

Des dirigeables pour le levage

par Jacques Bouttes et Henri Mangeot*

Les dirigeables autrefois

Quelques exemples des « services » rendus dans le passé par les dirigeables.

Transport de fret

En 1971, le Zeppelin L 59 de 68 500 m³ transporte 14 tonnes d'armes lors d'un raid de Jamboli en Bulgarie vers l'Afrique Orientale couvrant 6 750 km en 95 heures de vol.

Surveillance de convois

guerre 1914-1918, Royaume-Uni : 83 000 heures de vol. France : 30 000 heures de vol.

guerre 1939-1945, États-Unis : plus de 100 dirigeables accompagnent 83 000 navires pendant 550 000 heures de vol. Pas une perte de navires au cours de cette surveillance.

Surveillance radar

De 1948 à 1961, 50 souples de la Marine américaine assurent la couverture radar avancée à l'Est et au Nord des États-Unis et du Canada. L'équipement radar pesait plus de 14 tonnes. Remplacement par des B 52 porteurs de charges nucléaires en plus du système d'alerte radar.

Endurance

1917 : LZ 120, commandé par Capitaine LEHMAN tient l'air pendant 101 heures. 1926 : En mai le dirigeable italien NORGE commandé par NOBILE traverse la calotte polaire de la Baie du Roi (Spitzberg) à TELLER en Alaska : 550 km en 68,5 heures de vol.

1929 : Tour du Monde du « Graf Zeppelin » 32 400 km en 300 heures avec 20 passagers, du fret et de la poste.

1957 : Un ZPG 3 W (souple Marine us) tient l'air 11 jours et parcourt 13 000 kilomètres sans aucun approvisionnement.

Transport de voyageurs

Plus qu'un transport, il s'agit de « voyages aériens ».

De 1910 à 1914 la DELAG exploite des lignes régulières (Francfort - Berlin, etc...) et effectue 172 000 km en transportant 34 000 passagers.

Transport de ligne régulière du GRAF ZEPPELIN. De 1930 à 1937, le Graf (35 hommes d'équipage) assure la ligne Francfort-Séville-Dakar-Pernambouc-Rio et retour parfois par Lakehurst aux États-Unis. Il traverse 140 fois l'Atlantique Sud et transporte en 7 ans plus de 13 000 passagers et chaque fois plus de 5 tonnes de fret et de poste.

Rappelons que les 20 passagers disposaient de cabines à deux couchettes, douches, bar, salon avec piano, salle à manger, promenade le long de larges baies vitrées inclinées.

Le renouveau du dirigeable peut provenir du besoin de transport à grande distance et à vitesse modérée de matériaux encombrants, éventuellement de croisières pour passagers ou d'observation, avec des appareils de conception assez voisine de celle des dirigeables d'avant la guerre de 1939-1945.

Mais il existe aussi tout l'intérêt du dirigeable capable du vol stationnaire avec des engins utilisant des techniques liées à cette spécification nouvelle, que ne pouvaient satisfaire celles des anciens dirigeables.

Le vol stationnaire, c'est-à-dire le survol parfaitement stabilisé en altitude et en position horizontale des aéronefs, a été un objectif recherché depuis plus de 50 ans; c'est ainsi que se sont développés les hélicoptères et les avions dits VTOL.

Des grues d'une à 100 tonnes

Les domaines d'application des aéronefs dépendent de leurs qualités : transport à courte distance (inférieure à 600 km). On laisse de côté le rayon d'action et, en partie, la durée du transport.

Ce type de mission qui correspond à une généralisation du travail de grue peut concerner des charges relativement faibles (1 à 20 tonnes) ou des charges plus lourdes (50 à 100 tonnes).

Pour les charges modérées (1 à 10 tonnes), il faut citer l'exploitation des forêts dans des régions d'accès difficile (montagne, zone marécageuse) : l'aéronef est chargé de prendre les troncs d'arbres sur les lieux d'abattage et de les amener sur une zone de stockage, où ils sont regroupés en vue d'un transport classique (flottage, transport par camion). Il peut en outre servir, avant l'exploitation proprement dite, au repérage des arbres et au transport des hommes et des machines. On peut égale-

Le prix de revient des transports terrestres fluviaux et maritimes dépend fondamentalement du point de chargement et du point de déchargement, et surtout du nombre de ruptures de charges qu'il est nécessaire de prévoir.

Dans les pays mal équipés, les investissements en voies terrestres ou fluviales peuvent avoir un intérêt en soi et leur coût n'est pas forcément à prendre en compte dans le prix des transports.

Les remarques précédentes montrent que la comparaison des moyens de transport de surface et par voie d'air ne peut se faire en termes purement économiques. Il est bien certain que des données politiques telles que l'aménagement du territoire, l'écologie..., doivent également être prises en compte. Les études effectuées jusqu'à présent ne concernent que l'aspect économique.

Pour fixer les idées, voici deux résultats typiques :

- Une étude américaine de B.H. Carson concernant le projet Aerocrane compare les prix de revient du dirigeable capable du vol stationnaire à ceux de l'hélicoptère lourd : pour des charges de 50 t, le dirigeable serait trois fois moins cher (1). Une étude française effectuée sur demande du Ministère de l'Industrie et de la Recherche compare les prix de revient du transport de charges lourdes (de l'ordre de 500 t) par moyen de surface et par dirigeable capable du vol stationnaire. Cette comparaison, faite sur des exemples concrets (voir tableau) montre l'intérêt économique du dirigeable, dès que le transport par voie de surface nécessite de nombreuses ruptures de charge (2).

La réalisation des missions évoquées ci-dessus par voie aérienne suppose que les aéronefs puissent être chargés et déchargés au-dessus de terrains sommairement amé-

Exemples	Masse de la charge	Distance à vol d'oiseau Usine - Site	Pour la mission		Nombre de manutentions effectuées par voies de surface	Coût global estimé par voies de surface en M.F.	Coût global estimé par voie air (Dirigeable) en M.F.			Rapport des coûts
			Distance totale par voie air (Dirigeable)	Distance totale par voies de surface			3000 h 2000 h			
							an	an	a	
							(b)	(c)	b	
	(t)					(a)				
1	280	430 km	750 km	4 700 km	5	2,00	0,59	0,65	3,39	3,08
2	364	385 km	690 km	435 km	2	0,60	0,56	0,62	1,07	0,97
3	480	426 km	570 km	4 445 km	5 × 3	2,50	0,52	0,56	4,81	4,46
4	420	492 km	780 km	4 195 km	2	1,80	0,60	0,67	3,00	2,69
5	364	435 km	600 km	4 635 km	3	1,90	0,53	0,58	3,58	3,28
6	384	255 km	540 km	365 km	3	0,60	0,50	0,55	1,20	1,09
7	420	423 km	630 km	3 825 km	3	2,10	0,54	0,59	3,89	3,56
8	364	165 km	310 km	4 340 km	5	3,50	0,41	0,44	8,54	7,95

ment l'utiliser pour le transport de pylônes électriques ou d'éléments de téléphériques dans les régions difficiles d'accès.

Il faut enfin noter la nécessité pour les plate-formes de forage de disposer de moyens de ravitaillement aérien, pour des transports d'urgence. Ce type de transport est actuellement effectué par des hélicoptères, de charge utile relativement faible (quelques 5 à 10 tonnes, plus souvent 1 à 2 tonnes) dont le prix de revient reste assez élevé et qui consomment beaucoup de carburant.

Pour les charges supérieures à 50 tonnes, il n'existe pas de moyens de transport destinés à des lieux sommairement aménagés, c'est-à-dire sans piste d'atterrissage. En effet, les plus gros hélicoptères (MIL) ont une charge utile maximale de 10 à 30 tonnes et ils sont extrêmement onéreux à l'achat et à l'emploi.

nagés et dans de nombreux cas (travail en forêt), au-dessus de terrains où un atterrissage, même vertical, n'est pas possible. Le chargement, ou le déchargement, doit se faire en utilisant un treuil, l'aéronef se maintenant à une altitude de sécurité au-dessus du point de manœuvre.

Hélicoptère, VTOL ou dirigeable?

Il nous faut préciser les propriétés des aéronefs actuels et futurs capables de réaliser les transports évoqués ci-dessus et indiquer les avantages que l'on peut attendre du dirigeable.

(1) An economic comparison of the heavy lift airborne systems par B.H. Carson donnée au « Workshop on lighter than air vehicles » - Sept. 1974.

(2) Étude effectuée par Aéroazur, Aérospatiale, CEA, CNES, EDF, IFP, Transconsult, L'Air Liquide, ONERA, Ratier Forest, SFENA, SOFRESID, Zodiac.

* Jacques Bouttes (Office National d'Études et de Recherches Aéropatiales) Henri Mangeot (Société Nationale Industrielle Aéropatiale) - France.

Les hélicoptères permettent actuellement d'effectuer ce travail aérien dans le cas de faible charge utile (charge inférieure à 30 tonnes) et leur maniabilité a été démontrée maintes fois, notamment en montagne. Cependant, le coût d'utilisation de ces appareils reste élevé, surtout en raison des frais de maintenance du groupe motopropulseur, dont on peut espérer une baisse prochaine, liée aux progrès de la technologie des rotors. A noter la difficulté du pilotage dans ces conditions d'emploi et le manque de sécurité en cas de panne de moteur (surtout pour un monomoteur). En outre, le rapport charge utile/charge à vide est assez faible, le rapport poussée/moteur/poids devant être supérieur à 1, et conduisant, de ce fait, à une puissance installée importante et à une forte consommation de carburant. Il faut remarquer que cette forte motorisation est favorable à une bonne maniabilité.

Les avions VTOL (Vertical Take Off and Landing) sont cités ici pour mémoire. Les appareils existant actuellement (chasseur Harrier et convertible canadien) sont capables de se poser ou de décoller à la verticale, mais ne sont pas conçus pour faire du travail aérien analogue à celui décrit ci-dessus. Leur avantage sur les hélicoptères en vitesse de croisière est compensé par un rapport charge utile/charge totale extrêmement faible et une consommation exagérée.

Il apparaît donc que le transport de matériel de point à point, avec chargement et déchargement à partir du vol stationnaire, n'a pas de solution pour les charges fortes. Le dirigeable, dans une version fort différente de celle qui avait été utilisée avant la guerre de 1939-1945, constitue une solution au moins partielle au problème posé. On peut indiquer sommairement les avantages et inconvénients de cette solution. L'utilisation de la poussée archimédienne est, en principe, gratuite; la motorisation sera donc exclusivement utilisée pour le contrôle en position de l'appareil pour peu qu'une traction suffisante puisse être appliquée dans n'importe quelle direction. On peut donc s'attendre à un rapport poussée/poids plus faible que celui des hélicoptères, donc à un bilan économique plus avantageux.

Par contre, en raison de la faible masse spécifique de l'air, les dirigeables seront des appareils de grande dimension (100 000

m³ pour un poids de 100 tonnes), sensibles au vent et aux conditions atmosphériques défavorables.

Enfin, ce véhicule d'un type nouveau nécessite diverses recherches et études techniques avant d'être vraiment utilisable.

Vol stationnaire et équilibre

Les dirigeables qui ont volé jusqu'à présent utilisaient pour leur équilibre vertical en vol la portance aérodynamique de leur enveloppe, leur motorisation n'ayant pour mission que la compensation de la traînée.

Le problème du vol stationnaire nécessite l'examen des points suivants : équilibre en altitude, pilotage et tenue à poste.

L'équilibre en altitude s'obtient par la pesée : le poids doit être équilibré par la poussée archimédienne, additionnée de forces complémentaires liées soit à la motorisation, soit à la portance aérodynamique. Dans le cas du vol stationnaire, la portance aérodynamique est évidemment nulle.

La poussée archimédienne varie au cours du vol en raison notamment de la modification de la température de l'atmosphère extérieure, qui par transfert modifie la température des gaz continus dans l'enveloppe. D'un autre côté, l'équilibre doit constamment être établi en cours de vol afin de compenser la consommation de carburant. Le poids total de l'appareil se modifie lors du chargement ou du déchargement. L'équilibre lors de ces opérations peut se faire soit en prévoyant un lest tel que l'appareil reste à poids constant, soit en modifiant la poussée verticale des moteurs. Dans ce dernier cas, cette poussée doit pouvoir varier d'une valeur égale au poids de la charge utile.

Pour pouvoir assurer l'équilibre et le pilotage en altitude du dirigeable, il existe deux moyens :

- disposer de moteurs à poussée verticale de puissance suffisante pour surmonter toutes les variations de poussée archimédienne ou de poids de l'appareil;
- disposer de moyens supplémentaires pour faire varier la poussée archimédienne (effet Montgolfière) et le poids de l'appareil (emport d'un lest), de façon à limiter la motorisation au strict nécessaire pour assurer le pilotage ainsi que le déplacement horizontal.

La seconde solution est plus économique du point de vue propulsion, mais plus

complexe à mettre en œuvre. Elle est probablement nécessaire pour les appareils capables de transporter une forte charge utile mais son étude est difficile et suppose une amélioration des moyens d'études notamment en ce qui concerne l'aérodynamique, c'est-à-dire l'évolution de la poussée archimédienne, quand les conditions externes aux enveloppes évoluent.

Des hélicoptères comme pilotes

Le pilotage des dirigeables classiques se faisait au moyen de gouvernes aérodynamiques. Il faudra, pour assurer le vol stationnaire, avec ou sans vent, disposer de gouvernes constituées par des groupes motopropulseurs qui pourraient être ceux d'hélicoptères. Les lois de commande de l'ensemble des gouvernes adaptés aux objectifs visés (précision de l'ordre du mètre en position) et aux perturbations atmosphériques qu'il convient de mieux connaître, doivent être étudiées avec soin, compte tenu des caractéristiques mécaniques de ce type d'aéronefs (structure de grande dimension, donc dotés d'une assez grande souplesse).

La portance archimédienne ne servirait qu'à supporter la masse à vide de l'appareil, des groupes motopropulseurs d'hélicoptères servant à équilibrer la charge utile et à assurer le pilotage.

On peut noter qu'une maquette à échelle réduite (9 m³) équipée de moteurs électriques entraînant des hélices démontre dès à présent la possibilité d'un tel vol stationnaire.

Le dirigeable capable du vol stationnaire paraît donc être un appareil intéressant pour un travail aérien varié.

Mais la réalisation de grands appareils de la classe 500 tonnes, qui seraient sans concurrents et constitueraient la seule solution à divers problèmes, doit être précédée d'études fondamentales, en particulier dans le domaine aérodynamique. Par contre, l'étude et la mise en exploitation d'hélicostats à faible charge utile - 2 à 5 tonnes - ne présentent que des difficultés normales et leur rentabilité est assurée. Ceci permettrait à l'industrie française d'acquiescer l'expérience nécessaire pour résoudre ensuite les problèmes d'échelle inhérents aux véhicules de 500 tonnes, qui atteignent des dimensions hectométriques.

J.B. et H.M.