





LE PROJET DINOSAURE

A. Villevieille (*)

Faire tomber la pluie, là où règne la sécheresse... Ce vieux rêve de l'humanité, nous pourrions peut-être le réaliser demain. Mais il faut d'abord pouvoir mieux connaître la nature des nuages, et la meilleure solution consiste à s'installer dans un nuage comme dans un laboratoire naturel qui permette d'observer comment se fabrique la pluie. A. Villevieille explique ici pourquoi seul le dirigeable permet une exploration permanente.

Provoquer la pluie, là où règne la sécheresse : c'est sans doute l'un des grands paris de demain. Pour engager ce pari de la manière convenable, il faut d'abord mieux connaître le nuage et sa population de gouttelettes, et comprendre enfin comment ce nuage fabrique la précipitation. Face au problème ainsi posé, il n'est pas d'autre solution que de s'installer dans le nuage comme dans un laboratoire naturel, avec tous les instruments de micro-physique adéquats.

Mais alors, quel véhicule nous permettra-t-il de résider de façon semi-permanente dans ce laboratoire au sein de l'atmosphère ? L'avion est immédiatement exclu, parce qu'il agresse le milieu ambiant et perturbe ainsi l'observation des effets naturels. Aussi, parce qu'il traverse trop vite les petits volumes d'air nuageux où se déroule la transformation micro-physique recherchée.

L'hélicoptère est lui-même impropre à un tel travail scientifique. Reste le ballon, qui a pour premier mérite de ne pas « détraquer » le milieu. Mais le ballon libre est livré aux caprices de sa trajectoire ; le ballon captif n'embrasse qu'un volume atmosphérique assez limité et doit attendre l'événement à poste fixe. Le dirigeable paraît donc être la meilleure — et, en réalité, la seule — approche possible.

La pollution constitue un autre grand thème d'intérêt pour les météorologistes et les spécialistes de l'environnement. La pollution est un nuage, souvent plus ténu et plus diffus que le nuage météorologique, mais qui relève des mêmes lois de la microphysique et de la dynamique atmosphériques. A même problème, même solution : ici encore, le dirigeable semble le seul moyen d'aborder correctement la difficulté expérimentale.

Ces deux considérations ont principalement guidé l'EERM (1), en contact avec la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et le Ministère de la Qualité de la Vie, dans l'étude d'un véhicule nouveau, du type dirigeable, capable d'une observation in situ dans les basses couches et les couches nuageuses de l'atmosphère.

Une des premières conditions requises concernait naturellement, la maniabilité. Il est essentiel, en effet, de pouvoir rester quasi-stationnaire, soit par rapport au milieu (observateur de Lagrange) — dans le cas du nuage, par exemple —, soit par rapport au sol (observateur d'Euler) — dans le cas de sources de pollution géographique — réparties. Également, l'appareil doit pouvoir évoluer en espace réduit (rayon de giration), monter et descendre à grande vitesse (exploration suivant la verticale), voler sans risque au plus près du sol (étude de la couche-limite)...

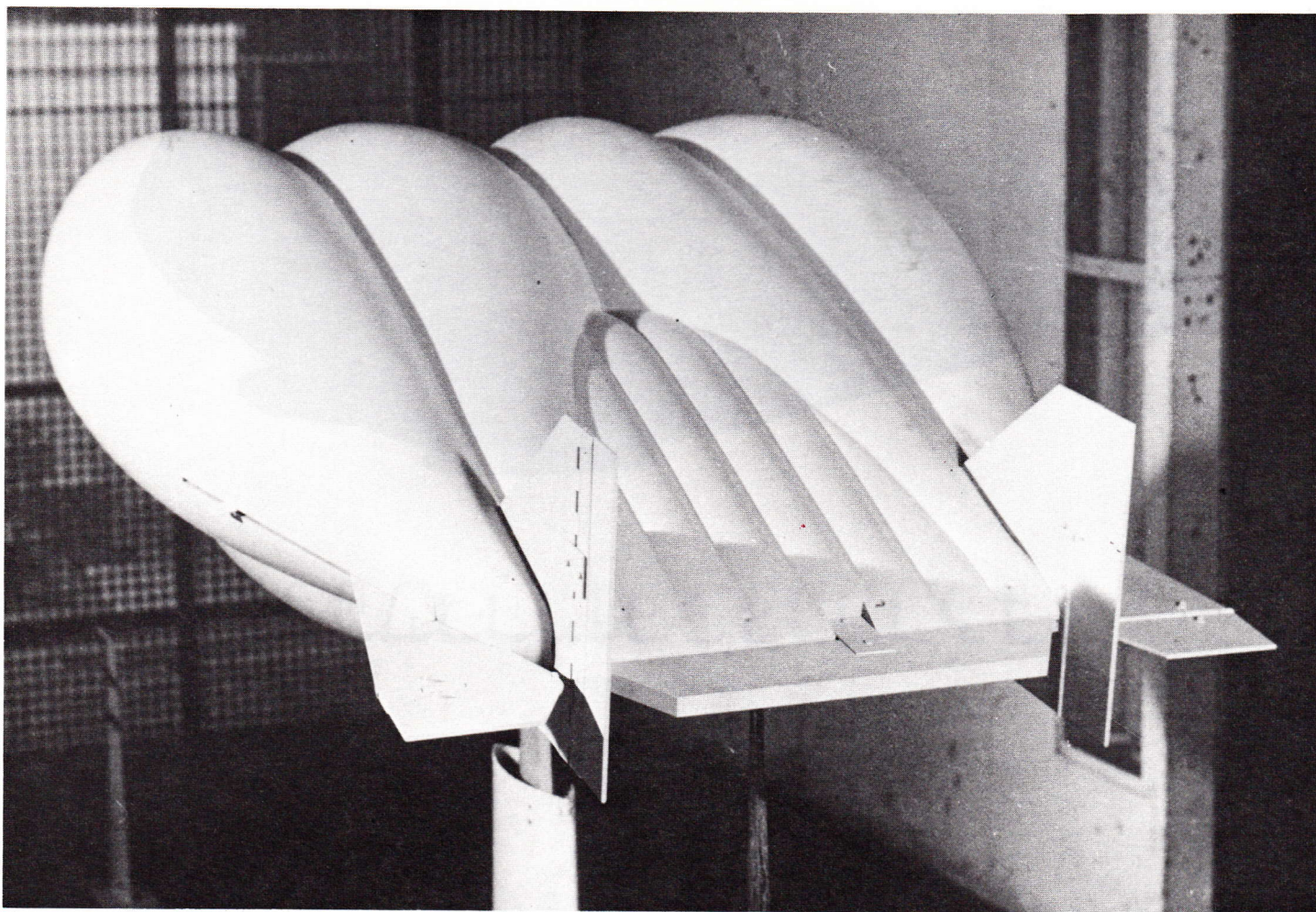
S'y ajoute, bien entendu, une condition de longue autonomie, soit que l'on veuille surveiller de manière systématique un site pollué, soit que l'on étudie au long de la journée — ou en alternance jour-nuit — la variation de tel ou tel phénomène, comme la convection.

Un deuxième ordre de conditions se rapportait à l'économie. A l'échelle du budget prévu (et du savoir-faire du moment) un projet géant n'apparaissait guère, de toutes façons, envisageable. Il fallait jouer la miniaturisation (pour autant que ce terme puisse convenir en matière de ballons !) et la simplicité de tous les sous-systèmes. La première variante retenue est ainsi automatique, c'est-à-dire que le véhicule n'est pas ha-

« La Girouette », par le Quesne (salon de 1898) : Paris au gré des vents.

(*) Chef de l'Établissement d'Études et de Recherches Météorologiques. Paris.

(1) Établissement d'Études et de Recherches Météorologiques, Météorologie Nationale.



bité. Un dispositif de télécontrôle (contrôle à distance par télémessure et télécommande) assure toutes les fonctions de pilotage et d'observation. Les divers composants, y compris la motorisation, sont choisis dans les « articles de catalogue », fiables mais peu chers.

On recherche, par ailleurs, des économies de fonctionnement. L'appareil doit pouvoir être manœuvré avec une équipe minimale de quelques personnes, stocké entre deux vols sans abri spécial, transporté en pièces détachées, de dimensionnement raisonnable, pour être remonté rapidement sur le site d'observation.

En bref, on vise, de toutes les manières possibles, un coût minimal, permettant d'assimiler — au plan financier — le nouveau véhicule à un avion léger de classe moyenne.

Pour diverses raisons, en partie liées à la taille de l'engin (et peut-être aussi à la vague « rétro » ?), ce projet a été nommé Dinosaur.

Un véhicule à mi-chemin de l'avion et du ballon

« Dinosaur » représente effectivement une coque de ballon avec profil aérodynamique, qui permet la combinaison des effets de portance archimédienne et de portance dynamique, induite, dans le cas particulier, par un moteur à hélice.

La justification de cette formule tient, bien entendu, à la condition de maniabilité déjà citée.

Le pilotage par gouvernes aérodynamiques est analogue à celui d'un avion. Les gouvernes et le pilote automatique sont d'ailleurs empruntés à l'aviation légère et ne demandent pas de développement, et sur-

tout, la forme adoptée, qui est celle d'une aile épaisse permet de compenser, par la portance aérodynamique, les surcharges qui constituent, on le sait bien, un lourd handicap pour le ballon (consommation de carburant, surcharge « climatique », givrage).

Enfin, la sécurité est notablement augmentée par rapport à un aérostat. Si, en effet, par suite de dommages au ballonnet, il y a perte accidentelle de poussée aérostatique, l'engin équilibre son poids en augmentant sa vitesse et son incidence de vol.

Le dessin du véhicule (2) comporte deux carènes trilobées disposées en catamaran, et réunies à l'arrière par une surface de raccordement ; l'ensemble est constitué d'éléments gonflables. On réalise de la sorte un profil d'aile à faible allongement, muni, sur son bord de fuite, de volets de profondeur, et de deux gouvernes d'extrémité jouant différemment en ailerons pour le contrôle latéral. Les gouvernes de direction sont implantées sur les dérives placées à la pointe arrière de chaque carène. Sous les carènes sont placées les coussins servant d'atterrisseurs. Dans le sillon central à l'intrados, entre les carènes, la nacelle propulsive est équipée de deux moteurs à explosion entraînant deux hélices à pas fixe.

On a dit plus haut les avantages principaux de cette carène en aile épaisse, qui permet de développer une portance aérodynamique appréciable sur l'extrados. Mais d'autres considérations ont joué. D'abord, la forme compacte (la projection horizontale est proche d'un carré) présente au sol un couple de « plaquage » élevé. La carène supporte d'ailleurs une trainée aérodynamique à peu près indépendante du vent incident : il n'est pas nécessaire de l'orienter dans le lit du vent.

A mi-chemin entre l'avion et le ballon : la maquette de Dinosaur.

Cette même forme permet aussi d'occuper beaucoup moins de surface de stationnement (24 m de longueur sur 18 m d'envergure hors tout). Toutes les opérations de maintenance sur la nacelle et les moteurs peuvent s'effectuer aisément à l'abri de la carène, qui se comporte ainsi, de manière assez originale, comme une sorte de hangar auto-protecteur.

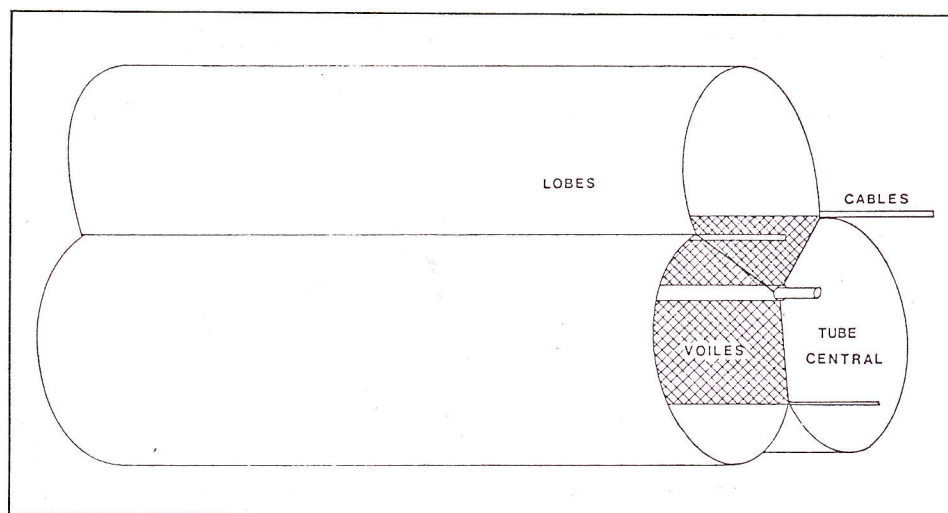
La structure légère en « arête de poisson »

La rigidité de la carène est assurée par un mât central qui la traverse de part en part. Ce mât est formé de tronçons indépendants enfilés dans une gaine de tissu, s'appuyant les uns sur les autres par une rotule, et travaillant exclusivement en compression et cisaillement. Ce mât est sous-tendu par un ensemble de haubans formés par des cables. Ces cables sont eux-mêmes reliés au mât par des voiles tendues par la pression, dans chacun des lobes qui constituent la carène.

Le mât central est maintenu en flambage par les actions contrariées des voiles opposées.

Si la carène est soumise à un effort de flexion supérieur aux conditions de calcul, la poutre plie au droit de l'une des articulations, et revient en place après disparition de l'effort. Elle offre, de ce fait, les mêmes avantages qu'une structure souple. Telle est la formule dite « d'arête de poisson », (due à « Zodiac ») qui a été retenue pour la carène. Elle possède deux avantages essentiels.

(2) Étudié avec la SNIAS (Aérospatiale) et la Société ZODIAC (ballons).



Structure en arête de poisson.

En premier lieu, la rigidité est analogue à celle d'une poutre rigide, le module apparent de la carène étant celui des éléments constitutifs (duralumin et acier). Cette rigidité est un des éléments souhaités dans la configuration « avion », pour fixer les caractéristiques de réponse de l'appareil à ses gouvernes aérodynamiques.

Mais aussi le poids de ce type de structure est, à caractéristiques mécaniques identiques, considérablement inférieur à celui de la solution « gonflable pur » (50 % environ) et à celui de la solution semi-rigide à poutre ventrale à treillis (60 % environ). C'est là un avantage considérable dans le devis de poids total qui est, évidemment, très critique pour un dirigeable miniaturisé.

Longévité « tous temps » : plus de 10 ans

La carène semi-étanche est surpressurisée à l'air ambiant par l'intermédiaire d'un ventilateur entraîné par un moteur électrique. Les ballonnets remplis de gaz aérostatique (hélium) sont disposés à l'intérieur de cette carène ; ils transmettent leur poussée par contact entre leur paroi et la paroi intérieure de la carène et des voiles. C'est une configuration classique : la variation d'altitude du dirigeable entraîne une variation du volume des ballonnets qui se dilatent dans l'espace rempli d'air de la carène.

Celle-ci comporte un revêtement de surface des produits fluorés, tels que le téflon et le tedlar, qui permettent une excellente résistance aux agents atmosphériques extérieurs. La longévité « tous temps » est estimée supérieure à 10 ans. Les ballonnets eux-mêmes sont confectionnés en matériau à base de polyester, extrêmement étanche ; ils peuvent être facilement contrôlés et changés.

On voit bien l'intérêt de différencier les fonctions de résistance extérieure et d'étanchéité. Celle-ci est assurée dans les meilleures conditions par les ballonnets, qui sont à l'abri des accidents de contact, du vieillissement des matériaux (rayons UV, intempéries) et des fatigues cycliques entraînées par le travail mécanique de la carène.

La maintenance est facilitée par l'emploi de ballonnets modulaires facilement remplaçables. Et, naturellement, la possibilité même de la forme catamaran et de la structure à mât central n'est concevable que si la carène extérieure peut comporter de

nombreux assemblages et des traversées de pièces rigides, incompatibles avec une étanchéité totale à l'air.

Pilotage téléguidé

Le mini-dirigeable DINOSAURE est téléguidé, c'est-à-dire piloté à distance depuis le sol, par un pilote humain.

En fait, le pilotage est semi-automatique ; le servopilote fonctionne en intermédiaire entre les ordres transmis par le pilote au sol et les servo-commandes des gouvernes. Une électronique de pilotage embarquée élabore, à partir des informations de position détectées à bord, les braquages nécessaires à la correction des écarts.

Cette solution permet, sans complication significative de la bouche de commande :

- d'augmenter de manière importante la précision de pilotage,
- d'alléger considérablement la charge de travail du pilote et, donc, d'accroître la sécurité de la mission,
- de modifier les caractéristiques de vol du dirigeable de manière à améliorer sa stabilité dynamique (amortissement).

L'ensemble de contrôle à distance, dit télécontrôle, que l'on retrouve — mutatis mutandis — sur la nacelle d'instrumentation, comporte deux liaisons radio : l'une de télécommande (TLC) pour l'envoi des ordres de pilotage, l'autre de télémesure pour la diffusion des informations retour (TLM). Cet ensemble est complété par la transmission en temps réel de l'image vidéo (moniteur TV) de la région survolée par le véhicule. On y trouve différentes utilisations, en phase d'approche et d'atterrissage par exemple, en plus de la fonction navigation qui est assurée séparément par différents moyens au sol (radar, triangulation radioélectrique).

Un sous-système d'utilisation : les atterrisseurs à coussin d'air

On insistera quelque peu sur ce point, parce que la manœuvre des dirigeables au sol est traditionnellement très consommatrice en main-d'œuvre.

Dans le cas de Dinosaur, le système d'atterrissage est constitué de ventouses pneumatiques qui peuvent être mises en compression ou en dépression. En dépression, la carène est plaquée au sol : c'est la position de garage. En surpression, l'appareil est sans liaison avec le sol et peut donc être déplacé « à main », en translation et rotation, sans difficulté particulière.

Les ventouses sont constituées par des

tores de section circulaire, gonflés en permanence et munis d'une jupe d'adaptation au sol. Chaque ventouse est équipée d'un ventilateur centrifuge permettant de créer à l'aspiration sur le sol, une dépression comprise entre 4 et 8 millibars.

Nacelles d'instrumentation interchangeables

L'idée centrale du projet DINOSAURE est de proposer aux utilisateurs la plus grande souplesse possible, en spécialisant des nacelles « interchangeables », c'est-à-dire démontables et remontables avec facilité (on a prévu une fixation réglable pour ajuster le centre de gravité de l'ensemble). Toutes les nacelles respecteront, bien entendu, la charge-limite fixée arbitrairement à 400 kg.

On disposera donc, en principe, d'une nacelle par mission ; mais différentes variantes sont envisagées, avec moyens communs (télémessure, télécommande), alimentation et cases d'équipement adaptables, sur une nacelle multi-usages. Deux types d'instrumentation peuvent figurer à bord, pour des mesures « in situ » et pour des mesures « extra situ ».

Dans le premier type d'instrumentation, on trouvera, à côté des capteurs aérologiques classiques, des capteurs nouveaux, physico-chimiques (pour la pollution), granulométriques (pour la physique des nuages), et électriques.

Les développements en cours dans le domaine des couches minces et des ondes granulométriques en nuage trouveront là une application directe.

Dans le deuxième type d'instrumentation, il s'agit, de manière générale, de radiométrie multi-spectrale, avec systèmes de balayage plus ou moins sophistiqués, et couplés à la marche du véhicule. De tels systèmes nous ont été rendus familiers par les satellites météorologiques : il s'agit donc, en quelque manière, d'une transposition homothétique de systèmes initialement développés pour l'espace.

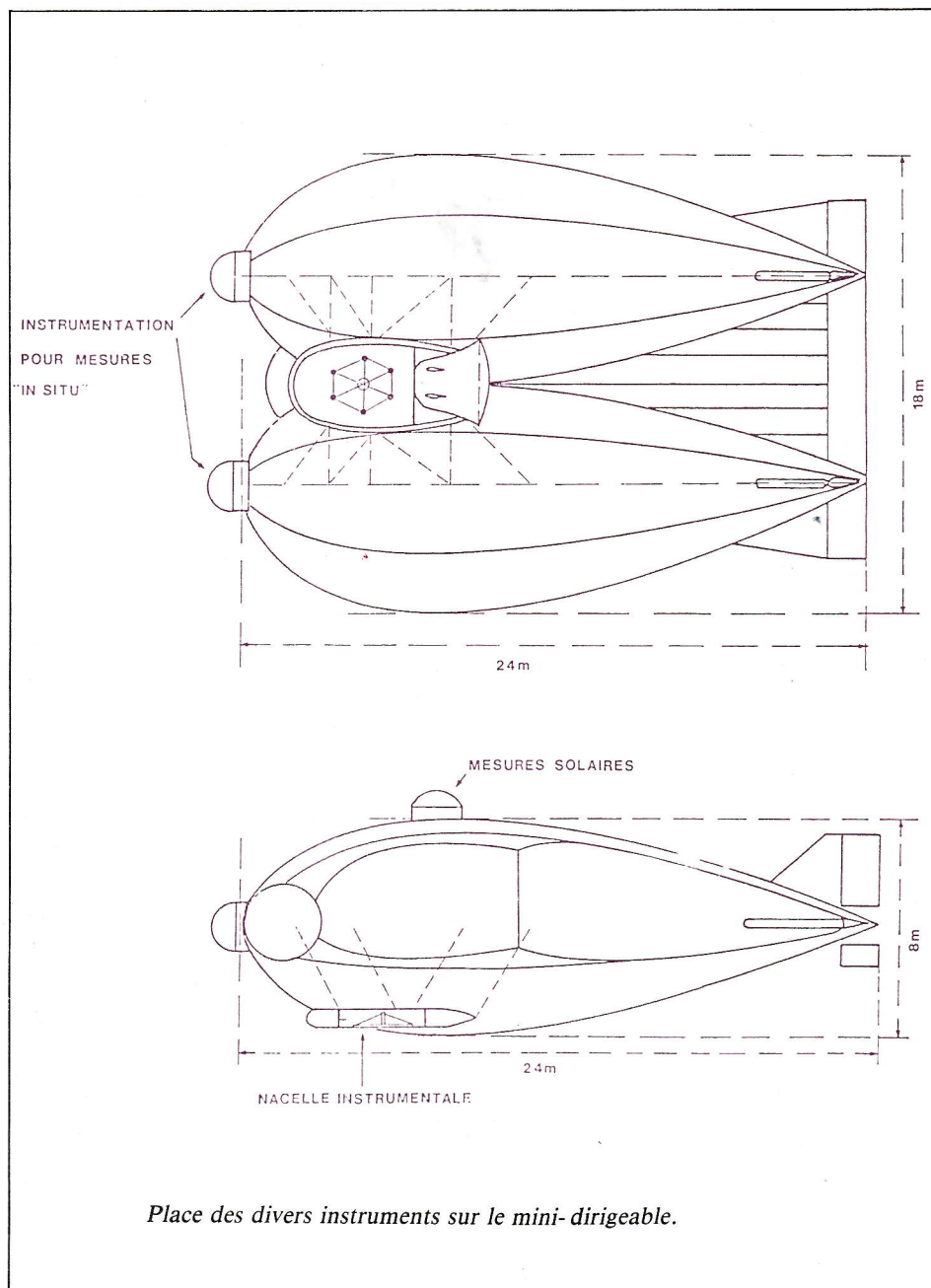
Comme cas particulier, la « photographie » infra-rouge de la carte thermique du sol (thermographie) sera utilisable pour l'étude fine des effets induits par la « tâche chaude » des sites urbains et industriels.

Dinosaure en vraie grandeur

Tout projet, scientifique ou technologique, progresse nécessairement par étapes et par sauts, de la première conception à la réalisation finale. On complète actuellement l'étude de faisabilité du véhicule DINOSAURE par des mesures poussées, à la fois en soufflerie aérodynamique et au banc d'essai en laboratoire des matériaux. Le dossier technique rassemblé prouve que l'engin est viable et peut désormais passer au stade d'une fabrication en vraie grandeur.

Parallèlement, on travaille à mettre au point les différents capteurs de caractère scientifique, qui s'attachent aux utilisations « pollution » et « modification du temps » (c'est-à-dire : pluie provoquée). Mais il est bien d'autres utilisations concevables, qui vont de la surveillance des incendies de forêt au relais d'images de télévision. Le système DINOSAURE a été conçu, à cet égard, avec le souci de la meilleure flexibilité : le court exposé qui précède s'est efforcé de le démontrer, chiffres à l'appui.

A. V.



Place des divers instruments sur le mini-dirigible.

Les performances de Dinosaure

Le projet Dinosaure a été construit autour de quatre spécifications de base :

- une gamme d'altitudes d'utilisation « normale » : jusqu'à 1.500 m (maximum : 3.000 m),
- une vitesse maximale de 30 m.s⁻¹,
- une autonomie de 10 heures (2 heures à 30 m.s⁻¹ ; 8 heures à 10 m.s⁻¹),

— une charge utile de 400 kg.

Ces performances peuvent être tenues par un véhicule de longueur 24 m pour une envergure hors tout de 18 m et un volume utilisable pour la sustentation de 1.400 m3 volume de l'hélium à 1.500 m : 1.160 m3). La propulsion devrait être assurée par deux moteurs Volkswagen d'une puissance totale de 133 CV (la vitesse de croisière de 10 m.s⁻¹ peut être tenue sur un moteur).

Domaine de vol			
Altitude de fonctionnement	H (m)	500	3 000
A même V _{mini} = 4,4 m/s			
Charge utile admissible (Équipements déduits)	CU (kg)	530	227
A même CU = 400 kg			
Vitesse minimale	V min. (m/s)	2,72	6,38

Devis de masse	
Structure	571 kg
Moteurs hélices	184 kg
Équipements divers	86 kg
Masse à vide équipée	841 kg
Charge utile et nacelle	400 kg
Masse hélium	159 kg
Masse carburant	85 kg
Masse totale	1 425 kg