés,
- de faible poids.

Bien que le niveau moyen des contraintes soit faible, les variations de volume entraînent des contraintes sur les raccords et il faut donc prévoir dans ces zones des renforts. Il est nécessaire d'éviter les frottements avec la surface de l'enveloppe.

### ***e. Les tests et les méthodes de fabrication***

Ceux-ci doivent respecter les prescriptions suivantes :

- La réalisation de l'enveloppe fait appel à un réel savoir-faire. Il faut donc s'assurer que l'équipe de production est correctement formée et utilise les tests et vérifications adéquats. L'assurance qualité est donnée après le contrôle des différentes phases de réalisation.
- Les méthodes de fabrication doivent être définies précisément pour garantir une grande qualité dans la réalisation de l'enveloppe. Sa résistance ne dépend pas seulement de celle des matériaux mais aussi de la conception et de la résistance des assemblages ainsi que des procédures de fabrication.
- La couche structurante doit être protégée par une excellente barrière contre les agressions de l'environnement (film PVF). Comme beaucoup d'autres tests, il n'existe pas de critères spécifiques, bons ou mauvais, mais seulement des comparaisons entre matériaux utilisés pour des productions identiques.
- Les caractéristiques de contraintes des matériaux doivent être respectées. Celles-ci sont liées au choix du textile. Cependant, comme les performances et le coût des matériaux doivent rester dans une certaine limite, des tests de qualification sont nécessaires afin de vérifier l'adéquation entre les critères économiques et les critères de qualité liés à la conformité des matériaux. Pour atteindre un bon niveau de performances, il convient de respecter et prendre en considération leurs spécifications. Les statistiques produites à la suite de tests permettent de minimiser la probabilité d'obtenir des défauts. Les tests sur l'enveloppe doivent être effectués et analysés à partir de plusieurs matériaux de manière à effectuer des comparaisons.
- Pour la navigabilité, il est recommandé de prendre un facteur de sécurité de quatre pour les matériaux de l'enveloppe. L'analyse de la fatigue sur les matériaux d'enveloppe souple n'est généralement pas menée comme sur les structures rigides. Du fait de ce manque de données et de méthodes

analytiques, il doit encore être fait appel à des recherche dans le domaine pour juger de l'acceptabilité des matériaux.

- L'enveloppe a aussi besoin d'être analysée pour les déchirures et les propagations de déchirures. L'altération du matériau est fonction des cycles de charge et de l'exposition aux conditions d'environnement. Les méthodes analytiques qui sont utilisées sur des dirigeables rigides ne peuvent s'appliquer à des dirigeables souples. Des tests de déchirure, alors que le matériau a déjà été endommagé, sont des méthodes de mesure qui permettent de juger de la capacité pour un matériau de résister aux déchirures.

### ***f. Le développement des matériaux et leur qualification***

Les spécifications ci-dessus sur les matériaux d'enveloppe et les exigences de certification aident à définir le développement des matériaux et les processus de qualification. Différentes exigences comme les performances, le prix, le risque et la durée de vie doivent être considérés.

Les matériaux sont un compromis entre :

- Une élasticité convenable vis à vis des déformations à prévoir,
- Une résistance à la rupture la plus grande et une masse la plus petite,
- Une force de déchirure maximale et un collage maximum,
- Une durée de vie des matériaux la plus longue et une plus grande simplicité de réparation,
- Un prix minimum pour tout.

Pour satisfaire à ces critères, un travail de développement et de tests a été réalisé. Il existe des tests normalisés et des méthodes de tests. Lorsque l'on fait appel à plusieurs matériaux, qu'on utilise différents types de tests, des conditions atmosphériques différentes..., les tests de qualification deviennent complexes.

## **2.3. Les rotors**

Les rotors sustentateurs permettent de majorer la charge par rapport à la portance aérostatique. Couplés à des moteurs pour l'orientation, ils procurent une excellente maniabilité et une prise d'ancrage aisée sans personnel au sol. Ils sont normalement stoppés pendant le vol de croisière en portance dynamique. Les durées entre révisions sont ainsi majorées. Un groupe moteur-rotor usuel peut soulever environ 8 fois son propre poids.

Les rotors peuvent basculer pour assurer la sustentation ou la propulsion, ou rester en axes fixes, verticaux et horizontaux. On peut alors optimiser les diamètres, de grande taille pour la sustentation, plus réduite pour la propulsion, l'air traversant le disque à plus grande vitesse.

Les grands diamètres ne permettent pas un basculement, dans la hauteur réduite entre l'enveloppe et le sol. En effet, on ne doit pas écarter outre mesure des rotors sustentateurs du plan médian de symétrie, en raison du déséquilibre qui surviendrait en cas de panne sur un rotor. Un dirigeable Piasecki à quatre rotors verticaux a donné lieu à

un basculement avec mort d'homme, après une panne de rotor. Un autre grave accident a frappé un hybride avion-hélicoptère Osprey lors d'une manœuvre où les rotors se trouvaient transitoirement à portance nulle, par recirculation imprévue de l'air ; dans le cas du dirigeable allégé par rotors, un tel accident paraît improbable. Il est prudent de prévoir des atterrisseurs empêchant, dans un mouvement de roulis, un contact des rotors avec le sol.

Les rotors propulseurs, dans le cas d'une enveloppe fuselée, peuvent se trouver de part et d'autre d'une longue nacelle sous l'enveloppe, à une certaine distance pour trouver une hauteur libre suffisante. Ils peuvent aussi être disposés sur l'arrière, et alors avec un diamètre optimisé et des effets d'orientation procurant une grande maniabilité. Sur le Zeppelin NT, des rotors basculants en hauteur, de diamètre relativement faible, sont fixés latéralement assez hauts en milieu de l'appareil, sur la structure interne de rigidité à travers l'enveloppe, et des rotors orienteurs en lacet et tangage sont disposés à l'arrière. Dans le cas de rotors orienteurs à l'avant, qui devraient mieux guider l'appareil, on doit éviter un recollement du jet sur la carène par le vent, annulant la force transversale.

## **2.4. La source d'énergie**

On utilisera des moteurs thermiques, puisque :

- Les panneaux solaires ne peuvent pas fournir une puissance suffisante et par ailleurs, ils sont coûteux et d'un poids trop élevé,
- la pile à combustible hydrogène est également très lourde, et l'hydrogène utilisé est dérivé du pétrole ou du gaz naturel, la filière donnant un faible gain global par rapport à la consommation directe de ces produits. Ceci pourra être revu lorsqu'on disposera d'une production d'énergie nucléaire et surtout lorsque l'emploi de l'hydrogène sera possible .

Le préalable à cette solution est bien-sûr que l'utilisation de l'hydrogène par les dirigeables soit autorisé.

Le meilleur carburant paraît être le gaz naturel, essentiellement composé de méthane, disponible sur de nombreux sites. Le méthane, qu'il est possible d'utiliser dans les ballonnets à l'intérieur de l'enveloppe, donne un effet porteur et sa consommation s'accompagne d'un lâcher d'eau de lestage, à moins qu'on choisisse un cocktail gaz + liquide sans effet sur la portance. Ceci permet d'accéder à de grandes autonomies sans avoir à condenser de l'eau à l'échappement, comme envisagé dans le cas des combustibles liquides.

## **2.5. Le transfert de charge lors des opérations de chargement / déchargement**

### ***a. L'atterrissage suivant le type de charge***

Une charge indivisible serait de préférence suspendue par des câbles, sous le milieu du fuseau pour permettre de maintenir le dirigeable face au vent. La phase d'approche au sol peut être réalisée grâce à des rotors à effet vertical.

Le dirigeable et sa charge seraient asservis à un système indiquant les variations de direction du vent (grâce à des anémomètres, disposés autour du dirigeable). Le pilotage en stationnaire est donc un enjeu majeur. La variabilité du vent oblige à concevoir des systèmes dits « actifs » faisant appel à des propulseurs et pas seulement à des gouvernes classiques

La phase de chargement/déchargement, pour une charge suspendue au milieu de la longueur, serait réalisée grâce à l'amarrage du dirigeable sur un mât ou en rotule, moyennant un pilotage automatique face au vent.

La charge à prendre ou à déposer au sol peut être environnée d'obstacles empêchant que le dirigeable, qui portera la charge par son milieu, descende à son contact.

On peut :

- surmonter la charge d'un pylône sur lequel le dirigeable s'attache en rotule,
- ou le joindre à la charge par une longue élingue, éventuellement un mouflage avec treuil,
- ou encore prendre la charge par une plate-forme intermédiaire, suspendue par des câbles et des treuils à une structure pivotante sous le dirigeable, lui permettant de rester face au vent et reliée le moment venu au sol par des câbles dont on règle les longueurs. Cette plate-forme, décrite dans un brevet Aérospatiale de 1978, a été reprise par divers projets. D'autres ne prennent en compte que les amarrages directs sous l'enveloppe. Dans tous les cas, l'emport et la dépose peuvent être précis, grâce à des liens de réglage établis avec le sol.

L'attache par rotule suppose que les obstacles ne sont pas trop proches et élevés. Ceci avait été vérifié dans les années 70 pour le cas du transport de composants nucléaires. Comme l'attache par une longue élingue, elle reste à étudier quant aux caractéristiques de vol de l'ensemble.

L'idée de la longue élingue a été reprise pour un hélicoptère allégé par un ballon captif à grande hauteur tenu par un câble. Ce ballon, en aile delta épaisse pour procurer une forte portance aérodynamique, ne porte que les gonfleurs de ballonnets. Il est gouverné par des actions sur des suspentes externes épanouissant le câble. L'hélicoptère, où se trouvent le poste de pilotage, les moteurs et rotors et les réservoirs de lestage, peut descendre dans un site exigu au contact de la charge et s'y arrimer, tandis que le ballon plus haut s'oriente automatiquement face au vent. Les parts respectives de charge prises par les rotors sustentateurs, la portance aérostatique et la portance dynamique en vitesse, sont à optimiser selon les missions. Le découplage du ballon et des rotors permet en particulier l'ancrage provisoire au sol par poussée des rotors vers le bas. La traction vers le haut du câble, à partir d'un mât sur l'hélicoptère, stabilise celui-ci.

L'attache au sol d'un dirigeable doit pouvoir être effectuée avec le minimum de personnel au sol, notamment par accrochage d'un champignon au sol par un câble transversal tendu sous le dirigeable ou la charge, accrochage suivi d'un encliquetage. Il ne sera donc pas nécessaire, pour les dirigeables petits ou moyens, de disposer à l'avance du personnel sur les sites d'atterrissage normal ou de détresse: l'équipage peut après accrochage assurer l'ancrage permanent.

L'enveloppe sur longue élingue peut aussi servir sur des ballons captifs, avec d'autres applications, notamment maritimes.

Si le choix est fait de faire entrer les charges dans une cale, le dirigeable devrait être complètement posé sur le sol, sur un terrain de taille suffisante et garder une orientation face au vent.

### ***b. Le ballastage***

Le ballastage est une opération nécessaire lors du chargement/déchargement mais également en vol. Il consiste à gérer des masses chargées à bord du dirigeable pour équilibrer le poids total vis à vis de la flottabilité de son gaz porteur. Le ballast est utilisé pour équilibrer la force ascensionnelle lors des opérations de chargement / déchargement du dirigeable.

Pour des raisons de facilité et de simplicité, la compensation du poids de la charge par lest d'eau est la solution la plus fréquemment retenue. L'utilisation de ballonnets aux volumes résistant à la pression, et de compresseurs d'air pour faire varier le poids est un procédé qui ne paraît pas possible avec les matériaux actuels.

L'eau peut aussi être récupérée dans les ballasts grâce au refroidissement des gaz de combustion. Cette méthode a déjà été utilisée, dans le passé, sur des dirigeables rigides. Les nouvelles technologies et nouvelles conceptions permettent d'aboutir à des systèmes plus efficaces.

Il faut néanmoins veiller aux composants corrosifs des gaz qui pourraient amener à des problèmes de maintenance. La sélection des matériaux lors de la conception des réservoirs est donc importante.

La chaleur dégagée par la combustion des moteurs peut être récupérée pour réchauffer artificiellement le gaz porteur ou pour éviter le gel de l'eau contenue dans les ballasts. Cette chaleur peut également être utilisée pour alimenter des circuits de dégivrage de l'enveloppe.

### ***c. Le dirigeable au repos***

Le stationnement est conditionné par la taille du dirigeable. Deux approches sont envisagées :

#### ***L'abri sous hangar***

Le problème essentiel est la taille du dirigeable, et par conséquent celle du hangar qui doit l'abriter.

Pour des appareils de petite taille, on pourrait envisager des hangars abritant plusieurs appareils. Toutefois, si l'on imagine le dirigeable comme étant un produit d'usage courant, il serait alors nécessaire de construire un réseau dense de hangars et l'un des avantages du dirigeable qui est de ne demander pratiquement pas d'infrastructure au sol disparaîtrait alors. Ce problème ne se posera pas pour toutes les missions : si les distances à parcourir sont courtes, le retour le même jour vers le port d'attache pourra être fait.

Pour de grands dirigeables, la formule d'abri sous hangar n'est pas possible. La question du hangar se pose en revanche pleinement pour la fabrication des engins, les opérations de maintenance importantes et les réparations et travaux. (les dirigeables rigides sont les plus touchés par cette obligation du hangar).

Le dégonflage du dirigeable en récupérant notamment l'hélium dans des réservoirs de stockage n'est guère envisageable notamment en raison du coût onéreux de cette solution.

La France manque de hangars et, pour les inventeurs, cela constitue un frein pour la conception de leurs prototypes. A titre d'illustration de cette difficulté, Voliris a pu utiliser un hangar sur l'aéroport de Clermont-Ferrand que la DGA a bien voulu mettre à sa disposition. Il fallait toutefois que les essais aient lieu de nuit et pendant le seul mois de juillet. L'engin est depuis peu dégonflé et est entreposé dans un bâtiment situé sur l'aéroport de Moulins. La communauté de communes a pris la décision de financer la construction d'un hangar.

A New York et Amsterdam, des aérogares ont été construites et répondent aux besoins spécifiques du dirigeable. Celles-ci comprennent des hangars et les équipements et produits nécessaires: point de distribution d'hélium, d'information météorologique, présence de mécaniciens spécialisés, espace de repos pour les équipages...Il est également envisagé de satisfaire les besoins des visiteurs: promenades en dirigeable, restaurants, musées à thème..

Ces aérogares répondent aux besoins des dirigeables de passage et à ceux des engins qui seront présents de façon permanente du fait de leur activité (promenades pour touristes, couverture d'événements médiatiques, mesures de pollution...). Dans les deux cas, il est prévu de mettre en place un établissement d'enseignement spécialisé et de pouvoir louer un espace pour procéder aux essais.

Ce problème du hangar ne doit pas toutefois être surestimé et constituer un préalable coûteux à l'utilisation du dirigeable.

Il existe, en effet, des possibilités de mettre les dirigeables au repos sans construire des bâtiments spécifiques.

Une solution souvent évoquée est la possibilité d'utiliser des docks qui ne servent plus pour les bateaux. A ce titre le dock port autonome du Havre (longueur: 310 mètres, 53 mètres de largeur, hauteur de 18 mètres) pourrait offrir ce type de service.

### *Le campement à l'extérieur*

Le dirigeable ne dort jamais. Il ne repose pas sur le sol à la manière d'un avion sur un parking. On ne peut pas le laisser sans surveillance. Il bouge perpétuellement avec le vent, quel que soit son système d'amarrage. Le bon sens et la sécurité exigent qu'il soit gardé 24 heures sur 24 par un personnel compétent, dont le rôle est, d'abord, de surveiller et d'ajuster les pressions de l'enveloppe et des ballonnets qui évoluent sans cesse, et ensuite de donner l'alerte en cas de dégradation excessive de la situation météorologique.

Il est donc indispensable que le pilote dispose d'une information à jour sur les variations du vent, et plus généralement sur l'état de la masse d'air dans laquelle il travaille. Cette information doit permettre de tenir à jour les plans de vol secondaires qui définissent les

évitements et les déroutements. En fonction des données météorologiques dont il convient de définir le protocole de transmission à bord, et du calculateur de navigation, le pilote pourra consulter sa trajectoire optimale pour l'exécution de sa mission.

Un équipage qualifié doit toujours se tenir disponible également, afin d'éloigner la machine des météores les plus dangereux. Pour ce qui est de sa sécurité, il faut considérer qu'un dirigeable est en conditions de vol permanentes, dès l'instant où est gonflé. Cela signifie, par exemple, que certains systèmes de bord sont sous alimentation électrique et que les pleins de carburant sont toujours faits. Cela nécessite l'organisation d'une maintenance.

## II. Les questions économiques

Le dirigeable pose des problèmes économiques à différents niveaux.

En premier lieu, avant que soit engagée sa réalisation à grande échelle, il convient de s'interroger sur l'existence des ressources naturelles indispensables pour sa fabrication et à son fonctionnement : l'énergie et le gaz porteur.

En second lieu, le DGP devrait avoir un impact économique, d'une part, en ce qui concerne la réalisation et de l'entretien des infrastructures et, d'autre part, sur les entreprises fabriquant des produits lourds et volumineux.

### 1. Le problème des ressources naturelles

#### 1.1. La consommation énergétique

La consommation d'énergie du dirigeable gros porteur va dépendre de nombreux facteurs liés à l'engin lui-même (poids, aérodynamique, motorisation...), de ses missions (caractéristiques de la charge, altitude de chargement/déchargement...) et des conditions extérieures (vent, météo..).

Sa comparaison par rapport aux autres moyens de transport ne peut donc pas être faite aisément. Il est seulement possible de dire aujourd'hui quels sont les choix techniques qui peuvent être faits et ceux qui ne peuvent pas l'être ainsi que les conclusions qu'il est possible d'en tirer.

A titre d'illustration et sur la base d'hypothèses techniques vraisemblables pour le DGP, il est possible de faire une comparaison :

- un DGP transportant 200 tonnes, pour un emport possible de 250 tonnes, aurait un volume de  $B=2500000 \text{ m}^3$  d'où  $B^{2/3}=3970 \text{ m}^2$ . Le Cx est de l'ordre de 0,02 en appareil très bien profilé, soit 0,03 pour un appareil avec charge suspendue, d'où une surface de traînée de  $4000\text{m}^2 \times 0,003$  soit  $120 \text{ m}^2$ . Pour une vitesse moyenne de 100 km/h soit 27,77 m/s à faible altitude, la pression dynamique est de 463 Pa, d'où une traînée théorique de  $120 \times 463 = 55560 \text{ N}$  et une puissance théorique de 1543 kW. Compte tenu du rendement d'hélice on suppose 2000 kW soit 10 kW par tonne de charge et 0,1 kWh par tkm ;
- un camion d'une puissance moyenne de 200 kW emporte 30 t à 100 km/h, soit 0,067 kWh par tkm. Le DGP ne supplantera pas le camion pour les transports de



charges divisibles, sur des itinéraires acceptables. Le DGP à 100 km/h consomme plus que le camion, mais les consommations s'équilibrent pour un vol à 80 km/h, ce qui peut représenter la vitesse commerciale du camion. L'avantage du DGP apparaîtra surtout pour des transports spécialisés de gros tonnage, en trajets directs plus courts, et sans ruptures de charge ;

- un avion cargo d'une puissance nominale de 24 MW, soit 15 MW en vol moyen, transporte 30 t à 600 km/h, soit 0,8 kWh par tkm, beaucoup plus que le DGP mais avec une vitesse nettement supérieure bien que celle-ci ne soit pas un facteur déterminant pour le transport de charges lourdes
- Les autres modes de transport (train, voie d'eau, sur mer ou en canaux) ne sont pas pris en compte car ils sont moins consommateurs en énergie que ceux qui ont été retenus.

Si l'on s'en tient au seul critère de la consommation par tonne kilomètre, le dirigeable apparaît donc comparable au camion. Il est toutefois certain qu'il est plus avantageux car entre lui et le camion, pour un même trajet, les parcours en ligne droite du dirigeable sont beaucoup plus courts.

## 1.2. La question de l'Hélium

### *a. Un gaz rare*

L'hélium est un gaz qui n'existe qu'à l'état de traces dans l'atmosphère terrestre. On le trouve toutefois sous forme fossile dans des poches de gaz naturel de certains gisements pétroliers. L'essentiel de la production est assuré par leur extraction.

Les pays produisant le plus d'hélium sont les Etats-Unis (86 % du marché), l'Algérie, la Pologne et, plus récemment, la Russie.

La quantité totale consommée en 2000 était de 140 millions de m<sup>3</sup> pour les utilisations suivantes :

- Imagerie médicale :18%
- Cryogénie (industrielle et scientifique) :17%
- Soudage :16%
- Ballons :14%
- Fibre optique :9%
- Purge :8%
- Détection de fuites :6%
- Divers (gaz de plongée, atmosphère contrôlée...) :12%

Les quantités consommées croissent régulièrement (7,9 % par an), et, depuis 2000, la consommation s'envole. Ceci a conduit à un doublement des prix et a rendu les dates de livraison aléatoires. A titre d'illustration, le gouvernement fédéral américain a été conduit récemment à mettre sur le marché ses réserves stratégiques d'hélium pour répondre aux besoins des industriels.

Au cours des 10 dernières années, la consommation a progressé de près de 100 %, alors que les réserves connues n'augmentaient que de 16 %. Ce décalage devrait s'accroître et conduire à relativement court terme à une situation de tension si les choses restaient en l'état.

### ***b. La recherche de solutions***

En premier lieu, des gisements déjà connus, mais qui n'avaient pas été mis en exploitation à cause de conditions complexes et de coûts élevés, sont, au fur et à mesure que les prix s'élèvent, mis en service.

Par ailleurs, de nouveaux gisements sont recherchés. Des succès ont été rencontrés au Qatar, en Australie, sur la côte d'Afrique de l'Ouest et en Chine. Les quantités offertes par l'ensemble de ces gisements sont toutefois trop faibles pour assurer une solution à long terme.

La source qui semble la plus évidente est l'air. Toutefois la rareté de l'hélium dans l'air conduirait à installer des unités de captation et de séparation d'un gigantisme tel que ce ne serait acceptable ni pour l'environnement, ni économiquement.

La seconde orientation pour ajuster l'offre à la demande est la récupération de l'hélium. Le coût des centrales de re liquéfaction est longtemps apparu trop élevé pour justifier leur acquisition et beaucoup d'entreprises travaillent encore aujourd'hui en gaz perdu.

Mais progressivement, du fait de la hausse du coût de l'hélium, les utilisateurs procèdent aux investissements nécessaires. Les entreprises consommant régulièrement de grandes quantités d'hélium sont déjà équipées et ce mouvement s'accélère, de même que la surveillance accrue des installations afin d'éviter les fuites.

### ***c. Les sources alternatives***

La dernière famille de solutions est la recherche de sources alternatives à l'hélium.

Des possibilités de gaz de substitution existent aujourd'hui : l'argon pour la soudure, l'hydrogène pour la plongée profonde, des solutions sont recherchés pour les fibres optiques...

Enfin, il y a bien sûr l'hypothèse du retour du dirigeable à l'hydrogène qui est plus abondant que l'hélium, et corrélativement, d'un coût inférieur.

La plupart de ses propriétés sont, pour le dirigeable, supérieures à celles de l'hélium, tout particulièrement il est plus léger, ce qui permettrait pour des volumes d'enveloppes et de pressions identiques de transporter des charges d'un poids supérieur.

L'inconvénient majeur est que l'hydrogène a mauvaise réputation et est mal accepté par le public à cause...du dirigeable<sup>(1)</sup> !

---

<sup>(1)</sup>L'accident du Hindenbourg en 1937.

Malgré ce très lourd héritage, plusieurs raisons conduisent à ne pas rejeter totalement cette hypothèse.

Tout d'abord, l'objectif du dirigeable est ici de transporter des marchandises et non des passagers. En second lieu, le tarissement inéluctable des sources d'énergie actuelles va conduire à en développer d'autres, dont l'hydrogène. Celui-ci devra donc être réhabilité aux yeux de l'opinion. Le dirigeable pourra tenter de se glisser dans ce mouvement...

#### ***d. Conclusion***

Le problème d'une pénurie de l'hélium ne doit pas être considéré comme déterminant. Chacune des solutions évoquées ci-dessus n'est pas en soi suffisante pour offrir une réponse, mais toutes additionnées semblent le permettre.

Par ailleurs, la hausse des coûts pousse les utilisateurs à chercher d'autres solutions et il est probable qu'un point d'équilibre sera trouvé.

Enfin, il convient de souligner que le dirigeable, quelle que soit sa fortune, ne sera jamais le consommateur d'hélium le plus important.

## **2. L'impact sur les infrastructures**

Le trafic routier des marchandises est la cause la plus importante du coût des infrastructures, à la fois en investissement et en entretien. Ce n'est pas le poids qui en est responsable, celui-ci étant limité à 13 tonnes par essieu, mais les dimensions et le caractère répétitif des passages de charges.

Les voies surdimensionnées à cause de produits très volumineux, comme l'axe Bordeaux Toulouse qui doit supporter le passage des pièces du A380, ou certaines routes des vallées de la Loire ou du Rhône à cause du volume des pièces des centrales nucléaires, ne sont pas des cas exceptionnels.

Les chaussées renforcées et élargies sont courantes dans les ports, les zones industrielles, autour de certaines entreprises...

Les transports exceptionnels génèrent par ailleurs des travaux sur les voies qui n'ont pas été conçues pour les supporter : surfacage, élargissement de tronçons, restructuration de ponts...sans compter les aménagements mineurs comme la suppression temporaire des glissières, le renforcement des bas-côtés...

Des programmes routiers très coûteux ont été réalisés pour supporter le trafic des poids lourds. Ainsi, pour éliminer le problème des barrières de dégel, un programme de renforcement coordonné des itinéraires a été réalisé : il s'est étalé sur une période qui a duré plus de vingt ans.

Les études qui ont été réalisées pour mesurer ce que pourrait être l'impact réel de l'utilisation du dirigeable sur l'évolution du coût des infrastructures sont encore embryonnaires et mériteraient d'être approfondies. Elles permettraient de mieux comprendre l'intérêt que les pouvoirs publics pourraient avoir en l'avenir ce type d'aéronef.

Comme il semble probable que le dirigeable ne se substituerait aux autres moyens de transport que pour accomplir des missions que ceux-ci remplissent mal actuellement, il convient de répondre aux questions suivantes :

- Quelles conséquences budgétaires pourraient être attendues du fait du détournement d'une partie du trafic routier par le dirigeable ?
- En quoi l'exploitation de dirigeables pourrait-elle contribuer à désengorger certains des grands axes en prenant en charge le transport de certains produits que l'on ne sait pas commodément déplacer actuellement ?
- Le dirigeable pourrait-il être une des réponses aux problèmes de transport liés à l'extension vers l'Est de l'Union européenne, qui, selon un calendrier non fixé et riche en hypothèses, se réalise et entraîne une croissance soutenue du trafic à un rythme non prévisible ?
- Quelles sont les utilisations publiques potentielles de dirigeables ? Par exemple, dans le domaine de la sécurité routière, où un dirigeable équipé de radars, et faisant appel à Galiléo ou GPS, pourrait être en mesure non seulement de contrôler tous les dépassements de vitesse, mais aussi, à la différence des radars actuels, la quasi totalité des infractions visibles à l'œil. Thalès et Airship Vision examinent actuellement la concrétisation de cette application qui, en l'état actuel de l'analyse, pourrait être mise en œuvre avec les dirigeables existants. Il est difficile de savoir si une telle application du dirigeable pourra être faite sur le plan humain, mais elle est techniquement réalisable.

## B. IDENTIFICATION DES COMPETENCES

### I. Recensement des compétences existantes

Les compétences techniques requises sont en relation avec les domaines technologiques abordés en A.I.1. ci-dessus pour le Dirigeable Gros Porteur. Le tableau ci-après associe donc les compétences nécessaires de quelques organismes avec chacun des domaines techniques à traiter.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>L'enveloppe</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Etanchéité</li> <li>▪ Vieillissement : résistance aux intempéries et UV</li> <li>▪ Poids</li> <li>▪ Assemblage</li> <li>▪ Propriété mécanique : résistance à la déchirure, contrainte à la rupture</li> <li>▪ Tests et méthodes de fabrication</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ LPCP Pau (*)</li> <li>▪ Pôle Aquitaine Matériaux (*)</li> <li>▪ Clubtex (*)</li> </ul>
--	---

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Structures</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cale</li> <li>▪ Atterrisseurs</li> <li>▪ Gouvernes</li> <li>▪ Organes d'attache</li> <li>▪ .....</li> </ul> </li> </ul>	<p>Industrie aéronautique</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Aérodynamique</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Codes de calcul</li> <li>▪ Essais en soufflerie</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ UPPA Pau (*)</li> <li>▪ INRIA Sphia(*)</li> <li>▪ IMFT Toulouse (*)</li> <li>▪ CNAM Paris (*)</li> <li>▪ Université Montpellier 2 (*)</li> <li>▪ INRIA Bordeaux (*)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>La motorisation</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Définition des moteurs sustentateurs et propulseurs : performances en rendement, vitesse et autonomie</li> <li>▪ Energie</li> <li>▪ Calculs d'hélices</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Turboméca</li> <li>▪ Ecole des Mines de Nantes (*)</li> <li>▪ Eurocopter</li> <li>▪ IFP</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Le gaz porteur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ravitaillement</li> <li>▪ Epuration</li> <li>▪ Stockage externe</li> <li>▪ Variation des conditions de température et de pression suivant les changements extérieurs (soleil, nuit, pluie, givre)</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ UPPA LATEP Pau (*)</li> <li>▪ IMFT Toulouse (*)</li> <li>▪ Air Liquide (*)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Le stationnement</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Campement</li> <li>○ amarrage</li> <li>○ Ballastage</li> <li>○ Transfert de charge et dynamique du vol</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CNAM Paris (*)</li> <li>▪ UPPA Pau (*)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Les commandes de vol</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pilotage automatique avec charge au sol</li> <li>▪ Dispositifs de commande (électronique, transmissions ..)</li> <li>▪ Qualité de vol (vitesse, attache sous vents variables...)</li> <li>▪ Instrumentation (radar de bord, positionnement par GPS, imagerie, infos météo ..)</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sup Aéro</li> <li>▪ ENSICA</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Les phénomènes extérieurs</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Electricité statique</li> <li>▪ Foudre</li> <li>▪ Turbulence</li> <li>▪ Givrage</li> <li>▪ Vent</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ LGE Pau (*)</li> <li>▪ UPPA (*)</li> <li>▪ IMFT (*)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Les effets sur l'environnement</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pollution</li> <li>▪ Consommation énergétique</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sup Aéro</li> <li>▪ ENSICA</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Simulation (partielle ou globale)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Prototypage et similitude</li> <li>○ Entraînement de l'équipage</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ INRIA Sophia (*)</li> <li>▪ INRIA Bordeaux (*)</li> <li>▪ CNAM (*)</li> <li>▪ UPPA (*)</li> <li>▪ IMFT (*)</li> <li>▪ Sup Aéro</li> </ul>

(\*) organismes ayant fait part de leur accord

## II. Situation actuelle de la recherche

Le dernier dirigeable immatriculé en France l'a été en 1952 et le dernier cours d'aérostatique a été donné en 1945.

Le plus léger que l'air ne fait plus l'objet d'aucun enseignement spécifique ni d'aucune action de recherche ayant un caractère permanent. Les grands constructeurs aéronautiques (EADS, SNECMA, Airbus, Dassault Aviation) ainsi que Zodiac -dernier industriel français ayant fabriqué des dirigeables-sont absents de ce domaine.

Pour sa part, l'ONERA conduit des travaux ponctuels compte tenu des faibles financements disponibles sur ce sujet et de l'absence de demande des industriels.

Cette situation ne pourra pas être modifiée aisément car elle est le signe d'une perte de mémoire scientifique, industrielle et d'expérience.

Il apparaît en outre que les programmes de recherche de longue durée dotés des moyens nécessaires ont été conduits par des utilisateurs potentiels uniquement pour traiter leur problème particulier de transport, mais en aucune façon pour déboucher sur un produit industriel commercialisable.

C'est ainsi que la division ballons du C.N.E.S. a mené des travaux – pour le déploiement de systèmes d'observation - qui ont conduit à la conception de l'A.V.E.A. - ou que le C.E.A. avait envisagé de recourir au dirigeable pour le transport de pièces de centrales nucléaires. Dans ces deux cas, les projets ont été abandonnés et ont été repris en dehors des organismes qui les avaient lancés par les chercheurs qui avaient menés les travaux.

Cette situation est typique d'un domaine où la recherche est très largement faite par des personnes ou des groupes de personnes isolés. Personne, ni aucun groupe ne peut bien sûr posséder l'ensemble des compétences nécessaires pour conduire des recherches dans toutes leurs dimensions.

Pour la même raison, le dialogue avec les industriels, les financiers, les économistes...peut difficilement déboucher.

Enfin, il n'y a pas de veille technologique sur le dirigeable ni de centre documentaire spécialisé.

Cette présence uniquement ponctuelle des laboratoires universitaires, des grands organismes (ONERA, CNRS, CNRT notamment), des constructeurs aéronautiques, des entreprises du textile...est très normalement accompagnée d'une absence des sources de financement habituelles pour permettre à la recherche de se développer.

Quelques points positifs doivent toutefois être mentionnés :

- Tout d'abord, le dirigeable ne fait pas appel qu'à des sciences et techniques spécifiques et il peut donc bénéficier des progrès accomplis dans les différentes disciplines concernées, même si celles-ci ont évolué dans d'autres buts.
- deux questions qui ont particulièrement préoccupé autrefois les concepteurs de dirigeables, et qui ont fait l'objet de progrès très importants :
  - sur les matériaux, et tout particulièrement le textile : des recherches approfondies ont été conduites en particulier sur les voiles des bateaux de compétition qui posent des problèmes analogues à ceux du dirigeable et celui-ci pourra bénéficier des résultats obtenus.

L'ONERA a été mis en relation avec des entreprises spécialisées dans les textiles techniques (Groupement Clubtex) et leur a fait part des contraintes pesant sur l'enveloppe afin de rechercher les solutions existantes et définir les points sur lesquels il conviendrait de réaliser des recherches.

- en ce qui concerne l'aérodynamique, il existe en France, pour les besoins de l'aéronautique, une forte communauté scientifique et les moyens d'essai nécessaires. Ceux-ci pourraient sans inconvénient être utilisés pour l'optimisation des formes.

- L'Université de Pau, a entrepris, avec le soutien de la Direction Régionale de la Recherche et des Technologies, de la Communauté de Communes de Pau, et de la Région Aquitaine, de conduire des travaux de recherche et d'établir un réseau regroupant les différentes disciplines concernées.
- Quatre études portant sur l'aérodynamique et l'aérostatique viennent de s'achever.

D'autres vont être engagées :

- Aéroélasticité, avec le CNAM
- Moteurs, avec l'école des Mines de Nantes
- CAO, avec l'IUT de Tarbes
- Codes de simulation, avec l'INRIA

- Des partenariats sont en cours d'établissement pour travailler sur les matériaux et les polymères.
  - La région Midi-Pyrénées, à l'initiative de son Vice Président, Monsieur Pierre FORGUES, a par ailleurs demandé que soient intégrées dans le réseau de compétences les quatre établissements de formation à l'aéronautique de Toulouse
  - D'autres contacts vont être établis avec les laboratoires qui ont manifesté leur intérêt pour le dirigeable (en particulier l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne).

L'objectif est de développer un tronc commun de connaissances qui permettra à l'aérostatique de progresser.





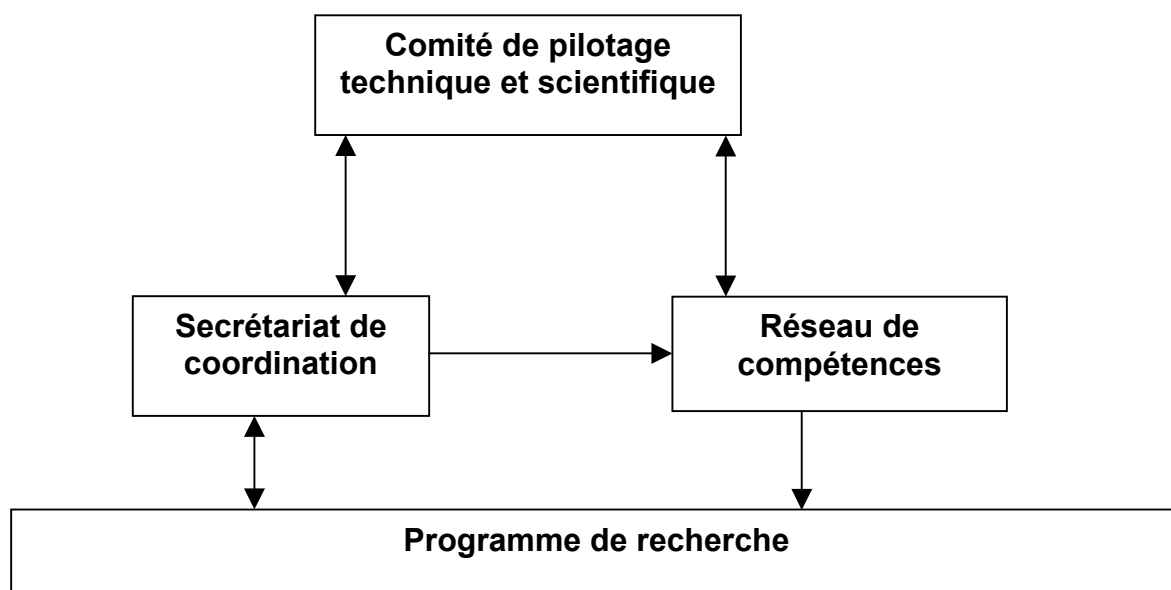
## **TROISIEME PARTIE :**

---

### **Programme d'études et de recherche**

## A. ORGANISATION ET METHODOLOGIE DE LA RECHERCHE

### I. Organisation proposée



L'organisation de la recherche suppose de mettre en place des moyens assurant la cohérence et la complémentarité des recherches. Pour y parvenir, nous proposons de créer un comité de pilotage technique et scientifique.

Ce comité aura pour vocation d'examiner et d'évaluer les projets proposés et de ne retenir que les solutions viables et compatibles avec les objectifs à atteindre. Il assurera le suivi des projets retenus et engagera, au besoin, des études générales et approfondies. Ce comité sera composé d'une douzaine de représentants pour :

- Les Administrations centrales (Ministères des Transports, de la Recherche, de l'Industrie, de la Défense),
- Les industriels et professionnels,
- Les organismes de recherche (en particulier l'ONERA).

Les membres du comité de pilotage technique et scientifique, pris individuellement, fournissent une capacité d'expertise nécessaire à une bonne utilisation des fonds publics ou privés investis dans le développement du dirigeable.

Une liste est proposée en annexe.

Le comité sera doté d'un secrétariat qui assurera les fonctions de coordination, de proposition et de gestion.

Les problèmes posés par le dirigeable sont divers et il est souhaitable que le Comité crée des groupes de travail thématiques tout en veillant à la cohérence d'ensemble. Certaines actions (suivi des projets et des études) seront programmées sur des périodes de longue durée.

## II. Méthodologie

### 1. Le passage du dirigeable petit porteur au DGP

Outre le fait que les temps ne sont plus favorables aux projets « massifs », plusieurs motifs incitent à suivre une stratégie de grossissement progressif.

En premier lieu, la plupart des solutions aux problèmes techniques peuvent être testées sur de petits engins. Ceci sera moins coûteux que les essais à grande échelle sur un concept qui n'est pas validé.

#### 1.1. L'exemple de Cargolifter

Cargolifter a voulu passer à la réalisation sans attendre d'achever la période d'essai. Un bâtiment très grand a été construit sans avoir connu l'utilisation à laquelle il était destiné. Actuellement, ce bâtiment est en cours de reconversion en parc de loisirs après le dépôt de bilan de l'entreprise. Son coût a été de 30 millions d'€. L'Etat du Bade-Wurtemberg, sur le territoire duquel se trouvait le hangar, qui s'était porté caution de l'emprunt bancaire utilisé pour sa construction, a dû financer la somme. Cet exemple négatif conduit à réfléchir.

#### 1.2. La démarche peut être progressive

Il semble possible de tester à échelle réduite l'essentiel des problèmes liés à la réalisation d'un dirigeable gros porteur : dynamique du vol, du stationnement, de la prise en charge...

Les parties mécaniques et les automatismes se présentent de la même façon quelle que soit la taille de l'engin, et sont, par ailleurs, identiques à ceux des avions. Les problèmes liés à la taille sont ceux de la résistance des matériaux et des déformations élastiques. En effet, quand on accroît la taille, les contraintes sont plus fortes et il faut traiter différemment les matériaux (en particulier les largeurs et épaisseurs des toiles), leurs jonctions et les déformations.

En ce qui concerne la fabrication, les problèmes relatifs à l'assemblage à plat des grandes enveloppes varieront selon la taille.

Il convient de souligner que toutes ces questions peuvent être étudiées par calculs et essais. La stratégie de grossissement progressif permettra de s'assurer que rien n'a été oublié.

Par ailleurs, une longue période de fonctionnement sans incident sera nécessaire avant que les entreprises n'aient en lui une confiance suffisante pour se rendre dépendantes de lui.

### 2. Phase de sélection d'un concept pour le dirigeable gros porteur

La connaissance des enseignements du passé, des possibilités techniques actuelles, des contraintes nouvelles et de l'ensemble des projets pourrait permettre au Comité de pilotage technique et scientifique de choisir, avant tout approfondissement théorique ou technique, un ou plusieurs concepts généraux de principe, qui seraient les mêmes pour toutes les

tailles de dirigeables. Le Comité pourrait maintenir en compétition deux concepts par exemple, dans l'attente des résultats de certaines études.

A partir des problèmes soulevés dans la partie précédente, on peut prévoir que la discussion portera en particulier sur les options d'architecture suivantes:

- Suspension par câbles soit de la charge seule, soit d'une plate-forme intégrant notamment les réservoirs de lestage, soit de l'hélicoptère allégé, sous son ballon captif,
- Enveloppe rigide ou souple
- Forme fuselée, aile delta ou autre,
- Compartimentage ou non,
- Lestage plus ou moins important, fonction de la force des rotors sustentateurs.
- Implantation des divers rotors.
- Intérêt ou non de généraliser l'étude des enveloppes, pour d'autres applications.

La méthode de travail suggérée est la suivante :

- Réalisation de simulations sommaires sur ordinateur permettant d'aider au choix d'une option,
- Vérification des choix lorsque c'est possible à l'aide d'essais sur maquettes,
- Evaluation des essais,
- Approfondissement des options.

On pourrait envisager, pour les travaux de cette phase, un délai de l'ordre de six à huit mois. Les remarques des industriels et des transporteurs interviendraient ensuite dans un délai de trois mois. Les remarques obtenues pourraient conduire à des adaptations des projets préliminaires.

Au cours de cette première phase, le programmes des études thématiques sera lancé.

### **3. Phase des études et recherches avant la construction d'appareils importants.**

Le Comité peut souhaiter, avant l'aboutissement d'études approfondies, la construction et les essais d'un appareil expérimental piloté du type préféré, suffisant pour valider les aspects du vol et du pilotage avec charge suspendue, et les phases d'emport et de décharge. La taille prévue pour les ULM classe 5 (1000 m<sup>3</sup>, deux personnes) paraît suffisante. Le coût en serait de l'ordre de 300 K€.

## **B. PROGRAMME DE RECHERCHE**

### **I. Etudes techniques approfondies**

Des études et recherches, correspondant à ces domaines, ont été proposées par des organismes d'études et de recherche, des industriels et des bureaux d'études. La plupart des études visent à améliorer les performances du dirigeable et certaines études peuvent être indépendantes de la conception du dirigeable.. Elles ont été classées suivant les

domaines détaillés ci-dessous. Ces propositions figurent à titre indicatif dans l'annexe 1 de la troisième partie de ce rapport.

➤ **Aérodynamique**

- calculs et essais de soufflerie pour diverses formes,
- calcul du vol dynamique dans les phases de manutention en attache par rotule ou par câble (longueur, point d'attache...), avec pilotage automatique,
- calculs de vol libre, dynamique du vol en cerf-volant piloté,
- raccordement aux essais,
- analyse des effets de turbulence sur les répartitions de pression, en attache et en vol libre.

➤ **Mécanique des enveloppes souples**

- appréciation des efforts et déformations, selon la forme et les caractéristiques élastiques des enveloppes et de leurs liaisons internes, et selon la pression de gonflage,
- coefficients de sécurité.

➤ **Effets thermiques.**

- effets de l'ensoleillement, des variations d'altitude, de la vitesse sur la portance.

➤ **Technologie des toiles pour enveloppes souples et ballonnets**

- caractéristiques mécaniques des toiles existantes ou à développer,
- limitation de la déchirabilité,
- étanchéité,
- protection externe,
- appréciation du vieillissement,
- faisabilité industrielle en laizes de grandes largeurs,
- procédés de jonction, en alignement ou en T,
- fixations des ballonnets,
- conduites entre compartiments ou ballonnets, et gonfleurs,
- technologie des traversées,
- procédures d'essai et réception des toiles,
- procédures de vérifications en exploitation,
- procédures de réparation,
- défense contre des effets électriques ou environnementaux (givrage...).

➤ **Technologie des enveloppes**

- procédés industriels de fabrication (à plat avec pliages),
- procédé de transport sur site de gonflage,
- procédures d'essai initial de réception,
- procédures d'essais périodiques et contrôles,
- critères de réforme.

➤ **Moteurs, rotors**

- adéquation des groupes existants,
- identification de nouvelles astreintes.

➤ **Commandes**

- automatismes,
- capteurs,
- aide logicielle au pilotage,
- circuits de transmission des ordres vers moteurs et gouvernes,
- ergonomie du pilotage,
- préparation d'un simulateur.

➤ **Attaches de charges, câbles, éventuels treuils**

- technologie, masses
- guidage d'approche en phase d'accostage.

## **II. Constitution d'un fonds documentaire sur l'aérostatique et établissement de liens avec les sciences et techniques associées**

Plusieurs sites Internet donnent accès aux études et recherches concernant le dirigeable. Ils sont, en large part, dédiés à des documents en anglais. A notre connaissance, il n'existe pas, en France, de fonds spécialisé dans le dirigeable.

Le dernier inventaire que nous avons identifié est celui du centre national de documentation sur les aéronefs allégés de l'Université de Reims, réalisé en 1979 et portant sur un ensemble d'ouvrages détenus par la Bibliothèque municipale de Reims datant de 1863 à 1964.

Il nous paraît utile de reprendre cette démarche d'inventaire au plan national et de l'actualiser.

Ce fonds documentaire devra rassembler l'ensemble des brevets déposés, des études faites au XX<sup>ème</sup> siècle, mais, pour tenir compte des expériences du passé et éviter le double emploi et les fausses pistes, également les rapports des ingénieurs, les comptes-rendus d'essais, les bilans d'exploitation, les rapports d'enquêtes accidents...

Les archives du musée de l'air et de l'espace devraient être un bon point de départ pour ce travail de reconstitution.

Par ailleurs, ce fonds documentaire devra s'accompagner de la constitution d'un système de veille technologique. Ici également, en règle générale, il suffira de se connecter sur les systèmes de mise à jour des fonds documentaires des différentes disciplines figurant dans l'aérostatique.

Des actions particulières d'observation devront être faites sur les projets portant uniquement sur le développement du dirigeable. Celui-ci restant peu courant, le travail

sera de peu d'importance. Il consistera à suivre quelques colloques et à lire les revues spécialisées (tout particulièrement Airship, revue anglaise ancienne et très informée).

Enfin, dans le même ordre d'idée, les personnes s'intéressant au dirigeable (chercheurs, industriels, économistes...) n'ont que peu d'occasions de se rencontrer afin de présenter leurs travaux et de débattre des thèmes de recherche. AERALL (Association d'Etudes et de Recherche sur les Aéronefs Allégés) est en France la seule structure qui tente d'assurer une action permanente de regroupement de cette communauté en organisant des colloques et des manifestations.

La constitution du fond documentaire est intégrée dans le programme d'études ; elle n'est pas un préalable aux études de développement.

### **III. Etudes juridiques et économiques**

#### **1. Réglementation**

Comme nous l'avons indiqué ci-dessus, la réglementation relative au dirigeable est en cours d'établissement dans l'Union- Européenne.

Les différents points examinés figurent en annexe.

Ceci va permettre d'éviter la tâche qu' aurait été liée à l'établissement des textes.

Quelques points devront toutefois être examinés :

- le premier d'entre eux est que les spécialistes français du dirigeable, et tout particulièrement ceux qui s'appêtent à le fabriquer, ignorent totalement quelle réglementation est envisagée. Il serait souhaitable de les informer et de les inviter à signaler les difficultés que les textes envisagés pourraient éventuellement leur poser ;

- par ailleurs, le dirigeable gros porteur n'existant pas, il est difficile de prévoir si la réglementation envisagée sera satisfaisante. Par prudence, il serait toutefois utile que les projets de textes soient confrontés aux concepts existants afin de voir si des problèmes de conformité n'apparaîtraient pas.

#### **2. Economie, développement industriel**

##### **2.1. Observations préliminaires**

En la matière, les études doivent à la fois porter sur la fabrication et l'exploitation du dirigeable et sur l'évolution de la fabrication des produits qu'il sera appelé à transporter.

##### *Fabrication et utilisation du dirigeable*

Comme nous l'avons indiqué plus haut, le DGP n'existant pas, il n'a pas de structure naturelle d'accueil pour assurer sa fabrication et son exploitation. Il apparaît raisonnable de définir le profil d'entreprise pouvant assurer ces tâches.

Les entreprises pouvant y répondre devront être identifiées et informées. Elles seront ainsi en mesure de faire part de leurs souhaits et préoccupations qui pourront être pris en compte très en amont.

Ces échanges seront de nature à faciliter les rapprochements entre les chercheurs et les industriels.

### *Evolution de la fabrication des produits*

En second lieu, les chargeurs devront être associées à la définition du cahier des charges du DGP. En effet, DGP permettant de s'affranchir des contraintes de taille et de poids des produits transportés, ils devront travailler à l'évolution de leurs méthodes de fabrication et faire connaître leur demande finale.

## **2.2. Les modèles d'entreprises**

Il sera utile de faire réaliser un ou plusieurs « business models » définissant les caractéristiques des entreprises qui seront chargées, d'une part, de concevoir et de réaliser des dirigeables, et, d'autre part, de les exploiter.

### ***a. La fabrication du dirigeable***

La plus grande partie des composants du dirigeable sont disponibles sur le marché, même si, comme dans le cas de l'enveloppe textile, les performances des produits « sur étagères » doivent être améliorées.

Le fabricant a donc un travail d'ensemblier, qui demande peu d'investissements, mais en revanche exige beaucoup de main d'œuvre.

Le principal investissement à réaliser est le bâtiment. S'il ne semble pas être obligatoire pour les dirigeables souples, il l'est pour les engins rigides.

L'importance du personnel permanent de l'entreprise doit être déterminée en fonction des rythmes de fabrication et d'un plan d'entreprise.

### ***b. L'exploitation du dirigeable***

Les transporteurs souhaitant utiliser le dirigeable devront disposer du DGP, d'un personnel spécialisé et de tout l'environnement nécessaire (moyens d'entretien et de maintenance, abri pour le dirigeable au repos...).

Il convient de noter que les métiers et les moyens étant spécifiques, peu de tâches sont externalisables.

Nous ne disposons pas de données sur les coûts d'exploitation. Zeppelin indique simplement que le coût de location de son plus gros dirigeable est de 2500 Euros/heure. Celui-ci inclut toutes les charges ainsi que l'amortissement.

Les commissionnaires de transport, dont la profession consiste à organiser le transport de bout en bout pour répondre aux besoins des chargeurs, devront être complètement



informés sur les possibilités et les conditions d'emploi du dirigeable, car ils joueront un rôle déterminant dans son succès.

Seuls les commissionnaires spécialisés dans les charges lourdes (Danzas/Sermat, SCAC, Panalpina...) seront concernés par le dirigeable gros porteur. Certains d'entre eux suivent avec intérêt les travaux en cours.

Les études économiques seront réalisées par des experts. Il conviendra d'associer les commissionnaires et les transporteurs à leur élaboration et à leur évaluation.

### **3. L'usage du dirigeable**

#### **3.1. L'approfondissement des utilisations publiques envisageables**

L'Etat, dans le cadre de ses attributions, pourrait utiliser le dirigeable et ainsi apporter une forte contribution à la création d'un marché. Son implication devrait en effet certainement susciter l'intérêt des grands industriels et des sociétés financières.

Les cas d'utilisation dans le cadre de missions publiques sont nombreux :

- observation des mouvements de foules pour les orienter (bicentenaire de la Révolution française, J.O. d'Atlanta, manifestations en Irlande...),
- guidage des véhicules à Rio de Janeiro,
- surveillance de la mer dans de nombreux pays,
- analyse de la chaleur à Paris,
- analyses de la qualité de l'air.

Les utilisations dans le cadre de missions publiques du dirigeable citées ci-dessus sont actuelles mais, à son âge d'or, le dirigeable a donné lieu à d'autres utilisations.

#### **3.2. L'approfondissement des utilisations envisageables par les entreprises**

Des comparaisons techniques et économiques, entre les modes de transport et le dirigeable, existent actuellement. Elles ont été réalisées par deux entreprises : La Maison Transportable et Eiffel Construction.

Dans les deux cas, apparaissent :

- La suppression de certaines opérations précédant ou suivant le transport, mais qui ne seraient pas réalisées s'il n'y avait pas le transport lui-même et ses contraintes (emballage, protection, calorifugeage...).

- La possibilité, du fait de la disparition des contraintes de taille et de poids imposées par les modes de transport actuels et les infrastructures, de fabriquer complètement des produits en usine et d'éviter les opérations d'assemblage sur site.

Les deux cas étudiés ont fait apparaître des conséquences à différents niveaux :

- cycles de fabrication plus courts,
- diminution des temps de fabrication,
- baisse du poids des stocks
- amélioration de la fiabilité et de la qualité des produits.

Il est indispensable d'aller au-delà des deux cas qui ont été traités pour vérifier ces conclusions et pouvoir conclure définitivement qu'un engin n'imposant pas de contraintes de taille et de poids aux produits transportés procurerait aux entreprises un avantage majeur.

### **3.3. L'aide humanitaire, les catastrophes naturelles et les réfugiés**

#### **a. Exposé**

##### *Un palliatif à l'absence d'équipements et d'infrastructures dans les pays en voie de développement*

Le dirigeable gros porteur serait un moyen de contourner assez largement l'obstacle au développement des PVD que constitue l'absence d'équipements et d'infrastructures. Les conséquences de cette absence sont à deux niveaux :

- d'une part, des espaces ayant un potentiel agricole ou minier intéressant ne sont pas, ou sont faiblement exploitées, du fait de l'insuffisance des infrastructures qui seraient nécessaires pour écouler la production. Il s'agit bien sûr de produits qui n'ont pas assez de valeur pour justifier la réalisation d'une route et son entretien, toutefois le développement économique des pays en cause passe obligatoirement par l'exploitation des richesses qu'il possède. Pour avoir une idée de l'importance économique de cette réalité, une étude de cas a été réalisée : Madagascar.
- d'autre part, les équipements structurants (énergétiques, miniers ...) nécessaires pour que des activités industrielles puissent s'installer et se développer, demandent, pour être mise en place, des infrastructures très importantes.

##### *le problème des réfugiés*

Le second intérêt du DGP serait de permettre l'acheminement de produits de première nécessité, en premier lieu alimentaire, à des populations ayant trouvé refuge dans des zones difficiles à atteindre.

Ce problème a fait l'objet d'un examen avec la CNUCED (Commission des Nations Unies pour le Commerce et le Développement) sur le cas de l'Afrique des grands lacs, au sud Soudan, où des populations sont réfugiées dans des lieux difficiles d'accès. Cette difficulté existe pour ceux qui les menacent, mais elle est la même pour ceux qui veulent apporter leur aide.

Il est important de trouver des solutions qui permettent de faire parvenir des quantités suffisantes de produits pour couvrir les besoins élémentaires, avec régularité, c'est-à-dire

ignorant la saison des pluies et les problèmes que connaissent les pistes, et ceci à un coût acceptable.

Par ailleurs, lorsque l'on constate que la zone de refuge tend à se transformer en résidence définitive, il est nécessaire d'offrir à ces populations la possibilité d'avoir une activité économique et de ne plus être uniquement dépendantes de l'aide qui leur est fournie.

Les réponses actuelles à ce type de problème ne sont pas satisfaisantes. Les délais d'acheminement sont très longs, le service ne peut être assuré en permanence et les pertes sont énormes, principalement du fait des vols. L'hélicoptère, dont l'utilisation est coûteuse, et qui ne peut porter que des charges très faibles, peut apporter une aide ponctuelle, mais ne saurait constituer une réponse permanente.

Le dirigeable paraît ici en mesure d'apporter une réponse satisfaisante à ces problèmes, le seul inconvénient identifié aujourd'hui serait l'altitude.

### *les catastrophes naturelles*

En matière de catastrophes naturelles, les besoins ne sont pas exactement les mêmes que ceux des réfugiés permanents évoqués ci-dessus.

D'une part, le premier besoin à satisfaire est celui de la fourniture de quantités importantes d'eau, de produits médicaux et alimentaires et, enfin, dans certains cas, d'équipements particuliers (souvent, hôpitaux de campagne).

D'autre part, il est parfois nécessaire d'évacuer les populations. Le plus fréquemment ceci doit être fait dans des délais très courts.

Ici encore le DGP semble être une réponse possible : le problème essentiel est la destruction ou l'impossibilité d'utiliser les équipements et infrastructures existants. Le dirigeable pourrait ici offrir les mêmes possibilités que l'hélicoptère pour un coût plus faible.

### ***b. Etudes et recherches nécessaires***

Les travaux dans le domaine de l'aide humanitaire, des catastrophes naturelles et des réfugiés restent à développer. Il n'existe pas en la matière de vision d'ensemble.

Dans la mesure où, aux dires des experts, il s'agit d'un usage réaliste pour l'utilisation du dirigeable, il conviendrait d'aborder ce sujet de manière plus complète et systématique qu'il ne l'a été jusqu'à présent.

Deux voies doivent être simultanément approfondies :

- celle des organisations humanitaires. Il conviendrait de travailler avec elles afin de mieux connaître leurs besoins et leurs contraintes et apprécier la réponse apportée par le dirigeable,
- celle des organisations de l'ONU. Des contacts ont déjà été établis avec le Haut Commissariat aux Réfugiés et la CNUCED. Deux propositions d'étude

(jointes en annexe) ont été établies. La première pour examiner la question de l'aide aux réfugiés (cas de l'Afrique des grands lacs), l'autre pour apprécier la possibilité pour le dirigeable de contourner l'obstacle au développement qu'est l'absence d'infrastructures (cas de Madagascar).

#### **4. La formation**

Une formation devra être définie avec la Direction Générale de l'Aviation Civile. Deux voies pourront être examinées :

- en premier lieu, s'inspirer du passé : en ce qui concerne la France, l'arrêté du 10 février 1926 (qui ne s'applique plus) indiquait le contenu des épreuves des pilotes (trois niveaux selon la taille des engins), des navigateurs et des mécaniciens.
- en second lieu, le cas des pays étrangers qui ont conservé les diplômes liés au dirigeable (Etats-Unis et Grande Bretagne)

Un projet de programme de formation a été transmis à la DGAC par la Société VOLIRIS qui doit fabriquer un dirigeable dans un hangar en cours de fabrication à Moulins et envisage de créer un centre de formation.

#### **5. Sensibilisation et communication**

Même si le DGP ne vise pas le transport de passagers mais seulement des marchandises, il sera toutefois visible par tous, et, de ce fait, il devra avoir pour le grand public une image positive.

Lorsque le mot « dirigeable » est prononcé, il suscite une image ambiguë faite de l'optimisme et de la croyance de Jules Verne dans les nouvelles technologies et du Hindenburg brûlant aux Etats-Unis en 1937.

Mis à part cet accident, le dirigeable ne semble pas fortement corrélé aux catastrophes aériennes, comme en témoigne une enquête réalisée en 1976 à la demande de la NASA sur le transport de marchandises par dirigeable. 6% des personnes interrogées pensaient que l'incendie du Hindenburg prouvait l'insécurité du dirigeable, 27% étaient sans opinion et 67% étaient d'un avis contraire.

Le problème semble plutôt tenir au fait que le dirigeable n'est pas accolé à des références claires dans l'esprit du public.

En ce qui concerne les entreprises, l'enquête évoquée dans la première partie de l'étude a fait apparaître leurs craintes et leurs freins : crainte des aléas et de chute des objets, pouvant conduire à leur destruction.

Le développement du dirigeable ne pourra donc se faire sans être accompagné d'études de communication tant à l'égard des entreprises que d'un public plus large. Cette question nous semble relever d'un programme d'étude au même titre que les problèmes techniques, juridiques et économiques qui ont été exposés précédemment.

Un dossier de présentation de ce moyen de transport, traitant de l'ensemble des points intéressant les chargeurs, devra être réalisé et diffusé.

- Il devra en particulier montrer que les aspects sécurité et contrôle des aléas ont été très fortement pris en compte à tous les niveaux et que toutes les autorisations ont été délivrées.
- En second lieu, un travail devra être mené avec des compagnies d'assurance afin de les aider à établir et mesurer la liste des différents risques (accident, mais aussi annulation ou retard) du dirigeable et mettre au point des produits d'assurance adaptés. Ces derniers couvriraient les utilisateurs ce qui faciliterait leur acceptation de ce mode de transport.

## I. Annexe 1 à la Partie III

### Propositions d'études et recherches approfondies classées par domaine scientifique

Photo # NH 97977 USS Akron approaches mooring mast, circa 1931-1933



## 1. Aérodynamique

- Comportement au sol d'un dirigeable gros porteur (étude 1)
- Comportement au sol d'un dirigeable gros porteur (étude 2)
- Mesures de validation sur un dirigeable
- Emplacement des appendices de manœuvre
- Choix du type de structure et dimensionnement
- Etude sur la masse à vide de 50%
- Comportement en vol d'un dirigeable gros porteur
- Caractéristiques aérodynamiques pour différentes formes d'enveloppes, avec ou sans nacelle et appendices

<b>Titre</b>	<b>Comportement au sol d'un dirigeable gros porteur (1)</b>
Auteur de la demande	Université de Pau et des Pays de l'Adour UPPA LMA CNRS-FRE2570 IPRA-LMA BP1155 64013 Pau Cédex
Nom du contact :	Mohamed AMARA
TEL du contact :	05 59 40 75 49
Email du contact :	<a href="mailto:Mohamed.amara@univ-pau.fr">Mohamed.amara@univ-pau.fr</a>
Objectifs	Etude du comportement au sol du dirigeable attaché à un poteau par un câble, avec ou sans charge. Ce comportement sera étudié grâce à une simulation numérique.
Durée	18 mois
Description	L'objectif est de mettre en équation les degrés de liberté de la charge (9 degrés) et du dirigeable (6 degrés) lié à un câble qui possède 3 degrés de liberté par rapport à un poteau rigide. Les mouvements induits par les fluctuations de vent seront étudiés. Les caractéristiques du câble, rigide en traction mais détendu en compression seront prises en compte.
Intervenants	- Université de Pau et des Pays de l'Adour UPPA - CNAM de Paris
Coût total	425 K€
Fonds propres	325 K€ dont - 300 K€ pour des chercheurs (36 hommes-mois) - 25 K€ pour les moyens de calculs, fonctionnement
Financement demandé	100 K€ dont - 65 K€ pour des Post doctorants (18 mois) - 35 K€ pour des missions, expertises, documentation

<b>Titre</b>	<b>Comportement au sol d'un dirigeable gros porteur (2)</b>
Auteur de la demande	Université de Pau et des Pays de l'Adour UPPA LMA CNRS-FRE2570 IPRA-LMA BP1155 64013 Pau Cédex
Nom du contact :	Mohamed AMARA
TEL du contact :	05 59 40 75 49
Email du contact :	<a href="mailto:Mohamed.amara@univ-pau.fr">Mohamed.amara@univ-pau.fr</a>
Objectifs	Etude du comportement au sol du dirigeable attaché à un poteau par un câble, avec ou sans charge. Réalisation d'une expérimentation en soufflerie pour conforter le modèle numérique précédemment défini.
Description	L'objectif est d'ajouter d'autres câbles de liaison latéraux et de caler le modèle numérique précédent en réalisant une expérimentation en soufflerie
Intervenants	- Université de Pau et des Pays de l'Adour UPPA - CNAM de Paris - IMFT Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse



<b>Titre</b>	<b>Mesures de validation sur un dirigeable</b>
Auteur de la demande	BPR Conseil
TEL du contact :	02 47 92 00 87
Email du contact :	<a href="mailto:bprconseil@wanadoo.fr">bprconseil@wanadoo.fr</a>
Objectifs	Effectuer un ensemble de mesures en réel sur un dirigeable : puissance, vitesse, manoeuvrabilité, consommation, efforts de structure, ...
Description	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en place un plan de mesures suivant les caractéristiques indiquées précédemment.</li> <li>- Définir la manière de réaliser physiquement ces mesures, de les dépouiller et de les interpréter.</li> <li>- Etablir un rapport de synthèse et décrire les modifications à apporter au prototype.</li> </ul>
Intervenants	- Bureau d'expertise type Veritas ...
Coût total	20 K€

<b>Titre</b>	<b>Emplacement des appendices de manoeuvre</b>
Auteur de la demande	BPR Conseil
TEL du contact :	02 47 92 00 87
Email du contact :	<a href="mailto:bprconseil@wanadoo.fr">bprconseil@wanadoo.fr</a>
Objectifs	Placer les appendices d'un dirigeable de manière optimale pour respecter la stabilité de l'ensemble et faciliter les manoeuvres
Description	Les études sur le dimensionnement (puissance) et l'emplacement des appendices du dirigeable, afin de respecter la stabilité de l'ensemble et la facilité de conduite et de manoeuvre, permettront d'établir des recommandations. Pour cela des essais en soufflerie et des moyens de simulation aérodynamiques et de calculs seront utilisés.
Intervenants	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ONERA</li> <li>- ENSMA</li> <li>- ENSAERO</li> </ul>

<b>Titre</b>	<b>Choix du type de structure et dimensionnement</b>
Auteur de la demande	BPR Conseil
TEL du contact :	02 47 92 00 87
Email du contact :	<a href="mailto:bprconseil@wanadoo.fr">bprconseil@wanadoo.fr</a>
Objectifs	Réaliser une étude comparative entre les différents concepts de dirigeable (rigides, semi-rigides, souples) et définir la viabilité technique de ces concepts en fonction des performances et de l'utilisation attendues par les utilisateurs
Durée	?
Description	L'étude consiste à définir une forme générale satisfaisante sur le plan de l'aérodynamisme, de la dimension et de la puissance propulsive et d'établir les critiques sur ce choix d'architecture en fonction de l'utilisation et de la sûreté de fonctionnement. Pour cela des moyens de calculs de structures seront utilisés.
Intervenants	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bureau Veritas</li> <li>- SIREHNA</li> <li>- D2M</li> </ul>

<b>Titre</b>	<b>Etude sur la masse à vide de 50%</b>
<b>Auteur de la demande</b>	<b>Voliris</b>
Nom du contact :	Simon THEUVENY
TEL du contact :	01 39 79 39 88
Email du contact :	<a href="http://www.voliris.com">www.voliris.com</a>
Objectifs	Rendre plus légers les dirigeables actuels et d'antan avec les matériaux et technologies dont on dispose aujourd'hui
Description	L'étude consiste : <ul style="list-style-type: none"> <li>- à calculer le poids à vide de quelques dirigeables de toutes conceptions (rigides, souples et semi-rigides) existants ou ayant existé</li> <li>- à faire une extrapolation à un appareil dont la charge payante serait de 100 tonnes à 1500 m, avec des coefficients de sécurité appropriés</li> <li>- à estimer le sur-poids apporté par la structure supportant la charge lourde.</li> <li>- A calculer la répartition des efforts</li> </ul>
Intervenants	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ONERA</li> <li>- EADS</li> <li>- Liftium</li> <li>- Voliris</li> <li>- Ecoles d'ingénieurs et universités</li> </ul>

<b>Titre</b>	<b>Comportement en vol d'un dirigeable gros porteur</b>
Auteur de la demande	Université de Pau et des Pays de l'Adour UPPA LMA CNRS-FRE2570 IPRA-LMA BP1155 64013 Pau Cédex
Nom du contact :	Mohamed AMARA, Eric SCHALL
TEL du contact :	05 59 40 75 49 et 05 59 40 71 66
Email du contact :	<a href="mailto:Mohamed.amara@univ-pau.fr">Mohamed.amara@univ-pau.fr</a> et <a href="mailto:eric.schall@univ-pau.fr">eric.schall@univ-pau.fr</a>
Objectifs	Etude du comportement en vol du dirigeable et des interactions fluides-structures à l'aide d'une simulation numérique
Durée	18 mois
Description	L'objectif est d'étudier <u>numériquement</u> la forme et le comportement de gros dirigeable en vol à partir de la validation expérimentale sur de petits prototypes. Pour cela il est envisagé de récupérer des codes de simulation existants, des les utiliser, de les adapter et d'en développer d'autres. La modélisation devrait notamment porter sur : <ul style="list-style-type: none"> <li>- les écoulements aux grandes échelles</li> <li>- les interactions fluides-structures</li> <li>- le calcul de traînée à faible vitesse</li> <li>- les transferts thermiques</li> </ul>
Intervenants	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Université de Pau et des Pays de l'Adour UPPA</li> <li>- INRIA Sophia Antipolis</li> <li>- INRIA Bordeaux</li> <li>- Université de Bordeaux I</li> <li>- Université de Montpellier II</li> <li>- Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse</li> <li>- CNAM de Paris</li> </ul>
Coût total	590 K€
Fonds propres	450 K€ dont <ul style="list-style-type: none"> <li>- 400 K€ pour des chercheurs (48 hommes-mois)</li> <li>- 50 K€ pour les moyens de calculs, fonctionnement</li> </ul>
Financement demandé	140 K€ dont <ul style="list-style-type: none"> <li>- 90 K€ pour des Post doctorants (48 mois-hommes)</li> <li>- 50 K€ pour des missions, expertises, documentation</li> </ul>

<b>Titre</b>	<b>Caractéristiques aérodynamiques pour différentes formes d'enveloppes, avec ou sans nacelle et appendices</b>
Auteur de la demande	BPR Conseil
TEL du contact :	02 47 92 00 87
Email du contact :	<a href="mailto:bprconseil@wanadoo.fr">bprconseil@wanadoo.fr</a>
Objectifs	Etablir les caractéristiques aérodynamiques pour différentes formes d'enveloppes, avec ou sans nacelle et appendices
Description	Elaboration d'un plan d'essais et réalisation de maquettes construites à partir du concept d'enveloppe souple. Les essais seront réalisés en soufflerie. Rédaction des résultats des essais, de synthèses et de recommandations
Intervenants	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ONERA, RossAéro</li> <li>- SIREHNA</li> <li>- ESEM, ENSMA, ENSTA, ESTACA, universités de Pau, Lille, Bordeaux, Toulouse</li> </ul>

## **2. Enveloppes Textiles**

### **2.1. Mécanique des enveloppes**

- Tests sur enveloppes textile
- Evolution des caractéristiques des voiles
- Modélisation numérique de calcul d'efforts dans une toile
- Conception et exploitation d'un DGP liées aux conditions aérologiques et climatiques
- Risques de phénomènes micro-climatiques dans l'enceinte de l'enveloppe du DGP

### **2.2. Technologie des toiles pour enveloppes souples et ballonnets**

- Enveloppe, matériaux et tissus – intégration de polymères conducteurs intrinsèques (PCI)
- Solutions techniques de traversées des enveloppes et parois
- Liaison entre voiles intérieures, suspentes et enveloppes
- Règles de réparations pour les problèmes d'enveloppe
- Contrôle et maintien de l'étanchéité des enveloppes

## Mécanique des enveloppes

Titre	<b>Tests sur enveloppes textiles</b>
Auteur de la demande	BPR Conseil
TEL du contact :	02 47 92 00 87
Email du contact :	bprconseil@wanadoo.fr
Objectifs	Caractérisation des propriétés mécaniques des toiles, élaboration des règles pratiques de calcul pour les structures, élaboration de règles de contrôle industriel
Description	Les travaux consistent à : <ul style="list-style-type: none"> <li>- faire une recherche bibliographique sur les caractéristiques des toiles</li> <li>- définir et réaliser des essais (résistance à l'effort...)</li> <li>- définir les caractéristiques de tenue dans le temps (froid, soleil, élasticité)</li> <li>- Mettre au point l'élaboration de règles et de contrôles industriels</li> </ul>
Intervenants	- Clubtex - SEP - Centres d'expertise et d'essais DGA
Coût total	80 K€

Titre	<b>Evolutions des caractéristiques des voiles</b>
Auteur de la demande	BPR Conseil
TEL du contact :	02 47 92 00 87
Email du contact :	<a href="mailto:bprconseil@wanadoo.fr">bprconseil@wanadoo.fr</a>
Objectifs	Etablir les évolutions des caractéristiques de toiles suivant les efforts et agressions subis pendant leur cycle de vie
Description	Définir et simuler en accéléré les cycles vécus par la toile (alternance d'efforts et relaxation, humidité, froid ...) et mettre au point les essais permettant de mesurer les efforts et les types d'agression subis par la toile. Les résultats des essais permettront de définir des recommandations de maintenance et de réparation.
Intervenants	- Clubtex - LNE
Coût total	55 K€

<b>Titre</b>	<b>Modélisation numérique de calculs d'efforts dans une toile</b>
Auteur de la demande	BPR Conseil
TEL du contact :	02 47 92 00 87
Email du contact :	<a href="mailto:bprconseil@wanadoo.fr">bprconseil@wanadoo.fr</a>
Objectifs	Mettre au point un programme de calculs pour simuler les efforts concentrés dans la surface d'une toile et caler ce modèle avec des essais pratiques
Description	Cette étude doit définir un programme informatique de simulation numérique des différents efforts dans la toile en corrélation avec les essais sur diverses toiles ayant subi les épreuves du temps (alternance d'efforts et relaxation, humidité, froid ...) Au préalable, il sera effectué une recherche sur les différentes solutions technologiques applicables pour le DGP (nouvelles matières et leur mise en œuvre)
Intervenants	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ONERA</li> <li>- Clubtex</li> <li>- Laboratoires russes</li> </ul>

<b>Titre</b>	<b>Conception et exploitation d'un DGP liées aux conditions aérologiques et climatiques</b>
Auteur de la demande	BPR Conseil
TEL du contact :	02 47 92 00 87
Email du contact :	<a href="mailto:bprconseil@wanadoo.fr">bprconseil@wanadoo.fr</a>
Objectifs	En fonction du dimensionnement du DGP, définir et valider les évolutions nécessaires pour répondre aux conditions extrêmes de navigation de l'engin.
Description	L'étude consiste à identifier les cas critiques en fonction du dimensionnement général et d'estimer les conséquences de certains phénomènes tels que le givrage.
Intervenants	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ONERA</li> <li>- EPFL</li> <li>- Industriels du programme</li> </ul>

<b>Titre</b>	<b>Risques de phénomènes microclimatiques dans l'enceinte de l'enveloppe du DGP</b>
Auteur de la demande	BPR Conseil
TEL du contact :	02 47 92 00 87
Email du contact :	<a href="mailto:bprconseil@wanadoo.fr">bprconseil@wanadoo.fr</a>
Objectifs	Analyse de ces phénomènes et production de recommandations
Description	<p>L'étude consiste :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- à identifier les phénomènes micro météorologiques entraînant la formation d'électricité statique, zone froide ou chaudes ... suite à des conditions d'environnement difficiles avec des écarts de températures importants.</li> <li>- A définir les risques par rapport à l'enveloppe et à la sécurité du vol</li> <li>- A définir les remèdes nécessaires pour éviter l'apparition de ces phénomènes</li> </ul>
Intervenants	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ONERA</li> <li>- CEA</li> <li>- Centre d'études DGA</li> <li>- CNES</li> </ul>

## Technologie des toiles pour enveloppes souples et ballonnets

<b>Titre</b>	<b>Enveloppe, matériaux et tissus – intégration de polymères conducteurs intrinsèques (PCI)</b>
Auteur de la demande	Université de Pau et des Pays de l'Adour UPPA Laboratoire de Physico-Chimie des Polymères LPCP CNRS- UMR5067
Nom du contact :	Jeanne FRANCOIS
TEL du contact :	05 59 40 76 01
Email du contact :	<a href="mailto:Jeanne.francois@univ-pau.fr">Jeanne.francois@univ-pau.fr</a>
Objectifs	Evaluation des propriétés électrostatiques, électrodynamiques et conductrices d'enveloppes de dirigeables enduites de PCI
Durée	18 mois
Description	Le programme d'étude définit les points suivants : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Définition des caractéristiques des tissus commerciaux susceptibles de répondre aux contraintes mécaniques et de nature chimique</li> <li>- Synthétisation de PCI répondant à des critères particuliers tels que la tenue en température, aux UV, utilisation d'hydrogène, compatibilité avec le tissu..)</li> <li>- Mise en œuvre des méthodes d'enduction du PCI sur les tissus</li> <li>- Méthodes pour tester les propriétés mécaniques et thermiques de l'ensemble (limites d'utilisation en température et pression, résistance à la rupture, propriété d'adhésion ..)</li> <li>- Tests des propriétés électriques et de conductivité des matériaux</li> </ul>
Intervenants	- Laboratoire de Physico-Chimie des Polymères LPCP de Pau - Laboratoire de Génie Electrique de Pau - Le Pôle Aquitain Matériaux - Le réseau CNRS sur les Matériaux
Coût total	460 K€
Fonds propres	350 K€ dont <ul style="list-style-type: none"> <li>- 300 K€ pour des chercheurs (36 hommes-mois)</li> <li>- 50 K€ pour expérimentation et fonctionnement</li> </ul>
Financement demandé	110 K€ dont <ul style="list-style-type: none"> <li>- 65 K€ pour des Post doctorants</li> <li>- 45 K€ pour des missions, expertises, expérimentation</li> </ul>



<b>Titre</b>	<b>Solutions techniques de traversées des enveloppes et parois</b>
Auteur de la demande	BPR Conseil
TEL du contact :	02 47 92 00 87
Email du contact :	bprconseil@wanadoo.fr
Objectifs	Définir et qualifier des solutions techniques de traversée des enveloppes et parois
Description	La traversée des enveloppes et parois permet le passage des câbles de puissance et de contrôle de commande et des tuyauteries. Il faut donc effectuer la préparation et la réalisation des essais et mettre au point des procédures . Il faut également examiner les conditions de réparation de l'enveloppe
Intervenants	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CETIM</li> <li>- IUT de Compiègne</li> <li>- Air Liquide</li> <li>- Legris Industrie</li> </ul>
Coût total	50 K€

<b>Titre</b>	<b>Liaison entre voiles intérieures, suspentes et enveloppes</b>
Auteur de la demande	BPR Conseil
TEL du contact :	02 47 92 00 87
Email du contact :	bprconseil@wanadoo.fr
Objectifs	Définir les technologies de liaison entre voiles intérieures, suspentes et enveloppes
Description	<p>L'objectif est de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- définir les technologies de liaison telles que le collage et la couture</li> <li>- valider les types de machines et les composants d'assemblage (fils, colle ...)</li> <li>- définir les conditions de réalisation industrielles</li> </ul>
Intervenants	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Clubtex</li> <li>- Aérazur</li> <li>- Laboratoires russes</li> </ul>
Coût total	50 K€

<b>Titre</b>	<b>Règles de réparations pour les problèmes d'enveloppe</b>
Auteur de la demande	BPR Conseil
TEL du contact :	02 47 92 00 87
Email du contact :	<a href="mailto:bprconseil@wanadoo.fr">bprconseil@wanadoo.fr</a>
Objectifs	Définir les règles de réparations sur les problèmes d'enveloppe : déchirures, défauts, étanchéité.
Description	L'objectif est d'établir les procédures de réparation et de qualifier la réparation à partir d'un plan d'essais approuvé. Les essais prévus sont des essais d'abrasion, de traction, de déchirement, de flexion et d'efforts cycliques.
Intervenants	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Clubtex</li> <li>- Laboratoires russes</li> </ul>
Coût total	30 K€

<b>Titre</b>	<b>Contrôle et maintien de l'étanchéité des enveloppes</b>
Auteur de la demande	BPR Conseil
TEL du contact :	02 47 92 00 87
Email du contact :	<a href="mailto:bprconseil@wanadoo.fr">bprconseil@wanadoo.fr</a>
Objectifs	Contrôle et maintien de l'étanchéité des enveloppes
Description	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Définir les critères et étudier les moyens de contrôle permettant de valider l'étanchéité des enveloppes.</li> <li>- Définir les conditions de contrôle et de vérification des assemblages des toiles et des réparations</li> <li>- Elaborer des procédures de réparation et de contrôle des réparations</li> </ul>
Intervenants	- Clubtex

### 3. Moteurs et rotors

<b>Titre</b>	<b>Synthèse et analyse des systèmes de propulsion</b>
Auteur de la demande	BPR Conseil
TEL du contact :	02 47 92 00 87
Email du contact :	<a href="mailto:bprconseil@wanadoo.fr">bprconseil@wanadoo.fr</a>
Objectifs	Etablir la synthèse et l'analyse des systèmes de propulsion compte-tenu des technologies et produits actuellement disponibles
Description	Cette étude comprend : <ul style="list-style-type: none"><li>- un historique des dispositifs existants</li><li>- l'analyse des modes de propulsion (moteurs, hélices ..), les combustibles (gaz, carburants d'avion ..)</li><li>- des recommandations sur les décisions à prendre suivant un ensemble de critères (coût, environnement ..)</li></ul> Des essais en soufflerie seront effectués
Intervenants	<ul style="list-style-type: none"><li>- ONERA</li><li>- Sociétés russes</li></ul>

#### **4. Attaches de charges, câbles, treuils**

- Opérations de chargement/déchargement de charges lourdes
- Configuration d'équipements de sustentation pour les différents cas de déchargement
- Accrochage de charges sur enveloppe souple
- Stabilisation sur une charge

<b>Titre</b>	<b>Opérations de chargement/déchargement de charges lourdes</b>
Auteur de la demande	BPR Conseil
TEL du contact :	02 47 92 00 87
Email du contact :	<a href="mailto:bprconseil@wanadoo.fr">bprconseil@wanadoo.fr</a>
Objectifs	Définition préliminaires des opérations de chargement/déchargement de charges lourdes
Durée	?
Description	Définir les concepts permettant l'embarquement des charges lourdes et encombrantes, en prenant en compte la plate-forme d'emport et les contraintes du site. Cette étude mettra en évidence les techniques utilisées sur l'engin et sur le site.
Intervenants	<ul style="list-style-type: none"> <li>- EPFL</li> <li>- DAHER</li> <li>- Institut du transport</li> </ul>

<b>Titre</b>	<b>Configuration d'équipements de sustentation pour les différents cas de déchargement</b>
Auteur de la demande	BPR Conseil
TEL du contact :	02 47 92 00 87
Email du contact :	<a href="mailto:bprconseil@wanadoo.fr">bprconseil@wanadoo.fr</a>
Objectifs	Etablir des propositions pour définir et positionner des équipements de sustentation
Description	<p>Cette étude comprend :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- un historique des dispositifs existants</li> <li>- la validation de ces technologies</li> <li>- des recommandations en association avec les technologies d'enveloppes.</li> </ul> <p>Des essais en soufflerie seront effectués</p>

<b>Titre</b>	<b>Accrochage de charges sur enveloppe souple</b>
Auteur de la demande	BPR Conseil
TEL du contact :	02 47 92 00 87
Email du contact :	<a href="mailto:bprconseil@wanadoo.fr">bprconseil@wanadoo.fr</a>
Objectifs	Définir les systèmes et structures nécessaires au support de charges sur l'enveloppe souple.
Description	Réalisation d'une analyse fonctionnelle sur les charges lourdes et concentrée et les charges au volume important. Cette analyse prendra en compte les processus de manutention, la décomposition des différentes opérations de chargement, des critères économiques tels que le délai et le coût ainsi que les garanties de sûreté. Des modélisations (outils d'analyses numériques) et des essais (essais de traction, d'usure et de fatigue) seront effectués
Intervenants	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ONERA</li> <li>- BPR Conseil</li> </ul>

<b>Titre</b>	<b>Stabilisation sur une charge</b>
Auteur de la demande	Voliris
Nom du contact :	Simon THEUVENY
TEL du contact :	01 39 79 39 88
Email du contact :	<a href="http://www.voliris.com">www.voliris.com</a>
Objectifs	Etude du transport de charge à bord d'un dirigeable
Description	<p>L'étude consiste à mettre au point un démonstrateur (20 à 50000 m<sup>3</sup>) capable d'embarquer une charge sur un point A et de la déplacer vers un point B. Ce démonstrateur doit permettre de fournir des résultats extrapolables aux DGP. Il devra effectuer les opérations de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- stabilisation du dirigeable au point A</li> <li>- transfert de charge du sol vers l'engin</li> <li>- déplacement du point A vers le point B</li> <li>- stabilisation du dirigeable au point B</li> <li>- déchargement</li> </ul> <p>Ces opérations seront effectuées pour des conditions de vent fixées et avec transfert de lest. Voliris souhaite le lancement d'un appel d'offre préalable pour réaliser le démonstrateur .</p>

## 5. Gaz porteur

<b>Titre</b>	<b>Réhabilitation du gaz H<sub>2</sub> comme gaz d'enveloppe</b>
Auteur de la demande	BPR Conseil
TEL du contact :	02 47 92 00 87
Email du contact :	<a href="mailto:bprconseil@wanadoo.fr">bprconseil@wanadoo.fr</a>
Objectifs	Etude de la possible réhabilitation du gaz H <sub>2</sub> comme gaz d'enveloppe en prenant en compte les enjeux économiques, les risques, les limites d'emploi....
Description	L'étude consiste : <ul style="list-style-type: none"><li>- à définir les conditions d'inflammation et de détonation des mélanges H<sub>2</sub>/air et H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub></li><li>- à en évaluer les risques</li><li>- à définir l'acceptabilité de ces solutions pour le transport de fret et/ou de passagers</li></ul>
Intervenants	<ul style="list-style-type: none"><li>- ONERA</li><li>- CEA</li><li>- L'Air Liquide</li></ul>

## 6. Documentation et formation

<b>Titre</b>	<b>Glossaire</b>
Auteur de la demande	BPR Conseil
TEL du contact :	02 47 92 00 87
Email du contact :	bprconseil@wanadoo.fr
Objectifs	Définir d'un glossaire
Durée	?
Description	Ce glossaire multilingue français, anglais, allemand, russe permet de faciliter la compréhension et de préciser les termes liés au dirigeable afin de limiter les risques de mauvaises interprétations.
Intervenants	- BPR conseil - Autres sociétés intéressées par le dirigeable
Coût total	35 K€

<b>Titre</b>	<b>Formation des pilotes de dirigeable</b>
Auteur de la demande	BPR Conseil
TEL du contact :	02 47 92 00 87
Email du contact :	<a href="mailto:bprconseil@wanadoo.fr">bprconseil@wanadoo.fr</a>
Objectifs	Définir un cursus de formation
Description	En relation avec la DGAC, faire un état des connaissances théoriques et pratiques nécessaires pour le pilotage Etudier les conditions de certification du pilote et d'acquisition de qualification pour les personnes détenant déjà un brevet de pilote.
Intervenants	Aéroclubs situés près de hangars de dirigeables



## II. Annexe 2 à la Partie III

### Budget & Financements du Programme d'Etudes et de Recherche



## 1. Etudes et Recherches

### 1.1. Les études techniques

En première évaluation approximative, le programme d'études techniques peut être estimé à environ entre 2,5 et 3 M€. hors taxes.

Il n'est pas possible de donner un montant plus précis en l'état actuel des investigations car certaines propositions, non chiffrées, ont donné lieu à une approximation et les budgets demandés n'ont pas été expertisés.

### 1.2. Les recherches d'ordre économique, juridiques et institutionnelles

#### *a. Etudes de marché*

- Utilisations publiques envisageables
  - Recensement et évaluation des opérations d'utilisation déjà réalisées
  - Examen de cas pratiques les plus évidents d'utilisation et comparaison avec les méthodes actuelles  
Durée : T0+18 – travail effectif de 3 mois  
Montant estimé 60 000 €
- Utilisation par les entreprises – études de cas
  - Travail conduit en coopération avec les entreprises
  - Durée : T0+18mois
  - Sur la base des hypothèses déjà faites de produits transportés par dirigeable, le travail effectif est de 10J par produit soit 80J pour les 8 produits identifiés à ce jour.  
Montant estimé : 70 000 €
- Modèles d'entreprise
  - Travail conduit en coopération avec les entreprises
  - Durée : T0+18mois
  - Montant estimé : 60 000 €

#### *b. Aspects internationaux (aide humanitaire, réfugiés, catastrophes naturelles)*

- Travail conduit en coopération avec des ONG et des organisations internationales
- Durée : T0+12mois
- Montant estimé : 120 000 €

### **c. Réglementation**

- Veille et diffusion ; travail conduit en coopération avec la DGAC
- Durée : T0+18mois
- Montant estimé : 30 000 €

### **d. Formation**

- Etablissement d'un programme de spécifications de formation du personnel spécialisé (pilotes, techniciens au sol)
- Durée : T0+6
- Montant estimé : 90 000 €
- Possibilité de prise en charge du financement par la Région Auvergne, le Conseil Général de l'Allier et l'Agglomération de Moulins et Voliris.

## **1.3. Sensibilisation et communication**

- Durée : T0+18mois
- Montant estimé : 80 000 €

## **2. Mise en place et animation de la structure de conduite du programme d'études et de recherche**

Il est précisé que les durées figurant ci-dessous sont exprimées en mois à compter de la date de lancement du programme (T0).

- Identification des compétences nécessaires à la structure et prise de contact avec celles-ci. (environ une douzaine d'organismes devraient être dans le Comité de pilotage)
  - Travail déjà accompli par l'Université de Pau dans le domaine scientifique et technique (prise en charge financière par la Région Aquitaine et le FEDER)
  - Industriels : information et sensibilisation à effectuer  
Durée : T0+2  
Jours/homme : environ 35
- Fonctionnement de la structure assuré par le secrétariat
  - Préparation des réunions du Comité
  - Coordination des intervenants
  - Participation à l'établissement des appels à proposition
  - Examen des offres (architecture, études et projets)
  - Suivi des travaux
  - Participation aux évaluations

Durée : T0 + 18

Jours/homme : équivalent d'1 personne à mi-temps pendant les 6 premiers mois, soit 60 Journées

7 J par mois durant les 12 mois suivants, soit 84 jours

□ Comité de pilotage

Durée : T0+18

Jours/homme : supposées pris en charge par les organismes dans lesquelles sont les membres du Comité. Il convient toutefois de prévoir un soutien minimal évalué à 40 jours/homme.

□ Réseau de compétences

Durée : T0+18

Jours/homme : frais de fonctionnement et expertises : 35 K€

**Estimatif conduite du programme**

(montants hors taxes)

	nombre	coût/jour	total
<b>IDENTIFICATION DES COMPETENCES</b>			
Directeurs d'études	11	850	9350
Chargés d'études	12	600	7200
Assistant d'études	12	310	3720
	35		20270
<b>SECRETARIAT</b>			
Directeurs d'études	48	850	40800
Chargés d'études	46	600	27600
Assistants d'études	40	310	12400
	134		80800
<b>SOUTIEN AU COMITE DE PILOTAGE</b>			
Directeurs d'études	15	850	12750
Chargés d'études	15	600	9000
Assistants d'études	10	310	3100
	40		24850
<b>EXPERTISES</b>			
			35000
<b>VOYAGES ET FRAIS DIVERS</b>			
			9000
<b>TOTAL ESTIMATIF</b>			<b>134920</b>

### 3. Estimation globale

	mini	maxi
I Etudes techniques	2 500 000	3 000 000
II Etudes économiques	130 000	190 000
III Aspects juridiques et réglementaires	20 000	30 000
IV Aspects internationaux	90 000	120 000
V Formation	60 000	90 000
VI Sensibilisation	50 000	80 000
VII Coordination et conduite de projet	100 000	135 000
	2 950 000	3 645 000

### 4. Modalités de financement

Plusieurs sources de financements paraissent pouvoir être sollicitées : l'Etat (PREDIT, Ministère de l'Industrie, Ministère des Transports (DGAC), Ministère de la Recherche) d'autres institutions publiques nationales (ANVAR, ADEME), les collectivités territoriales (Région Nord-pas-de-Calais, Région Aquitaine, Communauté de communes de Moulin....), des financeurs privés.

Fournir une répartition détaillée de ces financements relèverait de la pure hypothèse. Nous avons cependant, à partir des informations dont nous disposons, cherché à donner un premier éclairage de ce qui paraît possible, dans le tableau ci-dessous.

ETAT	35%	1 050 000,00	1 300 250,00
AUTRES INSTIT PUBLIQUES	15%	450 000,00	557 250,00
FINANC LOCAUX	20%	600 000,00	743 000,00
FINANCEMENTS PRIVES	30%	900 000,00	1 114 500,00

# Conclusion

## Un constat

Le dirigeable appartient-il au présent ? Des programmes d'utilisation du dirigeable se concrétisent dans le monde entier. Ils intéressent de nombreux domaines d'activité. En France, durant les dernières années, des projets sont apparus et sont pris au sérieux. Les collectivités locales se sont intéressées à la question. La presse s'en fait épisodiquement l'écho.

Désormais, l'opportunité de lancer un programme de recherches sur le « plus léger que l'air » en France s'appuie sur des motivations économiques et scientifiques sérieuses.

Cette étude a été centrée sur le dirigeable gros porteur, susceptible de transporter, sur de longues distances, des charges qui, du fait de leur poids et de leur volume, ne peuvent être acheminées simplement par les moyens classiques. Un tel aéronef n'existe pas. La tentative allemande de lui faire voir le jour, le projet « Cargolifter », n'a pas pu être menée à terme pour des raisons d'économie locale bien que la faisabilité technique de l'engin ait pu être démontrée.

Les leçons de cet échec doivent conduire la France à adopter une autre stratégie. Constatant que les modèles de dirigeables plus petits, voués à des missions différentes commencent à se déployer, il faut pouvoir capitaliser les recherches et les expériences et raisonner « en similitude », dès lors que les résultats sont, en grande partie, transposables.

Les recherches sur le dirigeable en France sont plus importantes qu'on l'imagine parfois. Elles sont nombreuses et mobilisent des experts avérés en même temps qu'un monde de passionnés. Le défaut est qu'elles sont inorganisées et sont, pour une large part des initiatives isolées les unes des autres, quelquefois concurrentes. Parce qu'elles sont dispersées et mal coordonnées, ces recherches ne sont pas en mesure de produire les résultats escomptés au plan national.

Aussi, toute action nationale visant à réactiver le dirigeable suppose nécessairement et avant tout de mettre en place une coordination suffisante pour gérer efficacement un programme d'études et de recherches et assurer sa diffusion. Tous les acteurs que nous avons rencontrés sont d'accord sur ce point. Ils pensent également qu'il appartient à l'Etat de fournir les moyens d'organiser le réseau de compétences.

## Le partage des rôles entre les différents acteurs

### Le rôle de l'Etat et des institutions nationales

#### *Afficher un rôle central*

L'Etat a l'obligation d'afficher sa décision de favoriser le développement du dirigeable, et notamment du dirigeable gros porteur. Sa place ne lui sera pas offerte spontanément ;

différentes politiques publiques - énergie, environnement, équipements, action humanitaire - devraient faire référence à son utilisation.

### *Une position centrale*

L'Etat devrait s'appuyer sur un comité de pilotage technique et scientifique et avoir un pouvoir de décision. Le choix d'un concept devrait permettre de ne pas diriger la recherche vers des projets particuliers et d'en faire bénéficier l'ensemble des personnes qui travaillent sur le dirigeable. Il faciliterait, dès lors, l'apparition et le développement de cette branche de l'aéronautique.

Parallèlement, l'Etat devrait avoir un rôle déterminant sur les mesures réglementaires à instituer en ce qui concerne la réglementation et la formation.

### *L'Etat client*

Enfin, l'Etat, pourrait lui-même se comporter en « client » du dirigeable et utiliser les engins qui existent actuellement ou qui sont sur le point d'être mis sur le marché pour assurer certaines de ses attributions.<sup>2</sup>.

### *Les autres acteurs institutionnels nationaux*

Par ailleurs, des organismes comme l'ANVAR ou l'ADEME ayant pour activité de faciliter la diffusion de produits participant à la réalisation de leurs objectifs, devront regarder favorablement les projets portant sur la fabrication du dirigeable et son utilisation.

---

<sup>2</sup> Plusieurs actions pourraient être engagées dans le champ des compétences de l'Etat et, plus particulièrement, du ministère chargé des Transports.

Celle qui a déjà fait l'objet d'un examen attentif est la surveillance des façades maritimes. Dans le cadre de ses attributions relatives à l'étude des possibilités d'améliorer les moyens de surveillance des zones maritimes, le Secrétariat Général de la Mer (SGM) a étudié le dirigeable et estime que celui-ci pourrait répondre plus complètement aux actions de l'Etat ainsi qu'à d'autres missions (sécurité civile en particulier).

La réalisation d'opérations de ce type à l'étranger ainsi que l'évaluation opérationnelle conduite en 1985 par la Marine Nationale conduisent à penser que le dirigeable serait plus efficace que les moyens actuels et pour un coût très inférieur.

Une société (Airship Vision) a fait une proposition d'expérimentation du dirigeable pendant une durée suffisante (six mois) pour étudier tous les volets de cette possibilité.

Le SGM a organisé une réunion interministérielle le 11 septembre dernier afin de recueillir le sentiment des administrations concernées. Celui-ci est globalement positif.

D'autres utilisations sont envisagées comme l'assistance aux opérations de circulation routière, ou le contrôle de la vitesse des véhicules.

Les modalités de réalisation de cette opération sont en cours d'examen par Thalès, Zeppelin et Airship Vision.

## **Le rôle des collectivités territoriales**

Des engagements ont déjà été pris par certaines d'entre elles :

- La Région Nord-Pas de Calais se positionne comme pôle d'excellence en matière de recherche textile pour l'enveloppe des dirigeables. Elle examine actuellement également la possibilité d'utiliser le dirigeable pour le transport et la dépose d'éoliennes ;
- La Région Aquitaine soutient deux projets sur son territoire, FIRST et AVEA . Elle facilite et finance les travaux de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour ;
- La Région Midi-Pyrénées est également disposée à faciliter le fonctionnement du réseau de compétences ;
- La communauté de communes de l'agglomération de Moulins a pris la décision de construire un hangar pour dirigeables et de mettre en place un pôle de services dédiés au dirigeable (notamment formation).

## **Le rôle des acteurs privés**

Les acteurs privés sont les sociétés qui fabriquent certains éléments du dirigeable (firmes textiles, motoristes, matériels électroniques....), qui les assemblent et celles qui exploitent les aéronefs. Ces acteurs privés sont aujourd'hui, pour la plupart, identifiées et ont été contactées pour les besoins de cette étude.

Un certain nombre d'entreprises se sont d'ores déjà déclarées prêtes à participer au programme d'études et de recherches si l'Etat décide de le mettre en place. Cette participation pourrait prendre la forme d'apports financiers et/ou d'apports en industrie. Il s'agit des entreprises engagées actuellement dans la fabrication et l'exploitation d'appareils, des entreprises des secteurs textile et de l'énergie. En outre, AIRBUS Industrie a désigné un observateur pour suivre les travaux et l'ONERA, qui avait réalisé une première étude pour le compte de la Délégation Générale pour l'Armement, reste mobilisé.

Des efforts devront cependant être faits pour mieux associer la branche aéronautique dans son ensemble.



## **Remerciements**

- M. Didier COSTE, Ingénieur Général des Ponts et Chaussées, créateur de LIFTIUM
- M. Jean-René FONTAINE, Président d'AERALL et les membres de l'association
- M. Pierre MAYET, Ancien Vice Président du Conseil Général des Ponts et Chaussées, Président d'URBA 2000
- MM. Christian et Simon THEUVENY, VOLIRIS

## **Rédaction**

- Michel CHOUZENOUX, URBA 2000
- Philippe DELCOURT, URBA 2000
- Jean-Louis GRAINDORGE, URBA 2000