

2006

AERALL

Dirigeable Gros Porteur (DGP) Mise en place d'un réseau de recherche



Commande n° 04MT5042
Ministère des Transports, de l'Equipment, du Tourisme et de la Mer
Direction de la Recherche et de l'Animation Scientifique et Technique
Mission Transports

Table des matières

INTRODUCTION	p.3
A. Rappel des travaux déjà réalisés sur le DGP	p.5
B. Objectifs et méthode	p.8
I. Performances attendues du DGP par les entreprises	p.10
1. Secteurs d'activité	p.10
2. Caractéristiques	p.12
2.1 Charge utile	p.12
2.2 Volume	p.13
2.3 Vitesse	p.13
2.4 Distances à parcourir	p.14
2.5 Précision d'emport et de dépose	p.14
2.6 Lieux d'intervention	p.15
2.7 Conditions atmosphériques et Altitude	p.15
2.8 Sécurité	p.16
3. Synthèse	p.16
II. Programme de recherche	p.18
1. Thèmes de recherche	p.18
1.1 STOL ou VTOL	p.18
1.2 Types d'enveloppe et de structures	p.19
1.3 Formes du dirigeable	p.20
1.4 Ancreage au sol	p.20
1.5 Prise de charge	p.20
1.6 Campement	p.21
1.7 Pilotage automatique	p.21
1.8 Maniement de la charge	p.22
1.9 Moyens de propulsion	p.22
1.10 Compensation de pesée	p.23
1.11 Gaz porteur	p.23
1.12 Carburants	p.24
1.13 Etude thermique du ballon	p.24
1.14 Grue volante	p.24
1.15 Certification	p.24
1.16 Stratégie de croissance en taille pour le développement.	p.25
Conclusion sur les thèmes de Recherche	p.25
2. Actions de recherche	p.26
III. Réalisation du programme de recherche	p.32
1. Situation actuelle de la recherche sur le dirigeable en France	p.32
2. Réseau de recherche Dirisoft	p.34
2.1 Objectif et fonctionnement	p.34
2.2 Compétences du réseau	p.35
2.3 Recherches programmées	p.36
3. Travaux d'accompagnement	p.36
3.1 Constitution d'un fonds documentaire	p.36
3.2 Mise à disposition d'un site pour les essais	p.37
3.3 Réalisation d'une boîte à outils	p.39
3.4 Réalisation d'un démonstrateur	p.39
CONCLUSION	p.40

INTRODUCTION

Une recherche-développement centrée sur le dirigeable gros porteur.

Tout d'abord il convient de bien préciser la cible du réseau de recherche dont le montage est ici proposé: **Il s'agit du dirigeable gros porteur (DGP) capable de lever, transporter et déposer avec le minimum d'infrastructures au sol des charges très lourdes et/ou indivisibles**, tel qu'il apparaît dans la première partie de l'étude. Cette capacité doit pouvoir s'exprimer à courte (grue volante), moyenne et longue distance. Les besoins de tels engins commencent là où le service de l'hélicoptère s'arrête c'est à dire au-dessus de 20 à 30 tonnes de charge utile.

Depuis le début du XXème siècle, les nombreux dirigeables qui ont été construits n'ont jamais eu une telle vocation. Certes les grands rigides ZEPPELIN ont transporté dans leur nacelle et à la base de leurs structures des charges significatives sur de moyennes ou longues distances (des bombes au début de la guerre). En 1916 un exploit a été réalisé par le transport sans escale de l'Adriatique jusqu'à l'Afrique de l'Est de plus de 15 tonnes d'armement et de munitions. Mais entre les deux guerres Zeppelin a visé exclusivement le transport de passagers notamment avec les véritables paquebots de l'air que furent le Graf Zeppelin et le Hindenburg. Pendant la guerre, les marines américaines et anglaises ont utilisé extensivement de petits dirigeables de surveillance pour l'accompagnement des convois et la lutte anti sous-marine. Puis, depuis 1945 plusieurs constructeurs allemands, anglais et américains ont lancé de nombreux dirigeables souples de dimension réduite (3000 à 6000 M³) pour la publicité, l'observation, le tourisme et la surveillance terrestre ou maritime. La firme Zeppelin renouant avec sa tradition a sorti à la fin des années 1990 un dirigeable semi-rigide (7 000M³) d'une nouvelle technologie mais dont la vocation et les capacités visaient toujours le même marché.

De nouveaux marchés potentiels et des projets insuffisamment élaborés au plan technique

Depuis les années 1970 de nombreux projets ont été présentés visant le transport de charges. Constatant le développement des grands équipements notamment dans le

secteur énergétique, l'encombrement des itinéraires de transport et le coût des ruptures de charge, les promoteurs de ces projets ont mis en valeur le potentiel des dirigeables comme nouveau moyen de transport aérien affranchi largement des infrastructures au sol et économique en énergie.

De nombreuses études ont démontré l'existence de tels besoins et décrit les marchés potentiels. Récemment, à la demande de la DRAST, URBA 2000 et l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne ont contacté les principaux équipementiers ou transporteurs spécialisés afin de connaître leurs besoins.

Leur importance et la dimension du marché potentiel ont notamment convaincu de nombreux industriels allemands qui ont soutenu avec vigueur le projet CARGOLIFTER. Celui-ci a été un échec qui ne vient pas d'un désintérêt des utilisateurs mais d'une conduite erronée du projet notamment sur le plan technique. La priorité n'était pas de consacrer l'essentiel des fonds réunis auprès des entreprises, des collectivités publiques et des particuliers qui avaient souscrit massivement à des augmentations de capital, à l'édification d'un hangar géant et luxueux. Elle était au contraire -- et ceux qui croient à l'intérêt d'une nouvelle branche de l'aéronautique « plus léger que l'air » le regrettent amèrement-- de concentrer les fonds rassemblés à la mise en œuvre d'une recherche-développement approfondie selon les méthodes modernes éprouvées de l'aéronautique.

Il convient de souligner qu'en Europe les grands centres de recherche ainsi que les industriels ne sont pas fondamentalement hostiles à l'examen des solutions « plus léger que l'air ». Mais devant les projets qui leur ont été présentés, ils ont souligné la **nécessité de travaux préalables de recherche dont certains relèvent de la recherche fondamentale**. Il convient à leur avis de faire un inventaire critique exhaustif des solutions avancées, de confirmer la validité de certains choix techniques et de tracer les lignes de force d'une démarche de développement industriel aéronautique.

Cette dernière devra comporter une véritable optimisation des paramètres de construction des engins aux exigences des utilisateurs. Il est donc apparu que repérer les thèmes de recherche, les définir et les confier à des équipes qualifiées de recherche cordonnées entre elles pour préserver une cohérence d'ensemble est pour eux un préalable. Dans ce secteur industriel et à ce stade d'évolution, la recherche fondamentale et appliquée fait toujours l'objet d'un soutien total ou partiel des Etats. On ne peut véritablement pénétrer dans ce domaine sans cette reconnaissance et ce soutien public

Des connaissances étendues sur le domaine mais dispersées et insuffisamment documentées

L'inventaire très complet sinon exhaustif qui a été effectué pourrait faire craindre que le sujet soit à inventer totalement, qu'il s'agisse d'une page blanche. Bien au contraire, l'imagination des promoteurs de projets a été foisonnante et de nombreuses solutions plus ou moins approfondies ont été avancées sur la plupart des problèmes relatifs à la construction et à l'exploitation de grands dirigeables. Il convient de les reprendre, de les évaluer en coût-avantage, de les comparer et de les classer voire pour certaines de les éliminer.

En effet certaines solutions ont d'ores et déjà été jugées inadaptées. Il est utile de le constater objectivement afin de ne pas engager - comme cela a été parfois le cas - les industriels, les financiers et même les pouvoirs publics dans des impasses technologiques ou économiques. Les experts ou promoteurs de projets rassemblés dans AERALL ou contactés par elle sont bien entendu disposés à exposer aux équipes de recherche qui seront chargées de faire le point sur tel ou tel thème les solutions qu'ils recommandent.

L'objectif consiste à ce qu'à l'issue de ces recherches les solutions pertinentes soient reconnues, spécifiées et classées selon leur finalité. La communauté industrielle et financière sera ainsi mieux éclairée et garantie. A partir de ce socle de connaissances (le ou les) projets de dirigeables gros porteurs pourront plus aisément se développer. Les experts du « plus léger que l'air » qui ont contribué à l'exécution de cette mission pourraient être membres du conseil scientifique du réseau de recherche sur le dirigeable que l'Ecole Normale Supérieure de Cachan met actuellement en place.

Enfin et cela paraît incontournable, il conviendrait que toutes les expériences sur maquettes ou prototypes se déroulent sur **un même site** doté d'un **hangar** et des services et équipements nécessaires qui y seraient concentrés

A. RAPPEL DES TRAVAUX DEJA REALISES SUR LE DGP

Depuis plusieurs années la DRAST s'intéresse au dirigeable pour le transport de marchandises:

- En premier lieu, son fonctionnement ne demande que des infrastructures au sol très légères;
- La progression très forte du transport de marchandises et la part de marché chaque année plus importante occupée par le camion conduit également à étudier une diversification de l'offre ;
- Enfin, il n'apporte aucune nuisance, consomme peu d'énergie par rapport aux engins des convois routiers spéciaux et à vitesse modérée produit peu de gaz carbonique.

En 2000, pour s'assurer de la possibilité de concrétiser cet intérêt, il a été décidé d'engager une démarche pouvant conduire au développement d'un dirigeable de transport de marchandises.

Dans un premier temps deux études ont été réalisées :

- la première visait à s'assurer que parmi les projets de dirigeables gros porteurs existants, certains d'entre eux étaient pertinents d'un point de vue scientifique et étaient susceptibles d'avoir une suite industrielle.

La Délégation Générale pour l'Armement (DGA), a demandé à l'ONERA d'examiner cinq projets: Cargolifter, Skycat, AVEA, First et Liftium.

Au delà des observations et critiques sur les projets, l'ONERA a souligné que des problèmes plus généraux se posaient, et que résoudre ceux-ci semblait être un préalable au développement du DGP. Deux d'entre eux étaient mis en évidence : d'une part l'outil industriel permettant de réaliser ces appareils n'existant pas et, d'autre par que la recherche pour un tel engin n'existeit plus guère et devait être recréée.

- la seconde étude a été conduite par l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). Son objectif était de vérifier que les entreprises fabriquant des produits lourds et/ou de grandes dimensions seraient intéressées par un engin ayant les performances et les caractéristiques du dirigeable.

Il est apparu que sur ce marché, qui connaît aujourd'hui une croissance supérieure à celle des autres marchandises, 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 en amont et en aval du transport (emballage, manutention, assemblage sur site...)

En outre, pouvoir fabriquer intégralement les produits en usine et les acheminer vers leurs lieux d'utilisation est apparu non seulement comme pouvant améliorer leur qualité, mais aussi comme pouvant réduire de façon très forte les délais de fourniture et les coûts.

Néanmoins, les entreprises ayant participé à l'étude ont souligné que dans la plupart des cas, ces avantages n'apparaîtraient que progressivement car leur concrétisation supposait une modification des méthodes de travail et de l'outil de production.

Ces deux études ayant fait apparaître que le dirigeable pour le transport de marchandises était scientifiquement et techniquement réaliste et, par ailleurs, d'un très grand intérêt pour les entreprises, la DRAST a demandé à un bureau d'études (URBA 2000) de recenser l'ensemble des mesures qu'il apparaissait nécessaire de prendre pour que le DGP puisse être conçu et exploité.

En premier lieu, il est apparu que le dirigeable ne trouvait pas aujourd'hui la totalité des moyens nécessaires à son fonctionnement.

Les diplômes et les formations spécifiques ont été supprimés en France et si le dirigeable revenait, il serait difficile de trouver un personnel capable de le faire fonctionner.

Du fait d'une demande toujours plus importante et d'une production qui n'arrive pas à s'adapter à cette progression, l'hélium est un gaz coûteux. Il semble risqué de concevoir un produit qui, en cas de succès, en consommerait beaucoup.

Les hangars de grandes dimensions qui étaient très nombreux à l'âge d'or du dirigeable ont été démolis ou affectés à un autre usage.

Aucun **grand industriel** ne semble actuellement en France désireux de se lancer dans la fabrication de cet engin. Ni Zodiac, dernier industriel à en avoir fabriqué, ni les entreprises du secteur de l'aéronautique.

Un point bloquant est l'**absence de réglementation applicable aux dirigeables** qui en France les place dans le régime de l'autorisation exceptionnelle à tous les niveaux (certification, navigation, pilotage...) et interdit ainsi leur utilisation commerciale.

Cette situation est toutefois en train d'évoluer car, à la demande de l'Allemagne et des Pays-Bas, l'Agence Européenne de Sécurité Aérienne élabore actuellement une réglementation globale qui s'appliquera à tous les pays d'Europe et sera compatible avec celle en vigueur Etats-Unis.

Un autre problème majeur est l'absence de moyens de recherche sur le dirigeable. Les disciplines, produits et méthodes auxquelles le dirigeable fait appel ont évolué depuis que sa fabrication a cessé. Une « mise à niveau » est donc nécessaire, mais semble difficile à réaliser du fait de cette absence. La recherche de nouvelles solutions pour apporter une meilleure réponse que celles que nous connaissons aux problèmes du dirigeable gros porteur apparaît essentielle.

C'est l'étude de ce dernier problème que la Mission Transports de la Direction de la Recherche et de l'Animation Scientifique et Technique du Ministère des Transports, de l'Equipement, du Tourisme et de la Mer a confié à AERALL

B. OBJECTIFS ET METHODE

Le dirigeable gros porteur a toujours suscité un grand intérêt, aussi des travaux visant à permettre son développement sont constamment engagés.

Aucun projet n'a toutefois pu être conduit à terme. Nous avons souligné ci-dessus que dans un passé récent, une société allemande – Cargolifter – avait mobilisé des moyens considérables pour réaliser un engin capable de porter 160 tonnes. Un dépôt de bilan a mis fin aux travaux sans que ceux-ci aient pu aboutir à un résultat crédible.

Les Etats-Unis en 2006 ont lancé un programme de développement d'un dirigeable supportant 500 tonnes de charge utile : Walrus. Celui-ci a été abandonné au terme de sa phase de définition, les suites étant apparues peu crédibles.

En France également, le projet AVEA, qui a bénéficié de fonds privés et d'aides publiques significatives, a été abandonné sans pouvoir aborder la réalisation d'un prototype.

Ces échecs sont surprenants, car, en premier lieu, le dirigeable n'est pas un engin complexe et toutes les disciplines scientifiques auxquelles il fait appel ont considérablement progressé depuis que sa fabrication a pris fin. Par ailleurs, au début du XX siècle, le dirigeable a été très vite totalement opérationnel, et des engins d'un poids très important ont fonctionné.

Ces échecs semblent avoir deux causes.

La première est que chaque fois, on est parti d'un concept innovant (pour lequel les travaux n'étaient pas achevés ou qui n'étaient pas validés) que l'on a essayé de conduire en phase industrielle.

La démarche que nous avons adoptée ici est donc différente : nous avons considéré qu'il ne fallait pas partir d'un projet, aussi séduisant soit-il, mais des besoins des entreprises :

1. celles-ci ont indiqué les contraintes posées par le transport de leurs produits.
2. dès lors il a été possible de définir les caractéristiques et le mode d'utilisation du DGP ;
3. compte tenu de la situation actuelle des sciences et techniques sollicitées, les thèmes et actions de recherche a conduire ont été mis en évidence
4. les moyens humains et techniques nécessaires pour les traiter sont apparus dans le même temps.

Ce dernier point nous a également semblé très important pour éviter une démarche conduisant à un échec. Les personnes conduisant des recherches sur le dirigeable sont nombreuses et beaucoup d'idées nouvelles intéressantes sont sans cesse émises.

Le problème est que ces chercheurs sont isolés et aucun ne dispose de l'ensemble des compétences qui seraient nécessaires pour conduire jusqu'à son terme un projet faisant appel à beaucoup de disciplines scientifiques.

Pour remédier à cette situation, la première condition est bien sûr qu'il existe un **réseau de recherche** offrant les compétences nécessaires. Un travail important est en cours pour prendre contact avec les organismes de recherche indispensables et les convaincre de s'engager dans cette voie.

En second lieu, pour fonctionner dans de bonnes conditions, il devra disposer du **matériel spécifique d'aide à la conception, de tests et d'essais**. Celui-ci n'est pas aujourd'hui adapté aux travaux sur le dirigeable.

Par ailleurs, l'âge d'or du dirigeable a permis de constituer une très riche **documentation**. Toutes les études, rapports de certification, d'accidents...de cette époque constituent un acquis qui doit être utilisé. Actuellement, ces documents anciens ne sont ni localisés, ni exploitables. Cela explique pour une large part que des travaux soient engagés sur des voies déjà explorées.

Enfin, la faible présence des organismes pouvant offrir les **financements** nécessaires aux travaux sur le dirigeable ne disposent ni d'expertises, ni de spécialistes capables de leur donner un. Ce vide explique largement que des promoteurs de projets aient pu séduire des investisseurs avec des projets qui pouvaient être irréalistes et qui, faute de moyens d'évaluation, ont pu conduire à l'échec. C'est également pour cette raison que les organismes d'aide à l'innovation participent modérément au développement du dirigeable. N'étant pas en mesure de faire des appels à proposition, ou d'expertiser un projet, ils sont souvent amenés à tous les refuser.

I

PERFORMANCES ATTENDUES DU D.G.P PAR LES ENTREPRISES

L'objectif est ici de connaître et de mesurer les caractéristiques (performances et modes d'utilisation) que devra avoir le DGP pour répondre aux attentes des entreprises en matière de transport.

Ce travail qui conduit à l'établissement du cahier des charges du DGP a été fait en utilisant les enquêtes réalisées par l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne en 2002 et le bureau d'études Urba 2000 en 2004.

La liste des secteurs d'activité et des entreprises concernés par la fabrication et le transport de produits lourds et/ou volumineux a été établie avec les organismes professionnels (Union des Industries et Métiers de la Métallurgie, Institut de la logistique industrielle, FNTR...)

1. Secteurs d'activité

- la **production énergétique**, et plus précisément la chaudronnerie et la vantellerie. Les entreprises interrogées ont été principalement Alstom, ABB, Framatome, Eiffel Construction et VA Tech.

Le plus gros client est EDF demandeur de turbines, rotors, transformateurs, générateurs...et, jusqu'à une date récente, de réacteurs nucléaires.

- la réalisation d'**usines clefs en mains** essentiellement dans l'industrie pétrolière, para pétrolière et chimique. L'entreprise la plus souvent citée était ici TECHNIP.

- les **unités off shore**. Leur construction nécessite des transports de charges d'une masse considérable. Les pièces les plus lourdes peuvent aller jusqu'à 1 000 tonnes. Les distances à parcourir vont de 100 à 2 000 km.

Aujourd'hui, les plateformes sont décomposées et les éléments sont acheminés vers des ports où sera fait l'assemblage. Les plateformes sont tirées par câble par navire du port jusqu'à leur lieu d'installation.

- 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 **composants des bateaux** 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 la question de l'accès et des outils de manipulation des charges ne se pose 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.

- un cas particulier est celui de l'**AIRBUS A 380**.

Les composants sont actuellement fabriqués en Grande-Bretagne, en Espagne, en Allemagne, à Saint-Nazaire et à Blagnac où se fait l'assemblage. Tous les composants doivent donc y être acheminés.

La solution retenue a été la route. Ses inconvénients sont d'une part un coût du transport très élevé (particulièrement si on inclut les travaux faits sur les infrastructures) et, d'autre part, comme l'illustrent les débats actuels sur les retards de production du A 380, une fabrication qui n'est pas rationnelle. Beaucoup de contraintes non techniques ont du être prises en compte lorsque les graphes de fabrication de l'avion ont été établis, mais la plus importante d'entre elles est celle du trajet Langon Blagnac qui a imposé la fabrication dans certaines usines de pièces pour une raison uniquement géographique et des délais n'ayant rien à voir avec la logique du « stock zéro ».

- le transport d'**ARIANE** des Mureaux à Kourou pose de nombreux problèmes du fait des dimensions.

Tout d'abord, les ruptures de charges sont nombreuses :

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

Celui qui est utilisé pour acheminer les fusées des usines vers la Guyane dispose d'un hangar de 115 mètres de longueur, de 17 mètres de largeur et d'une hauteur de 8 mètres. Il permet de faire un transbordement horizontal des étages du lanceur. Par ailleurs du fait des particularités de Kourou, ils ont été conçus pour pouvoir naviguer et accoster en eaux peu profondes.

Le second inconvénient est que du fait de la longueur du trajet, ce navire ne peut effectuer qu'un nombre limité de rotations par an. L'accroissement des demandes de lancement de satellites devra donc conduire parallèlement à augmenter la flotte.

ARIANE ESPACE dans une logique de plein emploi des moyens de production (particulièrement si ceux-ci sont coûteux) se trouve donc dans l'obligation de tenter d'ajuster son nombre de tirs aux capacités de transport de son bateau, celui-ci, du fait de ses particularités n'ayant pas la possibilité de diversifier ses activités en transportant d'autres produits.

- le **BTP, la construction de ponts, barrages, ouvrages spéciaux...** demande d'une part du matériel lourd (pelles, camions, tunneliers...) et, d'autre part, ces ouvrages étant très lourds et de grandes dimensions, il apparaît souvent utile pour améliorer la chaîne de production de réaliser des « usines foraines » qui fourniront les composants et dont la durée de vie est limitée à la réalisation de l'ouvrage.

2. Caractéristiques

2.1 Charge utile

Avec les moyens actuels, les **charges de plus de 200 tonnes** ne peuvent pas être transportées.

Certains produits ont un poids qui excède cette limite parfois très fortement, ainsi :

- pelles hydrauliques – gamme minière (Liebherr) : 230 à 590t
- tunneliers (Fortans) : 2500t
- générateurs de vapeur (Framatome) : 500t
- réacteurs (EDF – SETRAL) : 350t
- roues de turbines hydrauliques (ABB - Alstom) : 450t
- starters d'alternateurs (EDF – SETRAL) : 400t

Aussi, les produits doivent-ils être démontés pour être transportés. Il a été souligné que ces démontages en usine suivis de remontages sur site sont souvent d'un coût très supérieur à celui du transport.

En deçà de ce seuil de 200t, les entreprises estiment que les moyens actuels fournissent une réponse même si elle est coûteuse et incommode.

En outre, il apparaît que les charges à transporter sont de plus en plus lourdes. Mammoet se basant sur l'évolution constatée au cours des dernières années estime que dans les dix ans à venir, la moyenne des charges exceptionnelles se situera dans la tranche 500 à 1000 t.

Cette estimation est par ailleurs la traduction du souhait des industriels qui affirment qu'un produit fabriqué en usine est moins cher, de meilleure qualité et livré dans un délai plus court s'il n'y a pas l'assemblage de celui-ci sur site.

Cette progression souhaitée du poids des colis oblige les constructeurs et transporteurs à faire mieux : camions « mille pattes », surbaissés, études de trajets...

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 des stocks poserait des problèmes de gardiennage, de disponibilité de bâtiments, de pillage, de sécurité du personnel, de coût...

2.2. Volume

Comme indiqué ci-dessus, l'objectif des entreprises étant de ne plus faire d'opérations d'assemblage des produits sur site, les dimensions des produits progressent comme celles des charges :

- conteneur de lanceur de fusée (source Ariane Espace) : 6 à 7 m de large, 3 à 7 m de haut, 15 à 38 m de long)
- tunnelier (Bonnard et Gardel) : 80 à 250 m de long, 11 m de diamètre
- chaudière (CNIM) : 17 m de long, 5 m de large, 5 m de haut
- générateur de vapeur (Framatome) : 22 m de haut, 5 m de large
- turbines à gaz (General Electric) : 13 m de long, 5 m de large, 5 m de haut

La plupart des dimensions de ces produits excèdent les maxima autorisés et se classent dans la catégorie « exceptionnelle ».

2.3. Vitesse

A l'exception des opérations de secours aux populations en cas de cataclysme et des applications militaires pour lesquelles la vitesse du transport est un critère essentiel, celle-ci, qui en premier examen apparaît également indispensable pour la plupart des autres applications, est souvent considérée différemment lorsque l'on adopte une définition du transport ne se limitant pas à la seule durée du trajet.

Si l'on ajoute à ce dernier le temps de préparation du produit pour qu'il puisse être déplacé (mise en place des protections, empaquetage, voire souvent démontage...) ainsi que celles qui devront être faites à l'arrivée, **la vitesse sur le trajet lui-même devient souvent un élément secondaire.**

Ce qui est essentiel en revanche est la date de livraison. Le transport n'est en effet qu'une ligne dans les graphes de réalisation d'un chantier ou d'une fabrication. Les modes de transport classiques ne présentent pas d'incertitude. Dès l'instant où l'on s'est assuré de leur disponibilité à une date convenue, sauf cas particulier exceptionnel, le délai sera respecté.

Le dirigeable n'a pas cet avantage. Les conditions météorologiques peuvent en effet si elles sont défavorables interdire toute livraison, alors qu'un camion « passera toujours ».

La seule possibilité pour le dirigeable de respecter les dates de livraison prévues sera d'ajouter au temps de transport réalisable si les conditions météorologiques sont bonnes, un délai de sécurité permettant d'attendre de pouvoir opérer.

Ceci a bien sûr un coût, et par ailleurs il y aura toujours pour les entreprises une incertitude.

2.4. Distances à parcourir

Les distances à parcourir sont très variables, mais, fréquemment sont importantes (elles peuvent dépasser 10 000 Kms)

Ceci tient au fait que les produits lourds et volumineux correspondent souvent à la demande des pays émergents et qui sont généralement éloignés des entreprises assurant leur fourniture. Ceux-ci se dotent en effet des outils de base nécessaires à leur développement économique (génie civil, matériel minier, chimique...)

Une entreprise de production de matériel énergétique a ainsi estimé qu'au cours de l'année écoulée, 60 % de sa production était allé vers l'Asie.

Les pays développés sont pour leur part déjà équipés et n'offrent donc qu'un modeste marché intérieur lié pour l'essentiel au renouvellement des outils industriels. Parfois toutefois de nouveaux modes de production apparaissent (cas des éoliennes aujourd'hui).

Les distances à parcourir sur ces marchés sont bien sûr beaucoup moins importantes.

A l'encontre de cette situation des distances en matière de transport liée à la géographie du développement économique des pays, on constate toutefois des mouvements inverses.

En premier lieu, les pays acheteurs exigent toujours qu'une partie de la fabrication soit faite sur leur territoire.

Par ailleurs, si une part importante de la valeur d'un produit correspond à du travail manuel, la logique économique conduira l'entreprise à localiser sa production dans un pays où les salaires sont faibles (Ce calcul n'est toutefois valable que si le coût du transport est inférieur à l'économie réalisée sur les salaires).

Enfin, les entreprises fournissant les produits nécessaires au développement économique des pays acheteurs sont de plus en plus des ensembliers. Une sous-traitance massive est donc faite pour la fabrication des composants et ceci conduit à une autre logique de localisation.

2.5. Précision d'emport et de dépose

Dans le cas le plus fréquent, les produits, du fait de leur taille ou de leur poids, sont démontés pour pouvoir être transportés. Ils sont donc remontés sur le site où ils fonctionneront et c'est seulement à ce moment-là qu'on doit les placer avec précision. Ceci demande généralement un matériel de levage, de manutention et d'assemblage spécifique, qui doit être acheminé sur le site uniquement pour cette opération. Dans ce cadre, il est donc seulement demandé aux transporteurs de déposer les pièces près du lieu d'installation.

Le dirigeable, comme les autres moyens de transport, ne sera donc pas soumis à une contrainte de grande précision. Il est cependant clair que si le dirigeable permettait une dépose précise, économisant du matériel d'installation, par exemple pour un grand composant énergétique ou une travée de pont, l'avantage serait considérable.

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 dans des **zones semi-urbaines**.

Une première question qui est du ressort de la réglementation aérienne et à laquelle il ne sera donc pas répondu ici est de savoir si le dirigeable pourra les survoler et à quelles conditions.

Une autre question se pose pour l'accès du dirigeable au dessus de la charge à emporter ou de son lieu de dépose. Concernant des éléments très importants, notamment en béton armé pour les ponts, ils seraient évidemment construits sur des terrains dégagés, accessibles aux dirigeables, et seraient également déposés en plein air. Concernant de grands composants métalliques, leur fabrication s'effectue dans des bâtiments mais l'utilisation de remorques "mille-pattes" est souvent déjà prévue, et l'on pourrait admettre un acheminement jusqu'à un terrain dégagé pour l'accrochage à un dirigeable. Cependant, il peut être plus économique de prévoir une ouverture de toiture pour un emport direct, impliquant alors une hauteur importante entre l'enveloppe du grand dirigeable et la charge suspendue.

Pour la dépose, certains intervenants ont signalé une difficulté que pourrait rencontrer le dirigeable : une interdiction d'utiliser de l'eau, dans les régions où elle est rare. Ceci ne paraît pas une difficulté réelle : à l'échelle d'un chantier, le transport par camions citernes jusqu'au site de l'eau nécessaire pour retester le dirigeable n'apparaît pas de coût significatif.

2.7. Conditions atmosphériques et altitude

Pour le transport de certains produits les conditions météorologiques extrêmes ne sont pas acceptées (froid, humidité, pluie, neige, glace, différences de pression.)

Une première réponse à ce problème se trouve dans le conditionnement protecteur des produits.

Une seconde possibilité serait d'avoir des conditions météorologiques compatibles avec les contraintes imposées par le produit transporté. Ceci va dépendre de la réglementation en ce qui concerne la hauteur et le trajet autorisé, ou de la souplesse en matière de date de livraison permettant d'attendre les meilleures conditions. Enfin, le dirigeable lui même peut offrir une réponse s'il est équipé d'une soute.

Il convient toutefois de ne pas surestimer ce problème. Les systèmes protecteurs existent déjà car ils sont employés par pratiquement tous les moyens de transport.

2.8. Sécurité

Les chocs, les chutes et tout événement pouvant altérer les charges, sont bien sûr totalement exclus.

La sécurité est pour les entreprises un critère déterminant qui a souvent une valeur supérieure au prix du produit transporté. En effet, à un moment ou se développent les méthodes du « juste à temps » et où l'objectif est « stock zéro », l'absence d'une seule pièce peut parfois bloquer toute une ligne de production.

Il n'y a pas ici de spécification technique qui s'impose car la question de la sécurité dépend de chaque type de produit. C'est au cas par cas que les mesures à prendre devront être définies.

En outre, ce critère de la sécurité a une forte dimension psychologique et on observe parfois des mesures qui vont au-delà des règles usuelles de prudence (ainsi dans le cas d'Ariane, les grues ne sont pas utilisées afin d'éliminer le risque de chute.)

Dès lors, on peut craindre que de nombreuses années d'utilisation sans problème soient nécessaires au dirigeable pour éliminer le sentiment d'insécurité qui lui est associé.

3. Synthèse

Au terme des enquêtes, l'intérêt pour le dirigeable gros porteur apparaît avant tout pour les produits qui ne peuvent pas actuellement être transportés sans être démontés.

Cette impossibilité est liée au poids ou à la taille des produits qui excèdent les maxima permis par les moyens de transport ou les infrastructures actuelles.

Le dirigeable permettra de s'affranchir de l'obligation de démonter et de préparer les produits pour assurer leur transport, ainsi que, dans certains cas, de modifier les infrastructures pour permettre le passage des convois.

Il présente ici un avantage très fort par rapport aux autres modes de transport qui va se manifester sur :

- **le coût.** Il est estimé que les opérations de démontage, remontage et préparation au transport peuvent parfois avoir un coût supérieur à celui des produits ;
- **les délais** vont se trouver considérablement raccourcis non seulement du fait de la disparition des opérations en amont et en aval du transport, mais aussi parce que les temps morts vont très largement disparaître et que les moyens humains et matériels des entreprises vont avoir une meilleure utilisation ;
- **la qualité** de la fabrication en usine où l'on dispose de tous les moyens nécessaires permet en règle générale de parvenir à un meilleur résultat que s'il y a eu un travail sur site important.

Les critères habituels de comparaison des différents moyens de transport sont de ce fait inadaptés au dirigeable.

Ses avantages ne peuvent en effet être mesurés, particulièrement pour le coût et la vitesse, qu'en prenant en compte une part plus importante du processus de production que le seul segment du transport.

En ce qui concerne la précision pour prendre ou déposer les charges, le dirigeable ne semble rien apporter par rapport aux autres modes de transport. Le même travail de mise en place des produits sur leurs sites d'utilisation devra en effet être fait.

Les lieux d'intervention doivent être appréciés de plusieurs façons :

- tout d'abord, les sites d'intervention (tout particulièrement pour les prises de charge) sont des espaces construits, donc le dirigeable devra fonctionner comme une grue.

Il convient de noter que dans la plupart des cas, il ne sera pas possible de prendre directement les produits (absence de toit ouvrant). L'utilisation du dirigeable entraînera donc une rupture de charge ;

- le plus souvent le dirigeable devra être indépendant vis-à-vis du site, ce qui élimine en particulier la possibilité de prendre ou de jeter de l'eau sur place ;

- les conditions géographiques pourront être pénalisantes pour le dirigeable (altitude élevée, vent fort fréquent...) ou être un avantage (absence d'infrastructure).

Chaque cas devra donc faire l'objet d'un examen particulier.

Deux critères d'appréciation apparaissent négatifs pour le dirigeable.

Tout d'abord, **les entreprises demandent que les dates de livraison soient impérativement respectées** et le dirigeable apparaît ici, du fait des incertitudes météorologiques, plus vulnérable que les autres modes de transport.

Ce critère doit être relativisé, car, d'une part, le retard pour conditions météorologiques défavorables existe dans certains secteurs (unités off shore, BTP...) et est parfaitement intégré (jours de risque d'inactivité pris en compte dans les processus de fabrication, les devis, souscription d'assurances particulières...).

D'autre part, si l'on retient, comme nous l'avons proposé ci-dessus, une définition du temps de transport intégrant les opérations amont et aval au déplacement lui-même, le dirigeable a, par rapport aux autres modes de transport, un très fort avantage qui doit lui permettre de compenser un retard possible du fait des conditions météorologiques.

Le second critère négatif pour le dirigeable est celui de la sécurité.

Nous avons noté ci-dessus qu'un engin qui d'une part est connu et d'autre part qui repose sur le sol sera toujours considéré comme plus rassurant que celui qui est inconnu, est au dessus des têtes et à l'héritage du Hindenburg.

Ce critère ne doit pas toutefois être surévalué. Il signifie simplement que le dirigeable ne pourra pas occuper immédiatement la totalité du marché sur lequel il apparaît compétitif. Il devra en effet présenter une période suffisante d'utilisation suffisante pour inspirer confiance.

II PROGRAMME DE RECHERCHE

1. Thèmes de recherche

1.1 STOL ou VTOL (short take off and landing, vertical take off and landing)

Cette question est essentielle. A première vue **les utilisateurs sont séduits par la capacité des engins plus légers que l'air de décoller et d'atterrir verticalement (VTOL)**. Ils imaginent ainsi pouvoir transporter directement leurs équipements à partir du site de production et les déposer précisément sur le site d'utilisation en évitant toute rupture de charge. Réaliser des DGP à capacité de vol VTOL constitue en effet un idéal techniquement accessible.

Toutefois lors des études sur les besoins de transport, de nombreux grands équipementiers sont convenus que l'installation précise et terminale des charges sur le site d'utilisation devait et pouvait dans la plupart des cas être effectuée avec des moyens de manutention terrestres. Pour eux l'essentiel est la dépose de la charge en toute proximité du site avec un minimum d'infrastructures au sol après un transport dénué de toute rupture de charges. En plus du gain de temps les industriels comptent sur une absence de risques d'avaries ou de dégradations et donc sur la réduction des assurances.

Dans ces conditions il convient de faire une **distinction entre l'arrimage et la dépose des charges qui doit pouvoir se faire verticalement** en l'air ou au sol et **les phases d'approche et de décollage qui peuvent se faire sur de courtes distances horizontales(STOL)**.

La résolution du premier point est cruciale pour le développement des DGP. Il n'a pas jusqu'ici été étudié de manière approfondie et pratique. La fonction STOL pour sa part permet d'améliorer la charge utile en mettant à profit pour le décollage l'effet aérodynamique de l'engin. Cet aspect a été abondamment étudié dans le passé. La conclusion sera peut-être un STOVL (short take off and vertical landing).

1.2 Types d'enveloppes et de structures

Plusieurs thèmes de recherche sont inclus sous ce libellé: il s'agit d'évaluer et de comparer les divers types de structure et de déterminer les solutions les plus aptes à répondre aux besoins du DGP:

- a) Au préalable, répondre à la question suivante: **peut-on construire des enveloppes souples** économiques et sûres de plusieurs centaines de milliers de m³? Problèmes de résistance, d'étanchéité, de vieillissement, de poids et de calcul aérolastique. Il s'agit de confirmer par le calcul, la possibilité contestée par certains experts de construire des enveloppes de très grande capacité le plus grand souple fabriqué dans les années 1950 le ZPG3W ne contenait que 45 000 M3 d'hélium.
- b) Si la réponse à la question (a) est positive, **quel est le système optimisé qui permet de combiner le dirigeable souple et la contrainte d'accrochage de charges lourdes, denses, ou de grande dimension**: répartition par poutres (semi-rigide) suspenses externes, liens souples à l'intérieur de l'enveloppe, combinaisons de solutions. La bonne répartition de la charge sur l'enveloppe et son immobilisation détermine largement les capacités de chargement de pilotage et de navigation de l'engin. De nombreuses études ont été menées sur ce point. Il convient de les rassembler et de les évaluer pour les hiérarchiser au regard de ces objectifs.
- c) **Faire l'inventaire de tous les matériaux** en particulier pour toiles et liaisons **les plus aptes à satisfaire les exigences des différentes formules d'enveloppe et de structure**. L'inventaire coté en fonction des besoins du DGP des matériaux disponibles a déjà été effectué par de nombreux projets. Il doit être précisé pour les matériaux souples qui ont largement évolué.
- d) **La formule rigide (ossature, ballonnets souples et entoilage) a-t-elle un intérêt pour construire de très grands dirigeables de transport de plusieurs centaines de tonnes de charge utile ?** D'aucuns avancent que cette formule plus lourde en structure offre de meilleures possibilités au plan aéronautique et pour l'arrimage des charges. Mais la comparaison précise avec la formule souple n'a pas été effectuée. Le ZEPPELIN NT de tourisme est fondé sur une formule semi rigide qu'il convient aussi d'étudier.

1.3 Formes du dirigeable

Cette question peut surprendre. En effet l'avion ou l'hélicoptère ont à l'issue de leur première phase de développement adopté des formes propres et ils ne se distinguent dans leur branche aéronautique quasiment que par des détails.

Telle n'est pas l'opinion des concepteurs de projets de grands dirigeables. Ils ont proposé de nombreuses formes dont les paramètres aérodynamiques sont très différents. Tous s'accordent cependant sur le fait que les qualités aérodynamiques deviennent de plus en plus essentielles au fur et à mesure que le rayon d'action de l'engin et sa vitesse sont élevés. Mais la forme doit être jugée au regard d'autres critères importants: campement au sol, pilotage, arrimage et dépose des charges en vol. Au demeurant contrairement aux avions, la portance aérostatique des dirigeables est procurée par le volume et non la surface ou l'envergure .Il s'ensuit qu'une plus grande variété de formes est possible .D'où la nécessité d'une recherche des formes les plus adaptées à chacun des usages envisagés.

Faire le bilan coût-avantage et comparer au plan aérodynamique de la construction et de l'exploitation sur courte, moyenne ou longue distance des DGP des différentes formes proposées:

- fuselée
- catamaran
- lenticulaire
- ensemble de ballons sur pressurisés

Repérer les qualités optimales pour chacun des usages selon les critères définis par les entreprises.

1.4 Ancrege au sol

On distingue la phase de PRISE DE CHARGE et celle du CAMPEMENT de l'engin.

1.5 Prise de charge

Plusieurs solutions sont proposées qu'il convient de comparer au regard de l'objectif visé :

- amarrage par plusieurs câbles au sol
- amarrage en captif sur la charge avec positionnement dynamique de l'engin
- positionnement dynamique au dessus de la charge

La très grande majorité des experts estime que le fonctionnement du DGP repose principalement sur l'échange de la charge et d'un lest solide ou liquide. Le lestage / délestage par un très fort changement de pression du gaz porteur et de l'air avancé dans certains projets est considéré comme irréaliste aussi bien au plan de la sécurité que du bilan masse et des coûts. Par contre des ajustements limités de pression et de température du gaz porteur doivent être examinés pour leur capacité à faciliter le pilotage ou la navigation de l'engin.

1.6 Campement

Il est maintenant généralement admis que **la solution hangar n'est pas réaliste** pour le campement des grands dirigeables. Mais il faudra concevoir au moins une unité au niveau du continent, par exemple, pour la construction et la maintenance. Il convient donc de rechercher les solutions les plus appropriées pour maintenir à poste le DGP entre deux missions. Et cela avec un minimum d'infrastructures au sol afin de répondre aux besoins des utilisateurs de déposer leurs charges sur les sites de destination dépourvus par principe d'infrastructure aéronautique.

Les solutions dans ce domaine sont en pleine interactivité avec les modes de chargement et de déchargement du DGP évoqués ci dessus.

Plusieurs types de solutions d'ancrage sont à évaluer:

- classique au mât par le nez
- sur rotule médiane avec pilotage automatique face au vent et hors tangage
- en captif sur élingue avec pilotage automatique
- fixation au sol avec ancrage périphérique
- lieu protégé pour campement (vallée, pare-vent)

Les câbles et treuils nécessaires peuvent être situés au sol ou au contraire emportés dans le DGP devenu ainsi partiellement autonome

Dès lors que la contrainte la plus importante des engins plus léger que l'air se situe dans les situations de proximité du sol, certains ont avancé que le grand dirigeable devrait demeurer le plus souvent en l'air sustenté «gratuitement» par le gaz porteur et en positionnement dynamique entre deux missions. Il serait chargé aussi en vol par échange de la charge et du lest à l'aide de câbles et de treuils. Ils aiment à dire que l'on ne met pas à terre la péniche ou le cargo pour les charger. Et en cas de temps véritablement mauvais l'engin peut fuir et revenir en évitant les risques courus auprès du sol.

1.7 Pilotage automatique

Le pilotage automatique ou du moins fortement assisté est en facteur commun de toutes les familles d'engins différenciées selon leurs enveloppes, leurs structures, leurs formes, le mode de prise de charge ou de campement. A la différence du vol des plus lourds que l'air, les systèmes de pilotage et de navigation doivent être adaptés à la grande inertie des dirigeables. D'où l'importance de la recherche sur :

- les moyens de propulsion réactifs et puissants

- les senseurs météo pour prévenir les rafales et différences de pression et mettre en route de manière anticipée une réaction adaptée de l'engin.

De nombreuses recherches sont en cours sur ces sujets car contrairement à un récent passé des moyens très performants sont désormais disponibles avec un poids et un coût très diminué.

1.8 Maniement de la charge (levage accrochage et dépose du lest)

Ce thème est profondément lié aux options de structure et d'enveloppe, aux formes du dirigeable et à l'ancrage au sol. Les solutions cohérentes sur ces trois thèmes devraient être expérimentées en réel sur des engins de démonstration pour pouvoir être évaluées et comparées. Il s'agit d'une priorité car l'observation du comportement des engins pendant ces phases cruciales de chargement et déchargement déterminent grandement la faisabilité des DGP.

Plusieurs solutions d'attachement de la charge sont proposées qu'il convient d'évaluer et de comparer au regard de l'objectif :

- accrochage de la charge par élingues sous l'enveloppe avec profilage et correction du balancement par automatisme de pilotage
- arrimage de la charge dans l'enveloppe ;
- attachement de la charge à l'enveloppe ou à une plate-forme ou quille solidaire de l'enveloppe ;
- dépôt précis en position par des forces exercées depuis le sol.

Ces trois dernières solutions font appel à des systèmes de treuillage (au sol ou emportés) à évaluer.

Unanimement les utilisateurs considèrent que la charge doit être conditionnée (emballage et raidisseurs)

En parallèle les solutions diverses de chargement-déchargement et de stockage du lest doivent être examinées.

1.9 Moyens de propulsion

Deux axes de recherche :

- a) Etudier le type, l'emplacement et le mode d'attachement sur le dirigeable des moyens de propulsion : hélices fixes ou basculantes et rotors spécialisés adaptés aux différents concepts de dirigeables et aux phases de vols à vitesse nulle ou faible. Sujet intimement lié au pilotage automatique.
- b) Types de moteurs adaptés au différentes missions : essence, diesel, turbines.

1.10 Compensation de pesée

Plusieurs solutions avancées à évaluer pour porter la charge en partie et pour compenser en vol les variations de portance dues aux changements d'altitude et de température ainsi que la consommation de carburant :

- a) lestage par emport d'eau ou de terre/sable solution très générale
- b) compression d'air dans des enveloppes à l'intérieur du gaz porteur
- c) rotors sustentateurs qui peuvent agir seuls dans des grues volantes
- d) portance dynamique en vitesse
- e) chauffage du gaz porteur pour le décollage
- d) récupération de l'eau des gaz d'échappement des moteurs pour la compensation en vol des variations de poids de l'engin en raison de la consommation de carburant et des changements de pression et de température de l'environnement
- e) relâchement d'hydrogène en vol

1.11 Gaz porteur

Plusieurs questions:

- a) **Hélium:** Disponibilité physique et financière. Les ressources mondiales apparaissent suffisantes, mais concentrées dans quelques pays, elles pourraient ne pas être toujours disponibles. Toutefois se trouvant le plus souvent en quantités plus ou moins faibles dans le gaz naturel, tout consommateur de ce gaz est en mesure de l'extraire à des coûts bien sûr très variables. Les enveloppes sont maintenant très étanches. Cependant l'enjeu essentiel est de conserver le gaz à son meilleur rendement aérostatique et donc de le purifier régulièrement pour qu'il garde sa légèreté. Il est essentiel de mettre au point des méthodes économiques et sûres de purification.
- b) **Confinement d'hydrogène** (plus léger et beaucoup moins coûteux mais inflammable) dans l'enveloppe remplie d'hélium ininflammable. Cette solution doit être étudiée de manière approfondie au niveau technique et de sécurité car son intérêt économique est majeur puisque l'hydrogène plus porteur que l'hélium(+10 %) est aussi plus de 10 fois moins cher...

1.12 Carburants

Evaluer l'intérêt respectif de :

- a) liquides: essence ou kérósène ou gasoil
- b) carburant gazeux qui serait un mélange de plusieurs gaz naturels combustibles: méthane, propane...avec recherche d'une proximité avec la densité de l'air pour éviter le changement de poids de l'engin pendant son trajet (compensation de la consommation de carburant)
- c) apport d'énergie solaire par des panneaux couvrant l'enveloppe, et/ou faisant partie de la structure extérieure de l'engin
- d) pile à combustible utilisant l'hydrogène des poches internes.

Ces deux dernières ressources d'énergie ne pouvant jouer qu'un rôle d'appoint pour un DGP.

1.13 Etude thermique du ballon

Echauffement et refroidissement et conséquences

Comportement en températures extrêmes

1.14 Grue volante

Il s'agirait d'engins pouvant déplacer par voie aérienne sur de courtes distances des charges très lourdes et/ou très encombrantes.

Il convient d'évaluer les propositions suivantes:

- a) module aérostatique pilotable : MAP: ballon cylindrique vertical surpressé
- b) grande montgolfière assemblée sur le site et tractée de déplacement de charges

Il ne s'agit plus véritablement dans ces applications de dirigeables mais de grands ballons: leur utilité dans certaines situations est pourtant fort probable: franchissement d'obstacles pour des charges très lourdes et surtout encombrantes, déchargement de navires, construction de ponts ou d'ouvrages d'art...

1.15 Certification

L'existence du DGP dépend aussi de l'évolution de la réglementation technique et administrative aéronautique applicable aux dirigeables. Les solutions techniques répertoriées ci-dessus doivent être définies en conformité avec cette réglementation. Ces grands navires de l'air devront s'insérer dans la navigation aérienne et donc pouvoir en suivre précisément les règles.

A cet égard un thème de travail pour la recherche consiste dès maintenant à repérer les principaux problèmes d'insertion dans la sphère aéronautique des futurs engins pour faire inclure leurs spécificités dans les travaux en cours au niveau européen dans le domaine réglementaire. La certification en sera dans l'avenir facilitée

La qualification et les modes de formation des personnels doivent être évoqués dans les réflexions sur les principaux thèmes de pilotage/navigation, maniement des charges et campement.

1.16 Stratégie de croissance en taille pour le développement.

Il importe de confirmer que les lois de similitude permettent qu'un aérostat peut être développé en taille moyenne moyennant des modifications mineures sur les options et les formes ,la question essentielle étant celle des contraintes qui croissent comme les longueurs d'où l'intérêt primordial du poste ci-dessus 1.2 .c.(matériaux souples) Les aspects aérodynamiques en vol de croisière et surtout en maniabilité pourraient faire l'objet d'essais sur de petits appareils puis d'une croissance avant le développement du DGP pour des appareils aptes à remplir diverses missions(surveillance, tourisme...).La démarche proposée dans ce schéma consiste à commencer par les plus petits pour assurer la validité des innovations nécessaires. D'ores et déjà de petits appareils existent qui permettent de continuer à lancer des campagnes d'essai et de validation pour diverses innovations. **A cette démarche se rattache l'intérêt fondamental de concevoir et de réaliser un DEMONSTRATEUR de dirigeable gros porteur de fret. (voir conclusion)**

Conclusion sur les thèmes de recherche

En conclusion la liste des travaux de recherche peut paraître impressionnante mais on ne peut que répéter ce qui a été dit auparavant: les études et connaissances amassées depuis un siècle le sont aussi. Leur rassemblement permettra de s'en rendre compte.

Il faudrait éviter d'aborder le sujet comme une page blanche pour laquelle il faudrait tout inventer. Au contraire la page est pleine et il convient de trier et ordonner les solutions dans la perspective de l'objectif de construction d'une nouvelle branche de l'aéronautique «plus léger que l'air»spécialisée dans différents créneaux dont le dirigeable gros porteur. Mais aussi dans l'observation, surveillance, tourisme, relais de communication stratosphérique, sports de l'air.

Les experts du plus léger que l'air qui ont contribué à l'exécution de cette mission souhaitent être associés au réseau de recherche comme conseillers ou opérateurs .A cet égard ils recommandent à juste titre de faire appel à leurs compétences pour construire les maquettes et prototypes qui accompagneront les recherches et notamment en utilisant les engins de dimension réduite existants

Les progrès effectués dans la fabrication des DGP profiteront à plein aux autres utilisations car ils permettront l'édition d'une véritable industrie aérostataque.

2. Actions de Recherche

Les travaux proposés ci-dessous sont la traduction opérationnelle des thèmes de recherche figurant ci-dessus. Quelques critères complémentaires ont toutefois été pris en compte pour sélectionner les actions :

1. lorsque plusieurs solutions apparaissent possibles sur un thème, le choix s'est porté sur celle qui apparaissait techniquement la plus satisfaisante en l'état des connaissances ou qui réunissait auprès des usagers le plus fort taux de satisfaction ;
2. dans le but de parvenir à une solution concrète rapide, **les actions ont été classées selon la priorité**. Seules les premières ont été retenues.

Sociétal :

Titre	Réhabilitation du gaz H ₂ comme gaz d'enveloppe
Auteur de la demande	BPR Conseil
TEL du contact :	02 47 92 00 87
Email du contact :	bprconseil@wanadoo.fr
Objectifs	Etude de la possible réhabilitation du gaz H ₂ comme gaz d'enveloppe en prenant en compte les enjeux économiques, les risques, les limites d'emploi....
Description	L'étude consiste : à définir les conditions d'inflammation et de détonation des mélanges H ₂ /air et H ₂ /O ₂ à en évaluer les risques et à rechercher des solutions pour minimiser celui-ci (compartimentation imposant une séparation entre l'hélium et l'air) à définir l'acceptabilité de ces solutions pour le transport de fret et/ou de passagers
Intervenants	ONERA CEA L'Air Liquide

Mécanique

Titre	Liaison entre voiles intérieures, suspentes et enveloppes
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"> - définir les technologies de liaison telles que le collage et la couture - valider les types de machines et les composants d'assemblage (fils, colle ...) - définir les conditions de réalisation industrielle
Intervenants	- LMT
Coût total	50 K€

Titre	Configuration d'équipements de sustentation pour les différents cas de déchargement
Auteur de la demande	BPR Conseil
TEL du contact :	02 47 92 00 87
Email du contact :	bprconseil@wanadoo.fr
Objectifs	Définition des systèmes d'attache des charges prenant en compte le fonctionnement du dirigeable comme une grue volante.
Description	<p>Cette étude comprend :</p> <ul style="list-style-type: none"> - un historique des dispositifs existants - la validation de ces technologies - des recommandations en association avec les technologies d'enveloppes.

Titre	Accrochage de charges sur enveloppe souple
Auteur de la demande	BPR Conseil
TEL du contact :	02 47 92 00 87
Email du contact :	bprconseil@wanadoo.fr
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	

Aérodynamique

Titre	Mesures de validation sur un dirigeable
Auteur de la demande	Hervé Kuhlmann
TEL du contact :	01 47 40 22 49
Email du contact :	Herve.kuhlmann@satie.ens-cachan.fr
Objectifs	Effectuer un ensemble de mesures en réel sur un dirigeable : manœuvrabilité (critère le plus important), puissance, vitesse, consommation, efforts de structure ...
Description	<ul style="list-style-type: none"> - Mettre en place un plan de mesures suivant les caractéristiques indiquées précédemment. - Définir la manière de réaliser physiquement ces mesures, de les dépouiller et de les interpréter. - Etablir un rapport de synthèse et décrire les modifications à apporter au prototype.
Intervenants	Bureau d'expertise type Veritas ...
Coût total	20 K€

Titre	Comportement au sol d'un dirigeable gros porteur
Auteur de la demande	Université de Pau et des Pays de l'Adour UPPA LMA CNRS-FRE2570 IPRA-LMA BP1155 64013 Pau Cedex
Nom du contact :	Mohamed AMARA
TEL du contact :	05 59 40 75 49
Email du contact :	Mohamed.amara@univ-pau.fr
Objectifs	Etude du comportement au sol du dirigeable attaché à un poteau ou à une rotule par un câble, avec ou sans charge. Ce comportement sera étudié grâce à une simulation numérique. Une expérimentation sur maquette devra être faite ainsi que, dans un second temps, des essais de validation.
Durée	6 mois
Description	Un logiciel mettant en équation les degrés de liberté de la charge et du dirigeable lié à un câble qui possède des degrés de liberté par rapport à un poteau ou à une rotule. Les mouvements induits par les fluctuations de vent seront étudiés.
Intervenants	D. Costes, concepteur du logiciel
Coût total	120 K€ (essais de validation non compris)
Fonds propres	325 K€ dont 300 K€ pour des chercheurs (36 hommes-mois) 25 K€ pour les moyens de calculs, fonctionnement

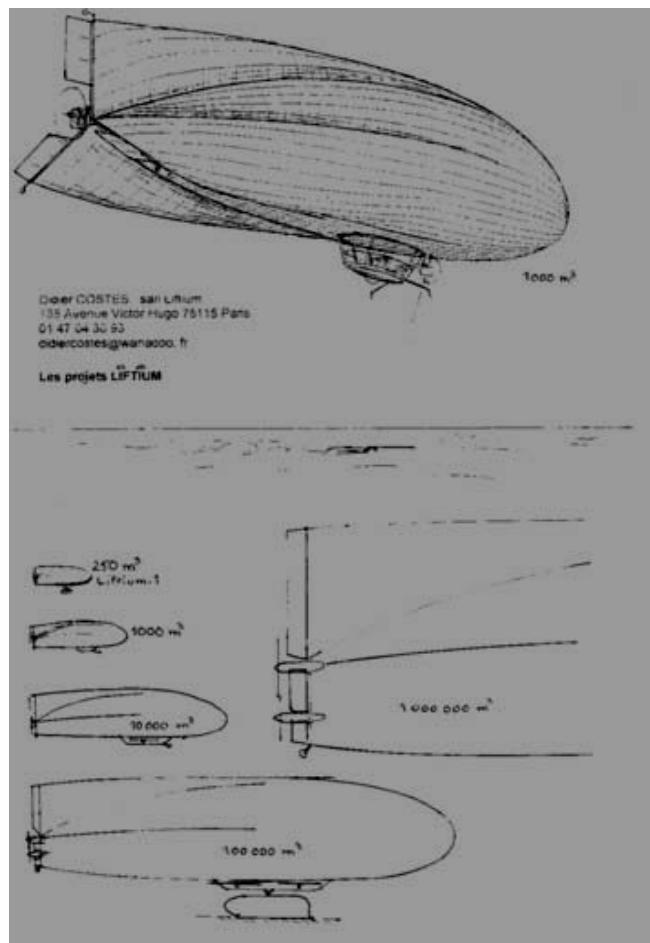
Aérodynamique

<i>Titre</i>	Caractéristiques aérodynamiques pour différentes formes d'enveloppes, avec ou sans nacelle et appendices
Auteur de la demande	BPR Conseil
TEL du contact :	02 47 92 00 87
Email du contact :	bprconseil@wanadoo.fr
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	Sup'Aéro

<i>Titre</i>	Conception et exploitation d'un DGP liées aux conditions aérologiques et climatiques
Auteur de la demande	BPR Conseil
TEL du contact :	02 47 92 00 87
Email du contact :	bprconseil@wanadoo.fr
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	LMT Sup'Aéro

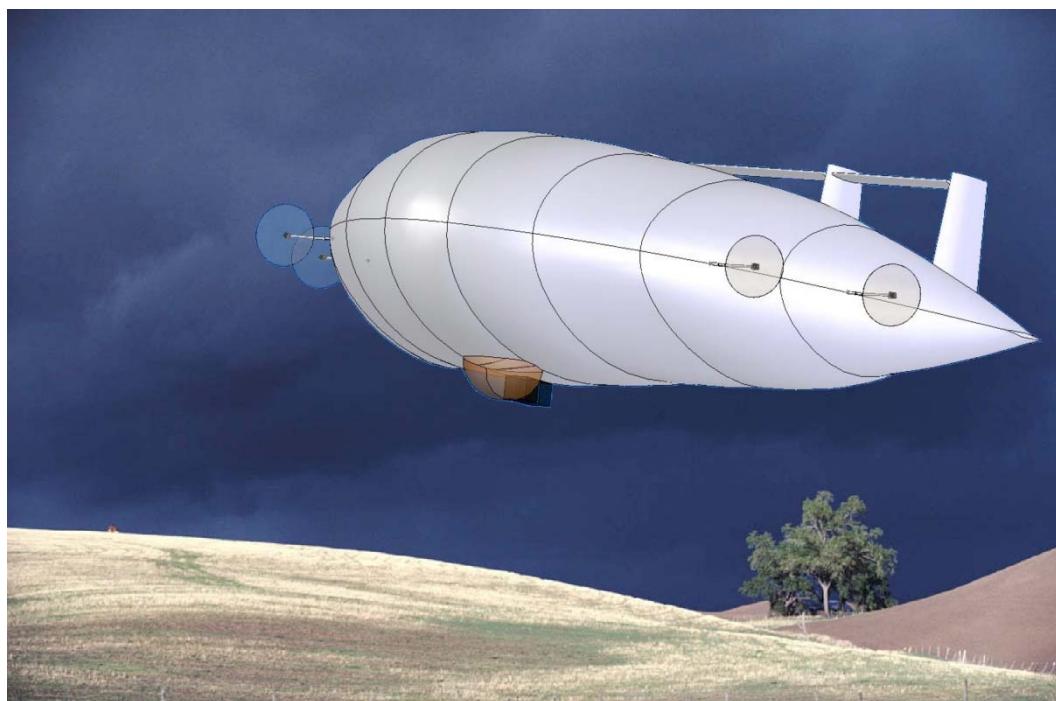
Mécanique

Titre	Taille et forme
Auteur de la demande	D. Costes
TEL du contact :	01 47 04 30 93
Email du contact :	didiercostes@wanadoo.fr
Objectifs	Examen des différentes formes (fuselée avec empennages rapportés, lenticulaire, ailes delta) au regard de la robustesse (avec les efforts d'attache au sol ou d'attache de la charge centrale, la fixation des moteurs), des caractéristiques aérodynamiques et de pilotabilité, du dégagement aérodynamique des grands rotors, du poids, de la facilité de construction...
Description	Calculs économiques pour la sélection de la portance aérodynamique, calculs aérodynamiques (avec PSW et Catia) pour les conditions de stabilité, souffleries sur maquettes, essais en vol.
Durée	
Intervenants	Sup'Aéro



Mécanique

Titre	Approche multi-échelle des structures souples raidies, conception des outils de calcul
Auteur de la demande	Satie Réseau Dirisoft
Nom du contact :	Hervé Kuhlmann
TEL du contact :	0147402249
Email du contact :	Herve.kuhlmann@satie.ens-cachan.fr
Objectifs	Les outils nécessaires aux calculs de structures hétérogènes tels que les assemblages de structures souples et de structures rigides n'existent pas, il est indispensable pour la suite des opérations de les créer
Description	la connaissance des efforts en tout point de la structure permet d'optimiser le poids des structures, l' approche sera du type analyse multi-échelle de grandes structures souples. Il s'agit de prédire l'état de déformation, de contrainte ainsi que les modes de vibration au sein d'une grande structure souple de type dirigeable. Cette prédiction soulèvent de nombreuses difficultés : Structure membranaire (absence de rigidité en flexion), Non linéarités (géométriques – grandes transformation – et matérielles) Prises en comptes du réseau de câbles internes (non régularité du comportement), Hétérogénéité des constituants (câbles et membranes, raccord de modélisation), Chargement complexe dynamique, chocs Gonflages, dégonflage (prise en compte de l'auto contact...)
Intervenants	LMT Ens Cachan, LMGC Montpellier



III

REALISATION DU PROGRAMME DE RECHERCHE

1. Situation actuelle de la recherche sur le dirigeable en France

A l'exception de la tentative lancée en 2006 par l'Ecole normale Supérieure de Cachan sur laquelle nous reviendrons, il n'existe plus en France de structure de conduite d'un programme de recherche sur le dirigeable. Il n'y a pas en outre de base documentaire, les moyens financiers consacrés à la recherche ne font pas du dirigeable une priorité, les laboratoires eux-mêmes ne sont pas organisés pour réaliser les actions de recherche proposées ci-dessus.

Cette situation sera difficile à faire évoluer car il n'existe **aucune formation spécifique** (le dernier cours d'aérostatique a été donné en 1945) et les outils pédagogiques qui seraient nécessaires à un enseignement ont également disparu. Le dirigeable n'est plus évoqué qu'à l'occasion de rares conférences.

Par ailleurs il ne dispose **pas d'un fonds documentaire** dédié. Il a pourtant un passé très riche et beaucoup d'informations utiles pourraient être tirées des dossiers d'autrefois : demandes d'agrément, rapports d'accidents, comptes-rendus d'essais... Ceci permettrait d'éviter d'engager des recherches sur des sujets déjà traités et accélérerait notablement les travaux.

La création d'un fonds spécialisé demandera un travail difficile du fait des pertes, du non-classement, de la dispersion et de la méconnaissance des sources possibles.

Bien entendu, il n'existe aucun système de veille technologique sur le dirigeable

Les outils techniques (catalogue des tissus, codes de simulation, logiciels de calcul des déformations...) qui permettraient aux chercheurs et aux industriels de travailler plus rapidement et dans de meilleures conditions **sont également absents**.

Très peu d'organismes de recherche ont une compétence sur le dirigeable et la plupart d'entre eux n'ont pas sur cet engin une activité continue.

N'ont pu être identifiés que :

- **Le laboratoire de mathématiques appliquées de l'Université de Pau conduit actuellement des recherches, principalement en matière d'aérodynamique et d'aérostatique.** Ces travaux sont conduits 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.

Cet intérêt pour le dirigeable a été suscité par la société Adour Aerospace Technology qui, du fait de sa proximité géographique, a fait appel à l'Université de Pau pour réaliser certains travaux ;

- **Le laboratoire des systèmes complexes de l'Université d'Evry** a entrepris de travailler sur le dirigeable après avoir constaté l'absence des établissements scientifiques français.

Il dispose de beaucoup d'outils techniques spécifiques au dirigeable (dont un petit engin de 9m3.)

Les travaux en cours portent sur la planification des trajectoires et les méthodes de pilotage spécifiques à ce type d'engin ;

- **le CNES** a une activité ancienne en aérostatique. Il dispose d'une activité ballons et d'un centre dédié à Aire-sur-l'Adour. Environ cinquante personnes représentant l'ensemble des disciplines nécessaires y travaillent.

Leur activité porte sur le ballon scientifique ou ils ont en charge l'ensemble de la chaîne, de la conception à l'exploitation concrète des engins. Elle n'est donc pas tournée vers le dirigeable de transport de marchandises ;

- **l'ONERA** assure un suivi continu des travaux sur le dirigeable. Il convient de souligner qu'il pratiquement toujours été en charge ou associé aux travaux portant sur des projets nationaux.

L'ONERA va piloter en 2007 la réalisation et l'expérimentation d'un engin qui assurera une surveillance chimique et radiologique de l'agglomération parisienne. Cette opération va bénéficier du soutien de l'Agence Nationale de la Recherche.

Toutefois, à l'exception de l'activité de suivi, le travail de l'ONERA dépend de la demande, or celle-ci est rarement présente.

Dans un passé récent, les seules recherches conduites sur le dirigeable avec des moyens suffisants l'ont été à l'initiative d'entreprises souhaitant savoir si cet engin serait en mesure d'apporter une réponse à un problème de transport qui leur était propre. Ce fut ainsi le cas du CEA pour le transport de pièces de centrales nucléaires ou du CNES pour le déploiement de systèmes d'observation.

En aucun cas le point de départ des travaux ne fût le développement d'un nouveau moyen de transport.

Cet état des lieux fait que la recherche est très largement conduite par des personnes ou des groupes de personnes isolés. Outre le fait qu'ils ne disposent pas du matériel qui leur serait nécessaire, aucun d'entre eux ne saurait bien entendu

posséder l'ensemble des compétences qui permettraient de conduire les études à leur terme.

Il ne faudrait pas toutefois que cette situation amène à conclure qu'il est impossible de conduire des recherches aujourd'hui. En effet **le dirigeable ne s'appuie pas sur des sciences et techniques spécifiques**.

Toutes celles auxquelles il fait appel ont d'autres champs d'application et depuis l'abandon de sa fabrication, elles ont progressé. En outre, certaines – comme l'informatique et l'électronique- qui sont en mesure de régler des problèmes essentiels n'étaient à l'époque qu'embryonnaires.

2. Réseau de recherche DIRISOFT

2.1 Objectif et fonctionnement

Pour combler ce vide, un réseau est en cours de constitution. Son objectif est de conduire la recherche académique en France dans le domaine des dirigeables. **Avec son programme DIRISOFT, le laboratoire SATIE (Systèmes et Applications des technologies de l'Information et de l'Energie) se propose d'être la tête de pont de ce réseau. SATIE est une Unité Mixte de Recherche du CNRS, de l'ENS de Cachan, du CNAM et de l'Université de Cergy-Pontoise.**

Ce laboratoire réunit quarante chercheurs permanents (Enseignement Supérieur et CNRS), quinze ingénieurs, techniciens et administratifs, et quarante cinq doctorants.

Le réseau sera piloté à partir de l'équipe SETE (Systèmes d'Energie pour les Transports et l'Environnement) qui travaille sur des projets de systèmes hybrides, d'énergie renouvelable et d'actionneurs électriques pour l'automobile et l'aéronautique. Dans le cadre du réseau DIRISOFT, SATIE pourra intervenir d'une part dans les projets relatifs aux systèmes d'énergie, et d'autre part dans les systèmes de télécommunication et multi-capteurs.

SATIE est membre de l'institut Farman qui regroupe sur le campus de l'ENS de Cachan cinq laboratoires travaillant sur la modélisation des systèmes complexes.

Le réseau DIRISOFT inclura également les laboratoires membres de la coopération régionale SPEE Labs qui regroupe l'ensemble de la recherche académique en énergie électrique, ainsi que des laboratoires de recherche du Pôle de Recherche et d'Enseignement Supérieur (PRES) UniverSud.

Au plan national, le réseau DIRISOFT se construit autour des pôles de compétitivité dans lesquels la thématique du dirigeable pourra trouver sa place. On peut notamment citer le pôle Mer-Bretagne, les pôles AESE et [Systema@tic](#) ainsi que les futurs pôles Pegase et ASTECH.

Plusieurs laboratoires de recherche ont déjà manifesté leur intention de rejoindre le réseau DIRISOFT, notamment le LAAS (Toulouse), la laboratoire de recherche en

aérodynamique de SupAéro et le laboratoire de recherche sur les textiles à Mulhouse.

Le réseau DIRISOFT sera organisé autour d'un comité de pilotage et d'un conseil scientifique et fonctionnera en projets. Il sera configuré pour être totalement compatible avec l'organisation de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR).

Ce réseau aura aussi vocation à être une source de propositions pour les appels à projets de l'ANR.

Le conseil scientifique du réseau DIRISOFT, en cours de constitution, devrait rassembler des personnalités scientifiques de tout premier plan dans le domaine des dirigeables. Le comité de pilotage, instance opérationnelle du réseau, sera animé dès 2007 par Hervé Kuhlmann, chef de projet.

2.2. Compétences du réseau

Le réseau DIRISOFT a vocation à couvrir l'ensemble des thématiques scientifiques concernées par la problématique des dirigeables pour les applications de surveillance et de transport de charges lourdes. Il s'agit donc d'un **réseau de recherche pluridisciplinaire couvrant autant des domaines de science fondamentale (physique des gaz, mécanique, chimie, matériaux) que des champs technologiques** aussi variés que l'énergétique, le contrôle/commande, ou l'étude et la modélisation des systèmes complexes.

On peut ainsi citer, de manière non exhaustive, des compétences dans les domaines suivants :

- A. aérodynamique et mécanique des fluides,
- B. thermique et thermodynamique
- C. mécanique des structures déformables
- D. matériaux d'enveloppes et matériaux actifs
- E. systèmes d'énergie électrique
- F. piles à combustible
- G. systèmes d'énergie photovoltaïque
- H. robotique et vision 3D
- I. contrôle-commande robuste
- J. sociologie des transports

2.3. Recherches programmées

D'ores et déjà, le réseau DIRISOFT devrait lancer dès 2007 cinq projets de recherche portant sur les thématiques suivantes :

1. étude, modélisation et dimensionnement d'enveloppes déformables,
2. systèmes d'énergie visant l'autonomie, combinant sources d'énergie renouvelables et actionneurs électriques,
3. commande dynamique des dirigeables, mettant en œuvre des motorisations vectorielles
4. étude aérodynamique de nouvelles géométries d'enveloppe
5. étude des impacts sociaux induits par le retour des dirigeables dans les espaces de vie

Deux champs d'application seront prioritairement étudiés :

6. la surveillance par des dirigeables drones ou pilotés, sur des espaces maritimes ou des sites industriels,
7. le transport de charges lourdes

D'autres axes de recherche pourront être envisagés, concernant notamment l'utilisation de matériaux actifs « smart materials » dans la réalisation des enveloppes ou encore le pilotage de flottes de dirigeables coopératifs.

3 Travaux d'accompagnement

3.1. Constitution d'un fonds documentaire

Comme nous l'avons indiqué ci-dessus, il n'existe pas en France de fonds documentaire traitant du dirigeable. Cette situation est particulièrement regrettable car le dirigeable a un passé très riche et énormément de travaux ont été faits. Pouvoir les utiliser permettrait d'éviter de s'engager sur des voies déjà explorées et accélérerait considérablement les recherches.

Deux difficultés majeures se présentent pour créer un site documentaire spécialisé.

En premier lieu, il faudra **localiser les documents** traitant du dirigeable. Les archives anciennes de la DGAC sont en dépôt dans un bâtiment à Fontainebleau et sont difficilement utilisables. Le centre documentaire du Musée de l'Air et de l'Espace dispose de dossiers sur le dirigeable. Ceux-ci sont classés par constructeur puis par modèle et ils ne sont donc pas directement exploitables par les chercheurs. Le service de l'Histoire de l'armée de l'Air a des documents sur le dirigeable, mais ceux-ci sont dans les archives et ne sont donc pas commodément exploitables. Aerall avait une documentation importante sur le dirigeable qui était en dépôt dans une bibliothèque. Celle-ci a été égarée lors d'un déménagement.

Ce travail de recherche ne devrait pas toutefois être très lourd car si AERALL a vu sa collection d'ouvrages disparaître, l'association dispose toutefois de son répertoire qui donne les indications utiles pour localiser les documents.

La seconde difficulté sera de **rendre les ouvrages exploitables**. Ceux-ci, à l'exception d'un petit nombre, ne sont ni répertoriés ni numérisés.

Avant d'exécuter ces travaux, un thésaurus devra être établi. Ceci ne sera pas trop compliqué car le dirigeable fait appel pour l'essentiel à des disciplines scientifiques qui ont un champ d'application plus large et qui ont donc déjà leur lexique. Il sera toutefois utile d'examiner ceux-ci pour éventuellement définir une arborescence spécifique supplémentaire.

Par ailleurs, certains pays sont plus avancés que la France pour les recherches sur le dirigeable et possèdent déjà un site documentaire. Il faudra bien entendu pouvoir s'appuyer sur ceux-ci ce qui suppose de prendre leurs thésaurus. En outre, le dirigeable correspondant à un champ technique particulier, il apparaît souhaitable pour éviter les mauvaises interprétations dans l'utilisation des fonds documentaires d'établir un glossaire allemand, anglais, russe et français.

Il convient de noter que les fonds documentaires les plus efficaces sont ceux où les chercheurs ont participé directement à leur établissement. Chacun aura une approche et un vocabulaire particulier reflétant ses travaux, mais l'harmonisation et la hiérarchisation qui devront ensuite être faites ne posent pas des problèmes très difficiles à résoudre.

Le site documentaire sur le dirigeable utilisera donc très largement des sites existants. Ceci présente l'avantage de réduire les coûts et les délais et l'inconvénient de demander l'examen des règles d'accès aux informations, particulièrement d'un point de vue juridique. Celles-ci varient en effet selon chacun des sites et reposent sur les conditions du dépôt légal, de la propriété intellectuelle, du secret...qui sont variables selon les pays.

La dernière source qui devra être utilisée pour créer le site documentaire sera les chercheurs eux mêmes. L'invitation qui leur sera faite d'y faire figurer leurs travaux sera acceptée sans discussion car il sera ainsi rendu possible à un plus grand nombre de personnes d'en prendre connaissance.

Au-delà de la création de la base, c'est également par les spécialistes du dirigeable que passera une part importante des mises à jour.

Faire appel aux intéressés eux-mêmes donnera une assurance de qualité de l'information (particulièrement si elle est signée et si elle peut être critiquée) et de rapidité dans sa fourniture.

D'un point de vue pratique, l'Ecole Normale Supérieure de Cachan pourrait créer et gérer ce site documentaire dans le cadre du développement de Dirisoft.

3.2. Mise à disposition d'un site pour les essais

L'absence qui pose le plus de problèmes est celle d'un site adapté qui permettrait de faire des essais. Celui-ci devrait disposer d'un terrain de grandes dimensions, ou les vents seraient peu violents, ou il n'y aurait pas de servitudes aéronautiques et sur lequel un hangar pouvant abriter les dirigeables serait utilisable.

Si les trois premières contraintes peuvent être réglées sans grandes difficultés, **l'obstacle est celui du hangar** qui est nécessaire pendant la phase d'essais et de mise au point des engins.

Quelques hangars ayant une taille suffisante existent, mais ils ont une autre utilisation et ne sont donc pas disponibles.

Il n'y a plus en France aujourd'hui que deux hangars qui ont été conçus et construits uniquement pour le dirigeable.

L'un désigné sous le nom de hangar Y est à Chalais-Meudon. Il a été construit en 1878 et mesure 70 mètres de longueur, 41 mètres de largeur et 26 mètres de hauteur. Il va être transformé en musée des ballons et dirigeables et semble ne plus pouvoir être utilisé pour abriter les essais. En outre, les servitudes aéronautiques qui pèsent sur la zone où il est situé rendent difficile toute activité aérienne.

Le second se trouve à Ecausseville. Cette commune de la Manche est la seule en France à posséder un hangar pour dirigeables de très grandes dimensions. Il a en effet une longueur de 150 mètres, 24 mètres de largeur et une hauteur de 31 mètres. Il possède un entrepôt adjacent et est placé sur un terrain ayant les dimensions suffisantes pour accueillir les dirigeables.

Il a été construit de 1917 à 1920 par la Marine Nationale pour abriter les dirigeables chargés de repérer les sous-marins allemands. Du fait de la fin de la date d'achèvement des travaux, il n'a jamais été utilisé à cette fin, mais a servi de hangar pour dirigeables jusqu'en 1936, puis d'abri pour matériel militaire (y compris par les Allemands pendant l'occupation), pour avions (une piste en herbe de 500 mètres existe à proximité du bâtiment), d'atelier pour la mise au point des ballons utilisés pour l'amorçage des armes atomiques par la Direction Centrale des Essais Nucléaires...

Propriété de la marine Nationale jusqu'en 1999, il a été cédé à cette date à l'Association franco-américaine des aérodromes normands de la IXème US Air Force. Celle-ci regroupe les communes sur lesquels se trouvent les aéroports utilisés – ou qui auraient pu être utilisés – par l'armée américaine lors du débarquement de Normandie.

Actuellement, le transfert de propriété est en cours au profit de la communauté de communes d'Ecausseville.

Le retour à une activité demanderait que des travaux soient réalisés. Tout d'abord pour des raisons de sécurité. Des petits morceaux de ciment armé tombent de la voûte ce qui interdit l'accueil du public.

Par ailleurs, ses portes roulantes de 12/28 mètres ont été détruites par un cyclone en 1940.

Le coût des travaux de remise en état est estimé à 3,5 millions d'Euros. Cette somme inclus l'installation d'une nouvelle porte ce qui serait obligatoire pour que le hangar retrouve sa fonction d'origine (580 000 €).

L'ensemble ne serait pas à réaliser immédiatement pour que le dirigeable puisse être utilisé, aussi est-il envisagé par le Conseil Général de la Manche d'allouer une aide à la communauté de communes d'Ecausseville pour permettre le démarrage de l'opération. Ensuite, le produit de la location du hangar devrait prendre le relais.

Les points forts de ce projet sont :

- 1. L'existence du hangar. Seuls des travaux de remise en état devraient être assurés ;**
- 2. Ses dimensions ;**
- 3. L'absence de servitudes aéronautiques ;**
- 4. La décision des collectivités locales de lancer l'opération.**

Ecausseville ne présente qu'un seul point faible: la force du vent qui est supérieure à 8 mètres par seconde pendant 36,2% du temps (à partir de cette force, les dirigeables ayant la forme la plus courante ne sont plus utilisables. Cette faiblesse ne semble pas toutefois déterminante car l'activité envisagée serait le test et la mise au point d'engins en développement, ce qui présente moins de contraintes horaires qu'une utilisation commerciale.

3.3. Réalisation d'une boîte à outils

Catalogues de produits et dossiers techniques.

La plupart des composants du dirigeable (moteurs, hélices, rotors...) figurent déjà dans des catalogues qui ont été établis en vue d'un usage autre. En ce qui concerne les enveloppes, celles-ci ne font pas toutefois l'objet d'une description répondant aux critères souhaités par les chercheurs et les industriels.

Leur demande porte principalement sur les propriétés mécaniques des toiles, l'évaluation de leurs propriétés électrostatiques et élecrodynamiques ainsi que leur tenue aux températures et aux UV.

Catia, conçu par Dassault Systèmes, est un outil nécessaire à la conception de nouveaux engins. Il permet en effet de modéliser des formes complexes, de concevoir des ensembles avec des composants figurant dans des catalogues et, en aval, de faciliter le travail des machines d'usinage.

Il doit toutefois être articulé avec des outils spécifiques aux dirigeable. Il serait ainsi utile qu'il soit possible d'étudier le comportement en vol du dirigeable et des interactions fluides-structures à l'aide d'une simulation numérique qui porterait sur les écoulements aux grandes échelles, les interactions fluides-structures, le calcul de traînée à faible vitesse et les transferts thermiques.

3.4 Réalisation d'un démonstrateur

Celui-ci aura pour base les caractéristiques du dirigeable gros porteur qui figurent dans la présente étude. Ce cahier des charges du démonstrateur sera approfondi par un dialogue avec le panel d'utilisateurs qui a déjà été constitué, complété par des concepteurs, des industriels, des financiers et les responsables de la réglementation aérienne de façon à prendre les projets dans toutes leurs dimensions.

La très grande productivité et imagination des concepteurs pourrait ainsi être canalisée et mise à contribution au profit d'un objectif commun : la **définition d'un démonstrateur préfigurant le dirigeable gros porteur.**

Le démonstrateur aurait non seulement pour fonction de permettre de **valider les options techniques et les choix technologiques de l'engin final**, il permettrait également d'aller au delà des nombreuses études qui ont été menées sur le dirigeable gros porteur en **donnant une preuve tangible que celui-ci peut manipuler et transporter en toute sécurité une charge lourde, dans des conditions opérationnelles et avec une assistance au sol réduite.**

CONCLUSION

Le dirigeable pour le transport de marchandises apparaît comme une bonne solution. De nombreuses études de marché ont été conduites. Toutes confirment l'intérêt majeur pour les entreprises d'un engin qui ne demanderait ni rupture de charge, ni démontage des produits pour leur transport. Le dirigeable fonctionnant sans infrastructure au sol, il est également plébiscité par les organismes en charge des équipements. Enfin, il n'est la cause d'aucune pollution ou nuisance et peut apporter une réponse au problème de l'effet de serre.

Malgré ces atouts connus depuis fort longtemps, le dirigeable n'arrive pas à revenir.

Toutes les tentatives qui ont eu lieu se sont terminées par des échecs ou des renoncements. Dans un passé récent, les deux projets les plus importants ont été la société allemande Cargolifter et le projet américain Walrus. Le premier s'est terminé par un dépôt de bilan et le second par un renoncement.

Les abandons de projets ont été en France moins médiatiques et moins coûteux, mais ils sont l'aboutissement le plus courant de ceux-ci.

AERALL a procédé à un examen de tous ces renoncements. Dans tous les cas, la cause était technique. Soit du côté des chercheurs qui sont isolés et ne disposent ni des outils, ni de l'ensemble des compétences indispensables pour conduire un projet jusqu'au bout. Soit du côté de ceux (publics ou privés) qui peuvent soutenir les projets. N'étant pas en mesure de les évaluer, l'attitude la plus courante consiste à tout refuser. Certains inventeurs arrivent parfois à séduire et à obtenir un soutien. Mais dans ce cas, il s'agit pratiquement toujours d'une idée qui n'est ni validée ni achevée et qui conduit le plus souvent à l'échec.

C'est ce vide que les propositions contenues dans la présente étude pourraient combler ainsi que l'initiative prise par l'Ecole Normale Supérieure de Cachan de création d'un réseau spécialisé.