

Plates-formes aéroportées militaires pour les missions de surveillance de demain – PAMS

MICHEL ASECIO

Avec le soutien de la Direction générale de l'armement

Édité et diffusé par la Fondation pour la Recherche Stratégique
4 bis rue des Pâtures – 75016 PARIS

ISSN : 1966-5156
ISBN : 978-2-911101-75-5
EAN : 9782911101755

WWW.FRSTRATEGIE.ORG 4 BIS RUE DES PÂTURES 75016 PARIS TÉL.01 43 13 77 77 FAX 01 43 13 77 78

SIRET 394 095 533 00052 TVA FR74 394 095 533 CODE APE 7220Z FONDATION RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE – DÉCRET DU 26 FÉVRIER 1993

SOMMAIRE

PRESENTATION.....	5
CARACTERISATION DE LA MISSION SURVEILLANCE.....	7
Généralités sur la mission	7
Caractérisation des cibles potentielles	9
Caractéristiques recherchées pour la surveillance aéroportée.....	9
Données géographiques relatives à la zone d'intervention.....	9
Réactivité d'intervention	10
Permanence de l'observation sur la zone	11
Les cibles potentielles.....	11
Vulnérabilité du vecteur.....	12
Réactivité de la boucle système.....	13
Une mise en réseau indispensable	13
Critères de choix d'un vecteur de surveillance	14
LA COMPLEMENTARITE DES CAPTEURS	15
Les satellites	15
La composante aéroportée de surveillance.....	17
LES PLATES-FORMES AERIENNES	19
Les plates-formes habitées.....	19
Un avion de chasse et de reconnaissance piloté.....	19
Un avion de reconnaissance lourd piloté, dédié à la mission.....	20
Un avion gros porteur piloté	20
Un avion d'affaires ou un cargo léger « transformé »	22
Les drones	23
Le MALE	25
Le HALE	25
Les avions dronisés	27
Les ballons ou les dirigeables	28
Les ballons.....	28
Les dirigeables.....	31
RECAPITULATIF DES CONCEPTS AEROPORTES POSSIBLES.....	41
Considérations de scénarios	41
Les moyens aériens possibles	42
Avantages et inconvénients de chacun des moyens aériens	42

Les avions de combat	42
Les gros porteurs	43
Les avions cargo légers reconvertis	44
Les drones HALE	44
Les avions dronisés	45
Les ballons.....	46
Les dirigeables.....	47
ÉTUDE DE SCENARIOS OPERATIONNELS	49
Scénario « surveillance des côtes méditerranéennes ».....	49
Scénario « surveillance d'un territoire étendu ».....	51
Conclusions	52
APPLICATION DE LA DEMARCHE COUTS	55
Exemple d'application pour quatre types de plates-formes aéronautiques	55
Présentation de la démarche coûts/efficacité	55
Les avions cargo légers	56
Les drones.....	58
Les ballons captifs et les dirigeables.....	59
Conclusions sur la démarche des coûts.....	61
CONCLUSIONS	65

Présentation

Ce document vise à s'intéresser : « ... notamment aux plates-formes de type ballons et dirigeables, à l'intérêt d'avoir des plates-formes spécialisées ou non pour les missions de surveillance. Pour chaque catégorie, on identifiera les types de mission possibles et le coût global de possession ».

Le présent travail se propose de passer en revue les différentes plates-formes susceptibles de répondre aux différentes missions de surveillance : avions de chasse, cargos légers, cargos lourds, satellites, drones, avions dronisés et bien sûr l'utilisation de ballons et de dirigeables habités ou non habités. Il semble illusoire dans le périmètre de cette étude d'approcher le coût global de possession des différentes plates-formes aéronautiques envisagées. Depuis des années le ministère de la Défense s'attache à le définir sans beaucoup d'avancées, sauf peut-être pour les derniers programmes lancés, tant le problème est lourd et complexe, surtout pour connaître les coûts de soutien. Cependant, il sera appliqué une méthode générique dans la comparaison des coûts d'acquisition et de soutien de ces différentes plates-formes afin de se faire une idée des coûts des plates-formes les unes par rapport aux autres. Dans un premier temps, sera effectuée une comparaison à partir des avantages et inconvénients présentés par chaque type de plates-formes en fonction de la mission prévue. Dans un deuxième temps, cette démarche générique des coûts sera appliquée aux types de plates-formes voisins pouvant répondre aux besoins. Ont été retenus pour cette étude les cargos légers, les drones, les ballons et les dirigeables mais il sera également fait allusion à d'autres porteurs existants lorsque la mission l'exige. Comme demandé, les aspects afférents aux ballons et aux dirigeables seront approfondis.

Avant d'étudier les plates-formes porteuses, il est nécessaire de caractériser un peu mieux la mission de surveillance en fonction des effets recherchés et des capteurs embarqués. Sachant que c'est le but opérationnel recherché qui devrait, après analyse des données à recueillir, des capteurs nécessaires pour répondre aux besoins, des capacités d'emport de la plate-forme, aboutir au choix du vecteur le plus approprié ou disponible.

Caractérisation de la mission surveillance

Généralités sur la mission

Une mission de surveillance peut recouvrir plusieurs aspects en fonction du but final à atteindre. Elle peut demander de l'exploitation en temps quasi réel, comme pour une mission de reconnaissance ponctuelle, un appui aérien pour des troupes au contact (TIC), le déclenchement d'une réponse automatique à une agression de missiles... Mais la mission de surveillance peut demander de la permanence, de l'autonomie, l'observation d'un changement d'état aussi ténu soit-il et être capable de donner l'alerte à d'autres plates-formes pour appliquer une réaction appropriée.

Un système de défense des territoires contre les missiles balistiques a fatalement une dimension planétaire si on veut traiter le problème de l'alerte avancée, ou au moins continentale s'il s'agit d'assurer la protection de l'Europe. La surveillance des activités missiles et des mobiles sur un théâtre d'opérations revêt plutôt une dimension régionale et les réponses techniques face à ces deux types de menaces stratégiques ou tactiques sont forcément complémentaires, ou bien différentes. S'il s'agit de contrôler les mouvements de mobiles quels qu'ils soient sur un théâtre : avions, hélicoptères, drones, blindés, camions, véhicules légers voire un groupe d'individus ou un individu isolé, la mission est différente et les plates-formes de surveillance avec leurs capteurs doivent être adaptés.

Dans la littérature ouverte, les problèmes techniques ne sont pratiquement pas abordés alors que les problèmes géostratégiques posés par ces missiles tactiques ou balistiques sont largement exposés. Lorsque la technique ou la technologie sont abordées, se sont surtout les armements et les intercepteurs qui retiennent l'attention plutôt que les moyens de surveillance, de détection et de préalerte mis en place.

Si on aborde plus précisément la menace lors des derniers conflits, on trouve deux composantes essentielles : le besoin de réactivité d'abord, la permanence de la surveillance ensuite. Dans le premier cas, l'élaboration d'un ordre de bataille pour un pays dont on ignore pratiquement tout, l'imbrication des combattants au sol avec les populations est aussi un problème difficile à solutionner, surtout dans des zones densément peuplées et si on ne veut pas augmenter considérablement les dommages collatéraux. Dans le second cas, lorsque la phase de coercition est achevée et que l'affrontement symétrique s'est transformé en conflit asymétrique, la mission de surveillance demande de la permanence en vol, une très grande autonomie mais aussi de la précision de détection et d'identification pour déclencher l'action.

La menace dans le monde actuel, comme le précise le Livre blanc 2008 et le confirmera celui en cours de rédaction, s'est faite plus fugace et tout azimut. En particulier, nombre d'États désirent posséder dans leur arsenal des lanceurs avec des portées de plus en plus importantes afin de présenter une menace ou une réponse face à toute agression. Ces lanceurs peuvent transporter des charges conventionnelles, des armes de destruction massive, voire des têtes nucléaires. Cette menace de missiles risque de se trouver disséminée sur une zone géographique extrêmement étendue, voire sur tout un continent

et il faut par conséquent mieux cerner la mission dévolue à une plate-forme de surveillance pour l'observation.

D'un autre côté, les conflits tournant très rapidement à l'asymétrie, le besoin de surveillance depuis la troisième dimension s'accroît pour relever le moindre changement d'état ou signal faible précurseur d'une activité ennemie. L'Europe, avec la France en particulier, s'est concentrée sur la protection de ses forces projetées sur les théâtres extérieurs, c'est-à-dire sur la surveillance et le traitement des missiles tactiques (portée inférieure à 600 puis à 1 000 km). Dans le cadre de l'OTAN, des discussions et des études sont en cours pour la protection du continent européen vis-à-vis de la menace balistique rustique. La France présente encore quelques carences dans la détection et la surveillance des cibles mobiles sur un théâtre, cette capacité semble mieux remplie par les Britanniques avec leur *RI Sentinel* et bien sûr par les Américains, comme cela a pu être démontré en Libye.

Pour définir des critères de choix d'une plate-forme pour répondre le plus parfaitement possible à la panoplie de missions aussi diverses que variées que représente la fonction surveillance, il va falloir se concentrer sur deux scénarios dimensionnants, pouvant demander une diversité d'actions suffisante pour couvrir tout le spectre de la fonction : réactivité, surveillance d'opportunité avec possibilité d'actions ponctuelles, permanence d'observation du changement...

S'agit-il d'assurer la protection d'un théâtre d'opérations relativement restreint en se concentrant sur l'arrivée de missiles tactiques ou encore en s'intéressant à des cibles mobiles allant jusqu'à discriminer des personnes combattantes ou bien s'agit-il de protéger tout un continent vis-à-vis de missiles balistiques de très longue portée ? Il est évident qu'à missions différentes, il y aura des réponses techniques différentes en matière de porteurs et de capteurs compte tenu de la profondeur de la zone à surveiller et de son étendue et surtout de l'urgence de l'action. Il semblerait qu'une complémentarité des plates-formes aériennes s'impose pour répondre à l'ensemble des missions de surveillance air-air, air-sol, air-mer, voire air-littoral et que du côté des capteurs il faudra disposer d'une panoplie pour couvrir tout le spectre étendu de missions.

Il semble adéquat d'envisager deux scénarios opérationnels qui traduiraient l'approche technologique de cette étude. Un premier scénario régional pourrait être un théâtre d'opération national avec la surveillance des abords hauturiers, de la ZEE à partir de la façade méditerranéenne, facilement transposable à un scénario sur la façade guyanaise ou dans l'océan Indien, et qui consisterait à suivre et évaluer des mouvements ou intrusions adverses pouvant représenter une menace par voie maritime, aérienne ou une attaque pouvant aller jusqu'à un niveau missile balistique avec la fugacité dans le phénomène de lancement. C'est en fait le scénario « d'attente » mais de très longue permanence, sans aucune élongation puisqu'on est sur le territoire national, il s'agit de détecter un évènement ou un changement sur mer ou dans les airs suspect ou hostile et ceci dans un environnement encombré et bruité.

Le deuxième scénario serait un théâtre beaucoup plus éloigné qui présenterait à la fois une élongation des liaisons très importantes et une très grande étendue géographique. L'intérêt porterait sur des lieux présentant un bénéfice stratégique ou économique (villes) ou la présence supposée de forces. La surveillance d'une partie du Sahel, par exemple, est tout à fait d'actualité et peut présenter la diversité de missions qu'exige la fonction surveillance car en plus de l'étendue géographique à prendre en compte et à

surveiller, s'ajoutent le mouvement d'une cible terrestre potentielle furtive et la difficulté de localisation et d'identification certaine.

Caractérisation des cibles potentielles

A une surface immense à surveiller, représentant trois fois la France et à la fugacité des évènements s'ajoute la difficulté de détecter et de discriminer correctement les mouvements des mobiles allant de la marche à pied d'un combattant isolé, en passant par celui d'un véhicule léger armé ou d'une embarcation « *go fast* » traversant la Méditerranée. Ou alors à l'autre bout du spectre, détecter un missile supersonique parmi le bruit de fond du sol, de la mer ou du ciel et éliminer les nombreuses fausses alarmes qui peuvent entacher la mesure.

Les cibles potentielles sont importantes à définir car suivant les objectifs fixés, les moyens de détection et donc la plate-forme porteuse s'en déduiront. Suivant qu'il s'agisse de détecter le départ d'un missile par détection de la flamme, d'identifier cette flamme afin de caractériser le missile par analyse spectrale des gaz éjectés, de déterminer la fin de la propulsion qui permettrait de définir le type de missile ou calculer et prévoir la trajectoire de l'engin et sa zone d'impact, les solutions techniques seront évidemment différentes et de plus en plus sophistiquées, voire diverses ou complémentaires. De même, les capteurs nécessaires pour détecter, pister et identifier un individu ou une embarcation seront également différents.

S'il s'agit de surveiller une région ou un théâtre d'affrontement, quelle définition veut-on atteindre dans la détection et l'identification ? Veut-on surveiller des cibles fixes, mobiles ? Quelles surfaces équivalentes électromagnétiques, IR ou électro-optiques veut-on discriminer ? Dans quelles plages de vitesses de mouvements ?...

D'autre part, il faudra considérer ce maillon aéroporté de surveillance comme un système faisant partie d'un « système de systèmes » et en particulier incorporé dans un réseau de type C2 permettant le traitement de données jusqu'à l'identification fine des signatures IR, EO, EM mises à jour systématiquement. Avec le manque d'interpréteurs humains qualifiés, les bases de données comparatives de signatures sont les deux sources essentielles de difficultés pour maîtriser correctement le problème de discrimination et d'identification.

Caractéristiques recherchées pour la surveillance aéroportée

Données géographiques relatives à la zone d'intervention

Comme on l'a déjà souligné, il peut y avoir deux types de surveillance particulière suivant qu'il s'agisse d'un théâtre opérationnel régional – étendu à peine comme un département français comme c'était le cas du Kosovo ou du Liban Sud –, ou qu'il s'agisse de territoires beaucoup plus vastes comme un pays tout entier (Iran) ou de vastes régions africaines (Sahel), russes (Caucase) ou chinoises. La surface à surveiller est un élément extrêmement dimensionnant lorsqu'il s'agit d'opérer cette surveillance à partir de la troisième dimension. On se rappellera la sixième guerre du Liban (juillet 2006), où malgré une suprématie aérienne incontestée et une occupation constante du ciel par des avions habités et des drones, les Israéliens n'ont pas su et pas pu écarter la menace des missiles très courte portée Katioucha sur le nord d'Israël.

Surveiller une zone sur laquelle *a priori* on ne sait pas où se situe la menace et d'où le coup va partir ou un élément intéressant est en train de changer est une tâche ardue qui demande une permanence de l'observation de tous les instants, associée à une bonne définition de l'image recueillie.

L'élongation depuis la Métropole ou un point d'appui extérieur est un critère dimensionnant. Si la zone d'intérêt est éloignée et vaste, la première plate-forme à privilégier sera d'abord le satellite – à condition qu'il couvre la région intéressante ou qu'on puisse le redéployer dans les temps. L'avion de chasse et de reconnaissance, le cargo lourd ou léger d'observation et d'écoute – s'ils sont bien pré-positionnés – présentent tous une certaine autonomie et rapidité d'action.

La météo et le climat régnant sur la zone d'intervention sont des données géographiques importantes. La couverture nuageuse peut empêcher les prises de vues, la saison sèche ou la saison humide bouleverse complètement le paysage, ou rend les pistes et chemins impraticables.

Réactivité d'intervention

Il faut dans un premier temps et impérativement un fonds de cartes satellitaires mises à jour et géoréférencées pour les besoins de navigation et de targetting. Les besoins de planification sont alors plus proches du temps réel que de la planification à froid, même si beaucoup de cas de figures sont préalablement étudiés et planifiés et qu'ils n'aient besoin que d'une mise à jour.

Comme on l'a dit au paragraphe précédent, de la mission de surveillance à effectuer dépend le moyen mis en œuvre. S'il s'agit d'être renseigné vite et ponctuellement, l'avion de chasse et de reconnaissance sera privilégié. S'il s'agit de bâtir en quelques jours un ordre de bataille (ODB), les moyens d'écoute du spectre HF des cargos lourds et légers seront mis en œuvre. En fait, on y mettra tous les moyens dans la panoplie disponible. S'il s'agit de surveiller une zone où la dynamique des mouvements est de très faible ampleur, où la permanence et la durée dans le temps sont les facteurs principaux, des moyens plus économiques seront utilisés dans la mesure de leur disponibilité, drones, ballons captifs, dirigeables. Il y a donc à prendre en compte dans la réactivité d'intervention, la durée de la mission globale de surveillance : une heure, un jour, trois mois, un an.

Dans ce paragraphe, il faut citer dans le cadre de la réactivité, la qualité de la boucle Observation – Optimisation – Décision – Action (OODA). La réactivité décisionnelle est extrêmement importante dans une action de coercition pour des troupes au contact, par exemple. Il y a certes des règles d'engagement (ROE), parfois souvent des Caveats qui limitent l'emploi d'un moyen, mais dans la mission de surveillance comme dans toute mission aéronautique, il est important de bien répartir « l'intelligence » entre le bord et le sol, quelle que soit la plate-forme. Dans la boucle de décision, l'homme doit garder sa place certes et surtout s'il s'agit de délivrer un armement, mais dans une mission de surveillance longue durée, les automatismes sont plus performants que l'action humaine. Cette question de partage de « l'intelligence » entre le bord et le sol n'est pas définitivement tranchée s'agissant des capteurs de surveillance des drones, ballons ou dirigeables. Il s'agit de prendre en compte les multifonctionnalités possibles.

La performance de la boucle OODA ne semble pas dépendre de la position géographique du « décideur ». Doit-il rester sur le théâtre tactique, au niveau opératif ou au niveau stratégique ? Avec la qualité des liaisons et la possibilité d'élongation qu'elles offrent aujourd'hui (bonds satellitaires, adaptabilité au contexte géostratégique), la question, semble-t-il, relève plus d'une organisation de commandement que d'un problème technique. Sachant que la tendance actuelle est de faire remonter au niveau stratégique beaucoup (trop ?) d'informations, mais que la dépendance des liaisons de données au brouillage/leurrage aura tendance à s'accroître dans les conflits à venir.

Permanence de l'observation sur la zone

On revient sur la permanence en vol qui peut justifier l'utilisation du ballon ou du dirigeable.

Compte tenu de l'étendue de la zone à surveiller, surtout pour les départs missiles, il est important de ne pas perdre un seul instant la visibilité sur la zone à surveiller. Cela implique pour les porteurs, une permanence constante dans la surveillance. Il faut donc une plate-forme endurante et qui par la configuration de son plan de vol, permette la continuité de l'observation. En fonction de son altitude de vol, les hippodromes qu'il devra décrire et partager avec d'autres plates-formes pour ne pas perdre de vue la zone surveillée, en largeur et en profondeur, devront être précisément définis. Cela introduit dans le choix de la plate-forme les notions de long terme et plutôt de planification à froid.

On prendra comme hypothèse d'entrée que les plates-formes aéronautiques devront voler au-dessus de 15 000 pieds (> 5 km pour éviter les missiles Manpads) et jusqu'à 60 000 (20 km) ou plus.

Pour chaque plate-forme aéronautique se posent également le problème de transit vers la zone à observer et l'autorisation de survol des différents pays survolés. Ce type d'autorisation peut être difficile à obtenir, voire systématiquement refusé, ce qui impacte obligatoirement la rapidité d'intervention.

La durée de déploiement est un critère important dans le choix du ou des vecteur(s) de surveillance déployé(s), car on recherchera systématiquement les complémentarités possibles. De cette durée de déploiement dépendra l'ampleur de l'empreinte logistique et très rapidement se posera la question du vecteur de surveillance à retenir en fonction du coût de revient à mission équivalente.

Cette empreinte logistique au sol, doit être bien entendu sécurisée et l'expérience montre qu'il vaut mieux qu'elle le soit par des troupes sûres et fiables. L'expérience montre aussi que c'est elle qui paye le plus lourd tribut de pertes dans les conflits asymétriques. L'empreinte logistique doit participer à la discrétion de mise en œuvre, paramètre extrêmement important également pour le choix du vecteur à déployer.

Les cibles potentielles

On a déjà essayé de caractériser les cibles potentielles dans un paragraphe précédent. Elles sont de deux sorte : des cibles fixes qui présentent la caractéristique d'être en général bien défendues ou des cibles mobiles qui, elles, sont furtives et fugitives.

Pour les deux scénarios retenus, on rappelle le type de cibles qu'il faudra détecter, discriminer, identifier et même à la limite traiter, si on est en présence d'une plate-forme capteur/effecteur (sensor/shooter) :

- ➔ Pour le scénario face à la mer, les cibles pourraient se trouver essentiellement en mer : embarcations légères ou cargos transportant des immigrants clandestins ou des matières illicites, des embarcations très légères mais très rapides (*go fast*) pour les trafics de toutes sortes, de petits sous-marins pourraient même faire leur apparition dans ces types de trafics. L'invasion de la Métropole par flotte de guerre est écartée à l'horizon étudié (2020), mais si on sait détecter un *go fast*, on saura traiter un aviso ou une frégate et *a fortiori* une flotte de débarquement.

Dans les airs, on pourra être confronté à divers types de menaces comme un raid de chasseurs bombardiers, mais une intrusion isolée est plus probable, la pénétration de drones de surveillance haute altitude présente aussi une menace certaine (Israël fait face actuellement à ce type d'intrusion de plus en plus fréquemment)... La menace d'un missile balistique rustique (non manœuvrant) n'est pas écartée.

- ➔ Pour le scénario surveillance d'une très vaste étendue désertique, les cibles sont essentiellement des véhicules légers, armés et rapides circulant en général par petits convois, sans écarter les déplacements de personnels à pied ou en caravanes de dromadaires. Il y aura certainement des sites fixes à surveiller plus attentivement (oasis, points de regroupements, croisements de pistes, bourgades, villes...) d'où la menace peut se renforcer et devenir un danger. On considèrera que dans ce type de scénario asymétrique, la suprématie aérienne est acquise, mais la difficulté, comme on l'a déjà précisé, va résider en l'obtention de survol des différents espaces aériens nationaux et l'autorisation d'accueil de l'empreinte logistique au sol.

Vulnérabilité du vecteur

En volant aux altitudes courantes d'observation et même à haute altitude, le vecteur aérien quel qu'il soit présentera certainement une grande surface équivalente radar (SER), vu sa taille, et sera détecté par les radars sol ou aéroportés adverses. Il sera ainsi vulnérable aux missiles ou canons air-air ainsi qu'aux défenses sol-air de toute sorte. L'autoprotection du vecteur à l'aide de brouilleurs et de moyens de leurrage peut se révéler efficace mais va alourdir, complexifier et augmenter les coûts de la plate-forme. D'ailleurs la solution d'autoprotection du porteur, qui se fera au détriment de la charge utile, ne pourra s'appliquer que si ce dernier présente une masse suffisante à vide.

La deuxième solution est de faire évoluer la plate-forme dans un espace sécurisé, loin en arrière des menaces adverses, mais la portée des capteurs peut être un élément dimensionnant (les avions AWACS sont en général à 150 ou 200 km en arrière du théâtre), ou d'obtenir auparavant la maîtrise dans la troisième dimension, voire la suprématie aérienne, ce qui est mieux.

On aborde ici la vulnérabilité du vecteur aérien, mais les charges utiles comme les lentilles IR sont sujettes elles aussi au leurrage et fausses alarmes citées précédemment. De plus, l'efficacité des charges utiles dépend également de l'environnement dans lequel elles se trouvent. Elles ont besoin d'une altitude de vol optimale, d'une énergie régulée, d'un conditionnement adapté et d'ambiance vibratoire maîtrisée. Ces exigences impactent directement l'encombrement, le poids, la motorisation et la distribution

d'énergie du porteur, d'où un choix quasiment imposé vu la faible étendue de la panoplie des plates-formes de surveillance.

Le critère de pertes humaines est bien entendu essentiel dans les critères de choix du vecteur de surveillance déployé, et même sans parler de pertes humaines, le risque de capture de l'équipage et de son utilisation médiatique est une obsession du commandement. Il faut donc prendre en compte les forces et les faiblesses de l'ennemi, l'environnement dans lequel il agit et la permissivité du théâtre. Il est évident que dans un premier temps, avec des vecteurs habités, on surveillera en « stand off », suffisamment loin des menaces pour être protégé, puis une fois la suprématie aérienne acquise, le survol direct sera possible. Il n'est pas du tout évident qu'un drone MALE, compte tenu de son coût, soit déployé en théâtre non permissif.

Réactivité de la boucle système

Le bénéfice de la permanence de l'observation sur une zone étendue ne doit pas être perdu au détriment d'une réactivité d'alerte faible ou d'une boucle de décision trop longue. « *Savoir c'est bien, pouvoir c'est mieux* »¹. Après détection, identification et confirmation de la menace, il s'agit de l'intercepter et de la traiter dans les meilleures conditions d'efficacité. La plate-forme aérienne de veille a besoin de capacités de traitement embarqué ou au sol, suivant les choix effectués, capables de transmettre l'information interprétable et compréhensible à un réseau d'alerte avancé au sol qui puisse prendre à son compte et activer la réponse immédiate appropriée.

Les temps de réaction peuvent être tellement réduits en ce qui concerne les missiles balistiques tactiques, par exemple, que la centralisation de la conduite et du contrôle de la détection et de l'interception est incontournable. Il en est de même pour les missiles balistiques, en vingt minutes de vol, le temps de décision politique n'a pas sa place.

Peut-être hors du cadre de l'étude, mais il faut revenir sur l'impérieuse nécessité de disposer de bases de données comparatives de signatures suffisamment exhaustives et fiables pour éliminer au maximum les fausses alarmes. D'autre part, les difficultés d'interprétation humaine ne sont pas non plus négligeables. La principale difficulté des Américains en Irak et en Afghanistan venait de l'insuffisance des interpréteurs humains et de leur formation. Une grande partie des dommages collatéraux a pour origine un défaut d'interprétation de l'image. On sait par ailleurs qu'il est très difficile de croiser des images IR et des images radar (images Hélios et SAR LUPE, par exemple).

Une mise en réseau indispensable

Après avoir abordé la capacité de traitement embarqué ou au sol capable de transmettre l'information interprétable et compréhensible, il faut aussi disposer d'un réseau d'alerte au sol qui puisse prendre à son compte la réponse appropriée et réagir rapidement. Il faut également considérer qu'on a, en parallèle, l'accroissement des quantités d'informations disponibles à distribuer et un spectre de fréquences de plus en plus encombré. Par exemple, il n'y a pas encore de bande de fréquences dédiée aux drones pour la transmission de l'image. On vient tout juste de définir celles nécessaires à la conduite et au contrôle du véhicule aérien mais qui ne demandent que quelques dizaines de

¹ Discours du Chef d'État-Major des Armées aux journées de la Défense – Février 2008.

kilohertz. A titre d'exemple, un Global Hawk a besoin dans sa liaison descendante de 500 Mbits en LOS, avec l'AGS, on escomptait 130 Mbits en LOS et une dizaine en BLOS. La CMR 2007 a posé le besoin, qui a été étudié à la CMR 2011, pour une décision attendue en 2015.

Critères de choix d'un vecteur de surveillance

Après avoir passé en revue dans les paragraphes précédents les critères qui peuvent peser sur le choix de la mise en œuvre d'un vecteur aérien de surveillance, il faut dérouler le fil de la construction de la décision par rapport à la mission assignée, on retiendra comme critères (sans classement de priorités) :

- ⇒ Le but poursuivi (on considèrera que l'impact politique a été pris en compte) ;
- ⇒ La réactivité de décision et d'intervention ;
- ⇒ L'élongation et la position de la zone d'action ;
- ⇒ La durée de la mission et du déploiement ;
- ⇒ La permissivité du théâtre ;
- ⇒ La prise en compte des pertes et la protection des forces ;
- ⇒ Le coût du soutien de l'opération ;
- ⇒ L'empreinte au sol et sa discrétion ;
- ⇒ La dépendance aux liaisons de données ;
- ⇒ Les multifonctionnalités possibles des capteurs.

Ces critères n'ont pas la prétention d'être exhaustifs et ne sont pas classés par ordre de priorité. Les priorités peuvent d'ailleurs varier en fonction de la mission assignée. Ils donnent simplement un déroulement possible conduisant au choix d'un vecteur aérien de surveillance.

La complémentarité des capteurs

Il est incontestable que suivant la zone que l'on désire couvrir en surveillance et la permanence souhaitée, la complémentarité des segments spatiaux, aéroportés et sol, chacun avec leurs avantages et leurs inconvénients, est une solution onéreuse certes, mais la seule pouvant répondre aux aléas de la détection, des fausses alarmes et des lacunes de l'identification. L'exemple dimensionnant est certainement la défense antimissile balistique d'un territoire où le programme est en train de constituer un système dont les différentes strates entrent (lentement) en service opérationnel depuis 2004 et dont le déploiement est dorénavant dimensionné pour contrer la menace des États proliférants comme la Corée du Nord et l'Iran.

On remarquera que le système antimissile balistique des États-Unis repose sur une architecture du système et sur un principe de fonctionnement qui ne mentionnent pas la composante aéroportée. Telle qu'actuellement envisagée, l'architecture de la *National Missile Defense* reposerait sur cinq composantes : des radars d'alerte rapide, un radar à large bande (dit à « bande X ») de poursuite, une ou plusieurs constellations de satellites de surveillance, des intercepteurs basés en mer ou au sol et un système de gestion centralisé d'engagement.

En revanche en ce qui concerne la menace des missiles tactiques ou de croisière manœuvrants, la composante aéroportée à base d'avions gros porteurs pilotés (AWACS, J-Stars...) a sa place de même que les drones stratégiques ou tactiques (Global Hawk, Predator...) ou l'avion léger Egrett. Dernièrement le dirigeable JLENS américain a prouvé sa capacité à détecter l'équivalent d'un missile de croisière.

Les satellites

En France

En janvier 2004, la DGA a lancé le démonstrateur de satellite d'alerte spatiale infrarouge « Spirale » (Système préparatoire infrarouge pour l'alerte) pour un montant de 124 M€ auprès d'EADS Astrium, maître d'œuvre, et d'Alcatel Alenia Space afin d'acquérir une certaine indépendance du renseignement sur les tirs balistiques effectivement conduits un peu partout sur la planète. La décision d'intégrer ultérieurement ou non cette détection satellitaire dans une défense antimissile active n'a pas été prise. En 2008, deux mini satellites Spirale devaient être mis sur une orbite de transfert géostationnaire pour étudier les compromis techniques (orbite, sensibilité du capteur, capacité de poursuite de missiles, etc.). Le système opérationnel qui en dériverait, pourrait entrer dans la contribution française à un bouclier antimissile continental appelé à être développé en coopération. Si les volets alerte et mise en système sont aujourd'hui couverts par ces travaux, il manque encore à l'édifice le volet détection et des intercepteurs très longue portée.

L'alerte spatiale peut en effet avoir de multiples applications, selon son degré de complexité. Un système très basique peut contribuer à une politique de dissuasion, en permettant de localiser très précisément le territoire d'où le missile est parti et donc

d'identifier l'auteur qui s'expose alors à de possibles représailles. Pour cela, il suffit d'un satellite géostationnaire avec un capteur à haute sensibilité, mais à champ étroit, centré autour de la région à surveiller, pour détecter la menace à courte portée. Pour la menace à longue portée, les missiles laissant une signature infrarouge plus prononcée, un capteur champ large mais à faible sensibilité peut suffire.

Le contrôle de la prolifération représente un niveau d'exigence d'un cran plus élevé. Il faut en effet pouvoir, en plus, classifier le type d'engin tiré et s'intéresser également aux missiles tactiques qui ne sont pas dirigés vers la zone à protéger. Ce qui élargit la zone à surveiller par le capteur à haute sensibilité, mais demande également une vue stéréoscopique (donc au moins deux satellites) pour effectuer une trajectographie susceptible de renseigner sur les performances du missile et de pouvoir travailler sous plusieurs longueurs d'onde afin de caractériser la technologie du propulseur.

La fonction d'alerte avancée au profit d'une défense active ou passive accroît encore le niveau de complexité puisqu'il faut maintenant une capacité temps réel, et un niveau de fausse alarme réduit, ce qui implique des capteurs à très haute sensibilité qu'il faudra éventuellement rapprocher de la planète sur des orbites défilantes. Pour tenir l'exigence de permanence opérationnelle, il faudra en outre prévoir une constellation complète.

Le tout, bien sûr, dépendra de la visibilité qu'auront ces capteurs en orbite. D'après les spécialistes, un satellite est susceptible de ne rien détecter si le missile ne dépasse pas les 16 km d'altitude en phase propulsée. La couche nuageuse présente, en dessous de ces altitudes pendant plus de 60 % du temps, est une limitation non négligeable pour ce type de détecteur.

Le démonstrateur français est en train de défricher ces différentes applications et c'est pourquoi une orbite fortement elliptique a été privilégiée. L'instrument embarqué est un spectromètre afin de mesurer l'efficacité des différentes bandes spectrales pour la mission.

Tout cela devrait déboucher par anticipation sur le lancement d'un développement de système opérationnel dans la LPM actuelle. On évoque (Astrium) une solution technique à base de trois satellites (deux pour la stéréoscopie, plus un en réserve) pouvant répondre à une capacité initiale de désignation vers des radars d'alerte avancée. Cette solution pourrait être élaborée entièrement avec des technologies déjà existantes en Europe. Ces satellites embarqueraient deux instruments, l'un à champ large pour la surveillance générale, l'autre plus sensible et à champ plus étroit, dirigé vers les théâtres sensibles. Mais, une nouvelle fois, le contrôle de cet instrument qui ne peut être que national pose la question de l'autorité qui aura le pouvoir de décision de la riposte.

La réunion informelle des ministres européens de la Défense, début octobre 2008, a confirmé que de nouvelles capacités d'observation spatiale complèteraient les moyens actuels, avec une nouvelle génération de satellites développés dans le cadre du programme Musis. Effectivement, la France poursuit en 2012 la réalisation des deux satellites optiques Musis d'observation spatiale, et il est vraisemblable que le nouveau LBDSN insiste encore sur la composante observation, connaissance, anticipation.

Avantages de la solution satellitaire : N'existe pas de besoin d'autorisation de survol du territoire – Est pratiquement invulnérable aux menaces sol-air – Relativement discret (à condition que le pays survolé ne dispose pas de système de surveillance de l'espace) – Manœuvrant au détriment de sa durée de vie – Pouvant porter plusieurs types de

charges utiles – Peut embarquer des capteurs électro-optiques, IR sur plusieurs bandes et même des radars SAR mais à condition d’avoir une énergie suffisante à bord.

Inconvénients : Une mise en orbite coûte cher – La conception et le développement du satellite également – Suivant l’orbite et son inclinaison, n’offre pas la permanence de surveillance sur le pays ou le théâtre désiré – Suivant l’orbite basse, moyenne ou géostationnaire, la définition des capteurs et du renseignement délivré peut se révéler insuffisante – Encombrement des orbites basses – Risque d’abordage volontaire ou non – Les militaires ne sont pas prioritaires par rapport aux besoins civils – Le redéploiement d’un satellite coûte très cher.

La composante aéroportée de surveillance

Les composantes aéroportées susceptibles de fournir la capacité de surveillance sur un territoire plus ou moins étendu sont nombreuses et variées : l’AWACS, l’Hawkeye, l’Atlantic 2, le Transall Gabriel, le Mirage F1CR et le Rafale maintenant en ce qui concerne la France, sans oublier les moyens aéroportés du COS sur des plates-formes plus légères et qui pourraient se généraliser si l’approche coût/efficacité est favorable. L’Europe et les États-Unis disposent également de moyens aéroportés équivalents avec des systèmes plus complets comme le drone stratégique américain Global Hawk qui embarque des charges utiles EO ou IR suivant les besoins du moment. On citera aussi, l’E8C « J-Stars », de la famille Boeing 707-300, excellent dans la campagne aérienne libyenne, mais dont le système d’armes est essentiellement basé sur un radar à ouverture synthétique Norden (observation de un million de km² à 175 km, y compris des mobiles à faible signature). Dans aucune fiche descriptive du J-Stars, il n’est fait mention de capteur IR, il en est de même pour le Sentinel R1 britannique. En revanche le drone Global Hawk a été utilisé jusqu’à maintenant pour la surveillance de vastes zones, essentiellement des zones frontalières (frontières avec le Nouveau Mexique et le Canada, Irak/Afghanistan/Iran/Syrie) où il est susceptible de détecter des mouvements mais aussi surveiller des départs de missiles. Il est complété, c’est le cas aujourd’hui en Irak ou en Afghanistan, par des avions pilotés type Egrett essentiellement pour des raisons d’insertion dans la circulation aérienne générale.

En France et en Europe, les concepts et doctrines d’emploi des drones sont encore trop balbutiants pour qu’une idée d’utilisation d’un drone stratégique pour l’observation IR de départs de missiles soit suffisamment mature et apparaisse dans les expressions de besoins opérationnels. La France a abandonné il y a quelques années le concept du drone HALE pour des raisons économiques et a laissé la capacité AGS au segment EuroHawk qui a intéressé plus particulièrement l’Allemagne.

L’utilisation par les Américains de ballons ou de dirigeables sur les terrains d’opérations extérieures a été très présente tant en Irak qu’en Afghanistan, même si la presse ouverte en a très peu parlé. Par exemple, Lockheed Martin a livré le 66^{ème} et dernier ballon captif du programme de détection aéroportée PTDS.

Les forces françaises ont utilisé des ballons captifs (loués) pour une surveillance rapprochée des bases avancées en Kapisa et Surobi. On signale pour mémoire, l’utilisation de ballons captifs SYDEREC, de technologie ancienne américaine, pour l’ultime secours de transmission de l’ordre d’engagement nucléaire.

Le chapitre suivant est consacré aux plates-formes aériennes susceptibles de répondre au besoin de surveillance et d'observation d'un théâtre tactique ou stratégique.

Les plates-formes aériennes

Cette première partie correspond à l'état des connaissances relatives aux moyens aéroportés de surveillance et d'observation, elle se prolonge par quelques exemples de fiches de caractéristiques données en annexes. La seconde partie est orientée, en fonction des conclusions partielles de la première partie, vers ce qui peut être considéré comme des concepts futurs de plates-formes aériennes de surveillance.

Dans les plates-formes existantes on a distingué (les satellites mis à part), les avions de combat ou de reconnaissance – les très gros porteurs, type AWACS, J-Stars – les avions d'affaires reconvertis ou des porteurs légers – les drones – les avions dronisés et enfin les ballons captifs et les dirigeables.

Les plates-formes habitées

La première idée qui vient à l'esprit pour surveiller une zone étendue à partir du domaine aéronautique, sans localisation précise de la menace potentielle, est bien entendu l'avion habité. Compte tenu des capacités d'endurance qu'il doit présenter, ses caractéristiques vont se rapprocher plutôt d'un porteur lourd bi ou quadri moteurs que d'un chasseur léger.

Un avion de chasse et de reconnaissance piloté

En France, il y avait le Mirage IV pour des missions de reconnaissance à très haute altitude, non remplacé. Le Mirage F1 CR, vieillissant, peut transporter un bidon de reconnaissance optronique mais avec les limites physiologiques du pilote. Le Rafale reconnaissance avec un standard F3 vient de prendre la relève et peut-être un jour le Mirage 2000D.

Ces avions de combat, monoplaces ou biplaces présentent les avantages et inconvénients suivants :

Avantages : Il existe – Rapide – Discret – Manœuvrant – Auto-protégé – Pouvant voler à très haute altitude – Ravitaillable en vol – Pouvant porter plusieurs types de charges utiles et capable d'offrir les alimentations en énergie et la climatisation.

Inconvénients : Même s'il n'est pas dédié à cette mission particulière, un avion de combat coûte cher en conception, développement et en entretien – N'offre pas la permanence en vol du fait des limites physiologiques du pilote – Vulnérabilité du pilote ou de l'équipage à bord – Les capteurs de surveillance, hormis ceux nécessaires pour l'autoprotection, ne pourront trouver place dans l'avion, nécessité d'un emport externe (bidon) avec les problèmes d'adaptation à la cellule, de développement, d'énergie et de conditionnement que cela pose.

C'est néanmoins un concept de surveillance aérien possible à relativement court terme (5 ans), pas très ambitieux et offrant peu de ruptures technologiques. Il faut néanmoins développer le bidon avec son capteur de surveillance, l'adapter sur la cellule avion (M 2000D, Rafale) avec les ouvertures de domaines de vol nécessaires, son intégration

logicielle au porteur devra être également prise en compte (changement de standard logiciel avion).

Un avion de reconnaissance lourd piloté, dédié à la mission

Il présente les mêmes avantages et inconvénients que le chasseur habité sauf qu'il est moins vulnérable car pouvant voler à de très hautes altitudes et en arrière des théâtres mais il est limité par les contraintes physiologiques des pilotes. Ce type d'avion est en général dédié à cette seule mission de reconnaissance, on pense aux U2 américains, et par conséquent présente un coût de possession élevé et des limitations dans les durées des missions. L'U2 devait être rapidement remplacé dans ses missions par le drone stratégique Global Hawk Block 30. Il semblerait que ce type de drone ne reviendrait pas moins cher en exploitation que les vénérables U2. Le DoD vient donc de décider de prolonger la vie du segment habité pourtant déjà vieux de plus de quarante ans.

Recycler un avion espion à la retraite en relais de télécommunications : c'est le projet porté par la société irlandaise QucomHaps, qui souhaite se doter de plusieurs dizaines de Myasichtchev M-55 "Geophysica" (aussi connu sous sa désignation militaire M-17RM "Mystic-B") pour transporter des équipements de communication au-dessus de zones peu développées ou difficiles d'accès. Mi-octobre 2007, la société a signé avec Rosoboronexport un accord portant sur la fourniture en six volets de 48-appareils. Le directeur de la filiale malaisienne de la société, QucomHaps Malaysia, a aussi annoncé qu'un M-55 devrait être livré en février 2008 pour entamer une phase de tests et démontrer la viabilité technologique et commerciale de l'opération.

La technologie Haps (*High Altitude Platforms*) est destinée à fournir aux régions privées d'infrastructures modernes, divers services de télécommunications en haut débit : téléphonie mobile, Internet, télévision... Pour couvrir la Malaisie, QucomHaps propose ainsi d'assurer une permanence aérienne au-dessus du pays à l'aide de cinq M-55 (deux pour la Malaisie péninsulaire et trois pour la Malaisie orientale), chaque appareil effectuant des rotations de cinq heures. Pour émettre sur une zone la plus large possible, les avions évolueront à un niveau stratosphérique, c'est-à-dire à 20 km d'altitude. Selon QucomHaps, un seul appareil décrivant des hippodromes peut assurer la couverture d'une zone de 125 000 km². Ce regain d'intérêt pour un vecteur habité stratosphérique est une véritable aubaine pour le constructeur russe Myasichtchev. L'atout principal de l'avion réside en sa capacité à embarquer une importante charge d'équipements (environ 1 800 kg) à plus de 20 000 m d'altitude, et ce pendant cinq à six heures. L'idée de l'utiliser pour relayer des données à haut débit n'est pas neuve non plus : en 2002 déjà, Myasichtchev présentait une version sans pilote de son M-55 pour remplir cette mission – Voir paragraphe suivant « avions dronisés ».

Ce type d'avion de reconnaissance dédié présente à peu près les mêmes avantages et inconvénients qu'un avion de combat. Compte tenu du fait qu'il soit dédié à un seul type de mission de surveillance, ce manque de polyvalence peut faire croître le coût de possession.

Un avion gros porteur piloté

Suivant son poids, il peut accueillir un ou plusieurs équipages pour le pilotage de la plate-forme et pour la conduite de la mission. Il peut être ravitaillable en vol ce qui

permet d'allonger la durée de la mission sur zone mais là encore les limites physiologiques humaines sont vite atteintes.

Bi moteurs ou bi – quadri réacteurs, il sera plus robuste et présentera moins de vulnérabilités. Il peut présenter l'intérêt d'exister sur étagère et ne demander qu'une adaptation de la charge utile, ouvertures de rayonnement dans la coque et installation de groupes auxiliaires d'alimentation et de conditionnement.

Ce type de porteur présente du fait de sa capacité, l'avantage de pouvoir embarquer toute l'intelligence utile à bord. Il peut contenir tous les traitements nécessaires à la confirmation de la menace, son identification, les moyens de discrimination et les bases de données comparatives de signatures. Ses moyens radios et de liaisons de données lui permettent de communiquer loin en arrière, via des satellites relais, avec le réseau complet de préalerte ou de conduite de l'interception.

Ce problème d'intelligence à bord ou au sol est une décision importante en ce qui concerne la définition du porteur. Plus il y aura de l'intelligence à bord, plus le vecteur sera lourd, motorisé, complexe et cher mais plus il sera indépendant et « non communicant » donc moins gourmand en bande de fréquences. Il faudra arriver au bon dosage entre les traitements effectués sur le signal à bord et ceux effectués au sol afin de limiter dans des proportions raisonnables les besoins en bande passante pour la liaison sol. Même si pour le traitement de signaux IR, la largeur de bande ne semble pas dimensionnante, la bande de fréquence nécessaire à une image de bonne définition demande, elle, des dizaines de mégahertz de bande.

On pense ici à un porteur type AWACS ou J-Stars avec du personnel et de l'intelligence à bord, mais le coût à l'heure de vol est prohibitif et on assisterait certainement à une démotivation des veilleurs si la surveillance ne consistait qu'en l'observation du sol. Dans un avion de contrôle et de conduite des opérations en vol, sur zone, les contrôleurs en cabine sont tout le temps occupés par la surveillance des avions en vol au-dessus du théâtre et il y en a sans interruption, l'activité est prenante. Avec la surveillance du sol pour détecter un hypothétique lancement de missile ou le mouvement d'un mobile, la mission risque d'être moins intéressante et lassante très rapidement. Un AWACS part pour une dizaine d'heures sur zone avec un contenu de mission précis, de même que pour une mission de recueil du renseignement d'origine électromagnétique (ROEM), la mission d'un Transall Gabriel n'est pas ennuyeuse. En revanche, avec un avion de surveillance du sol dédié à la détection des lancements de missiles ou de mobiles menaçants, il faut attendre l'évènement fugace avec le danger de l'apparition du syndrome de la « sentinelle du désert ».

Avantages : Il existe – Rapide – Manœuvrant – Peut être auto protégé – Il peut voler à très haute altitude – Ravitaillable en vol – Compte tenu de sa taille, il ne pose aucun problème pour accueillir plusieurs types de charges utiles et il capable d'offrir les alimentations nécessaires en énergie et la climatisation – S'il est directement issu d'une cellule d'avion transport de passagers, ses coûts de conception et de développement seront rapidement amortis bien que l'intégration des charges utiles militaires demandent parfois de lourds chantiers.

Inconvénients : N'est pas très discret avec ses antennes et ses accessoires particuliers et il risque de se voir interdit de survol – Particulièrement vulnérable, compte tenu de sa taille, aux missiles et canons air-air ou air-sol – Son altitude de vol opérationnelle ne dépasse pas 25 000 ft – Coûte cher en entretien (logistique, MCO, charges des

personnels navigants) – Permanence en vol plus longue qu’un avion de combat mais les limites physiologiques des équipages sont vite atteintes – Vulnérabilité des équipes de conduite à bord – Cible de très haute valeur, très attrayante – Avion mono mission, offre peu de flexibilité – Pas d’indépendance nationale, pour l’instant, ni même européenne. Les évolutions du système d’armes sont soumises à acceptation de Boeing, en ce qui concerne les AWACS. Le J-Stars n’a jamais été exporté, même s’il est à l’origine des avions équivalents britanniques, indiens, chinois ou russes.

Un avion d'affaires ou un cargo léger « transformé »

Le M-55 russe Geophysica avait, à l’origine, une vocation d’avion d’exploration scientifique de la haute atmosphère puis il a été adapté à plusieurs autres types de missions comme la mise en orbite d’un véhicule léger, servir de plate-forme relais de transmission permanente... Certains avions d’affaires ou à vocation banc d’essai volant (ABE) pour des charges utiles en cours de développement peuvent être également modifiés pour servir de plate-forme de surveillance permanente au-dessus d’un théâtre d’opération tactique ou stratégique. On se réfère à la famille des Falcon de Dassault Aviation qui offrent une panoplie complète de rayons d’action, de poids et de plafonds opérationnels. Les Mystère 20, bien connus par le CEV qui les utilisait en bancs d’essais volants, sont maintenant susceptibles d’être remplacés par des Falcon 900 et autres 2000, sur étagère. Les Falcon étaient cependant des avions mono essai, peu flexibles, volant très peu dans l’année. Ils étaient difficiles à entretenir et revenaient cher à l’heure de vol. Pour diversifier les missions de ce type de porteur, la tendance est de demander des charges utiles « palettisables ». La DGA étudie d’ailleurs la transformation d’un mono turbopropulseur TBM 700 en « nœud de liaisons tactiques » afin de disposer d’un banc d’essai affichant un coût d’exploitation réduit². De même apparaît l’idée de transformer certains CASA 235, avion-cargo léger, en avion de renseignement, « *Il permettrait (le CASA 235) d’obtenir cette capacité rapidement et à moindre coût* »³. Une nouvelle approche consisterait donc à équiper des avions légers de charges utiles destinées plus particulièrement à la surveillance et au renseignement.

Avantages : La cellule de base existe – Ce type d’avion constitue une excellente plate-forme, stable, rapide, bien motorisée, suffisamment spacieuse pour permettre l’installation de charges utiles de configuration et de poids variés avec la fourniture des servitudes nécessaires (énergie électrique, refroidissement, stabilisation des vibrations...) – Vu son endurance, peut servir de centre C2 – Dérivé d’une cellule d’avion d’affaires civile ou de transport léger, il peut être acquis d’occasion mais il offre tout de même un coût d’exploitation élevé avec un effet bénéfique sur l’effet d’échelle par rapport aux très gros porteurs – La nouvelle génération de cellules pourra offrir plus de polyvalence pour l’emport de charges utiles (charge palettisables).

Inconvénients : Les mêmes que les très gros porteurs, à l’effet d’échelle près – La tendance dans ces avions est de demander toujours plus de charges utiles et donc d’affaiblir les performances de vol. La vulnérabilité de l’équipage subsiste.

Quelques fiches caractéristiques de ces avions sont données en annexe 1.

² A&C n° 2312 – 11 mai 2012 – p. 29.

³ Ibid. – p. 32.

Les drones

Un drone ou UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) est un aéronef non habité piloté à distance et bénéficiant de plus ou moins d'autonomie en fonction des phases de vol. Ils répondent aux besoins spécifiques de missions ISR (*Intelligence Surveillance Reconnaissance*), de missions de relais de transmission mais depuis quelques années, ils sont capables de transporter des bombes et des missiles devenant ainsi des capteurs/effecteurs. Pour répondre aux besoins de surveillance en permanence d'une zone étendue, l'utilisation d'un drone MALE (Moyenne Altitude Longue Endurance) ou mieux encore d'un HALE (Haute Altitude Longue Endurance) semble bien appropriée. Quelles que soient leurs missions, de relais de communication, d'observation stratégique, d'écoute, d'alerte précoce ou autre, les « grands » drones doivent :

- ➔ pouvoir voler à des altitudes leur permettant d'être au-dessus de la mêlée pour faciliter la gestion de l'espace aérien systématiquement très encombré d'avions de tous types ;
- ➔ rester en vol pendant de longues heures, pour donner au système la permanence souhaitée ;
- ➔ être capables de s'insérer dans la circulation aérienne et répondre aux normes de certification civile, en particulier dans les phases de ralliement à proximité de la zone d'opération et pour le retour sur base ;
- ➔ réagir de façon plus ou moins autonome à tout incident de vol ayant des conséquences sur la propulsion ou la conduite de la machine ;
- ➔ rester suffisamment discrets vis-à-vis de systèmes adverses de détection et d'intervention à guidage électromagnétique ou infrarouge.

Pour simplifier, on peut considérer que ces systèmes de grands drones comportent un segment aérien qui se compose généralement :

- ➔ d'un ou plusieurs aéronefs porteurs constitués d'une cellule, d'un propulseur, d'un dispositif de guidage et de pilotage ;
- ➔ de plusieurs charges utiles, intégrées dans le véhicule porteur et qui peuvent être des capteurs passifs (optique, infrarouge, détection d'émissions radioactives, dispositif d'écoute électronique ou de communication, etc.), soit des capteurs actifs radars destinés à une mission précise (détection de mouvements sur mer ou sur terre, cartographie, brouillage, radiographie des containers, etc.) ;
- ➔ en fonction de l'élongation, d'une liaison satellitaire entre l'aéronef et la station de contrôle. Cette liaison va permettre de piloter à distance le porteur, de connaître sa position et d'orienter ses charges utiles sur l'objectif et de récupérer en temps les données ainsi recueillies ;
- ➔ d'une liaison de données hertziennes, qui est le lien entre l'aérodyne et le segment sol pour l'atterrissage et le décollage qui s'effectue désormais sur les systèmes modernes de manière complètement automatique ;
- ➔ d'équipements de navigation à la pointe de la technologie afin, d'une part, de s'assurer qu'en permanence le grand drone connaisse sa position dans l'espace aérien mais aussi afin que les gestionnaires de l'espace aérien en soient informés en temps réel. Ils disposent de centrales inertielles hybridées GPS, d'un système de GPS différentiel (DGPS) utilisé pour le décollage et le poser en automatique, d'un

IFF avec tous les modes en service, d'une radio pour permettre au pilote de parler avec les organismes de contrôles et devront obligatoirement disposer d'un dispositif « Voir et Eviter » s'ils veulent voler en espace non ségrégué comme obligation leur est faite actuellement. Les drones ne sont pas encore « libres » (*Régis Brigaut – DGA*).

Le segment sol se compose :

D'une station de contrôle, qui assure à la fois le pilotage du vecteur mais également la réception voire l'exploitation des données recueillies en provenance des charges utiles qu'elles soient électro-optiques (EO), infrarouges (IR) ou radars. Toutes ces opérations s'effectuent via la LOS ou la SATCOM. Des systèmes de communications avec la structure C2 permettent la réception des ordres, la coordination avec les services du contrôle aérien et enfin la distribution des informations.

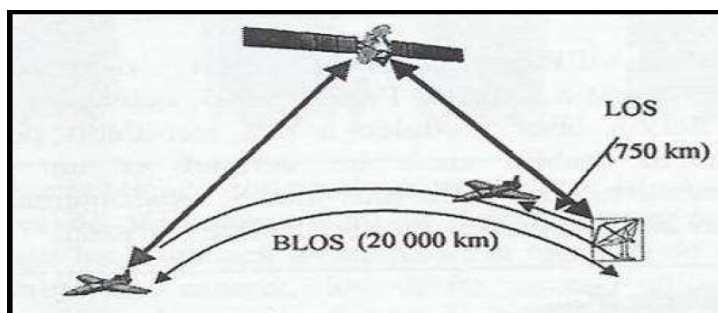
Ces « grands drones » nécessitent des moyens logistiques importants pour leur mise en œuvre et le maintien en condition opérationnelle de l'ensemble des équipements de l'aéronef et de ses charges utiles. Néanmoins, il n'en faut guère plus que pour déployer des avions de combats. Ces grands drones utilisent des pistes traditionnelles. Le déploiement de ces systèmes, au plus près de leurs zones d'opérations, permet de maximaliser leur temps de présence sur zone en réduisant leur temps de transit.

Une équipe de soutien et de pilotage est mise en place sur les différents sites nécessaires à leur mise en œuvre. Les grands drones sont des avions certes sans pilotes à bord mais qui nécessitent toutefois un équipage pour le piloter depuis le sol. Le pilotage de ce type de système et son insertion dans le trafic aérien commercial civil requièrent des équipes hautement qualifiées et des procédures complexes qui sont en cours de définition. Les grands drones ont l'avantage de voler à très haute altitude où le trafic civil reste encore très faible pour ne pas dire inexistant. Cela simplifie considérablement la problématique de l'intégration dans l'espace aérien, une fois sur zone de travail.

Un segment liaison :

La problématique de la bande passante est très dimensionnante pour les grands drones. Ils ont en effet besoin, pour leur pilotage et pour la retransmission des données, de liaisons soit en vue directe dite *Line of Sight* (LOS), soit par satellite (BLOS) afin de s'affranchir des contraintes liées à la rotondité de la Terre, de l'immensité des océans ou de certaines zones grises. Les grands drones sont généralement dotés de ces deux types de liaisons, pour des questions de redondances et donc de sécurité. Des études exploratoires basées sur les transmissions laser existent (LOLA), et sont certainement des pistes à explorer pour le futur, pour minimiser l'impact de la disponibilité réduite en bande passante et en satellites associés.

LOS et BLOS⁴



⁴ Source : Satellite et grands drones dans le cadre de la politique spatiale française et européenne, p. 156.

Un segment Commandement et contrôle (C2) :

Il est parfaitement irréaliste d'avoir l'ambition de mettre en œuvre de tels moyens de surveillance sans établir une architecture pour planifier, coordonner, conduire, recueillir et analyser les données collectées en temps réel par ces grands drones ou tout autre vecteur aérien.

Des fiches techniques de ces grands drones sont données en annexe 2.

Il est précisé que les différents segments sol : C2, liaisons, infrastructures dédiées... ne sont pas spécifiques aux drones seuls mais s'appliquent également aux autres moyens aéroportés.

Le MALE

Il aura l'avantage (un jour ?...) d'exister sur étagère européenne ce qui sera un point tout à fait remarquable en aéronautique récente et un plus indéniable pour une utilisation en coopération interarmées, voire entre coalisés si on accepte une interopérabilité de niveau 2 (stations d'exploitation au sol et réseau sol).

Les fiches caractéristiques de quelques drones MALE sont données en annexe 2.

Avantages : Les cellules existent sur étagère – Offre diversifiée – Pas de pilote à bord – Peuvent être employés dans toutes les phases d'un conflit ou d'une crise – Persistance sur zone – Existe sur étagère – Coûts d'acquisition et d'entretien inférieurs à ceux d'un avion piloté (C'est encore un point d'interrogation car les industriels sont incapables pour l'instant de démontrer de façon incontestable que les drones sont moins chers à l'heure de vol que les aéronefs légers à voilure fixe ou tournante, de plus, l'expérience aurait tendance à coûter effectivement moins cher qu'un avion habité, l'économie ne serait que de 30 % ce qui est loin des économies escomptées).

Inconvénients : Les drones MALE ne volent pas suffisamment haut pour répondre au besoin – Leur vulnérabilité au-dessus d'un champ de bataille est grande – Vu le coût, on utilisera certainement un drone MALE en stand off si le milieu est non permissif – La charge utile est limitée à 250/300 kg maximum – Ils sont en général sous motorisés pour dépasser des altitudes de croisière de 21 000 ft et des vitesses suffisamment élevées pour échapper aux menaces sol-air – Ils ne sont capables que d'effectuer des sauts de puce – Leur fiabilité laisse encore à désirer – Pertes en vol nombreuses – Pas de politique « drone MALE » stable en France et en Europe.

Le HALE

Aujourd'hui, le drone HALE mondialement connu, est le Global Hawk américain qui offre des capacités de reconnaissance et de liaisons remarquables. Il est à noter que l'OTAN a commandé cinq Euro Hawk (Global Hawk européenisé) dans le cadre du programme Air Ground Surveillance mixte (AGS) en « remplacement » de la fonction initiale qui prévoyait une flotte habitée et des drones, principe abandonné par l'OTAN fin 2007 en ce qui concerne la composante habitée.

Jusqu'à la fin de l'année 2007, il existait dans le programme SOSTAR un radar TCAR prévu dans le cadre du programme AGS de OTAN et son équivalent le MR-TIP en cours de développement aux États-Unis qui auraient pu effectuer de l'imagerie radar sur

des vastes étendues (10 000 km²). Ce type de capteur, qui permet d'assurer la surveillance stratégique, représente une masse voisine de la tonne, ce qui impose un porteur déjà assez important, de l'ordre de la vingtaine de tonnes. Si on transpose ce concept de capteur électromagnétique à balayage électronique deux plans (en élévation et en fauchée) à un capteur IR, il faudrait que ce dernier puisse également fournir un double balayage électronique, seul capable d'assurer une surveillance quasi instantanée d'une surface de 10 000 km². Si on y ajoute la motorisation nécessaire au rayon d'action de la plate-forme et à sa persistance sur zone, l'alimentation électrique des capteurs et les besoins en conditionnement (mais l'IR est théoriquement moins gourmand que l'EM), on saisit mieux l'intérêt de développer la plate-forme aéroportée en fonction des nécessités opérationnelles.

On émet des réserves sur la surveillance d'un immense territoire comme la Chine qui utilise essentiellement des missiles balistiques montés sur véhicules. Les sites fixes pourront être surveillés mais les véhicules porteurs de missiles éparpillés sur le territoire seront impossibles à localiser. Une mission « sentinelle du désert », inaccessible. Il faudrait rien que pour surveiller l'Iran avec ses 1 648 000 km², pas moins de 165 drones Global Hawk en surveillance permanente ! Sans parler des inévitables relèves et des intrusions dans l'espace aérien du pays à surveiller...

Il faudrait donc se cantonner, pour une plate-forme aérienne, à une surveillance pré orientée. Elle pourrait couvrir une zone de 100 km par 100 km ou un peu plus, comme le prévoit l'OTAN mais avec une charge utile suffisamment performante et agile pour réaliser une scrutation quasi instantanée de la zone surveillée (du type balayage électronique deux plans de type TCAR, MR-TIP – on a démontré qu'en électromagnétique, un balayage électronique un plan était insuffisant) pour entretenir une cadence d'informations en temps réel. Il faut également savoir ce que l'on désire extraire comme informations de ce capteur IR : veut-on localiser le point de départ du missile ? Définir le point d'arrivée ? S'assurer que la trajectoire est nominale (suite à un essai par exemple) ? De ces besoins dépendront la qualité du capteur mais aussi le prétraitement de l'information nécessaire à bord. Le drone pourrait transmettre des vignettes à résolution minimum à l'opérateur qui demanderait des requêtes avec une résolution maximale sur une zone de 1 km x 1 km. Il faudrait des profils de détection et des algorithmes typiques pour rechercher des changements dans le fonds de carte.

Cette zone restreinte serait allouée à une seule plate-forme et il faudrait donc multiplier ces porteurs pour couvrir l'intégralité du théâtre. Seule une simulation des profils de vols peut donner le nombre de plates-formes nécessaires en tenant compte des transits, des zones masquées en virage, des obstacles géographiques... Avec la multiplication de ces plates-formes aériennes on parlera alors de surveillance multi tactique d'un théâtre.

Pour la France, qui a abandonné ce concept de HALE pour des raisons économiques, ce type d'aéronef ne peut s'inscrire que dans un concept futur et dans un cadre européen. Elle a choisi de ne pas financer cette acquisition HALE, mais s'est engagée à contribuer en nature au programme AGS en fournissant dès 2017 un drone MALE équipé d'un radar à ouverture synthétique pour la détection de cibles mobiles (SAR/MTI)⁵. Ce qui est étonnant au point de vue délais annoncés, à moins qu'on ne se résolve à acheter sur étagère américaine ou israélienne, solution qui avec les restrictions budgétaires annoncées

⁵ A&C n° 2330 du 12 octobre 2012, p. 58.

a repris de la vigueur, le budget drones étant plutôt destiné aux drones tactiques (SDTI) et aux drones MALE.

Les caractéristiques du global Hawk et de l'Etian israélien sont données en annexe 2.

Avantages : Les mêmes que les drones MALE mais emportent plus de charge utile, de l'ordre de la tonne. Sont plus puissamment motorisés – Ont des performances analogues à celles de petits chasseurs à réaction.

Inconvénients : Demande des infrastructures sol équivalentes à celles nécessaires aux avions pilotés – Des problèmes de fiabilité et de vieillissement du porteur avec des pertes en vol – Vecteur coûteux. Les coûts d'utilisation semblent dépasser ceux d'un avion piloté U2 (arrêt du développement du standard Block 3).

Les avions dronisés

Les avions dronisés présentent tous les avantages des avions pilotés et des drones. En particulier l'insertion dans la circulation aérienne générale ne pose plus de problème pour répondre à la règle de « voir et éviter », réglée par la présence d'un pilote à bord dans les aéronefs de transport.

L'avion d'observation russe M-55, plus connu sous le nom de Geophysika, pourrait être décliné en deux nouvelles versions par Myassitchev. La première, présentée en 2002 à Moscou, serait dédiée au lancement d'une mini navette spatiale pour touristes en mal d'apesanteur. Pendant le vol, le M-55 tirerait parti de ses deux moteurs D-30 et de sa voilure à grand allongement pour emporter la micro navette à 17 000 m d'altitude à la vitesse de 750 km/h.

Le second projet porte sur une version sans pilote à bord du M-55 dédiée au relais radio au profit de zones urbaines. A l'instar du Proteus américain, le M-55 évoluerait en mode automatique à 20 000 m d'altitude autour d'une grande ville pour relayer des données Internet à haut débit et des communications téléphoniques. « *Ce projet embryonnaire impliquerait la construction de plusieurs avions qui se relaieraient toutes les six heures* », affirmait Leonid Sokolov, le directeur du programme M-55.

En attendant, l'unique exemplaire d'avion stratosphérique M-55 Geophysika se consacre aux études atmosphériques pour le compte d'agences scientifiques européennes pour prélever des échantillons d'atmosphère et tester des instruments scientifiques susceptibles d'être installés sur des satellites scientifiques.

Les caractéristiques du Geophysika, du Grob allemand Egrett et du HALE G600, autres avions dronisés, sont données en annexe 1.

Avantages : C'est l'équivalent d'un drone HALE avec l'intérêt d'accueillir un pilote à bord et de résoudre le problème de l'insertion en vol en circulation aérienne générale – On peut donc l'utiliser comme avion habité en phase de transit et l'utiliser en tant qu'avion dronisé sur la zone de théâtre en surveillance longue durée.

Inconvénients : Ceux d'un avion habité car même si le pilote est complètement soulagé de ses tâches de pilotage et de conduite des capteurs après la phase de transit, il lui faudra tenir une trentaine d'heures en vol puis reprendre les commandes et revenir pour

une traversée des classes d'espace contrôlées et atterrir – Vulnérabilité du pilote à bord sauf à le « débarquer » pour le survol du théâtre.

Les ballons ou les dirigeables

Les ballons

A.– Les ballons aux États-Unis

Dès 2004, l'US Army a décidé de déployer deux ballons captifs pour assurer la surveillance de Bagdad. Des essais avaient été menés par le Lawrence Livermore National Laboratory. Il s'agit des ballons 56K de Lockheed Martin (350 m de long, 97 m de large et 63 m de haut) qui étaient équipés de divers capteurs optiques et radar de surveillance.

Les troupes américaines ont également utilisé en Irak et en Afghanistan des aérostats pour leur protection dans le cadre d'un programme appelé *Rapid Aerostat Initial Development* (RAID). Depuis le début de son utilisation en Afghanistan en 2003, plus de 300 mâts et plus de 60 ballons souples sont en service en tant qu'élément de surveillance permanent protégeant les bases opérationnelles, améliorant la surveillance de jour et de nuit.

La compagnie Raytheon, leader dans le développement des technologies de défense, est le principal fournisseur pour ce programme qui utilise un aérostat TCOM de 17 mètres (55 pieds) qui vole à 300 mètres d'altitude pour faire de la surveillance avec une sonde infrarouge électro-optique (avec un poids total de 90 kg).

Juillet 2009 : le Canada a investi \$23 millions dans l'achat de tours et d'aérostats, le tout équipé de caméras et de radars. Ceux-ci seront employés en Afghanistan pour la défense de la base et la surveillance. Les Canadiens ont noté le succès des forces américaines grâce aux renseignements collectés et au système de sécurité de la base.

Après une série de démonstrations pour homologuer le concept, l'US Army a lancé un programme appelé JLENS (*Joint Land Attack Cruise Missile Defense Elevated Netted Sensor System* – système de détection et de défense en altitude contre les attaques au sol par des missiles de croisière) avec la passation d'un contrat de développement \$1.4 milliard à la société « Raytheon Integrated Defense Systems of Tewksbury ». Le JLENS devra augmenter les possibilités de surveillance et aidera les défenses aériennes dans l'observation, l'évaluation et le soutien des engagements au-dessus des zones de combats. Ainsi, le JLENS sera une plate-forme de radar aéroporté. Ce système dépiste également les cibles mobiles de surface et détecte la trajectoire prévisionnelle des missiles balistiques tactiques.

Raytheon a travaillé pour fournir deux systèmes JLENS, chacun comprend deux aérostats de 74 mètres, gonflé à l'hélium, l'un équipé d'un radar de surveillance et l'autre d'un radar de contrôle de tir (marquage de la cible), les stations mobiles d'amarrage et le matériel de communications. Les aérostats captifs fonctionneront jusqu'à 3 kilomètres (2 milles) d'altitude, fournissant la capacité de détecter et dépister des missiles de croisière jusqu'à 200 kilomètres (124 milles) dans chaque direction. Les systèmes sont conçus pour fonctionner sans interruption pendant 30 jours, reviennent au sol pendant huit heures pour l'entretien et repartent de nouveau pour 30 jours. En dépit de sa taille,

il ne sera pas facile de viser l'aérostat JLENS parce que son manque de mouvement relatif le rend difficile à distinguer sur les radars. De plus, comme les aérostats ne sont pas fortement pressurisés, les balles ne peuvent pas les faire exploser. Leur présence dans la zone de bataille permet la réaffectation des avions, plus coûteux, pour soutenir d'autres missions critiques. Les premiers aérostats captifs font en réalité 71 mètres de long, les structures aérodynamiques souples sont remplies d'hélium et d'air. Chaque aérostat est attaché à une station mobile d'amarrage reliée à une station de traitement par fibre optique. Le radar de surveillance détecte la cible initiale, la transmet au radar de contrôle de tir qui génère une trajectoire de qualité pour la conduite du combat.

Le gonflement à l'hélium du premier aérostat au monde de 74 mètres, fabriqué par la société TCOM, et les essais en vol se sont déroulés à Elizabeth City, Caroline du Nord. TCOM est un sous-traitant de Raytheon. L'aérostat JLENS est le premier de cette taille et c'est aujourd'hui le plus grand aérostat fabriqué. Il est relié au sol par un câble d'amarrage ancré à une station mobile de 82 tonnes, il couvre presque la longueur et la largeur d'un terrain de football. Il peut emporter près de 3 tonnes de matériel de communication et de radar, à une altitude de 3 000 m (10 000 pieds). Les tests sur les deux systèmes intégrés (surveillance et conduite) ont commencé en septembre 2010. Les caractéristiques du 74M – modèle pour l'armée – ne sont pas disponibles mais celles du 71M sont assez proches. L'aérostat 71M est donné pour le plus fiable et le plus moderne (avant le 74M) des aérostats au monde. C'est le plus grand des aérostats de TCOM dont la performance de monter à 4 500 mètres est restée inégalée. Une longueur hors-tout de 71 mètres et une enveloppe de 16 000 mètres cubes permet au 71M de soulever une charge utile maximum de 1 600 kg.

Le programme complet comprendrait 18 JLENS soit : 18 radars de conduite de tir (PTIR), 18 radars de surveillance (SuR), 36 mâts d'amarrage et 36 stations de traitement des informations.

L'Army a annoncé que le JLENS était dorénavant déclaré opérationnel. Le système est conçu pour détecter les missiles de croisière, assurer une surveillance de zone et transmettre des communications et il devrait prochainement entrer en action pour assurer la protection des militaires et la navigation. Les résultats d'essais récents, effectués en juin 2012 et menés par l'Army et la Navy, ont été concluants, ils ont permis de mettre en évidence ses capacités de détection et de poursuite d'une cible représentant un missile de croisière⁶.

B.– Les ballons au Japon

En août 2004, le programme japonais SPF (*Stratospheric Platforms Project*) du *National Aerospace Laboratory* a lancé le prototype SPF-1, de 48 m de long qui a atteint l'altitude de 16,4 km avant d'effectuer des mesures de gaz à effet de serre. Le « dirigeable » en question n'étant pas équipé d'un système de propulsion tenait plus du ballon. La prochaine étape consiste à construire un prototype de dirigeable – propulsé cette fois – de 68 m de long, SPF-2, puis c'est un démonstrateur de 150 m qui devrait être construit pour des applications stratosphériques, préluant à l'entrée en service espérée pour la fin de la décennie d'un dirigeable commercial de 250 m mais dont on n'a pas de nouvelles récentes.

⁶ BISME n°223 – 225 – 227 – Période du 13 août au 30 septembre.

En cette année 2012, le Japon a poursuivi ses recherches expérimentales sur les ballons stratosphériques. L'ISAS (*Institute of Space and Astronautical Science*), la division scientifique de la JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*), a achevé sa première campagne de ballons stratosphériques de 2012. Au total, deux ballons auront été lâchés depuis le Centre de recherche aérospatiale de Taiki dans la préfecture d'Hokkaido, entre le 28 mai et le 23 juin 2012.

La première expérience, intitulée B12-01, a décollé le 3 juin à 4h55. Au moment du lâcher, le temps était nuageux, avec une température au sol de 7 degrés Celsius et un vent de 1 m/s. L'objectif de ce lancer de ballon consistait à estimer les performances d'un prototype de l'instrument GAPS (*General Antiparticle Spectrometer*). Le ballon utilisé était de grande taille, avec un volume maximal de 100 000 mètres cube et un diamètre de 63 m. Il s'est envolé à une vitesse ascensionnelle d'environ 300 m par minute. Le prototype de GAPS (pGAPS) a été mis en marche peu de temps après le décollage et les données nécessaires à son évaluation ont été récoltées. Après 3h10 de vol, le ballon a atteint une altitude de 31,2 km au-dessus de l'océan Pacifique, à environ 135 km à l'est de son point de départ. GAPS est une expérience américano-japonaise qui a pour objectif de rechercher la matière noire en détectant les anti-deutérons dans le rayonnement cosmique.

Le second lâcher de ballon stratosphérique de la campagne, B-12-02, a eu lieu le 9 juin à 3h35 par temps nuageux, avec une température au sol de 10 degrés Celsius et un vent soufflant à 2,5 m/s. L'objectif était de tester les performances de vol d'un tandem de ballons de petites tailles. Après son décollage, celui-ci s'est envolé à une vitesse d'environ 210 m par minute. Le tandem était composé d'un ballon pressurisé ("*superpressure balloon*") d'un volume de 3 000 mètres cube pour un diamètre de 20 m, et d'un ballon non-pressurisé ("*zero-pressure balloon*") de 15 000 mètres cube et 33 m de diamètre. Le ballon pressurisé était couvert d'un filet de fibres hautement résistantes, un nouveau procédé permettant d'augmenter la résistance à la pression de l'enveloppe et, par conséquent, de la rendre plus fine et plus légère. Vers l'altitude de 26,5 km, la pression différentielle entre l'intérieur et l'extérieur du ballon pressurisé s'élevait à 600 Pa, mais une fuite d'hélium empêcha malheureusement d'atteindre 720 Pa, pression à laquelle la JAXA souhaitait vérifier la résistance de l'enveloppe. Le tandem de ballons a ensuite largué du ballast et s'est élevé jusqu'à une altitude de 30,4 km. Puis de l'hélium a été relâché pour réduire la flottabilité du ballon et simuler l'influence du coucher du Soleil (impliquant une diminution de la température) sur le système. A 7h15, un ordre de séparation de la nacelle a été envoyé et le ballon a chuté dans l'océan.

Cette expérience aura donc permis de tester les performances de vol du tandem de ballons, d'observer sa réaction lors d'un (faux) coucher de soleil et de collecter diverses données telles que la variation au cours du temps de la pression différentielle entre l'intérieur et l'extérieur de l'enveloppe du ballon pressurisé. La JAXA analyse actuellement ces données pour mieux comprendre le comportement du ballon en cours de vol, et travaille à la résolution de quelques complications rencontrées au cours de l'expérience. L'agence spatiale japonaise prévoit en effet de poursuivre le développement de ce type de système de ballons en tandem⁷.

⁷ La JAXA lance deux ballons stratosphériques – <http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/70619.htm>.

C.– Les ballons en France

En Afghanistan, les forces françaises déployées en vallées de Surobi et Kapisa utilisent deux ballons captifs loués aux Américains pour surveiller les alentours des bases avancées (FOB) et l'entrée des vallées. Equipés d'un dispositif optique et IR d'une portée de 5 km environ, ils répondent bien au besoin de surveillance et leur rusticité permet de s'affranchir des tirs légers dont ils font l'objet (rustines). Le retour d'expérience semble très satisfaisant bien que le soutien se révèle lourd (hélium).

Pour mémoire, on mentionnera l'existence des ballons SYDEREC servant de dernier secours pour les transmissions de l'ordre d'engagement nucléaire. De fabrication américaine, la technologie commence à dater. La mise en œuvre et l'empreinte logistique sont lourdes.

En conclusion de ce chapitre, si on résume les avantages et les inconvénients des ballons, on peut retenir :

Avantages : Permanence de l'observation. Difficilement détectable et peu vulnérable aux tirs d'armes légères. Permet une surveillance et une protection de zone assez étendue autour d'un point sensible.

Inconvénients : Il est captif et donc il faut avoir à la fois la suprématie aérienne et la maîtrise au moins partielle de la zone au sol – Son immobilisme et la portée de ses capteurs l'empêchent de couvrir une zone très étendue (Un ballon est limité en altitude de travail aux alentours de 3 000 m, il permet donc une profondeur de surveillance de 200 km environ) – Empreinte logistique lourde.

Les dirigeables

A.– France

En France en 2002-2003, des études technico-opérationnelles sur le concept de dirigeable de transport lourd avaient été lancées par la DGA pour défricher les points durs de ce système : ballastage, déballastage, sensibilité du système à l'environnement et au relief. Le dirigeable gros porteur travaille à de faibles vitesses. Un vent trop fort ou une météo capricieuse peuvent nuire aux temps de parcours et durées de cycles. Des scénarios de projection de structures de forces d'un endroit à un autre ont été étudiés, de même que le volet logistique de transport qui présente toutefois un intérêt limité par rapport aux moyens classiques existants (avion, navire). Une activité de veille sur les dirigeables a cependant été maintenue en prenant en compte le caractère dual de ce type d'aérostat. En fait, la maturité et la validité des concepts restent à démontrer et un rebouclage sur les applications opérationnelles devra ensuite se faire en fonction des caractéristiques présentées.

Toujours en France, le dirigeable peut intéresser le Secrétariat Général à la Mer (Service du Premier ministre chargé de coordonner l'action de l'État en mer) qui doit garantir l'exploitation durable des ressources naturelles (police de la pêche), prévenir et lutter contre les accidents, pollutions accidentelles ou volontaires (dégazages) en milieu marin, les trafics illicites (armes, drogue, contrebande), l'immigration clandestine, etc. Le tout, sur un territoire de 11 millions de kilomètres carrés avec des capteurs dans toute

la gamme du spectre (visible, radar ou IR). Depuis 2003, l'équipe d'Airship Vision International (AVI) propose le Zeppelin NT 07 (8 225 m³)⁸ équipés de ce type de capteurs avec les performances suivantes : 125 km/h ou travail en régime stationnaire. Autonomie de 24 heures, rayon d'action de 900 km, déployable avec une équipe réduite de 4 hommes. Ce type de dirigeable hybride possède sur le papier les qualités de l'avion, du satellite, du navire et de l'hélicoptère et à un coût horaire moindre. Le prix d'une heure de vol serait inférieur d'un quart à un tiers par rapport aux moyens d'intervention classiques (avion, hélicoptère). D'après les spécialistes, Zeppelin travaille sur des dirigeables semi-rigides mais avec des technologies qui datent des années 1990. Cette société exporte néanmoins aux États-Unis (4 dirigeables) car Goodyear ne sait plus fournir.

Une société française Voliris propose un dirigeable hybride baptisé DGV2 (dirigeable à grande vitesse et géométrie variable), l'appareil de 15 000 m³ serait utilisé pour transporter des charges lourdes (20 à 50 tonnes espérées) dans des régions difficiles d'accès par mer, terre ou air. L'hydrogène servira à la fois de gaz porteur mais aussi de source d'énergie pour la propulsion (pile à combustible ou turbine thermique). Voliris envisage dans un premier temps d'équiper l'enveloppe d'une cabine de pilotage mais à terme, l'engin pourra être dronisé. Ce dirigeable devrait effectuer prochainement des vols d'essais depuis l'aérodrome de Moulins (Allier)⁹. Ce projet demande un financement des pouvoirs publics.

On rappelle que l'armée de l'Air française met en œuvre des ballons captifs Syderec, système en dernier recours de transmission de l'ordre nucléaire, de technologie américaine. D'autres sociétés françaises peuvent fournir des dirigeables : AirStar à Toulouse qui propose ses engins habités ou non pour des photographies aériennes, la mission peut durer de 6 à 8 heures.

On peut citer le « pôle PEGASE » en PACA qui développe une filière « stratosphérique » avec le CNRS et l'ONERA comme experts techniques. Les technologies mises en œuvre par cette filière « dirigeable stratosphérique » ne sont pas du tout matures et ne semblent pas à la portée des industriels français, au moins dans un délai prévisible.

A-NSE est une autre société française qui propose des dirigeables, elle pourrait installer son site de production sur la base toulousaine de Franczal. L'accent est mis actuellement sur le lancement de la production du ballon A-N800 – 800 m³ et 20 heures d'autonomie de vol, pouvant embarquer quatre personnes. Son premier vol est prévu pour la mi-2013. La société propose aussi à l'export le ballon captif T-C350 pour du renseignement militaire. Les fondateurs d'A-NSE vendent également des services de surveillance maritime et de communication publicitaire. Des missions de démonstration avec une caméra embarquée ont été réalisées pour la DGA et la Marine nationale, intéressées par ce moyen de contrôler trafic, pollution, surpêche... pour des tarifs « cinq fois moins importants qu'avec les autres moyens de surveillance aérienne » d'après les dirigeants de la start-up.

⁸ A&C n°2305 du 23 mars 2012, p. 27 et A&C n° 2322 du 20 juillet 2012, pp. 46 et 47.

⁹ A&C n°2313, 18 mai 2012, p. 14.

La nouvelle réglementation française stimulera-t-elle le développement du dirigeable¹⁰ ?

Les dirigeables de grande taille ayant disparu depuis longtemps en France, la réglementation actuelle ne les prend pas en compte et il n'y a pas de licence française de pilote de dirigeable. L'administration française est probablement la seule au monde à permettre au citoyen ou à une petite structure un accès facile au dirigeable. En effet, le texte de l'arrêté relatif aux aéronefs ultralégers motorisés (U.L.M.) du 23 septembre 1998, modifié par l'arrêté du 15 mai 2001, indique dans l'article 2 : *Sont qualifiés U.L.M., les aéronefs monoplaces ou biplaces faiblement motorisés, répondant aux définitions de classes suivantes (...) Classe 5 – (dite aérostat ultraléger)*. Un aérostat ultraléger répond aux conditions techniques suivantes : – la puissance maximale continue est inférieure ou égale à 60 kW pour les monoplaces et à 80 kW pour les biplaces ; – le volume de l'enveloppe d'hélium est inférieur ou égal à 900 m³ ; – le volume de l'enveloppe d'air chaud est inférieur ou égal à 2 000 m³. Il faut donc retenir qu'il n'y a pas de limitation de la masse maximale en vol, par contre, il y a une limitation de la puissance moteur, du nombre de places (2 au maximum), et bien que le texte soit ambigu sur ce point, le fait qu'ils doivent tous être capables de voler à 65 km/h ou à des vitesses inférieures ne s'appliquerait pas à la classe V. Donc pour l'aérostat ultraléger, la réglementation est simplifiée (brevet simplifié, pas de certificat de navigabilité à renouveler chaque année, etc.). La classe ULM autorise jusqu'à 900 m³ pour un ballon à gaz. Ce qui permet (en théorie) de soulever une charge de 900 kg en atmosphère standard mais qui se réduit à 200-300 kg en prenant en compte les poids du lest, du carburant, des réserves...

B.– États-Unis

Aux États-Unis, la DARPA a lancé un programme, baptisé Walrus, qui est un projet de dirigeable gros porteur hybride de 500 T minimum, destiné au déploiement initial, tant en projection qu'en mobilité, d'une brigade entière avec ses équipements. Ce dirigeable n'a jamais décollé d'après les informations obtenues.

D'autres applications sont envisageables pour des dirigeables plus légers. Au-delà du contrat de 40 M\$ passé fin 2003 par la *Missile Defense Agency* (MDA) à Lockheed Martin pour développer un dirigeable de surveillance stratosphérique, l'agence de R&D du Pentagone a lancé une autre initiative dans le domaine des dirigeables. Le programme ISIS (*Integrated Sensor Is Structure*) consiste à étudier l'intégration possible d'une antenne radar dans la structure des plates-formes dirigeables de surveillance stratosphérique à très longue endurance (150 à 300 m de longueur), à 21 km d'altitude durant un mois, tout en fournissant une puissance de 10 kW à une charge utile de 2 tonnes. A cette altitude constate la DARPA, la portance est limitée et le maintien à poste en cas de tempête exige de consommer d'importantes ressources énergétiques qui commandent, en retour, d'embarquer des sources de puissance relativement lourdes, ce qui réduit la portance et pénalise la charge utile de mission. La DARPA demande d'intégrer les capteurs dans la structure des véhicules. L'antenne radar, qui pourrait être conforme à l'enveloppe, présenterait une ouverture sensiblement égale aux dimensions physiques de l'appareil. Avec une capacité de levage limitée à 61 g/m³ à 21 000 m d'altitude pour l'hélium, l'idée même d'un radar sur un dirigeable était jusqu'à présent irréalisable. La puissance électrique d'un radar évolue avec la puissance quatre de sa portée. On

¹⁰ Eric Faure, « L'utilisation scientifique des dirigeables : historique, bilan et perspectives », Laboratoire Systématique Evolutive, case 5, EA 2202 Biodiversité, Place Victor Hugo, Université de Provence, 13331 Marseille cedex 3, France.

recherche 600 km de portée mais l'intérêt réside, puisque la portée dépend du produit de sa puissance par la surface rayonnante, de disposer d'une surface d'antenne correspondant à un terrain de football.

Lockheed Martin a construit à partir de 2009 un prototype de 120 m de long, 43 m de diamètre et de 105 000 m³, capable de se maintenir dans la stratosphère à 21 000 m d'altitude pendant plus d'un mois sans aucune intervention humaine. Totalement autonome, ce dirigeable devait être asservi à une position géographique donnée qu'il devrait tenir à 100 km près (pendant 95 % du temps), en fonction des conditions de vent. De ce point de vue, l'altitude opérationnelle choisie est favorable. Aux latitudes moyennes au moins, elle se trouve au-dessus des jets streams, de même qu'elle se situe au-dessus de l'espace aérien contrôlé. Reste le problème de la montée et de la descente. Quatre hélices bipales orientables, alimentées par des moteurs électriques, permettent d'atteindre une vitesse maximale de 70 nœuds, pour aider à franchir les zones turbulentes, ou rallier une nouvelle position à tenir. La génération électrique sera assurée par une pile à combustible délivrant 10 kW de puissance pour une charge utile, en plus de la puissance nécessaire à la propulsion, soit un bilan global de 15 kW. Cette pile à combustible sera rechargée par des cellules photovoltaïques en couche mince tapissant la face supérieure de l'enveloppe. Mais il faut noter que le rendement des cellules photovoltaïques souples est bien moindre que celui des cellules rigides, même si à 20 km d'altitude, on a une puissance d'ensoleillement plus forte.

Ce contrat succède à une phase de faisabilité citée plus haut et lancée en 2003 au cours de laquelle ont été produits et testés une quarantaine de textiles afin de sélectionner le matériau qui encaisse le mieux les énormes tensions dues au différentiel de pression à haute altitude. Un modèle réduit de 340 m³ a également été testé pour valider l'ensemble du concept, y compris le segment sol de contrôle du dirigeable et ses dispositifs de largage et d'accostage. Après ses vols de qualification, le prototype du HAA (*High Altitude Airship*) sera confié au Space Command de l'US Army qui s'était déjà fait la main sur le ballon captif JLENS de Raytheon en 1999.

La charge utile du HAA, quant à elle, n'est pas encore décidée et reste volontairement entourée de mystère. Néanmoins, on sait qu'elle est fixée à 2 tonnes pour le projet définitif. S'agissant d'un maillon de la défense antimissile, les options envisagées vont d'un lidar (radar laser dans l'infrarouge dont la portée n'est pas limitée par l'absorption atmosphérique vu l'altitude de vol) à un radar à longue portée. Mais la masse et la consommation électrique d'un tel radar nécessiteraient la construction d'un dirigeable gigantesque pour pouvoir voler à de telles altitudes. Reste l'option d'équiper cette plateforme d'un radar passif, moins gourmand, pour lequel Lockheed Martin a développé par ailleurs le *Silent Sentry* utilisant les émissions des émetteurs TV. Le concept qu'a défini la *Missile Defense Agency* pour le HAA serait de déployer un rempart de 11 dirigeables autour du territoire continental des États-Unis. Chaque dirigeable, posté pour une durée d'un an avant d'être relevé, devrait assurer, sur un rayon de 900 km autour de lui, la préalerte au profit du système GMD (*Ground Midcourse Defense*) dont les premiers intercepteurs ont été installés à Fort Greely en Alaska.

Mais la mobilité, certes réduite, du HAA laisse envisager également d'autres missions annexes, comme la détection de départs de missiles au profit de forces projetées. Le HAA entrerait alors en concurrence directe avec le JLENS de Raytheon. Plus original encore, la *Missile Defense Agency* envisageait d'équiper ce dirigeable d'un miroir permettant de renvoyer vers une cible le rayon destructeur d'un avion ABL et d'élargir

ainsi, de façon économique, le domaine de tir de cet ABL. Malheureusement le développement de ce laser aéroporté vient d'être stoppé. Désormais fonctionnel, le miroir laser Arms (*Aerospace Relay Mirror System*) sera utilisé comme banc d'essai pour un futur équipement embarquable avec des télescopes allégés pour tenir dans les 2 T de capacité d'emport du dirigeable HAA. Le placement d'un réflecteur laser dans la stratosphère permettrait de s'affranchir des turbulences et autres instabilités de la basse atmosphère qui nécessitent des compensations complexes au niveau du laser de puissance.

D'autres applications enfin ont des retombées plus évidentes encore dans le civil, comme des fonctions de relais de télécommunication ou de nœud du réseau *Global Information Grid* que les militaires américains développent dans le cadre de leur concept NCW d'opérations réseau centré.

Ces engins stratosphériques présentent des avantages certains par rapport aux avions et aux satellites pour la surveillance permanente d'une zone étendue et sans indices d'alerte apparents. Par rapport aux avions ou aux radars au sol, ils peuvent voir « plus loin », n'étant pas limités par l'horizon, et peuvent se maintenir à poste fixe sur des durées de plusieurs mois, voire plusieurs années. Par rapport aux satellites, leur coût est bien moins élevé, et ils offrent de plus la possibilité de redescendre au sol pour des opérations de maintenance, voire de ravitaillement.

Il reste néanmoins à régler la question de la tenue de position du dirigeable dans une couche de l'atmosphère où sévissent des vents excédant parfois les 150 km/h pendant plusieurs jours. Leur position est certes étudiée pour les placer au-dessus du jet-stream, à une altitude minimisant les profils de vent mais ces conditions météorologiques dimensionnent l'énergie devant être stockée, sachant que cette dernière varie avec le cube de la vitesse du vent même si la densité de l'air est inférieure d'un facteur 20 à celle au niveau du sol. Il faudrait, d'après le directeur de programme DARPA, des densités de stockage dix fois supérieures à celles des batteries actuelles les plus légères, ce qui plaide en faveur des piles à combustibles. Cela tendrait aussi à augmenter indéfiniment la taille du dirigeable qui est limitée, elle, par les questions de lancement et d'accostage qui sont également loin d'être réglées. La DARPA admet qu'il faut encore diviser par quatre la masse des enveloppes actuelles pour parvenir à intégrer dans ISIS une charge utile radar de 2 tonnes. Le projet reste d'actualité à la DARPA en 2012 bien qu'il ait eu un échec en 2010 dû à des vents de cisaillement à une altitude de 5 000 m.

Pour les dirigeables stratosphériques rigides, les problèmes essentiels qui restent à résoudre sont l'énergie embarquée et son stockage pour une longue durée de vol, de même que la connaissance fine des interactions entre les phénomènes aérologiques rencontrés entre 5 et 20 km d'altitude, la tenue des tissus aux UV et leur imperméabilité, l'étude de nouveaux matériaux pour les dirigeables sont des challenges à relever et les structures de dirigeables ne sont pas connues, alors qu'à ces altitudes il existe des scénarios et des missions intéressantes pour ce type de vecteurs.

C.- Russie

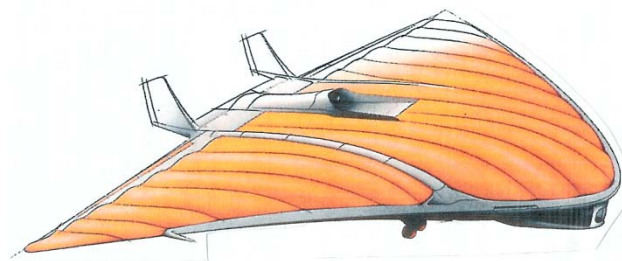
En Russie, il existe un nouveau concept d'aéronef hybride : avion + dirigeable. Des ingénieurs russes de l'Oural ont créé un nouveau concept de transport aérien hybride qui combine les technologies classiques des avions et des dirigeables. Ce nouvel appareil, nommé « BARS » par ses concepteurs, fonctionne principalement à l'hélium et peut atteindre une vitesse de croisière de l'ordre de 300 km/h. Le cœur de l'appareil est constitué d'une couronne toroïdale dans laquelle l'hélium injecté assure une poussée

verticale permettant de lever l'engin et de deux moteurs de vol entraînant le déplacement jusqu'à atteindre la vitesse de croisière. Ce nouveau concept présente un grand nombre d'avantages par rapport aux avions et aux dirigeables. D'une part il ne nécessite pas d'infrastructures particulières : pistes de décollage, hangars, tours d'amarrage (dirigeables). D'autre part, il s'avère bien plus rentable grâce à une consommation en carburant inférieure à celle des autres moyens de transports. Le prototype a déjà été testé en banc d'essai et en vol. Il dispose en Russie de toutes les autorisations officielles pour voler. Les ingénieurs russes travaillent actuellement sur la mise en place d'un partenariat public privé, impliquant de nombreuses entreprises russes dont le bureau central d'études « Progress » de Samara. Leur but est de financer des projets à grande échelle et de concevoir un dirigeable BARS très gros porteur capable de transporter jusqu'à 500 tonnes de fret. Ce nouveau porteur peut en effet s'avérer très utile pour le transport de fret ou de personnes en zones difficiles d'accès, l'aménagement du territoire, la gestion et l'exploitation des ressources naturelles, etc.

On n'a pas de photo de ce type de porteur nouveau chez les Russes.

D.- Allemagne

Dans sa « Vision 2020 », le centre de recherche aéronautique créé il y a quelques années, le *Bauhaus Luftfahrt* inspire EADS Allemagne en concepts innovants et présente aussi un concept de dirigeable hybride pour un transport plus flexible. Une vue d'artiste est donnée ci-après.



UN CONCEPT DE DIRIGEABLE HYBRIDE – BAUHAUS

Avantages : Plus économique – Rusticité – Endurance intéressante – Habités ou non habités – Plate-forme dimensionnée pour porter de lourdes charges utiles avec leur besoins en alimentation et en conditionnement : modularité ou simultanéité d'emport de charges utiles (EO, IR, Radar SAR, Télécommunications, relais satellitaire...) – Multifonctionnalités possibles – Intéressant dans un contexte tactique avec suprématie aérienne pour les militaires – Présente un caractère d'utilisation duale civil/militaire – Pas de risque de chute au-dessus de zones peuplées.

Inconvénients : Perte des connaissances sur le développement d'un tel engin. A combien se situe la valeur du ticket d'entrée pour recouvrer la connaissance ? – Plate-forme en cours de conception, de développement ou sous forme de démonstrateur – Limites saisonnières qui limiteraient leur utilisation militaire ou même une limitation

dans l'activité économique dans un cadre dual – Technologies non matures pour un dirigeable stratosphérique (niveau de maturité : TRL 2 ou 3 – pas de rassemblement des briques existantes dans les PME innovantes) – Problèmes énergétiques non résolus – Pour l'instant n'est pas une plate-forme tous temps – Comportements d'un dirigeable entre 5 et 20 km d'altitude non maîtrisés – Vulnérable aux tirs canons ou missiles air-air et sol-air si l'altitude est trop faible (< 5 000 m).

E.– Les technologies critiques pour les dirigeables

La liste des technologies critiques, telle que mentionnée par les spécialistes consultés, peut se résumer ainsi, sachant que les connaissances théoriques sur l'aérodynamique et thermique datent des années 1920 et que les technologies mises en œuvre pour les dirigeables actuels datent des années 1990 :

- ⇒ Aspects aérodynamiques et thermiques du dirigeable (CEA, ONERA) ;
- ⇒ Collecte et stockage de l'énergie à bord (le challenge de $1\,000\text{ W/dm}^3$, les Américains n'y arrivent pas encore) ;
- ⇒ Dimensions du véhicule pour transporter une charge utile intéressante ($50\,000\text{ m}^3$ pour 250 kg de charge utile) ;
- ⇒ Travaux sur les enveloppes pour éviter les fuites ;
- ⇒ Vieillesse des matériaux, recherche de matériaux nouveaux ;
- ⇒ Fabrication de ces engins.

Le dirigeable stratosphérique est actuellement hors de portée pour l'Europe, les Américains ont beaucoup de mal à mettre au point le programme ISIS. Les Français avec EADS Astrium et Thales Alenia Space s'essayeront à ce projet de dirigeable stratosphérique avec une application civile d'Internet de l'espace.

D'après les spécialistes, les problèmes de résistance de la structure aux vents cisailant ; de motorisation pour atteindre le point d'observation à 21 000 m (le ballon va dériver pendant une grande partie de la montée et de plus il n'existe que quelques « cheminées » pour lancer un dirigeable stratosphérique) ; de stabilisation en cap à faible vitesse (soleil et vents) sont également des éléments à défricher.

On n'insistera pas sur le fait qu'il ne semble pas exister de démarche « programme » systématique pour les ballons captifs et les dirigeables – analyse fonctionnelle, analyse de risques, feuille de route... – PEA pour se réappropriier les données théoriques perdues.

F.– Royaume-Uni

Pour ne pas être en reste, de leurs côtés « Northrop Grumman Corporation » et « Hybrid Air Vehicles Limited », entreprises britanniques, ont annoncé le succès total du premier vol du LEMV (*Long Endurance Multi-intelligence Vehicle*) de l'Army, le 7 août 2012. Le LEMV est destiné à mener des missions d'ISR (*Intelligence Surveillance Reconnaissance*) sur une durée de l'ordre de 21 jours, à une altitude avoisinant 22 000 pieds (6 700 m)¹¹ en emportant une charge utile de 1,25 tonne alimentée par une puissance de 16 kW pour une consommation d'environ 17 litres à l'heure.

¹¹ BISME n°222 – Période du 6 au 12 août 2012.

L'entreprise américaine a pris en charge l'architecture système qu'elle a laissée ouverte pour favoriser la flexibilité de l'engin, la modularité des charges utiles permettant de répondre à de multiples missions. Elle a également pris en charge la conduite du vol sans pilote et les installations au sol, compatibles avec la station de contrôle universelle de l'US Army.

Plusieurs différences caractérisent le LEMV par rapport aux dirigeables classiques. Tout d'abord, et c'est sans doute là la différence la plus significative, ce dirigeable est un hybride entre un avion et un ballon, un concept établi par Roger Munk, le fondateur de Hybrid Air Vehicles. En effet, la cellule a une forme d'aile, ce qui permet de produire une portance additionnelle à celle générée par l'hélium qui remplit la structure (à une pression légèrement supérieure à celle de l'atmosphère). M. Munk a conçu ces dirigeables avec une section elliptique et une forme longitudinale bombée. La structure en forme d'aile produit alors une poussée bien plus importante que celle des structures en forme de cigare des dirigeables classiques. Le dirigeable est également équipé de quatre propulseurs directionnels qui permettent de générer une poussée vectorielle et donc de contrôler finement l'altitude et l'angle de montée. Les versions lourdes futures posséderont des propulseurs suffisamment puissants pour autoriser un décollage vertical.

Ce nouveau concept, avec la combinaison de l'hélium, la forme d'aile et la poussée vectorielle, permet de transporter des charges plus lourdes, pour un même volume d'hélium donné, qu'un dirigeable classique qui ne peut compter que sur la poussée générée par l'hélium. De plus, les hybrides avion-dirigeable sont plus aisément contrôlables en cas de turbulences ou de vent important, ce qui leur permet par exemple de décoller même lors de vents de 75 km/h.

Il n'y a que très peu de structures rigides à l'intérieur du dirigeable. Une membrane supporte la forme tandis qu'un système de suspensions paraboliques en câbles en Kevlar maintient la charge utile et répartit les contraintes dans l'ensemble de la cellule.

Enfin, le LEMV dispose d'un système d'atterrissage gonflable pour pouvoir être utilisé et manœuvré au sol, même si le terrain ne dispose pas de surface égale, voire même sur l'eau (Figure 1). Le LEMV n'a ainsi pas besoin d'un nombre important de personnels au sol pour le sécuriser. Des ballonnets permettent de contrôler la pression ; lorsque le dirigeable s'élève, l'hélium se dilate et repousse l'air hors des ballonnets, quatre moteurs les regonflent lorsque le dirigeable redescend.

Les matériaux utilisés ont également évolué. La coque du LEMV est fabriquée à partir d'un matériau composite ultraléger de trois couches, soudées ensemble pour assurer solidité, résistance aux UV et aux intempéries, ainsi que pour garantir l'étanchéité. La charge utile est fixée au centre et en dessous du dirigeable et contiendra le poste de contrôle (pour les versions pilotées), les systèmes de contrôle de vol, ainsi que les réservoirs de carburant.

La société Hybrid Air Vehicles envisage de développer à terme toute une gamme de dirigeables de nouvelle génération dont des modèles lourds capables de soulever et transporter des charges de plusieurs dizaines de tonnes. Leur usage pourrait être aussi bien militaire (transport de matériel lourd, véhicules), que civil (fret aérien). Ainsi, l'étape suivante est de construire dans les prochaines années un engin pour Discovery Air, possiblement en 2014 ou 2015, capable de soulever 50 tonnes sur des distances de 4 000 km (capacités du même ordre de grandeur que celles des avions militaires de transport). Bien entendu, le dirigeable ne pourra pas rivaliser avec les avions en termes

de vitesse de croisière (maximum 200 km/h, au lieu de 800 km/h), mais il ne nécessite pas de pistes d'atterrissage et sa consommation est très inférieure. En effet, 60 % de la portance est générée par l'hélium.

Décollage vertical, économies massives de carburant et meilleure manœuvrabilité par vent important rendent cette nouvelle génération de dirigeables particulièrement attrayante pour un large éventail d'industries, autre que les militaires. Par exemple, Discovery Air envisage d'utiliser ces engins pour transporter du fret pour l'industrie minière vers les régions reculées de l'Arctique où il n'y a ni routes ni voies ferrées. De même, alors que l'exploitation des hydrocarbures se fait de plus en plus loin en mer ou dans des régions difficiles d'accès, le besoin d'engins capables de transporter des équipages et des charges lourdes dans des zones accidentées ou sur des plates-formes offshore ne peut que croître. C'est avec ce type d'utilisations qu'Hybrid Air Vehicles a dans ses cartons des plans pour développer des dirigeables encore plus puissants capables de soulever des charges de 200, voire 1 000 tonnes¹².

Figure 1 :
Un prototype de véhicule aérien hybride
Crédits : Royal Academy of Engineering



Parmi les autres projets en cours, on peut également citer en Europe le dirigeable géostationnaire britannique StratSat, conçu par ATG (*Advanced Technology Group*), qui par ailleurs a fourni un système de propulsion pour le programme japonais. StratSat est un dirigeable souple d'environ 200 m de long pour 48 m de diamètre qui pourra emporter 2 T de charge utile à 20 km d'altitude, avec une autonomie allant jusqu'à 5 ans. Pouvant se maintenir à poste avec une précision d'1 km³, il couvrira une surface au sol de 115 km de rayon. Un premier prototype de 50 m a déjà volé en 2004, faisant la démonstration de la stabilité et du système de propulsion.

¹² La renaissance des dirigeables – BE Electronique RU n° 116 du 2 août 2012.
<http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/70779.htm>.

Récapitulatif des concepts aéroportés possibles

On va dans ce chapitre faire un récapitulatif des différents concepts aériens à évaluer en termes de niveaux de performances face à un scénario tactique esquissé dans les chapitres précédents avant de dégager une solution qui semble la plus appropriée.

Considérations de scénarios

On va se focaliser sur les deux scénarios esquissés dans un paragraphe précédent :

- ➔ Un scénario tactique mais d'ampleur nationale puisqu'il s'agit de surveiller en permanence la façade maritime méditerranéenne ;
- ➔ Un scénario qui demande une couverture permanente au-dessus d'une vaste superficie (3 fois la France). Ce scénario que l'on juge limite pour la France toute seule compte tenu des moyens à mettre en œuvre se fera sous coalition européenne.

Le premier scénario opérationnel retenu consiste en la surveillance permanente de la façade méditerranéenne française, soit près de 900 km vers le sud.

Le second scénario consiste à surveiller une partie du Sahel, un pays comme trois fois la France avec des frontières perméables à tous genres de trafic et où siège un terrorisme actif avec des prises d'otages fréquentes. Il s'agirait pour la France, qui n'est pas seule dans cette mission, de surveiller au moins 5 zones géographiques situées sur un même théâtre (théâtre supposé lacunaire) ayant chacune une étendue de 100x100 km minimum (norme OTAN). Ce qui suppose au moins une dizaine de plates-formes aériennes traditionnelles avec les rotations et les transits.

Ce théâtre est suffisamment éloigné (entre 5 000 et 7 000 km de la métropole) pour nécessiter un appui et des infrastructures sur une base arrière. Quel que soit le concept aéroporté retenu, à cette distance du théâtre, il ne pourra pas accomplir l'intégralité de la mission depuis le territoire métropolitain sans mettre en cause le temps de présence sur zone de travail.

Pour chaque type de plate-forme, il faudra vérifier qu'elle peut accomplir sa mission de surveillance quelle que soit la phase du conflit. En effet, en phase préventive de la crise, en phase de coercition ou de stabilisation, on peut considérer que la maîtrise ou la suprématie dans la 3^{ème} dimension est acquise ou assurée et qu'il n'y pas d'espace aérien interdit à la navigation générale. Par contre, en phase coercitive si la maîtrise du ciel n'est pas assurée, on ne peut pas déployer un moyen aérien sans autodéfense ou sans assurer sa protection, en revanche on peut interdire l'espace aérien à tout mouvement non autorisé.

Les moyens aériens possibles

On pose le principe qu'un satellite sert utilement de capteur de surveillance ou de relais de transmission mais qu'il ne peut être qu'un moyen de surveillance initial et complémentaire à des capteurs aéroportés ou à un radar sol de détection longue portée. On rappelle ici les moyens aéroportés possibles :

- ⇒ un avion de combat ou de reconnaissance existant ;
- ⇒ un très gros porteur type AWACS ;
- ⇒ un avion d'affaire transformé, cargo léger ;
- ⇒ un drone HALE ;
- ⇒ un avion dronisé ;
- ⇒ un ballon ;
- ⇒ un dirigeable.

On ne s'est intéressé ici qu'au porteur. Les capteurs seront considérés déjà développés par ailleurs et dans la mesure du possible aptes à être montés sur plusieurs plates-formes différentes.

Avantages et inconvénients de chacun des moyens aériens

Les avions de combat

- Avantages et inconvénients du point de vue opérationnel

- ⇒ L'avion existe sur le parking ;
- ⇒ Vole facilement aux altitudes exigées pour une surveillance (> 45 000 ft) ;
- ⇒ Ravitaillable en vol, une certaine permanence en vol est assurée ;
- ⇒ Peut être utilisé dans toutes les phases d'un conflit ou d'une crise (prévention – coercition – stabilisation) ;
- ⇒ Les limites physiologiques d'un pilote sont atteintes au bout d'une dizaine d'heures ;
- ⇒ Vulnérabilité du pilote à bord qui représente une arme médiatique redoutable aux mains de l'adversaire, en cas de capture ;
- ⇒ Le coût à l'heure de vol d'un avion de combat ou de reconnaissance dédié est très élevé (> 5 000 € pour un mono réacteur, plus du double pour un biréacteur).

- Complexité du point de vue technologique

- ⇒ Un avion de combat « sur étagère » n'emporte exclusivement qu'un pod externe (emport, fourniture d'énergie et de conditionnement) ;
- ⇒ Développement d'un bidon adapté à sa charge utile ;
- ⇒ Demande un complément de développement pour intégrer complètement le pod et sa charge utile (développement logiciel, poutre d'emport, essais en vol...).

- Accessibilité technique ou technologique

En France :

- ⇒ Pas de difficulté majeure pour accéder à la technique ou aux technologies nécessaires pour intégrer mécaniquement ou dans un standard logiciel un pod de reconnaissance. La solution demande des délais de développement, de réalisation, d'intégration, d'essais mais est couramment pratiquée sur les avions d'armes.
- ⇒ La France a semble-t-il un léger retard dans le domaine optronique des matrices haute définition.

Les gros porteurs

- Avantages et inconvénients du point de vue opérationnel

- ⇒ Possibilité d'emmener plusieurs équipages, ravitaillable en vol, permanence en vol plus longue qu'un avion de combat ;
- ⇒ Temps de vol borné par les limites physiologiques des équipages ;
- ⇒ Rapide, manœuvrant, possibilité d'autoprotection ; multi moteurs ou réacteurs, travaille plus en retrait des menaces, vulnérabilité moindre mais cible de très haute valeur particulièrement appréciée par les chasseurs adverses ;
- ⇒ Vulnérabilité des équipages à bord ;
- ⇒ Altitude de vol opérationnelle très inférieure à 45 000 ft ce qui est prohibitif ;
- ⇒ Ne peut être utilisé que si la maîtrise du ciel est assurée ou avec des chasseurs d'escorte ;
- ⇒ Peut emmener toute l'intelligence à bord (humaine, traitement, diffusion) ;
- ⇒ Avion mono mission, offrant peu de flexibilité ;
- ⇒ Coûte très cher à l'heure de vol, sans parler des charges en personnels nécessaires pour armer les avions en équipages de spécialistes.

- Complexité du point de vue technologique

- ⇒ Sa taille, ses capacités de fourniture d'énergie et de conditionnement autorisent des charges utiles de l'ordre de 10 tonnes et donc toute une panoplie de capteurs ;
- ⇒ Directement issu d'une cellule avion de transport de passagers, il faudra seulement compter sur les délais de développement et d'intégration de la charge utile et de son environnement ;
- ⇒ Les AWACS existants dans le monde occidental sont dans leur grande majorité américains. Le système d'armes échappe aux acquéreurs occidentaux, de même que les évolutions majeures sont dictées par les utilisateurs américains et l'industriel Boeing.

- Accessibilité technique ou technologique

France :

- ⇒ Capable de développer seule le capteur et de l'intégrer dans un gros porteur type A3XX – Porteur qui existe en nombre très limité et destiné à l'usage gouvernemental ;

- ⇒ Dépendante de l'acceptation de Boeing dans le cas d'une intégration dans un C135 ou un AWACS or ce sont des avions vieillissants.

Les avions cargo légers reconvertis

- Avantages et inconvénients du point de vue opérationnel

- ⇒ Peut passer pour un avion transportant des passagers ou du fret si l'apparence extérieure n'est pas trop déformée par les têtes rayonnantes des capteurs ;
- ⇒ Excellente plate-forme performante, stable, spacieuse, en général non limitée par des problèmes d'énergie ;
- ⇒ Effet d'échelle favorable par rapport aux gros porteurs ;
- ⇒ Permanence en vol limitée par le personnel embarqué ;
- ⇒ Vulnérable des équipages à bord ;
- ⇒ Ne peut être utilisé que si la maîtrise du ciel est assurée ;
- ⇒ Peut emmener toute l'intelligence à bord (humaine, traitement, diffusion) ;
- ⇒ Avion mono mission, offrant peu de flexibilité sauf si les charges utiles sont « palettisables » ;
- ⇒ Coûte cher à l'heure de vol, sans parler des charges en personnels nécessaires pour armer ces équipages de spécialistes.

- Complexité du point de vue technologique

- ⇒ Sa taille, ses capacités de fourniture d'énergie et de conditionnement autorisent des charges utiles de masse supérieure à 1 tonne et jusqu'à 2 ou 3 tonnes et donc toute une panoplie de capteurs ;
- ⇒ Directement issu d'une cellule d'avion de transport de passagers ou de fret, il faudra seulement compter sur les délais de développement et d'intégration de la charge utile et de son environnement.

- Accessibilité technique ou technologique

En France :

- ⇒ Aucune difficulté à l'accès à ce type de moyen n'est identifiée. Au contraire, elle est plutôt exportatrice de ce type d'aéronef (cargos légers ou avions d'affaires transformés) et possède tous les ateliers industriels privés ou étatiques pour intégrer la charge utile.

Les drones HALE

- Avantages et inconvénients du point de vue opérationnel

- ⇒ Reste en vol pour donner au système la permanence souhaitée ;
- ⇒ Peut voler à des altitudes lui permettant d'être au-dessus de la mêlée pour faciliter la gestion de l'espace aérien et éviter la plus grande partie des menaces sol-air existantes ;

- ⇒ N'est pas capable de s'insérer dans la circulation aérienne et répondre aux normes de certification civile ;
- ⇒ Réagit de façon plus ou moins autonome à tout incident de vol ;
- ⇒ Reste suffisamment discret vis-à-vis de systèmes adverses de détection et d'interception ;
- ⇒ N'engage pas la vie d'un équipage ;
- ⇒ Coût à l'acquisition légèrement inférieur à celui d'un avion de combat de nouvelle génération, donc prohibitif dans l'état actuel des budgets de la défense. Coût à l'heure de vol et à l'entretien inférieur à celui d'un avion habité (? – ceci reste à démontrer avec la décision de prolonger les U2 au lieu de développer le standard Block 30 Global Hawk) ;
- ⇒ N'a pas encore démontré des fiabilités en vol équivalentes à celles d'un avion habité – Peut engager la vie des personnes au sol.

- Complexité du point de vue technologique

- ⇒ Complexité équivalente à celle de la réalisation d'un avion de combat (avec les équipements de survie du pilote en moins).

- Accessibilité technique ou technologique

- ⇒ Jusqu'à aujourd'hui, seuls les États-Unis possèdent un drone HALE opérationnel. Israël a en projet un tel concept. La France l'a abandonné non pas pour des raisons technologiques mais pour des raisons financières. L'OTAN vient de décider l'acquisition d'une capacité AGS (*Air Ground Surveillance*) avec l'achat de 5 Euro Hawk. La France cherche encore son mode de participation à cette nouvelle capacité.
- ⇒ Il faudra compter sur les délais de développement de ce nouveau vecteur qui peut bénéficier cependant des études et des démonstrateurs MALE et Neuron lancés. Coûts de conception et de développement élevés – Coût du ticket d'entrée ?
- ⇒ L'accessibilité technique ou technologique n'est pas un problème en soi pour l'Europe.

Les avions dronisés

- Avantages et inconvénients du point de vue opérationnel

- ⇒ Plate-forme, stable, rapide, bien motorisée, non limitée par des problèmes d'énergie ;
- ⇒ C'est un drone HALE avec l'intérêt d'accueillir un pilote à bord et de résoudre le problème de l'insertion en vol en circulation aérienne générale ;
- ⇒ Permanence en vol plus longue qu'un avion de combat mais les limites physiologiques du pilote seront les premières atteintes ;
- ⇒ Vulnérabilité du pilote à bord lors des transits, on peut « débarquer » le pilote pour des missions dangereuses ou ennuyeuses ;

- ⇒ Peut rester suffisamment discret vis-à-vis de systèmes adverses de détection et d'interception mais sera ne sera utilisé qu'avec la suprématie aérienne acquise ;
- ⇒ Si la cellule est issue d'une grande série d'avions d'affaires ou de cargo léger, le coût à l'acquisition sera assez vite amorti mais le coût à l'heure de vol et à l'entretien sera supérieur à celui d'un drone.

- Complexité du point de vue technologique

- ⇒ Peut emmener toute l'intelligence à bord (humaine, traitement, diffusion) ;
- ⇒ Plate-forme suffisamment spacieuse pour permettre l'installation de charges utiles de configuration et de poids variés avec la fourniture des servitudes nécessaires (énergie électrique, refroidissement, stabilisation des vibrations...) ;
- ⇒ Sa taille, ses capacités de fourniture d'énergie et de conditionnement autorisent des charges utiles de masse pouvant atteindre 800 kg voire 1 tonne, ce qui autorise toute une panoplie de capteurs ;
- ⇒ Avec l'utilisation d'une cellule avion non dédiée à ce genre de mission, il faudra seulement compter sur les délais de développement et d'intégration de la charge utile et de son environnement.

- Accessibilité technique ou technologique

En France :

- ⇒ Aucune difficulté à l'accès à ce type de moyen n'est identifiée.

Les ballons

- Avantages et inconvénients du point de vue opérationnel

- ⇒ Est présenté comme plus économique et rustique ;
- ⇒ Plus respectueux de l'environnement ;
- ⇒ Endurance intéressante mais portée des capteurs limitée par l'altitude¹³ ;
- ⇒ Plate-forme dimensionnée pour porter des charges EO, IR ou SAR avec leurs besoins en alimentation et en conditionnement – Simultanéité des charges si le ballon est suffisamment gros ;
- ⇒ Intéressant dans un contexte tactique avec suprématie aérienne ;
- ⇒ Empreinte logistique réduite au maximum – Un ballon peut tenir dans un conteneur de 8 m³ (mais la logistique américaine en Afghanistan demandait 11 personnes en continu) ;
- ⇒ Possibilité de rester 30 jours en l'air sans intervention humaine ;
- ⇒ Sensible à la météorologie. Mais un ballon à 150 m peut résister à des vents de 120 km/h sinon on peut le replier à l'aide d'un treuil automatique ;
- ⇒ Les données sont rapatriées vers un centre de traitement de données par l'intermédiaire du câble de retenue qui fournit également l'énergie ;

¹³ Portée en fonction de l'altitude du porteur : D en mn = $1,23\sqrt{h}$ exprimée en pieds. Ex : $1,23\sqrt{1000} = 39$ mn. A 1 000 pieds, l'horizon est à 39 milles nautiques.

⇒ Vulnérable aux tirs d'armes légères, canons ou missiles sol-air.

- Complexité du point de vue technologique

- ⇒ En France, peu ou pas de plate-forme à usage militaire. En cours de conception, développement ou sous forme de démonstrateur. Dans le milieu civil, ce type de plate-forme est utilisé pour les loisirs, la publicité, la photographie... ;
- ⇒ Technologies matures pour des ballons captifs limités à une altitude inférieure à 3 000 mètres.

- Accessibilité technique ou technologique

- ⇒ La fourniture de l'énergie nécessaire à son maintien à poste au-dessus d'une zone peut être limitée par les capacités du câble de transport et de rétention – Autonomie des moyens sol pour fournir l'énergie ;
- ⇒ Pas de problème majeur de mise en œuvre et d'entretien sauf que 900 m³ d'hélium, c'est déjà très lourd à supporter en Métropole et *a fortiori* en projection (producteurs essentiels : États-Unis – Kazakhstan – Russie – Algérie)¹⁴.

Les dirigeables

- Avantages et inconvénients du point de vue opérationnel

- ⇒ Est présenté comme plus économique et plus respectueux de l'environnement (cette demande va prendre de plus en plus d'importance dans les développements futurs d'équipements) ;
- ⇒ Endurance intéressante ; peuvent être habités ou non habités ;
- ⇒ Règlementation favorable ;
- ⇒ Plate-forme dimensionnée pour porter de lourdes charges utiles avec leurs besoins en alimentation et en conditionnement ;
- ⇒ Intéressant dans un contexte tactique avec suprématie aérienne ;
- ⇒ N'est pas encore tous temps (seule la solution dirigeable rigide est tous temps mais fragilité de la structure à partir de 5 à 7 000 m) ;
- ⇒ Vulnérable aux tirs canons ou missiles air-air et sol-air sauf s'il est stratosphérique ;
- ⇒ Une tour de veille à 21 km d'altitude et au sol un radar de poursuite et de confirmation des pistes est un concept intéressant en achetant le service (pas de mise en œuvre par des personnels des armées) ;
- ⇒ Pas de demande formalisée (le dirigeable reste un choix stratégique qui reste à faire) donc pas de démarche globale et construite.

- Complexité du point de vue technologique

- ⇒ Plate-forme en cours de conception, développement ou sous forme de démonstrateur par des « passionnés » ;

¹⁴ Pour un aérostat, le plus important est le coût de la charge d'hélium, à 10 €/le m³, la charge d'un 900 m³ reviendrait à 9 000 €

- ⇒ Méconnaissance de l'environnement et de la fabrication. Les technologies sur la structure et l'enveloppe sont à approfondir ;
- ⇒ Technologies non matures pour un dirigeable stratosphérique. Il reste à se réappropriier l'altitude.

- Accessibilité technique ou technologique

- ⇒ Les réactions d'un dirigeable face à une turbulence, les effets de sol ou par vent cisailant restent encore dans le domaine des hypothèses qu'il faut lever ;
- ⇒ On ne s'est pas posé la question et encore moins résolu le problème d'un profil de vent qui se déplace d'un seul bloc. Des simulations et des essais en tunnel dans l'axe mais aussi par vents de travers n'existent pas ;
- ⇒ Les dirigeables posent des problèmes identiques à ceux des sous-marins et les effets hydrodynamiques sont applicables à l'aérodynamique mais il existe des points non communs ;
- ⇒ L'accession à la motorisation capable de contrer des vents violents dans la couche stratosphérique durant une longue période va demander encore quelques années ;
- ⇒ La fourniture de l'énergie nécessaire à son maintien à poste au-dessus d'une zone pose également un problème énorme à résoudre ;
- ⇒ Il faut arriver également à obtenir pour ses sous-ensembles d'alimentation une puissance électrique par unité de masse nettement supérieure à la densité moyenne obtenue aujourd'hui ;
- ⇒ Les transferts de gaz pour le lestage/délestage ne sont pas encore totalement maîtrisés, d'après les spécialistes ;
- ⇒ En présence d'une enveloppe rigide de dirigeable, les phénomènes d'aérodynamique pour traverser les couches entre 5 000 et 21 000 mètres ne sont pas suffisamment connus.

Étude de scénarios opérationnels

On a retenu, on le rappelle, deux scénarios tactiques, tout à fait plausibles :

- ➔ Le premier d'ampleur nationale puisqu'il s'agit de surveiller en permanence la façade maritime méditerranéenne, soit environ 900 km, vers le sud. La situation s'est brusquement tendue dans tout l'arc maghrébin après une poussée islamiste. Les milices armées échappent à tout contrôle étatique et s'affrontent violemment. Le flux migratoire de population déplacée ou fuyant les affrontements s'est brusquement accéléré. On craint que des commandos armés et déterminés à porter le combat en France se soient glissés dans ce flux de personnes désemparées.
- ➔ Le second qui demande une couverture permanente au-dessus d'une vaste superficie (3 fois la France) est une surveillance permanente menée en coalition.

Dans ce scénario, pour chaque type de plate-forme, il faudra vérifier qu'elle peut accomplir sa mission de surveillance quelle que soit la phase du conflit. En effet, en phase préventive de la crise, en phase de coercition ou de stabilisation, on peut considérer que la maîtrise ou la suprématie dans la 3^{ème} dimension est acquise ou assurée et qu'il n'y pas d'espace aérien interdit à la navigation générale. Si la maîtrise du ciel n'est pas assurée on ne peut pas déployer un moyen aérien sans autodéfense ou sans assurer sa protection.

Scénario « surveillance des côtes méditerranéennes »

Le premier scénario s'adresse aux menaces de trafic de toutes sortes : immigration clandestine, trafic de drogue ou de matières illicites, trafic d'êtres humains, la menace peut revêtir également un caractère terroriste par infiltration de commandos armés et déterminés. Il s'agit en fait de détecter à distance respectable tout bâtiment ou embarcation susceptible de nuire à la souveraineté nationale ou à ses intérêts majeurs ou économiques. Ces embarcations sont en général légères, présentant une surface équivalente radar faible et donc difficilement détectables. Elles peuvent être, par contre, puissamment motorisées d'où la nécessité de voir et de détecter de loin afin d'identifier le plus vite possible et mettre en œuvre la riposte adéquate.

Sur la mer depuis les côtes de la Métropole jusqu'en haute mer, l'État dispose d'un représentant unique, le préfet maritime, garant du respect de la souveraineté et de la défense des intérêts du pays. Il veille notamment au maintien de l'ordre public et à une utilisation juste et harmonieuse des richesses de la mer. En droit, le territoire français s'arrête à 12 milles marins (environ 22 kilomètres) des côtes ou des îles, mais les intérêts de la France vont bien au-delà. La plupart des activités maritimes, le commerce, la pêche, l'exploitation des fonds marins entre autres se déroulent en haute mer, tout comme nombre d'activités et de trafics illicites. La France entend exercer en mer, par les préfets maritimes, toutes les compétences que reconnaît aux États littoraux le droit international. Le préfet maritime de la Méditerranée exerce ses fonctions depuis Toulon.

L'implantation et la répartition actuelle des sémaphores le long du littoral permettent de disposer d'une couverture radar continue tout au long du littoral métropolitain. Face aux nouvelles menaces (terrorisme, trafics illicites de migrants, de drogues, d'armes), la

Marine a modernisé son dispositif de sémaphores pour en faire un réseau moderne doté de moyens d'échanges de données performants, interopérable avec les autres administrations participant à l'action de l'État en mer. La chaîne des 59 sémaphores a repris une place importante dans le dispositif de surveillance des côtes pour assurer une veille littorale permanente. Parallèlement, le développement du programme Spationav de surveillance radar permettra à terme de disposer, en temps réel, d'une synthèse de la situation dans les approches maritimes. Actuellement les sémaphores, de plus en plus automatisés, sont armés par du personnel militaire et des réservistes en renfort occasionnel au sein de Formations opérationnelles de Surveillance et d'Information Territoriale (FOSIT).

La surveillance côtière est complétée par la présence d'un bâtiment opérant au profit du Préfet maritime. La présence de patrouilleurs de service public complète ce dispositif. Une mission aérienne est assurée quotidiennement par des avions marine (N262, ATL2, F50M), mission complétée par les moyens des douanes. Des actions ponctuelles, sur renseignement, permettent de déployer un dispositif d'importance incluant un Awacs de l'armée de l'Air.

Cette surveillance côtière permanente présente cependant des trous dans les mailles du filet. Elle pourrait être avantageusement complétée par l'adjonction d'un certain nombre de ballons captifs reliés aux sémaphores qui offrent déjà l'implantation patrimoniale, la surveillance et l'énergie nécessaire aux capteurs.

Il existe 19 sémaphores répartis autour des côtes méditerranéennes françaises depuis Port-Vendres jusqu'au Cap Ferrat et 7 sont situés sur les côtes de la Corse. Les côtes africaines sont situées à près de 800 km de Toulon et à moins de 600 km de Bonifacio. Lorsqu'on pose la formule de la visibilité maximum compte tenu de la rotondité de la Terre, on a $D_{mn} = 1,23\sqrt{h_{ft}}$, h étant l'altitude de l'observant exprimée en pieds et on considèrera, en première approximation, que l'observé est au ras de l'eau, donc altitude zéro.

Pour qu'un ballon captif « voit » à 800 km, soit à 500 MN, il faut le placer à une altitude de 55 km, ce qui est impossible dans l'état de l'art actuellement. Un ballon captif situé à Bonifacio, soit à 600 km des côtes africaines, devrait être placé à 31 km d'altitude ce qui est encore prohibitif. Par contre, les renseignements issus d'un ballon captif placé au Cap Teulada en Sardaigne, près de Cagliari, à 10 000 ft, seraient intéressants. Un ballon déployé à cette altitude ne représente pas de grande difficulté, ce qui donne une distance de détection au ras de l'eau de 123 MN, soit près de 200 km. Distance de détection équivalente à celle d'un Hawkeye de la Marine mais moitié moindre que celle d'un Awacs. Si on plaçait 3 ballons captifs à 3 000 m dans les sémaphores de Port-Vendres, Toulon et Cap Ferrat, avec un radar avec un balayage de 120°, on aurait déjà une bonne couverture permanente et moins coûteuse qu'un avion en vol (Hawkeye, Awacs, ATL2, Falcon 50M...), comme on pourra l'entrevoir dans le paragraphe suivant sur le coût/efficacité.

Actuellement le programme SPATIONAV fédère les principaux acteurs nationaux concernés par la sécurité et établit un véritable réseau de recueil et d'échange d'informations maritimes à partir des sémaphores et des Centre Régionaux Opérationnels de Sécurité et de Sauvetage (CROSS). Il étend ce réseau du littoral vers le large en l'ouvrant à l'ensemble des moyens aériens et nautiques et est capable d'intégrer de nouveaux capteurs et en particulier ceux portés par les ballons captifs, tournés vers le

large, qui ne doivent pas différer dans leurs fonctions de ceux déjà installés dans les sémaphores. Système ouvert qui n'impose pas de moyens navals ou aériens particuliers, SPATIONAV est donné pour s'adapter aux différentes organisations nationales et offrir ainsi une voie de coopération aisée à tous les pays européens qui partagent avec la France une exigence de sécurité accrue vis-à-vis des risques provenant de la mer.

En fait, il s'agit de réaliser une chaîne sémaphorique avec des tours de veille en moyenne altitude, s'adossant aux emplacements existants, y compris espagnols et italiens, mais certainement moins nombreux qu'à terre compte tenu de l'altitude des ballons. L'idéal serait, bien entendu, de placer un ballon captif au Cap Teulada en Sardaigne, à 200 km des côtes africaines et dans les Iles Baléares qui sont situées à 300 km de l'Afrique du Nord (Ibiza).

Scénario « surveillance d'un territoire étendu »

Le second scénario consiste à surveiller une partie du Sahel, un pays étendu comme trois fois la France avec des frontières perméables à tous genres de trafic, où siège un terrorisme actif responsable de fréquentes prises d'otages. Il s'agirait pour la France, qui n'est pas seule dans cette mission, de surveiller au moins 5 zones géographiques situées sur un même théâtre (théâtre supposé lacunaire) ayant chacune une étendue de 100x100 km minimum (norme OTAN). Ce qui suppose au moins une dizaine de plates-formes aériennes traditionnelles avec les rotations et les transits.

Ce théâtre est suffisamment éloigné (entre 5 000 et 7 000 km de la métropole) pour nécessiter un appui et des infrastructures sur une base arrière. Quel que soit le moyen de surveillance aéroporté retenu, à cette distance du théâtre, il ne pourra pas accomplir l'intégralité de la mission depuis le territoire métropolitain sans mettre en cause le temps de présence sur zone de travail.

Les avions de reconnaissance légers des forces spéciales, les ATL2 de la Marine nationale et vraisemblablement au moins un drone américain Predator sont actuellement en train de préparer le terrain aux troupes de la Cédéao (Communauté Economique des États de l'Afrique de l'Ouest) en surveillant les déplacements des affiliés d'Al-Qaida au Maghreb Islamique (Aqmi) et ceux des Touaregs dans la partie nord-est sécessionniste. La situation est difficile car la partie sud du pays n'est pas stabilisée, on est en présence d'un « État failli ». L'Algérie, puissance régionale, voit d'un mauvais œil la résolution de soutien à une force militaire d'intervention au Mali, adoptée récemment à l'ONU, même si ces troupes étaient africaines. Le territoire malien à surveiller couvre à peu près deux fois la France mais il faut compter que la zone d'activité d'Aqmi et de peuplement touareg couvre un espace beaucoup plus vaste. Il englobe le sud de l'Algérie jusqu'en Libye, l'ouest du Niger, le nord du Burkina Faso, le nord-est du Sénégal et tout l'est de la Mauritanie. Des menaces peuvent donc provenir de cette zone élargie et empêchent un déploiement logistique d'importance. Le point d'appui le plus proche et le plus sûr est Dakar à 1 200 km de la frontière séparant les « deux » Mali. On peut compter également sur l'aérodrome de Niamey, Niger, à 400 km de la ville de Gao. Compte tenu du contexte géostratégique et des distances à parcourir, on conçoit aisément que les avions de reconnaissance et même les drones à longue endurance n'aient qu'une présence sur zone opérationnelle très limitée alors que leur potentiel de vol doit très rapidement s'épuiser (c'est le cas en particulier des ATL2 actuellement) et avec un vieillissement accéléré. Il faut rappeler que la zone à surveiller est en majeure partie désertique avec des plateaux pierreux, seule la vallée du Niger comprend des zones

cultivées. Les villes de Tombouctou, de Gao et de Quidal sont aux mains des islamistes. C'est sur ces villes que doit porter l'effort de renseignement, tout en surveillant les points d'eau et les carrefours de pistes, lieux privilégiés de regroupement et de passage des caravanes ou des 4x4 armés.

Dans ce scénario particulier dans lequel les signaux électromagnétiques sont extrêmement rares et faibles, dispersés et évanescents, il est très difficile pour un capteur mobile aérien de détecter une activité quelconque, exploitable et intéressante. On assiste dans ce cas au syndrome de la « sentinelle du désert », il peut ne rien se passer pendant 23 heures 40 de la journée et brusquement une activité terroriste se déploie pendant les 20 minutes restantes. Dans ce cas, la mise en place de ballons captifs, assurant la permanence de veille et demandant une empreinte logistique au sol réduite, peut être envisagée utilement. La zone au sol doit bien sûr être sécurisée pour éviter toute attaque ou prise d'otages. Les zones les plus appropriées pour cette fonction de surveillance sont la frontière de partition nord-sud du Mali lui-même, elle se situe à environ 300 km de Bamako, la frontière nord du Burkina Faso est à moins de 150 km de Gao, les deux villes qu'il faudrait reconquérir en premier pour ensuite pacifier l'ensemble du territoire. Deux ballons captifs à 3 000 m d'altitude pourraient détecter tous les mouvements d'éléments légers à 200 km en profondeur en offrant la permanence de la surveillance. Deux autres ballons pourraient être localisés à Kandadji, où il y a une centrale hydro-électrique, près de la frontière nord au Niger et à la frontière nord-est de la Maurétanie, pour surveiller une zone désertique et un grand plateau pierreux où on soupçonne la présence d'une partie des otages français.

On pourrait avantageusement utiliser des dirigeables, l'empreinte au sol sur territoire menaçant serait alors nulle. Ils pourraient décoller d'endroits réputés sûrs et survoler une zone où la menace sol-air est quasi inexistante. La tenue de ces engins en atmosphère très chaude et par vents violents est à considérer.

Conclusions

Ces deux exemples de scénarios peuvent se décliner et s'appliquer à des situations critiques ou demandant de la surveillance permanente. Les théâtres actuels pourraient se trouver sur la Corne de l'Afrique, pour surveiller la piraterie au large du Golfe d'Aden avec comme point d'appui Djibouti ou encore dans les EAU à Dubaï pour surveiller le Golfe d'Oman. Quant à la surveillance de grands espaces désertiques, elle tendra à se développer tant la prise d'otages par des groupes mafieux ou islamistes est devenue monnaie courante. Cette surveillance permanente d'une zone très étendue peut également s'appliquer à l'alerte avancée pour la détection de missiles balistiques ou de théâtre.

Dans tous ces cas de figures, ce qui en ressort principalement est un besoin de permanence de la surveillance, doublée d'une bonne capacité d'identification et de transmission de données exploitables facilement et rapidement. Les moyens aériens disponibles sont nombreux : chasseurs de reconnaissance (F1CR, Rafale, 2000D), avions lourds de surveillance (Awacs, Hawkeye, ATL2, Transall Gabriel), avions légers de surveillance (CASA, PC6, avions de la gendarmerie et des douanes et des forces spéciales). Tous ces moyens présentent l'inconvénient de ne pas rester longtemps en vol, leur entretien coûte cher et leur vieillissement en opérations est rapide. En appliquant une démarche coût / efficacité au paragraphe suivant, on va tenter de démontrer que dans certains cas l'utilisation de ballons captifs ou de dirigeables peut-être une solution envisageable à

moins coûteux et en tous les cas un complément qui peut s'avérer utile à l'efficacité du dispositif.

Application de la démarche coûts

Exemple d'application pour quatre types de plates-formes aéronautiques

On propose de se cantonner aux segments : avions cargo légers – drones – ballons captifs et dirigeables, segments retenus pour la surveillance à partir de la troisième dimension. Les moyens de surveillance de type satellite – avions de combat ou de reconnaissance – cargos lourds dédiés au recueil du renseignement ne peuvent supporter la comparaison de coûts avec les ballons ou dirigeables. Les drones sont des matériels tout à fait nouveaux dans la panoplie de surveillance auxquels se sont ajoutés très récemment les ballons captifs et les dirigeables.

Présentation de la démarche coûts/efficacité

Par rapport aux scénarios opérationnels de surveillance, on a envisagé plusieurs modèles simplifiés de développement, d'acquisition et soutien par rapport à la voie patrimoniale traditionnelle :

- ⇒ Acquisition d'une plate-forme unique et ajout de modules différents adaptés aux contextes d'engagement (plus ou moins de surface de terrain à surveiller, besoin de plus ou moins de protection, type et puissance des capteurs à embarquer...)
- ⇒ Achat sur étagère avec l'impact sur l'industrie et le niveau de souveraineté, achat d'équipements pour une OPEX ;
- ⇒ Réalisation – au moins pour une partie –, des matériels dans des usines délocalisées (pays à la main d'œuvre moins onéreuse) ; les systèmes et leur intégration restant du domaine de souveraineté ou de partage européen ;
- ⇒ Externalisation de prestations plus développée ;
- ⇒ Accentuation de la dualité civile/militaire pour trouver des partenariats sur certains matériels avec d'autres ministères par exemple ;
- ⇒ Double dotation et mixité de flottes (avions, drones, ballons) ;
- ⇒ Homogénéisation des parcs.

A partir de ces voies complémentaires, on va appliquer les propositions de décomposition des coûts par grand chapitre, avec pour but de dégager des ordres de grandeur de chiffrage des économies potentielles. Il s'agit donc essentiellement de déterminer s'il convient de continuer dans la voie traditionnelle (commander puis opérer des matériels polyvalents et modulaires) ou de revenir à des systèmes plus spécifiques, plus différenciés (« segmentés », dédiés).

On rappelle le contenu des coûts d'acquisition, de soutien et des coûts d'exploitation :

- ➔ Le coût d'acquisition :
 - ⇒ acquisition des systèmes d'armes nouveaux et matériels associés ;
 - ⇒ achat de prestations d'étude, de développement et d'essais ;

- ⇒ acquisition des moyens de formation et d'entraînement (infrastructures spécifiques, systèmes de simulation...).
- ➔ Le coût de maintenance :
 - ⇒ coût des prestations de « MCO » externalisées ;
 - ⇒ coût d'intervention des Structures Intégrées ;
 - ⇒ coût d'intervention de la maîtrise d'œuvre étatique.
- ➔ Le coût d'utilisation :
 - ⇒ consommation en carburant et munitions ;
 - ⇒ coût d'intervention des équipages.
- ➔ Le coût des évolutions :
 - ⇒ modifications demandées par les États-majors d'armée ou des obsolescences à remplacer.
- ➔ Le coût de formation :
 - ⇒ ce coût peut être réparti entre les coûts de maintenance (personnels techniques) et d'utilisation (équipages).

Cette grille de coûts sera appliquée à toutes les plates-formes concernées par cette surveillance.

Mode de lecture des tableaux : on prend la voie traditionnelle de développement, d'acquisition et de soutien (base 10) comme référence et on applique de façon très subjective, en absence de données concrètes, une échelle de valeur logarithmique : 1 (si ça semble plus avantageux), 100 (si ça semble revenir plus cher).

Les avions cargo légers

On va prendre l'exemple du CASA 235 ou 295, avions de transport légers qui ont été adaptés à la mission reconnaissance, surveillance maritime (8 C.295 pour Oman) et même en plate-forme de guerre électronique AEW.

On constate que la polyvalence du vecteur est recherchée puisque la nouvelle flotte de CASA a une capacité de transport renforcée et peut assumer des missions de surveillance maritime et de renseignement. Mais il est cependant peu vraisemblable que le porteur puisse à la fois remplir les fonctions de surveillance et de ravitailleur logistique.

VOIES ENVISAGEABLES	COUT D'ACQUISITION	COUT DE MAINTENANCE	COUT D'UTILISATION	COUT DES EVOLUTIONS	COUT DE FORMATION
Traditionnelle	10	10	10	10	10

En fait ici, la voie traditionnelle est d'acheter sur étagère des CASA, ou des Twin Otter ou des PC6 suivant les utilisateurs. En général il s'agit de la plate-forme et l'intégration des évolutions du système de navigation, des capteurs de surveillance se fait en France. Il faut éviter comme pour le SDCA d'acquérir la plate-forme et le système d'armes avec leurs évolutions aux États-Unis car l'indépendance est fortement contrainte. A terme cette flotte sera réduite à 27 plates-formes et vraisemblablement une partie pourrait être modifiée et « câblée » pour la mission de surveillance. Cette voie traditionnelle est notée 10, prise comme base.

VOIES ENVISAGEABLES	COUT D'ACQUISITION	COUT DE MAINTENANCE	COUT D'UTILISATION	COUT DES EVOLUTIONS	COUT DE FORMATION
Acquisition d'une plate-forme unique et ajout de modules différents adaptés	100	10	10	1	10
Compte tenu du faible nombre d'avions de la flotte envisagée, la plate-forme est unique et permet en général le rajout de fonctions particulières (console C2 de commandement et de contrôle en l'air, capteurs de surveillance avancés, éventuellement plancher renforcé pour transporter des charges lourdes, possibilité d'équipement en EVASAN...). Cela permet plus de polyvalence (transport de charges) et plus d'adaptations à la demande. Elle peut coûter plus cher en conception mais les évolutions seront plus faciles par simple ajout de modules. D'autre part, le coût unitaire diminue avec l'allongement des chaînes de production. C'est la solution préconisée pour ce type d'aéronefs. La mission de surveillance étant spécifique, il est vraisemblable que la plate-forme sera dédiée à la mission de surveillance, ce qui n'empêchera pas la diversification des capteurs éventuellement.					
Achat sur étagère	1	10	10	100	10
C'est le cas pour les avions spéciaux (SDCA, Hawkeye), en particulier de surveillance. Acquisition moins chère (mais tout est relatif), les modifications, leur rythme et les coûts risquent d'être imposés. Un refus de modernisation ou de standard plus évolué, décidé par les États-Unis par exemple, entraîne une obsolescence rapide du matériel ou une exclusion de la coalition faute d'interopérabilité. Perte d'indépendance nationale sur les systèmes d'armes (radar de l'AWACS en particulier) ou des capteurs dédiés à la surveillance électro-optique ou infrarouge.					
Réalisation, en usines délocalisées	1	10	10	10	10
Le seul intérêt réside dans le coût d'acquisition au détriment de la main d'œuvre locale spécialisée qui risque de disparaître avec son savoir-faire unique. Pour un cargo léger, la qualité de la main d'œuvre étatique ou privée en France milite pour un équipement en capteurs, en national.					
Externalisation	10	10	10	10	1
La conception, le développement, la réalisation, l'entretien type industriel d'un avion ravitailleur ou spécial sont déjà totalement externalisés soit en national, soit aux États-Unis, soit en Europe. Externaliser les niveaux de mise en œuvre et d'entretien opérationnels reviendrait à externaliser des cœurs de métiers. Difficilement concevable.					
Dualité civil/militaire	1	1	1	1	1
Ce type de dualité est d'ores et déjà envisagé pour la plate-forme des avions ravitailleurs, spéciaux ou cargo. Les capteurs de surveillance seront dédiés et adaptés à la mission.					
Stockage longue durée	S.O	S.O	S.O	S.O	S.O
La flotte sera certainement étudiée au plus juste des besoins. Le stockage longue durée quoique concevable semble ici sans objet.					
Double dotation	S.O	S.O	S.O	S.O	S.O
Il n'est pas concevable pour une flotte en petit nombre et avec une mission particulièrement dédiée, d'envisager la multiplication des dotations. Les micro parcs sont extrêmement difficiles à maintenir en condition opérationnelle et reviennent très chers en coûts de maintenance.					
Homogénéisation des parcs	10	1	1	10	1
L'homogénéisation des parcs profite essentiellement à la maintenance et à l'utilisation, de même que les coûts de formation ne sont plus dédiés qu'à un seul type d'avion. A rechercher absolument pour les micro parcs.					

Les drones

On va appliquer ce type d'analyse sur le segment « drones » HALE ou MALE et voir si on aboutit dans l'état actuel de la diversité des offres à l'intérêt d'un achat sur étagère de la plate-forme avec maintien de compétences nationales pour intégrer dans le système bord et sol des capacités particulières dans les charges utiles (optique, IR, radar, liaisons satellitaires et interopérabilité des systèmes...).

VOIES ENVISAGEABLES	COUT D'ACQUISITION	COUT DE MAINTENANCE	COUT D'UTILISATION	COUT DES EVOLUTIONS	COUT DE FORMATION
Traditionnelle	10	10	10	10	10
Valeur 10 prise comme base.					
Acquisition d'une plate-forme unique et ajout de modules différents adaptés	100	10	100	1	10
Comme pour un vecteur habité, on pense qu'à l'acquisition, la plate-forme permettant d'être plus polyvalente et plus adaptative coûtera plus cher en conception mais que les évolutions seront plus faciles par simple ajout de modules adaptés pour arriver au concept « <i>plug and fight</i> ». C'est cette solution qui est préconisée pour un drone qui veut rester à prédominance ISTAR.					
Achat sur étagère	1	10	100	100	10
Acquisition moins chère (mais tout est relatif), les modifications, leur rythme et les coûts risquent d'être imposés. Un refus de modernisation ou de standard plus évolué entraîne une obsolescence rapide du matériel ou une exclusion faute d'interopérabilité avec ce type de matériel. Perte d'indépendance nationale incontestable dans le domaine des capteurs, des liaisons satellitaires et de leur interopérabilité, domaines réputés stratégiques.					
Réalisation en usines délocalisées	1	100	100	10	10
Le seul intérêt réside dans le coût d'acquisition au détriment de la main d'œuvre locale spécialisée qui risque de disparaître avec son savoir-faire unique. La maintenance risque d'être à 100 car on aura des problèmes de chaînes d'approvisionnement, qui vont se faire sentir ensuite pour les rechanges.					
Externalisation	1	100	100	1	1
Voie qui peut être envisagée, surtout si la conception et le développement se font avec un pays tiers. La conception, le développement, la réalisation, l'entretien type industriel d'une plate-forme aérienne sont déjà totalement externalisés en France. Externaliser les niveaux de mise en œuvre et d'entretien opérationnels reviendrait à externaliser des cœurs de métiers. Coût d'utilisation (voire de maintenance) à 100 car il faudra payer de l'amortissement.					
Dualité civile/militaire	1	1	100	10	10
Cette dualité est vivement encouragée pour un drone persistant dans sa fonctionnalité ISTAR. La plate-forme et certains capteurs EO, IR ou SAR peuvent être identiques dans une utilisation civile et militaire. L'acquisition de systèmes partiellement « duaux » pourrait être accompagnée du développement d'un cursus de formation initiale (pour les opérateurs comme pour les maintenanciers) en interministériel (pompiers, forces de police, sécurité civile...). Mais une autre étude tendrait à prouver que les militaires ont plutôt besoins de drones de masse importante pour la permanence en vol alors que les autres ministères se contenteraient de drones de masse inférieure à 150 kg. Une autre formule pourrait être de partager l'acquisition ou la location des simulateurs.					

VOIES ENVISAGEABLES	COUT D'ACQUISITION	COUT DE MAINTENANCE	COUT D'UTILISATION	COUT DES EVOLUTIONS	COUT DE FORMATION
Stockage longue durée	10	1	10	10	10

En usage normal, il n'y aura pas besoin d'un parc étendu de machines pour entraîner les pilotes et opérateurs de drones. En stockant en longue durée un certain nombre d'aéronefs du parc on économise sur les coûts de maintenance et d'entretien, sur les coûts d'utilisation. Cette option peut accompagner la plate-forme unique facilement adaptable. Il faut évaluer l'impact sur le coût d'utilisation le jour où on veut remonter en puissance.

Double dotation*	100	100	100	100	100
-------------------------	-----	-----	-----	-----	-----

* On a envisagé cette option bien que tous les chiffres soient à 100 pour bien montrer que cette double dotation n'était pas intéressante à envisager sinon à faire baisser les coûts d'acquisition et d'utilisation.

On peut raisonner ici dans le cadre de la double dotation « avions pilotés » / « drones » (Concept qui commence à être mis en œuvre dans des escadrons d'hélicoptères américains). La double dotation demande l'acquisition et l'entretien de deux parcs totalement différents¹⁵ donc des coûts multipliés par deux dans toutes les rubriques. Mais réduire la cible de la flotte « sophistiquée » (avions cargo pilotés ou hélicoptères) par rapport à une flotte plus « rustique » (drones) peut faire baisser les coûts d'acquisition et d'utilisation puisque la flotte rustique coûtera moins cher en termes de carburant, RCS...

Homogénéisation des parcs	100	1	100	10	1
----------------------------------	-----	---	-----	----	---

L'homogénéisation des parcs profite essentiellement à la maintenance et à l'utilisation, de même que les coûts de formation ne sont plus dédiés qu'à un seul type d'aéronef. Cette option accompagne obligatoirement celle d'une plate-forme unique facilement adaptable aux nouveaux besoins (y compris l'armement) et avec un impact sur le coût d'acquisition. Compte tenu de la faiblesse en nombre du parc de drones, cette solution est obligatoire et est de fait acquise.

Les ballons captifs et les dirigeables

VOIES ENVISAGEABLES	COUT D'ACQUISITION	COUT DE MAINTENANCE	COUT D'UTILISATION	COUT DES EVOLUTIONS	COUT DE FORMATION
Traditionnelle	10	10	10	10	10

Valeur 10 prise comme base.

Acquisition d'une plate-forme unique et ajout de modules différents adaptés	100	10	100	1	10
--	-----	----	-----	---	----

Comme pour un vecteur habité, on pense qu'à l'acquisition, la plate-forme permettant d'être plus polyvalente et plus adaptative coûtera plus cher en conception mais que les évolutions seront plus faciles par simple ajout de modules adaptés pour arriver au concept « *plug and fight* ». C'est cette solution qui est préconisée pour un ballon ou un dirigeable qui veut rester à prédominance ISTAR. On met *a priori* un coût d'utilisation plus élevé que pour un moyen aéroporté habité car la permanence en vol devrait avoir pour conséquence de multiplier les équipes d'exploitation des données au sol.

¹⁵ Ce n'est pas forcément toujours exact. Si on considère une complémentarité entre des avions habités de chasse et des drones MALE ISR/faiblement armés oui, mais si on considère les concepts futurs US d'OPV (*Optionally Piloted Vehicle*), visés à la fois sur les hélicoptères et les UCAS/UCLAS, ce n'est plus le cas : c'est le même parc, les machines étant ou non habitées suivant la mission. Ce concept ne semble pas d'actualité dans les forces françaises.

VOIES ENVISAGEABLES	COUT D'ACQUISITION	COUT DE MAINTENANCE	COUT D'UTILISATION	COUT DES EVOLUTIONS	COUT DE FORMATION
Achat sur étagère	1	10	100	100	10
Acquisition moins chère (mais tout est relatif), les modifications, leur rythme et les coûts risquent d'être imposés. Un refus de modernisation ou de standard plus évolué entraîne une obsolescence rapide du matériel ou une exclusion faute d'interopérabilité avec ce type de matériel. Comme pour les drones, perte d'indépendance nationale incontestable dans le domaine des capteurs, des liaisons satellitaires et de leur interopérabilité, domaines réputés stratégiques.					
Réalisation en usines délocalisées	1	100	10	10	10
Le seul intérêt réside dans le coût d'acquisition au détriment de la main d'œuvre locale spécialisée qui risque de disparaître avec son savoir-faire unique. La maintenance risque d'être à 100 car on aura des problèmes de chaînes d'approvisionnement, qui vont se faire sentir ensuite pour les rechanges.					
Externalisation	1	100	100	1	1
Voie qui peut être envisagée sous forme de location ou services, surtout si la conception et le développement se font avec un pays tiers. La conception, le développement, la réalisation, l'entretien type industriel d'une plate-forme aérienne sont déjà totalement externalisés en France. Externaliser les niveaux de mise en œuvre et d'entretien opérationnels ne reviendrait plus à externaliser des cœurs de métiers puisqu'ils n'existent pas. On peut même concevoir d'acheter un service de diffusion des informations recueillies par cette plate-forme tour de veille en altitude. Coût d'utilisation (voire de maintenance) à 100 car il faudra payer de l'amortissement.					
Dualité civil/militaire	1	1	100	10	10
Cette dualité est vivement encouragée pour un ballon ou un dirigeable persistant dans sa fonctionnalité ISTAR. La plate-forme et certains capteurs EO, IR ou SAR peuvent être identiques dans une utilisation civile et militaire. L'acquisition de systèmes partiellement « duaux » pourrait être accompagnée du développement d'un cursus de formation initiale (pour les opérateurs comme pour les maintenanciers) en interministériel (pompiers, forces de police, sécurité civile...). Ici l'utilisation en interministériel peut être avantageusement considérée. Une autre formule pourrait être de partager l'acquisition ou la location des simulateurs mais aussi un partage dans la diffusion des données recueillies.					
Stockage longue durée	10	1	100	10	10
En temps normal, il n'y aura pas besoin d'un parc étendu de machines pour entraîner les pilotes et opérateurs de ballons ou de dirigeables. En stockant en longue durée un certain nombre d'aérostats du parc on économise sur les coûts de maintenance et d'entretien, sur les coûts d'utilisation. Cette option peut accompagner la plate-forme unique facilement adaptable. Il faut évaluer l'impact sur le coût d'utilisation le jour où on veut remonter en puissance.					
Double dotation*	100	100	100	100	100
* On a envisagé cette option bien que tous les chiffres soient à 100 pour bien montrer que cette double dotation n'était pas intéressante à envisager sinon à faire baisser les coûts d'acquisition et d'utilisation. On peut raisonner ici dans le cadre de la double dotation « ballons » / « dirigeables ». La double dotation demande l'acquisition et l'entretien de deux parcs totalement différents donc des coûts multipliés par deux dans toutes les rubriques. Mais réduire la cible de la flotte « sophistiquée » (avions cargo légers pilotés ou hélicoptères, ou drones) par rapport à la flotte « rustique » (ballons/dirigeables surtout s'ils sont dronisés) peut faire baisser les coûts d'acquisition et d'utilisation puisque la flotte rustique coûtera moins cher en termes d'acquisition, de carburant, RCS...					
Homogénéisation des parcs	100	1	100	10	1
L'homogénéisation des parcs profite essentiellement à la maintenance et à l'utilisation, de même que les coûts de formation ne sont plus dédiés qu'à un seul type d'aéronef. Cette option accompagne obligatoirement celle d'une plate-forme unique facilement adaptable aux nouveaux besoins et avec un impact sur le coût d'acquisition. Compte tenu de la faiblesse en nombre du parc des aérostats, cette solution semble obligatoire. Il y aura (si ça existe un jour en France) une ou plusieurs unités « d'aérostiers » pour s'occuper à la fois des ballons captifs et des dirigeables. A					

VOIES ENVISAGEABLES	COUT D'ACQUISITION	COUT DE MAINTENANCE	COUT D'UTILISATION	COUT DES EVOLUTIONS	COUT DE FORMATION
---------------------	-----------------------	------------------------	-----------------------	------------------------	----------------------

moins d'envisager d'externaliser le service.

Conclusions sur la démarche des coûts

La démarche coût de possession n'est pas évidente à dérouler lorsqu'on est en présence de plates-formes pleinement opérationnelles et sur le « plateau » en matière de retour d'expérience et de vieillissement (cargos lourds ou légers) alors que d'autres (drones) constituent une flotte très réduite, avec un retour d'expérience limité et un vieillissement qui les placent encore dans la courbe descendante de la courbe « en baignoire » des coûts. Les ballons et dirigeables ne constituent pas encore un programme d'armement et l'expérience est extrêmement réduite, voire inexistante.

Des tableaux précédents on peut retirer le fait qu'il est important pour le coût de possession d'avoir des plates-formes en nombre suffisant pour constituer une flotte dont la disponibilité pourra être maîtrisée. Ce n'est malheureusement pas le cas pour les flottes de surveillance, le nombre de vecteurs spécialisés sera toujours limité, que ce soit pour les satellites, les Awacs, les Hawkeye, les Atlantic 2, les Transall Gabriel et autres M50. Comme pour un vecteur habité, on pense qu'à l'acquisition, une plate-forme permettant d'être plus polyvalente et plus adaptative coûtera peut-être plus cher en conception mais que les évolutions seront plus faciles par simple ajout de modules adaptés pour arriver au concept « *plug and fight* ». La flotte étant constituée d'un petit nombre d'appareils, l'homogénéisation du parc sera systématiquement recherchée pour des raisons techniques, logistiques et de formation. C'est cette solution qui est préconisée pour un drone MALE qui veut rester à prédominance ISTAR ainsi que pour les ballons et les dirigeables. Pour ces trois dernières plates-formes aériennes, si la dualité civile/militaire peut être acquise, le coût d'acquisition d'abord et de possession ensuite ne seront que plus réduits.

Il est apparu dans le déroulé de cette étude qu'en fait si le coût de possession d'une plate-forme était important, ce n'était pas l'élément primordial de décision. La mission à accomplir définit les critères de choix d'une plate-forme de surveillance : faut-il de la réactivité ? De la permanence en vol ? La menace est-elle constamment présente, fugace ? Faut-il de la discrétion ou au contraire de la visibilité dans l'action ? A chaque critère posé peut correspondre une ou plusieurs réponses.

Dans les conclusions de ce chapitre, on va prendre en compte les avantages et les inconvénients des quatre plates-formes envisagées pour la surveillance en se plaçant du point de vue opérationnel, technique ou technologique.

- Avantages et inconvénients du point de vue opérationnel

Au point de vue opérationnel, il faut pour assurer la fonction de reconnaissance ou de surveillance longue durée pour un coût de possession le plus réduit possible tout en choisissant une solution efficiente quelle que soit la plate-forme utilisée.

Les solutions opérationnelles qui semblent s'imposer d'emblée parce qu'elles existent, sont le drone MALE (ou un HALE) et les cargos légers « transformés » sans pour autant que les autres possibilités puissent être définitivement écartées et en particulier le ballon captif ou le dirigeable pour des raisons de moindre coûts d'exploitation. S'il y a urgence

dans le recueil de l'information, le cargo léger de surveillance sera préféré au drone plus lent et ne pouvant effectuer que des sauts de puce. Les autres moyens satellites de surveillance, avions lourds dédiés venant en complémentarité. Les chasseurs type F1CR, Rafale seront, eux, utilisés pour des besoins ponctuels de reconnaissance ou de « targetting ».

En effet, sauf à travailler dans un espace « ségrégué » et sous contrôle militaire au-dessus d'une zone de conflit par exemple, un drone n'étant pas encore « libre » dans l'espace aérien comme un avion habité, il faudra dans un premier temps faire appel à un avion dronisé ou accompagnateur pour répondre aux exigences de la circulation aérienne générale.

De plus, les industriels ne sont pas encore parvenus à convaincre que les drones et en particulier un MALE, et encore moins un HALE, reviennent moins cher en exploitation qu'un avion-cargo léger habité ou qu'un hélicoptère. Pourtant le service rendu en temps de vol et de permanence sur zone n'est pas contestable. Toute solution mettant en œuvre une composante humaine en vol devrait *a priori* revenir plus cher sans pour autant être plus efficace. Le problème essentiel qui reste posé est qu'un drone qui reste 24 heures en l'air demande la présence d'au moins trois équipages au sol, ce qui ne va pas dans le sens de « l'histoire » vue la déflation de personnels qui touche les armées et le coût de formation et d'utilisation d'un personnel navigant par rapport à un « maintenancier ». Un escadron de drones voit sa population PN/mécaniciens complètement inversée par rapport à un escadron de chasse normal et ceci pour un nombre de machines très limité.

La même question se pose dans l'utilisation d'un ballon captif qui peut être considéré comme un drone statique à 3 000 mètres d'altitude ou d'un dirigeable « dronisé » à moyenne altitude qui, lui, présentera l'avantage sur le ballon captif de se déplacer à peu près à la même vitesse que les drones actuels. Ils pourraient offrir plus d'un mois de surveillance permanente à condition qu'au sol les équipes d'exploitation des données captées soient elles aussi permanentes. C'est la composante humaine qui, au point de vue opérationnel, semble dimensionnante pour les moyens de surveillance aéroportée non habités.

Le cas d'utilisation du dirigeable stratosphérique n'est pas considéré ici car les technologies ne sont pas matures (pas même pour les Américains).

- Complexité du point de vue technologique

Pour les avions cargo habités, les drones et les ballons captifs, on part de l'hypothèse que le porteur existe déjà sur étagère. C'est le développement, la réalisation et l'intégration de la charge utile dans la cellule qui risquent de présenter une complexité du point de vue intégration technique ou technologique.

En France, ce type de complexité a toujours été maîtrisée par les industriels, même si un exemple récent (liaisons satellitaires sur un mobile) montre que cette intégration peut demander des délais prohibitifs et au final des efforts financiers très importants.

Plus le porteur sera en mesure de proposer à la charge utile un volume important, une bonne stabilité en énergie et conditionnement, plus il sera facile d'intégrer cette charge utile et la complexité technologique sera moindre.

Dans le cas où il s'agit de surveiller longtemps une zone d'ampleur régionale de 200 km de profondeur par exemple, un ballon à 3 000 mètres d'altitude serait la meilleure solution.

Si le théâtre est plus vaste, l'avion dronisé qui s'apparenterait beaucoup à un avion-cargo léger « transformé », serait complémentaire des ballons statiques pour pénétrer plus en profondeur.

- Accessibilité technique ou technologique

L'accessibilité technique ou technologique va là encore vers un aéronef ayant de bonnes performances en altitude, en autonomie et en possibilités de transmission BLOS offertes. L'avion dronisé est la solution "court terme", préférable à un avion-cargo léger "modifié" avec une composante humaine plus importante.

L'accessibilité technique pour les ballons captifs à moyenne altitude semble tout à fait à portée des industriels français.

Pour les dirigeables rigides ou semi-rigides, la problématique semble différente. Les problèmes soulevés sont nombreux et les solutions « oubliées » ou datant des années 1990 et offrant des solutions technologiques vieilles de vingt ans au moins.

Utilisation de l'hydrogène : la seule problématique à son utilisation est le risque d'explosion dans des conditions bien définies. Il est nécessaire de répondre à ces questions de production, de stockage, de transport et de combustion, indispensables pour en faire une source viable.

Le gaz Hélium pose également un problème de coût.

- Concepts court terme et avec peu de ruptures technologiques

Le concept court terme qui semble se dégager, en l'absence de données relatives à la charge utile, c'est l'avion dronisé type M55 russe ou Grob 600 allemand, voire un G550 Gulfstream.

Il est nécessaire d'apporter une attention particulière aux flux d'informations émises depuis le porteur vers les satellites et inversement.

- Concepts à long terme et points durs techniques

Le drone HALE, successeur direct de l'avion dronisé.

Les points durs techniques :

- ⇒ Développer en européen un drone stratégique de la classe Global Hawk ou Eitan. L'achat sur étagères américaines ou israéliennes serait une solution de contournement et certainement moins coûteuse en délais et finances mais réductrice d'indépendance nationale.
- ⇒ L'insertion des drones dans la circulation aérienne générale. Il n'existe pas de solution technique pour répondre à la règle « Voir et éviter » pour les drones. Les spécialistes s'accordent à avancer un délai d'une dizaine d'années au moins.
- ⇒ La miniaturisation des charges utiles, des alimentations, l'amélioration des servitudes embarquées.

- ⇒ L'amélioration notable de la fiabilité de ces engins pour atteindre un taux de pertes équivalent à celui d'un avion piloté de transport.
- ⇒ Démontrer que le drone revient moins cher en coût de possession que des plates-formes habitées.

A court ou moyen terme, si on ne s'intéresse qu'à un théâtre régional, les drones HALE et MALE répondraient certainement aux besoins mais le ballon captif et le dirigeable, aérostats connus et améliorés depuis des dizaines d'années, pourraient également répondre économiquement aux besoins de surveillance d'une zone pas trop étendue. On peut prendre l'exemple des ballons captifs qui assurent la surveillance rapprochée d'une zone hostile en Irak ou en Afghanistan chez les Américains ou les Français.

A plus long terme encore, si on veut s'intéresser à une très large étendue à surveiller, l'utilisation d'un dirigeable stratosphérique plus économique, plus écologique, offrant une très longue persistance et avec des capteurs permettant de couvrir une zone beaucoup plus étendue que celle d'un drone serait une solution viable, surtout si l'aérostat permet d'emporter une multiplicité de capteurs simultanément.

Les technologies pour un dirigeable stratosphérique ne sont pas matures (motorisation, tenue de position stable, mouvements dans l'atmosphère, miniaturisation des capteurs et des sources d'énergie, matériaux pour l'enveloppe...). La demande semble depuis quelques années se faire plus précise, des ballons et des dirigeables aux États-Unis ont déjà démontré, en théâtres extérieurs « permissifs », qu'ils étaient sortis de la phase de démonstration pour rendre des services de surveillance opérationnels appréciables.

L'état de l'art dans les aérostats

On donne ici les « inducteurs » techniques ou technologiques qui doivent être maîtrisés pour rendre un dirigeable opérationnel :

- ⇒ Les phénomènes aérologiques sur la cellule d'un aérostat et les aspects aérodynamiques sont très mal connus ;
- ⇒ Travaux à mener sur les enveloppes pour éviter les fuites ;
- ⇒ Collecte de l'énergie solaire et son stockage ;
- ⇒ Densité de puissance énergétique à accroître par miniaturisation des sources (batteries en complément du photovoltaïque) ;
- ⇒ Tenue et vieillissement des matériaux ;
- ⇒ Compétences à acquérir en fabrication ;
- ⇒ Etude de l'environnement stratosphérique (motorisation, stabilisation en cap à faible vitesse...).

Conclusions

On peut affirmer sans crainte de se tromper que le renseignement, dont les actions de reconnaissance et de surveillance sont les fondements, se pose aujourd'hui comme un instrument politique. Sans système de surveillance stratégique digne de ce nom, il semble désormais impossible pour un pays d'exercer son droit à l'indépendance politique – il existe bien sûr un renseignement opératif et tactique nécessaire à la conduite de la manœuvre et qui peut dans la mesure des accords bilatéraux s'échanger. Sans cette démarche, toute prévention d'action hostile est inopérante, toute planification d'ouverture de théâtre est irréalisable en autonomie nationale. Aux yeux des autres nations, ceci impliquerait une moindre crédibilité pour un État comme la France qui entend maintenir sa position de nation-cadre dans les forces d'actions rapides, sous autorité de l'UE ou de l'OTAN. Il faut non seulement posséder la maîtrise technologique et technique des capteurs mais également la maîtrise de la chaîne d'information dans la collecte par les différents senseurs disponibles : radar, optronique, vidéo..., l'acheminement par satellite (SATCOM) et la distribution et l'exploitation de cette information. Cette maîtrise globale a un impact direct sur la chaîne de décision militaire et politique, et donc sur l'indépendance nationale.

C'est précisément cet argument qui a justifié le lancement des programmes de satellites optiques (Helios en France) et *Synthetic Aperture Radar* (SAR) Lupe en Allemagne. Ce vecteur spatial est certes irremplaçable pour la localisation d'infrastructures en mode SAR et pour la désignation (*targetting*) de cibles fixes, mais inopérant pour le suivi des cibles mobiles et fugaces qui sont devenues l'apanage des conflits asymétriques ainsi que pour la maîtrise informationnelle du théâtre d'opération dans sa globalité. La mise en place de satellites géostationnaires peut être une réponse, mais au-delà du coût de telles plates-formes, l'imagerie radar SAR permettant une capacité tout temps nécessite un défilement de ces dernières. Le recours à une constellation de microsatsellites permettrait un tel défilement mais pour répondre aux critères de permanence de surveillance d'une zone et rester cohérent avec le déplacement des mobiles au sol, cette surface doit correspondre, selon les normes de l'OTAN, à une zone de 100 x 100 km et disposer d'un temps de revisite inférieur à 30 minutes. « *Pour obtenir un tel résultat, cette constellation nécessiterait pas moins de 6 plans orbitaux pour un total de 240 satellites. Une solution économiquement inenvisageable pour la France et même pour l'Europe* »¹⁶. Sans parler de la couche nuageuse susceptible de masquer les traînées des départs missiles si on travaille en optique seulement.

La composante satellitaire est indispensable pour dresser une partie de l'ordre de bataille en s'intéressant particulièrement aux objectifs fixes d'importance.

Le recours à une plate-forme aéroportée rapide, chasse ou cargo, évoluant à distance de sécurité vis-à-vis des systèmes de défense antiaérienne et à long rayon d'action, est une solution complémentaire à la chaîne satellitaire, plus économique comme moyen, et qui répond avec la réactivité nécessaire pour compléter un ordre de bataille. Cette compo-

¹⁶ « Vers une redéfinition des drones HALE » – Herman Kleitz – Technologies et Armement – février-mars 2007.

sante habitée présente néanmoins un coût de soutien qui peut devenir vite prohibitif, c'est pourquoi il est plutôt judicieux d'utiliser cette composante aérienne pour la reconnaissance ou des missions de courte durée ou ponctuelles.

Les États-Unis recourent au concept multi UAV avec des drones HALE volant à des altitudes de l'ordre de 20 000 m sur de très longues distances pour la surveillance stratégique, ainsi qu'à des MALE comme le Predator et le Reaper, qui occupent le segment intermédiaire entre les HALE et les drones tactiques. Mais le recours à cette solution semble problématique pour toute autre nation dans la mesure où pour piloter et collecter l'ensemble des informations brutes de plusieurs drones surveillant de vastes surfaces et ce pendant une longue période, la bande passante nécessaire au transfert des informations collectées est telle que pour l'instant, seul le réseau des satellites de communication américain est capable d'offrir le flux nécessaire. L'idée serait de recourir à une plate-forme multi missions permettant un prétraitement à bord qui permettrait à la fois de limiter la quantité de plates-formes nécessaires et de réduire les besoins en bande passante.

Dans cette étude sur les plates-formes aéroportées militaires pour la surveillance de demain, on privilégierait, pour assurer la permanence en vol, des solutions à base de drones et d'aérostats car elles présentent, intuitivement, le meilleur rapport coût/efficacité, même si le développement de ces deux filières n'est pas tout à fait prêt pour être lancé en France. Mais c'est peut-être la solution mixte avion dronisé ou drone/avion habité qui est la mieux adaptée et applicable à moyen terme et dans plusieurs situations conflictuelles. Par exemple, les Australiens, pour surveiller leurs côtes, utilisent une flotte constituée de deux tiers de drones et d'un tiers d'avions d'affaires modifiés. Leur concept est qu'en temps de paix, les équipages sont à bord pour s'entraîner ; en temps de crise, les équipages sont réduits au strict minimum ; en temps de guerre, les drones prennent la relève. Les ballons captifs et dirigeables peuvent parfaitement répondre à un besoin de surveillance nécessitant de la permanence dans le temps, allié à une certaine discrétion.

Il est évident qu'une nation comme les États-Unis, possédant la panoplie complète de moyens de surveillance allant des satellites aux avions de reconnaissance à long rayon d'action, en passant par les chasseurs bombardiers et de reconnaissance, les cargos lourds et légers de surveillance, les drones de toutes catégories et enfin des ballons captifs et des dirigeables, puisera dans cette panoplie en fonction de la mission à assurer et démontrer ainsi sa suprématie dans les airs et la surveillance.

Une puissance moyenne, comme la France, qui possède une grande partie de cette panoplie mais avec des flottes restreintes et des ressources financières comptées, va décider d'engager ses moyens de surveillance en fonction de la situation générale et du but poursuivi. Ici, l'effet final recherché est d'être bien renseigné. Des potentiels en présence, de la permissivité présentée par le théâtre, de la dissymétrie ou asymétrie statique ou active et fulgurante, les modes d'action de surveillance seront examinés avec leurs avantages et inconvénients. Les solutions présentées à l'autorité décisionnelle devront répondre à trois questions fondamentales pour le politique :

- ⇒ Risques politiques (internes et externes) ;
- ⇒ Soutenabilité de l'opération/coût ;
- ⇒ Protection de la force.

Les réponses à ces trois questions vont conduire à des critères qui peuvent peser sur le choix de la mise en œuvre d'un vecteur aérien de surveillance. Si on déroule le fil de la construction de la décision par rapport à la mission assignée, on retiendra comme critères :

- ⇒ Le but opérationnel poursuivi (l'impact politique influe sur le type de vecteur employé) ;
- ⇒ La réactivité de décision et d'intervention ;
- ⇒ L'élongation et la position de la zone d'action ;
- ⇒ La discrétion demandée au vecteur ;
- ⇒ La durée de la mission et du déploiement ;
- ⇒ La permissivité du théâtre ;
- ⇒ La prise en compte des pertes et la protection des forces ;
- ⇒ Le coût du soutien de l'opération ;
- ⇒ L'empreinte au sol et sa discrétion ;
- ⇒ La dépendance aux liaisons de données en fonction de l'élongation ;
- ⇒ Les multifonctionnalités possibles des capteurs.

Ces critères n'ont pas la prétention d'être exhaustifs et ne sont pas classés par ordre de priorité. Les priorités peuvent d'ailleurs varier en fonction de la mission assignée. Ils donnent simplement un déroulement possible de la planification conduisant au choix d'un vecteur aérien de surveillance. Intuitivement, on en revient à la complémentarité des capteurs avec une composante satellitaire obligatoire et avec une couverture suffisante. S'il s'agit d'une urgence et de missions courtes et sur des points précis, l'aéronef rapide sera choisi, chasseur ou cargo. S'il s'agit d'une mission longue, nécessitant une permanence durable en vol mais en situation asymétrique statique (pas de grands changements), le drone, le ballon ou le dirigeable peuvent offrir une solution satisfaisante au point de vue coût/efficacité à la demande de surveillance.

Annexe 1 AERONEFS PILOTES – FICHES TECHNIQUES

1. -Avions pilotés très gros porteurs

États-Unis

L'avion gros porteur le plus emblématique est certainement l'AWACS dont les caractéristiques principales sont données ci-après :

Spécifications

Premier vol:	25 mai 1976 (E-3A avec missions complètes)
Cellule:	Boeing 707 (E-3)
Classification:	Airborne Warning and Control System
Envergure:	145 ft 9 inches
Longueur:	152 ft 11 inches
Poids maxi:	325,000 pounds
Vitesse maxi :	530 mph (886 km/h à 7 260 m)
Endurance:	6 h à 1 000 miles de sa base
Plafond:	> à 29 000 feet
Motorisation:	Quatre turbo réacteurs P&W TF-33 ou CFM 56
Equipage:	4 membres d'équipage et 18 spécialistes

Le système de poursuite radar APY-1 est en mesure de détecter des cibles à 400 km en basse altitude et 520 km en moyenne altitude.

Une variante rénovée de ce type de gros porteur, plus facile d'entretien et largement utilisée, est le Boeing 737-700 avec des fonctions d'alerte et de contrôle. L'Australie, la Turquie et la Corée du Sud ont acquis 14 systèmes 737 AEW&C.

Ce type d'avion gros porteur ne présente aucune difficulté pour fournir une puissance électrique à la charge utile que ce soit pour le démarrage, l'émission ou le conditionnement.

Il nécessitera néanmoins un gros chantier d'adaptation à une charge spécifique comme une lentille optique ou IR.

2. –Autres avions pilotés stratosphériques

Allemagne

- HALO : un avion pour mener des recherches sur l'atmosphère

Un nouvel outil de recherche vient de voir le jour au Centre allemand de recherche aéronautique et spatiale (DLR) à Oberpfaffenhofen (Bavière) : il s'agit de HALO (*High Altitude and Long Range Research Aircraft*), un avion né de la restructuration d'un Jet du type Gulfstream G550. Les travaux, d'une durée de 20 mois, ont permis d'équiper celui-ci de l'appareillage nécessaire pour effectuer des études de l'atmosphère. De nouvelles ouvertures dans la carlingue de l'avion permettent d'y disposer des sondes et capteurs. En outre, l'appareil dispose désormais d'un nouvel aileron arrière. Des capteurs sensoriels sont également intégrés dans les ailes. Enfin, un système d'approvisionnement électrique embarqué et un réseau de télécommunications indépendant ont été installés pour l'utilisation des équipements de recherche. HALO est le seul appareil au monde à pouvoir effectuer des mesures sous toutes les latitudes, depuis les pôles jusqu'aux tropiques, et à des altitudes allant jusqu'à la basse stratosphère : sa portée est de 8 000 kilomètres, son altitude maximale de 15 kilomètres (45 000 pieds), il peut supporter une charge utile de 3 tonnes. Les travaux de recherche auxquels il est destiné concernent : les mécanismes de formation des événements météorologiques extrêmes, la destruction de l'ozone dans la stratosphère polaire, l'étude des conséquences du trafic aérien ainsi que la chimie et la dynamique des zones entre la stratosphère et la troposphère et la prospection en ce qui concerne le circuit du carbone. Le projet HALO est le fruit d'une coopération entre le DLR et la Gulfstream Aerospace Corporation aux États-Unis. Plus de 31 instituts de recherche allemands y prennent part. Le ministère fédéral de l'Enseignement et de la Recherche (BMBF) a financé le projet à hauteur de 47,5 millions d'euros, soit 70 % du coût total. Les sociétés Helmholtz et Max Planck ont investi 19,5 millions d'euros. Le restant, soit 1,8 million, sera pris en charge par la Bavière.

Russie

- M-55 « Geophysica » : Avion de recherche stratosphérique

Constructeur : Miassichtchev – Russie	Vitesse de croisière maxi : 750 km/h
Premier vol en 1988	Plafond : 21 500 m
Dimensions : Longueur : 22,9 m	Motorisation :
Hauteur : 4,8 m	Nombre : 2 réacteurs
Envergure : 37,5 m	Type : Aviadvigatel PS-30-V12 de 49 kN chacun.
Masse maxi au décollage : 24 tonnes	Equipage : un pilote
Charge militaire : 1,5 t	Endurance : 6h 30mn.



LE M-55 GEOPHYSICA

France

Dans la même veine que le M-55 Geophysica, on peut classer les avions d'affaires dans cette catégorie d'avions stratosphériques pilotés, les avions bancs d'essais (ABE) proposés par Dassault au Centre d'Essais en Vol de la Délégation Générale de l'Armement. La famille Falcon 10 et 20 est aujourd'hui dépassée mais les Avions Dassault proposent toute une série d'avions d'affaires transformés en ABE pour conduire des essais de charges utiles nouvelles en cours de développement. On donne ci-après quelques exemples d'avions susceptibles d'être transformés en porteurs stratosphériques. Les ateliers de Dassault Aviation et ses sous-traitants ont un long passé de transformation de ce type d'avion en ABE pour le CEV et une excellente connaissance des problèmes d'intégration des diverses charges utiles se présentant lors des développements d'avions de combat par exemple. Les Ateliers Industriels étatiques (SIAé) sont également capables d'adapter un avion d'affaires.

Mais les avions de transport légers type CASA 235, reconvertis en avions de renseignement d'origine image, peuvent répondre aussi au problème. L'acquisition d'une surveillance maritime plus légère que celle des ATL2 pourrait constituer une alternative moins coûteuse que l'achat de Falcon 900/2000 équipés pour la même mission.

Le Falcon 900

Type d'avion : Avions d'affaires
Constructeur : Dassault Aviation

Pays : France 
Année du premier vol : 2007

Le Falcon 900 a été annoncé le 27 mai 1983. Le premier vol du prototype (F-GIDE) a lieu le 21 septembre 1984. Le Falcon 900B, remotorisé avec des Honeywell TFE 731-5BR-1C, est certifié fin 1991. Son rayon d'action en est augmenté de 100 nm. Un retrofit est proposé aux premiers opérateurs de Falcon 900.

Le Falcon 900EX, développé à partir du 900B, est une version à long rayon d'action. Annoncé en octobre 1994, il effectue son premier vol le 1^{er} juin 1995 (F-WREX). Le 24 septembre 1995, il effectue un vol Luton (Royaume Uni) – Las Vegas (Nevada), soit 4 700 nm, en 11 heures 40 minutes. Le 900EX voit sa capacité en carburant augmentée de près de 800 kg. L'avionique est également mise à jour, grâce à la suite Honeywell Primus 2000 avec des écrans couleurs. La version EASy (4 écrans à cristaux liquides de 13 x 10 pouces) est actuellement en développement. Une version haute densité a été proposée (27 pax).

Japan MSA : 2 Falcon 900 de patrouille maritime entrent en service au Japon en septembre 1989 ; ils sont équipés d'un radar de recherche, de moyens de communication radio, d'un poste de commandement...

Caractéristiques du Dassault Falcon 900 EX

Equipage : 2 pilotes + équipage commercial

Envergure: 19,33 m

Longueur: 20,21 m

Hauteur: 7,55 m

Surface alaire: 49 m²

Masse à vide: 11 200 kg

Masse maximale au décollage: 22 222 kg

Distance franchissable: 4 500 nm (envi. 8 300 km)

Vitesse de croisière: 459 noeuds –

Mach 0.80 (environ 850 km/h)

Vitesse maximale: 481 noeuds – Mach 0.84
(environ 890 km/h)

Plafond opérationnel: 51 000 ft (environ
15 500 m)

Motorisation : 3 réacteurs Honeywell
TFE731-60

LE FALCON 900



Comme on l'a dit pour le Falcon 50, les Falcon 7X et 900 s'accoutument mal d'installations placées en crête dorsale qui perturbent l'alimentation du réacteur placé en pied de dérive. La base de l'offre est aujourd'hui constituée par le Falcon 2000.

Le Falcon 2000

Le Falcon 2000 est un avion d'affaires biréacteur transcontinental à large fuselage capable de transporter jusqu'à 19 passagers. Le prototype a effectué son premier vol le 4 mars 1993, à Bordeaux-Mérignac. Construit en coopération avec la firme italienne Alenia. Le Falcon 900 a transmis au Falcon 2000 le diamètre de son fuselage, le dessin de sa voilure ainsi que certains de ses circuits et équipements comme le train d'atterrissage. Le résultat : un avion, outil de travail pour de nombreuses grandes sociétés internationales, véritable bureau volant, très confortable, rapide et économique. Le Falcon 2000 est capable de transporter 8 passagers à la vitesse de Mach 0,8 sur une distance de 5 555 km.

Le CEV est en cours de retrait de ces Mystère 20 monomission et peu flexibles pour une acquisition d'une flotte moins nombreuse mais plus polyvalente de Falcon 2000. Ce type d'avion fournit en interne 2x9KV_a et il peut embarquer un APU (*Auxiliary Power Unit*) de 10 KV_a sans problème, ce qui devrait convenir à l'alimentation et au conditionnement d'un large spectre de charges utiles. Le Falcon 2000 peut fournir au total 45 KV_a de puissance embarquée.

Le Falcon 2000Lx est en tout point identique au Falcon 2000Ex à la seule différence que la version Lx intègre au bout de ses voilures des *winglets* qui diminuent la consommation d'environ 5 %, ce qui lui rallonge son rayon d'action d'environ 400 km pour un vol de 7 000 km.

Le CASA 295

Le CASA C-295 est un avion-cargo tactique militaire développé en Espagne par Airbus Military. Il s'agit d'une évolution du CASA CN-235, qui a donné, comme ce dernier, naissance à une version de patrouille maritime baptisée Persuader. Il y a même une version prototype AEW.

Pour répondre à un coût faible et dans les délais requis, CASA imagina de modifier le CN-235 en ajoutant une section de fuselage de 1,50 m de long de chaque côté de la voilure et renforçant la section centrale de l'aile, qui recevait trois points pour charges externes de chaque côté. Le train d'atterrissage était également renforcé, avec adoption d'un diabolos avant, une nouvelle avionique développée avec Thales Avionics. Enfin la motorisation était revue, les turbopropulseurs Pratt&Whitney Canada PW127G entraînant des hélices à six pales Hamilton Standard 568F-5. Il peut croiser à 7 620 m à une vitesse

max de 482 km/h. Avec une cabine offrant un volume utile de 12,69×2,70×1,90 m (57 m³), ce cargo tactique offre une charge utile de 7 050 kg (9 250 kg en surcharge) et peut transporter 71 hommes assis ou 48 parachutistes équipés, 24 civières et quatre médecins ou infirmiers, cinq palettes 88×108 ou trois véhicules légers. Il y a 85 avions commandés et 75 livrés.

CASA 295



États-Unis

Le Gulfstream 550

Les Gulfstream G500 et G550 sont des avions d'affaires fabriqués par la division Gulfstream Aerospace General Dynamics. Ce sont des variantes du Gulfstream-V. Cet avion est en concurrence directe avec le Falcon 7X, le Boeing Business Jet et le Bombardier Global Express. Les opérateurs civils sont nombreux à utiliser ce type d'avion (États-Unis, Arabie Saoudite, Turquie, Suède, Tanzanie, Ouganda), mais il a des applications militaires en Argentine (2 pour le transport de VIP et 1 pour les Gardes-côtes), en Allemagne (1 G550 pour le Centre d'Essai – HALO), Grèce (2 G500 pour le transport des VIP équipés de systèmes de détection antimissile), Israël (construits par IAI Phalcon et utilisés comme avions AWACS baptisé EITAM, deux exemplaires sur 3 ont été livrés en 2008 en configuration AISIS – *Airborne Integrated Sigint System*), Singapour (4 G550 comme AWACS).

Fiche de caractéristiques du Gulfstream

Équipage : 1-4

Mise en service : 2004

Constructeur : General Dynamics USA

Passagers : 14-19

Dimensions :

Longueur : 29,40m

Envergure : 28,50m

Hauteur : 7,90m

Largeur de la cabine : 2,24 m

Volume de la cabine : 47,3 m³

Compartiment soute : 6,4 m³

Masse : Maxi à vide : 21,9 T

Maxi au décollage : 41,3 T

Maxi à l'atterrissage : 34,15 T

Motorisation : 2 Rolls-Royce BR710A2-20 Turboprop

Poussée unitaire : 68,4 kN

Performances :

Vitesse de croisière : 904 km/h (0.85 M)

Allonge : 15 545 km

Altitude de croisière : 12 500 m.

Endurance maxi : 9 h



LE GULF STREAM 550 IAF GULFSTREAM G500



3. -Avions dronisés

Allemagne

Grobe : le Hale sur étagère

L'avionneur allemand Grobe développe avec Thalès le Hale Jet G600. A l'origine, le client principal de Grobe n'est autre que la communauté américaine du renseignement. En effet, c'est à la demande de la CIA et de la NSA que Grobe a réalisé un modèle d'une de ces plates-formes stratosphériques tout en composite, l'Egrett, économique et discrète, pour remplacer les U2. Six exemplaires dotés de la suite multiplicateurs de Raytheon HISAR ont ainsi été vendus aux deux agences américaines (elles les utilisent actuellement au Proche-Orient) et un septième à l'Australie. C'est un veto du Congrès à l'exportation du HISAR qui avait compromis la vente de cette plate-forme pour l'Allemagne, tout en permettant à Northrop de proposer son Global Hawk en remplacement des Atlantique. Grobe a donc choisi de contre-attaquer par une coopération avec Thalès en proposant le 100 % européen Hale Jet G600 (à la base, un avion d'affaires certifié aux normes internationales).

Selon une source en Allemagne, Thalès France aurait déposé une contre-proposition dans le cadre du programme allemand de surveillance "Sigint" (renseignement d'origine image avec des outils de guerre électronique) dont le Global Hawk de Northrop était quasiment le favori. Pour se positionner en concurrent du système américain et négocier avec la chancellerie allemande, Thalès, à propos duquel les syndicats allemands restent méfiants, aurait adopté une approche pragmatique en s'appuyant sur son expérience de systémier dans les senseurs, radars, et dans la surveillance en temps réel du champ de bataille mise en œuvre dans Watchkeeper. A partir d'une plate-forme fournie par Grob, Thalès a fait modifier un avion civil à double réacteur en travaillant sur la motorisation et l'aérodynamique en vue d'obtenir un HALE — le Global Hawk étant lui-même un HALE. L'engin stationnerait dans un hangar de la société Grobe et aurait les caractéristiques suivantes : une envergure de 32 m, une capacité de voler à 60 000 pieds, une autonomie de 28 heures et une charge utile de 1 300 kg. Le HALE G600 ER disposerait d'une imagerie pointue avec une résolution d'environ 15 cm, par le biais d'une double liaison SATCOM, le tout infocentré au sein d'un "battlelab" de type BTC. Pour un coût inférieur au Global Hawk. Toujours selon la même source, Thalès aurait proposé d'employer en simultané trois de ces plates-formes avec une capacité de surveillance de l'ensemble des terres émergées. Dans cette affaire, on peut penser que le gouvernement allemand compte sur l'expérience de Grobe, qui fait partie du club fermé des avionneurs maîtrisant les complexités du HALE (étude amont sur un G600 publiée en 2005) sur un secteur marqué par le lobbying américain de Northrop. Le dernier prototype proposé au conseiller industriel allemand aurait la particularité de pouvoir être "dronisé" ou "habité" avec un objectif de mise en service pour 2015. Par ce choix d'une plate-forme sur étagère et d'une technologie 100 % européenne, Thalès et Grobe montrent que la possession d'un drone de reconnaissance stratégique ne relèvera bientôt plus du monopole américain. La question est désormais de savoir si Thalès proposera sa solution à l'export et surtout aux autorités françaises. A l'état-major français de l'armée de l'Air, on explique qu'un tel outil hors de portée des défenses sol-air pourrait compenser le retrait des Mirage IV et celui annoncé des F1 CR, Paris étant bientôt dépourvu de tout moyen stratégique de reconnaissance à long rayon d'action, rendant la France dépendante du bon vouloir du Pentagone. Quant à HELIOS, un interpréteur d'image

rappelle son manque de souplesse avec un rafraîchissement de données une fois toutes les vingt-quatre heures.

Caractéristiques du Grobe HALE G600

Avion dronisé très haute altitude pour la surveillance et le relais communication.

Constructeur : Grobe – Allemagne

Equipage : 2 avec 2 spécialistes mission éventuellement

Fuselage d'un G180 SPn avion d'affaires – Fuselage et ailes en composite

Envergure : 35,6 m

Longueur : 18,65 m

Motorisation : 2 FJ44-4A de 3 500 livres de poussée chacun

Charges utiles : Caméras, systèmes IR... jusqu'à 1 250 kg

Masse maxi au décollage : 8 550 kg

Endurance à 60 000 ft : > 18 heures

Endurance maxi : 33 heures

Altitude maxi : 65 000 ft

Allonge : 10 250 km.

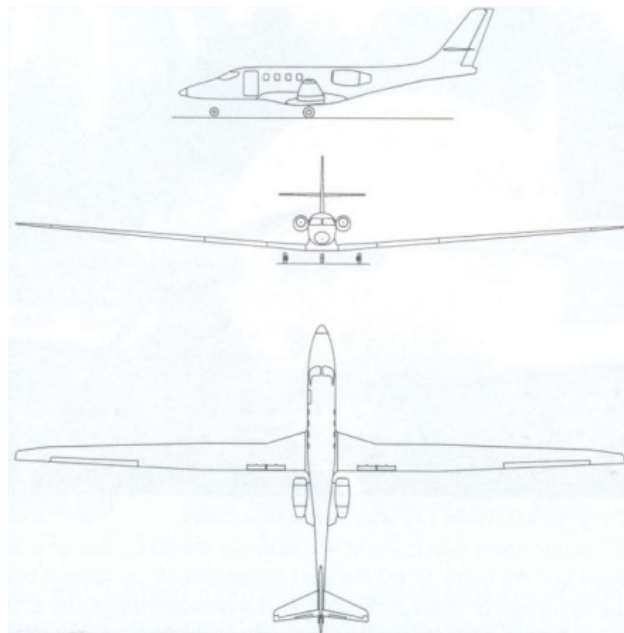
Version ER : 21 000 km avec 4 réservoirs supplémentaires à l'arrière du fuselage.

Atteinte de n'importe quel point du globe

La version dronisée peut être ravitaillée en vol

Coût : 90 % moins cher que le Global Hawk. Présenté comme la solution à bas coût pour un HALE qui peut être piloté mais sa faible vitesse le désavantage.

GROBE HALE G600



L'Egrett



GROBE 520T EGRETT

Caractéristiques de l'Egrett/Strato1

Avion de reconnaissance

Constructeur : Grob/E-Systems/AlliedSignal	Motorisation : 1 AlliedSignal TPE331-14F de 600 kW
Premier vol en 1997	
Nombre d'avions construits : 6	Vitesse maxi : 445 km/h
Equipage : 1	Vitesse de croisière : 130-150 kts
Longueur : 12,20 m	Endurance : 8 à 12 heures selon le profil de la mission
Envergure : 31,40 m	Endurance : 8 heures à 2 500 km
Hauteur : 5,80 m	Plafond opérationnel : 13 715 m (45 000 ft)
Surface alaire : 39,70 m ²	Charge utile : 800 kg
Poids à vide : 3 063 kg	Pente de montée : 7,6 m/s.
Poids maxi : 4 700 kg	

Le Surveyor 2500

Une démarche analogue a été entreprise par EADS avec le Surveyor 2500 mais nettement moins ambitieuse car elle reste résolument tactique.

Cet avion dronisé mesure 5,50 m de longueur, 1,50 m de hauteur et 6,90 m d'envergure. Son endurance est de 12 h à 200 km de son point de départ et il a une liaison de données de 185 km. Il peut remplir des missions de surveillance, de reconnaissance, de contrôle de zones sensibles ou de relais de communication. Des applications dans la météorologie et la cartographie sont possibles.

Annexe 2 AERONEFS NON HABITES – FICHES TECHNIQUES

Si on se réfère aux caractéristiques des drones existants ou en cours de réalisation, on peut relever les caractéristiques principales suivantes :

1 Les drones HALE

États-Unis

LE SYSTÈME GLOBAL HAWK

Capacités stratégiques

Le RO-4A Global Hawk (Block 10)

Le RQ-4A Global Hawk est un drone de reconnaissance aérienne à très haute altitude et à grande endurance, fabriqué par le constructeur américain Northrop Grumman depuis 1996, pour un coût unitaire de 57 M\$. Les performances du système annoncées par l'Air Force (entré en service en 1998) sont :

Distance franchissable maximale: 9 500 NM	Vitesse de croisière : 340 kts
Endurance max. : 28 h	Masse max. au décollage : 11,6 tonnes
Endurance à 1 200 NM : 20 h	Charge utile : 900 kg
Altitude: 20 000 mètres.	Capable de couvrir une zone de 40 000 Nm ² par jour.

Ce drone, développé à l'échelle des ambitions des États-Unis, est actuellement le seul dans la catégorie des HALE. Il faut vraiment le considérer comme un successeur de l'U2, le célèbre avion espion. En 2001, un Global Hawk a traversé le Pacifique en une seule étape pour se poser après un vol de 22 heures en Australie. Pendant les opérations OIF et OEF, les Global Hawk ont fourni 55 % des images nécessaires au ciblage à forte contrainte de temps. En Afghanistan, les Global Hawk ont effectué plus de 60 missions de reconnaissance en plus de 1 200 heures de vol. Ils ont fourni à l'USAF et aux autres armées plus de 17 000 images à haute résolution en temps quasi réel.

Le système de navigation est composé d'un ensemble GPS, d'une centrale inertielle et de deux calculateurs de missions.

La version actuelle du Global Hawk est équipée des senseurs suivants :

- ➔ La plate-forme électro-optique/infrarouge (EO/IR) fonctionnant dans la bande visible [0,4-0,8 microns] et dans la bande IR [3,6-5 microns]. En mode localisation, le système peut prendre 1 900 clichés de zone de 2x2 km par jour avec une précision de 0,3 m. Le mode balayage permet de couvrir 40 000 nm² par jour avec un faisceau de balayage large de 10 km.
- ➔ Un radar SAR/indicateur de cibles mobiles fonctionnant en bande X avec une largeur de bande de 600 MHz et une puissance crête de 3,5 kW possédant une précision identique à la plate-forme EO/IR.

Le Global Hawk est capable de scanner 138 000 km² en 24 heures en utilisant son mode WAS (*Wide Area Search*) de 1 mètre de résolution. Il peut prendre 1 900 photos de 4 km² en 24 heures en utilisant le mode spot de 0.3 m de résolution. Dans son mode MTI (*Moving Target Indicator*), il peut balayer 15 000 km² en juste une minute.

Le système de communication qui assure le contrôle de l'appareil et la transmission descendante des données comprend des liaisons satellites (UHF, Ku) et des liaisons directes (UHF, VHF). Le système vole suivant une mission préprogrammée au sol, utilisant le système de préparation de mission standard de l'Air Force. Les opérateurs du système au sol ont la capacité de modifier la mission en cours de vol, mais ils ne pilotent pas le drone à distance.

Le Global Hawk se différencie donc du Predator qui est piloté à partir du sol.

Le segment sol comprend deux modules, le *Launch Recovery Element* (LRE) pour le contrôle en local et le *Mission Control Element* (MCE) pour la gestion de l'appareil sur zone.

Historique

Le Global Hawk a été lancé en 1995 sous la forme d'un *Advanced Concept Technology Demonstrator* (ACTD) qui s'est achevé en 2000. Entre 2001 et 2003, le programme était en phase *Engineering Manufacturing Development* (EMD). Il est actuellement en phase de production. En 2004, 9 appareils avaient été produits depuis le lancement du projet, dont quatre ont été perdus lors de crashes (deux en 1999, un en décembre 2001 et un en juillet 2002).

L'Allemagne a lancé le développement de sa propre version de ce drone dans le cadre du programme Eurohawk. Le 15 octobre 2003, le premier prototype a effectué un vol transatlantique de 21 heures d'Edwards AFB, California vers la base navale de Nordholz. Il s'agissait de démontrer la faisabilité technique d'utiliser des grands drones pour effectuer des missions de surveillance de grandes zones. En anglais, il s'agit de *Wide-Area Surveillance* (WAS) missions.

Coûts et délais

En dépit de leur succès sur le champ de bataille, les programmes UAV du DoD ont éprouvé des dépassements de coût et de délai ainsi que des déficits de performances, par exemple, le programme Global Hawk. Depuis le début du développement, les quantités prévues ont diminué de 19 % et le prix de revient unitaire d'acquisition a augmenté de 75 %.



Le GAO recommande que la production de Global Hawk soit limitée par le DoD jusqu'à ce que le programme démontre un système totalement intégré et développe de nouveaux débouchés pour justifier de futurs investissements et assure des objectifs de coût et de délais.

UN GLOBAL HAWK EN VOL

Figure A.4
Global Hawk's MCE



SOURCE: Nunn (2003), slide 15.

MCE : MISSION CONTROL ELEMENT

Figure A.5
Global Hawk's LRE



SOURCE: Nunn (2003), slide 15.

LRE : LAUNCH AND RECOVERY ELEMENT

LES STATIONS SOL POUR LA CONDUITE ET LE CONTRÔLE DU GLOBAL HAWK

Le Global Hawk RO-4B (Block 20)

Le 25 août 2006, le tout premier Global Hawk RQ-4B (Block 20) de série est sorti des usines de Northrop Grumman à Palmdale (Californie). Extérieurement peu différent de son prédécesseur RQ-4A (Block 10), il s'agit pourtant d'un Global Hawk avec de profondes évolutions.

Il emporte une charge utile de 50 % supérieure à celle du RQ-4A : 1 360 kg, au lieu de 907 kg.

Grâce à un générateur électrique additionnel, la puissance est multipliée par 2,5.

L'appareil reçoit un ensemble intégré évolué de capteurs, consistant en un radar à ouverture synthétique et une charge optique/infrarouge, qui améliore leur portée de 50 %.

Pour s'accommoder de la charge supplémentaire, son envergure passe de 35,4 m à 39,9 m et son fuselage est étendu de 13,5 m à 14,5 m. En outre, l'architecture ouverte du Global Hawk Block 20 lui permettra de suivre les évolutions futures des capteurs et systèmes de communication.

Bientôt une charge Sigint TI est prévue dans de prochaines itérations (Block 30 et 40) avec l'ajout d'une charge Sigint (recueil électronique), puis l'installation du nouveau radar MP-RTIP, développé par Northrop Grumman et Raytheon. Tout dernièrement, le GAO a demandé de surseoir à la version Block 30 du Global Hawk pour coûts de revient en exploitation prohibitifs. L'avion U2 qu'il devait remplacer est prolongé.

En 2007, c'est le 17^{ème} Global Hawk à être produit (9 sont des appareils de série de Block 10, dont 2 servent un programme de démonstration de l'US Navy). Depuis 2001, plusieurs d'entre eux ont été déployés en Afghanistan et en Irak ; deux sont actuellement toujours exploités sur les théâtres d'opérations.

L'objectif pour l'USAF est de disposer de 54 Global Hawk (incluant les appareils déjà livrés) à l'US Air Force. Le premier vol de la version Block 20 a eu lieu le 1^{er} mars 2007.

Le Global Hawk est en lice pour le programme BAMS avec une concurrence du Predator B version Mariner, détaillée ci-après.

Leur coût est à l'échelle de leur gigantisme : entre 50 et 70 millions de dollars par véhicule. Ils seront capables de sauvegarder toutes les images et les données enregistrées des différents capteurs lors de l'intégralité de la mission du Global Hawk.

Le programme BAMS (*Broad Maritime Surveillance*)

Le but du programme BAMS-UAV est de relever la flotte des P-3 Orion de l'US Navy des missions de routine ISR (*Intelligence Surveillance and Reconnaissance*). Dans le cadre de ce programme, deux grands drones s'affrontent, le Global Hawk et le Mariner un dérivé amélioré et plus grand du Predator B. Les Australiens ont déjà annoncé qu'ils participeraient à ce programme de plusieurs milliards de dollars. L'ambition est de libérer les avions de patrouille maritime des tâches ingrates dites « Dull » (*Dangerous, Dull and Dirty*) de « loitering » (hippodromes d'attente).



Le Mariner est un aérodyne multi missions, dérivé du Predator B et optimisé pour la reconnaissance maritime et de frontière de longue durée à haute altitude. En raison de sa nouvelle configuration, il peut réaliser des missions ISR en temps réel pendant une durée pouvant aller jusqu'à 49 heures.

LE MARINER EN VOL

En plus de 800 livres de carburant en interne, le Mariner peut emporter jusqu'à 3 800 livres en points externes. Il dispose d'un radar de surveillance maritime et terrestre Raytheon SeaVue (SV). Ce radar multi modes est capable d'effectuer des mappings SAR et de poursuivre plusieurs objectifs simultanément, même de petits objectifs dans des conditions de mer difficile. A titre d'exemple, le radar peut détecter un homme dans un radeau de survie à 30 miles nautiques et un super tanker à 230 miles nautiques de distance.

2. Les drones MALE

Israël

Le Heron TP

Le Heron TP est un drone MALE développé par IAI pour des missions ISTAR (*Intelligence, Surveillance and Target Acquisition Reconnaissance*) à longue distance et à haute altitude. Il a effectué son premier vol le 15 juin 2006 et doit assurer la permanence du recueil ISR au profit des forces armées israéliennes dans le futur. Propulsé par un turbopropulseur Pratt&Whitney Canada PT6A de 1,200 CV, il pourra opérer au-dessus de 40 000 pieds. Il dispose d'une endurance de plus de 36 heures à sa capacité d'emport maximale. Sa masse maximale au décollage est de 4 650 kg et il dispose d'une

charge utile capteurs de plus de 1 000 kg adaptable en fonction de la mission. Il peut emporter des charges en externe sous les ailes. Il est équipé de liaison LOS et SATCOM et d'un dispositif de décollage et atterrissage automatique (ATOL).



HÉRON TP EN VOL

Fiche caractéristique du Héron TP (à comparer avec celle de l'Advanced UAV) :

Motorisation : Turbopropulseur	Distance de décollage : < 1 000 m
Puissance : 1 200 ch	Plafond opérationnel : < 45 000 ft
Masse maxi au décollage : 3 900 kg	Altitude opérationnelle : < 41 000 ft
Capacité de charge utile : > 450 kg	Temps de montée en altitude : < 60 min
Capacité de carburant : 1 750 kg	Vitesse maxi : 205 kts à 41 000 ft
Longueur : 13 m	Vitesse de croisière : 125 à 160 kts
Envergure : 26 m	Autonomie : 24 h
Hauteur : 3,3m	12 h d'endurance sur zone : à 1 500 km

États-Unis

MQ-9 Reaper

Le MQ-9 est la dernière évolution en service du Predator. Il se classe entre la catégorie des MALE et des HALE. Au-delà de ses capacités de reconnaissance et de renseignement temps réel, il est tout particulièrement dédié à la reconnaissance armée. Il permet d'assurer d'une permanence « *hunter-killer* » très utile dans le cadre de la mission de traitement des cibles à forte contrainte de temps, une mission plus connue sous le terme de *Time Sensitive Targeting* (TST).



MQ-9 REAPER

Il dispose de capteurs EO, IR, d'un illuminateur et d'écartomètre laser. L'équipage se compose d'un pilote et d'un opérateur de capteurs. Le premier escadron opérationnel de

Reaper est déployé au sein du 42^{ème} escadron à Creech Air Force Base, Nevada depuis novembre 2006. Les MQ-9 sont actuellement engagés au-dessus des théâtres d'opération moyen-orientaux depuis 2007. Le MQ-9 est actuellement utilisé par les gardes-frontières (AMO of DHS) le long de la frontière mexicaine depuis l'Arizona.

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DU MQ-9A

MQ-9A			
Length	36 ft	Wing Span	66 ft
Gross Weight	10,500 lb	Payload Capacity	*3750 lb
Fuel Capacity	4000 lb	Fuel Type	JP
Engine Make	Honeywell TPE 331-10Y	Power	900 SHP
Data Link(s)	BLOS	Frequency	Ku-band
	LOS		C-band
* Up to 3000 lb total externally on wing hard points, 750 lb internal.			
Performance:			
Endurance	24 hr/clean 4-20 hr/external stores	Maximum Loiter Speeds	230/120 kt
Ceiling	50,000 ft	Radius	1655 nm
Takeoff Means	Runway	Landing Means	Runway
Sensor(s)	EO/IR/laser rangefinder/ laser designator	Sensor Model(s)	MTS-B
	SAR/MTI		AN/DAS-1
Weapons	4x500 lb class or 10x250 lb class		

Le moteur conventionnel de 100 chevaux du MQ-1 est remplacé par un puissant turbo-propulseur.

Le Predator B, produit « vedette » aux États-Unis, est également qualifié par des « technologues » du *Homeland Security* de *Watchkeeper made in America*. L'*US Customs and Border Protection* (CBP), rattaché au *Department of Homeland Security*, vient d'en recevoir un exemplaire. Le drone livré est équipé d'un ensemble EO/IR ainsi que d'un radar Lynx de surveillance du sol. Ayant une dimension supérieure au drone tactique, son maintien en condition opérationnelle est assuré par les employés de General Atomics, avec une mise en œuvre exercée par l'*Arizona Control Initiative*. Un Predator B du même type a récemment volé, équipé d'une nacelle de brouillage électronique ALQ-131 (V) et d'un interféromètre passif de géolocalisation. Lors du vol, le test fut conduit par le *Community ELINT Management Office* (CEMO) implanté à Fort Meade, au siège de la *National Security Agency*. Le but de cette expérimentation initiée par l'*Air Force Information Warfare Laboratory* était de détruire le plus rapidement possible les radars adverses.

Caractéristiques

Longueur : 10,97 mètres

Envergure : 20,12 mètres

Charge utile interne : 363 kg

Charge utile externe : 1 361 kg

Masse maximale au décollage : 4 536 kg

Altitude maximale : 14 520 mètres (50 000 pieds)

Autonomie de vol : Plus de 30 heures

Moteur : Turbopropulseur Honeywell TPE 331-10T. Vitesse : 407 km/h



(PREDATOR B EN VOL ET AU SOL. PHOTO GENERAL ATOMICS AERONAUTICAL SYSTEMS INC.)

Capteurs et capacités

Il peut être intéressant de souligner les capacités des grands drones pour effectuer ces missions de surveillance plutôt que d'autres aéronefs ou d'autres moyens de surveillance et d'alerte. Les grands drones sont des vecteurs, par nature, intrinsèquement multi charges utiles et peuvent donc permettre une approche multi spectrale (IR, EO, Radar, Spectromètre, Ecoute, etc.), dans son environnement et cela de manière permanente. Cette capacité de permanence du recueil multi spectral est remarquable et unique.

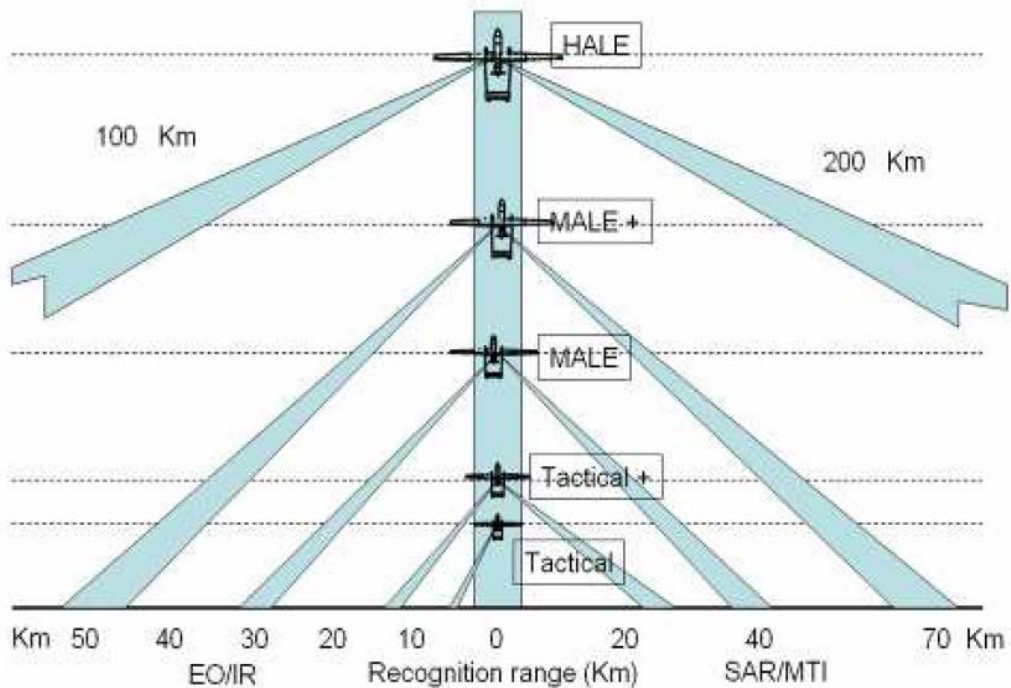
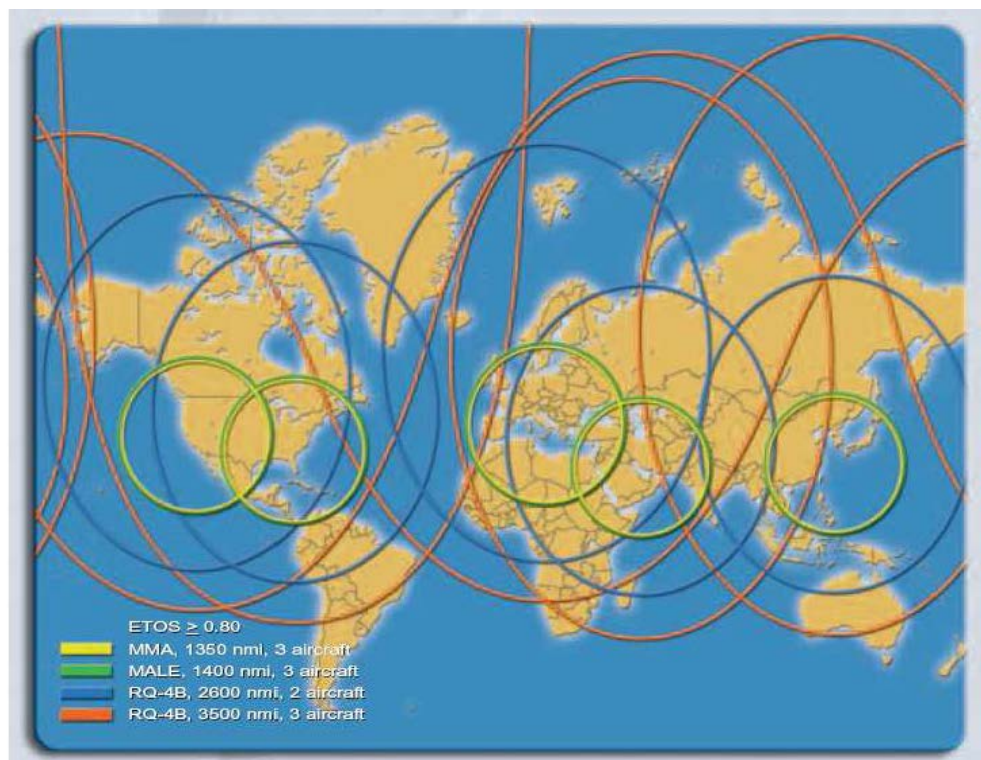


ILLUSTRATION DES PORTÉES DE RECONNAISSANCE EN FONCTION DES TYPES D'UAV¹⁷

¹⁷ Source : Satellite et grands drones dans le cadre de la politique spatiale française et européenne, p. 151.

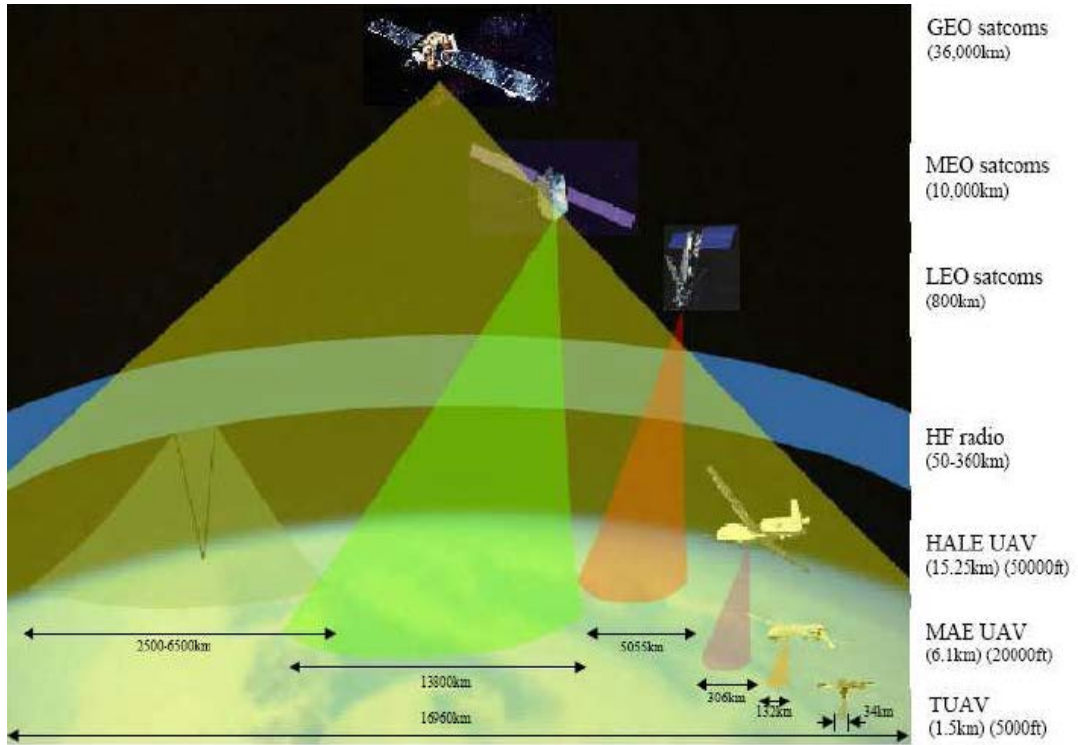
Au-delà de leurs capacités multi senseurs, les grands drones disposent de cette unique capacité, en raison de l'absence de pilote à bord, de pouvoir « marauder » à de grandes distances et cela pendant plusieurs dizaines d'heures. Le niveau d'automatisation du grand drone est très abouti comme sur le Global Hawk par exemple. Cela permet d'envisager une permanence de la surveillance, non seulement dans la durée, mais également dans la profondeur de l'espace maritime, terrestre ou aérien. C'est rendu possible grâce à un niveau de fiabilité très élevé. Dans ce domaine beaucoup de progrès ont été réalisés notamment grâce aux systèmes de poser et de décollage automatique. Mais plus le système sera déployé à de longues distances, plus il dépendra en particulier de la fiabilité et de la disponibilité des liaisons satellites.

En ce qui concerne les bandes de fréquences, une conférence mondiale des radio-télécommunications (CMR) se tient tous les quatre ans. Son but est d'essayer d'organiser le meilleur partage possible du spectre électromagnétique. Il n'est pas extensible et il faut donc le partager. Elle tente d'arbitrer pour essayer de satisfaire les besoins toujours croissants des opérateurs de téléphonie mobile et les États toujours soucieux de préserver un domaine qui fait pleinement partie de leurs prérogatives. La dernière CMR a eu lieu en novembre 2007, elle vient seulement de poser le problème des bandes de fréquences nécessaires aux drones. Cette demande a été étudiée et a fait l'objet de l'ordre du jour de la CMR de 2011, pour une décision de la CMR 2015 !



NATIONAL HALE AND MALE UAV AREA COVERAGE CAPABILITIES¹⁸

¹⁸ Source : brochure programme BAMS.



COMPARAISON D'EMPRISE AU SOL ENTRE SATELLITE ET UAV ET RADIO HF

Annexe 3 DERNIERS DEVELOPPEMENTS TECHNIQUES

Programmes DARPA

MTO 06/07 (ex SPO) : Integrated Sensor is Structure (ISIS) 07/07/2007

Parti de MTO vers STO en 2009

Le but du programme *Integrated Sensor IS Structure* (ISIS) est de développer un dirigeable, capteur non habité autonome, stratosphérique avec des années de persistance sur zone pour la surveillance et le pistage des cibles aériennes ou terrestres. Il aura la capacité de pister les missiles de croisière les plus avancés à 600 km et les combattants ennemis démontés à 300 km. Le programme ISIS développera les technologies qui permettent à des réseaux d'antennes radar à dipôles légers et extrêmement grands d'être intégrés dans une plate-forme de dirigeable. ISIS utilise une grande ouverture d'antenne au lieu de la forte puissance afin de répondre aux exigences des performances radar. Cette approche exploite la taille de la plate-forme et se conforme aux limitations de la plate-forme en matière de poids et d'alimentation électrique. Les défis techniques principaux sont le développement d'antennes ultra légères, les technologies de calibrage d'antenne, les systèmes d'alimentation, la veille des approches et des structures de dirigeables qui supportent des antennes extrêmement grandes.

TTO 07/08 : Vulture 07/04/2008

Vulture

L'objectif du programme Vulture est de développer un avion capable de rester sur zone de façon continue pendant plus de cinq années pour assurer le renseignement, la surveillance et la reconnaissance (ISR) et les missions de transmission au-dessus d'un centre d'intérêt. Les défis technologiques incluent le développement des techniques de gestion et de fiabilité de l'énergie pour permettre à l'avion de fonctionner sans interruption pendant cinq années. Vulture aura la capacité d'être remissionnable, avec une persistance de pseudo satellite, dans un aéronef.

Derniers développements

Drones du futur

La DARPA publie une annonce relative au programme de véhicule aérien "Vulture". Il s'agit d'un programme de développement exploratoire qui devra valider la possibilité de mettre en place et de maintenir une charge aérienne pendant une durée ininterrompue d'au moins 5 ans, avec une plate-forme plus lourde que l'air. Les approches utilisant une source d'énergie radioactive ou un principe de vol flottant ne sont pas concernées. La charge pèserait 1 000 livres et aurait une puissance de 5 kW. Elle devrait rester en vol pendant au moins 5 ans avec une probabilité supérieure à 99 %. Les secteurs techniques concernés seraient principalement le recueil d'énergie dans l'environnement, le stockage d'énergie à haute densité, les systèmes de propulsion à haut rendement, le ravitaillement en vol robotisé de précision, le transfert de matériel autonome, une conception de structure très efficace et l'atténuation des charges induites par l'environnement.

Aéronefs stratosphériques

Pathfinder Systems Inc. propose une conception regroupant des innovations aérodynamiques, structurales, de propulsion et d'automatisation du vol pour lancer le développement d'un véhicule aérien à vol de longue durée, répondant aux besoins de renseignement, reconnaissance et surveillance (ISR) de l'Air Force et à d'autres besoins demandant une capacité de permanence à 20 000 m et plus. Il est envisagé que la surveillance de plusieurs centaines de kilomètres carrés soit réalisée par une paire de véhicules, ou que cinq de ces zones soient couvertes par un groupe de 12 véhicules (incluant les rechanges).

Dirigeables

<http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/55375.htm> BE Russie 17 11/07/2008

Un nouveau concept d'aéronef hybride : avion + dirigeable

Des ingénieurs russes de l'Oural ont créé un nouveau concept de transport aérien hybride qui combine les technologies classiques des avions et des dirigeables. Ce nouvel appareil, nommé "BARS" par ses concepteurs, fonctionne principalement à l'hélium et peut atteindre une vitesse de croisière de l'ordre de 300 km/h. Le cœur de l'appareil est constitué d'une couronne toroïdale dans laquelle l'hélium injecté assure une poussée verticale permettant de lever l'engin et de deux moteurs de vol entraînant le déplacement jusqu'à atteindre la vitesse de croisière. Ce nouveau concept présente un grand nombre d'avantages par rapport aux avions et aux dirigeables. D'une part il ne nécessite pas d'infrastructures particulières : pistes de décollage, hangars, tours d'amarrage (dirigeables). D'autre part, il s'avère bien plus rentable grâce à une consommation en carburant inférieure à celle des autres moyens de transports. Le prototype a déjà été testé en banc d'essai et en vol. Il dispose en Russie de toutes les autorisations officielles pour voler. Les ingénieurs russes travaillent actuellement sur la mise en place d'un partenariat public-privé, impliquant de nombreuses entreprises russes dont le bureau central d'études "Progress" de Samara. Leur but est de financer des projets à grande échelle et de concevoir un dirigeable BARS très gros porteur capable de transporter jusqu'à 500 tonnes de fret. Ce nouveau porteur peut en effet s'avérer très utile pour le transport de fret ou de personnes en zones difficiles d'accès, l'aménagement du territoire, la gestion et l'exploitation des ressources naturelles, etc.

FEDTECH 12/12/2006

Le Department of Homeland Security (DHS) a l'intention de publier une consultation pour le développement de plates-formes plus légères que l'air (LTA), pouvant participer à la surveillance permanente des côtes.

FEDTECH 08/08/2008

Le Naval Air Systems Command (NAVAIR) lance une étude de marché pour identifier des fournisseurs potentiels de plates-formes ou systèmes aériens plus légers que l'air (LTA). Ces plates-formes sans équipage (ou éventuellement habitées) auraient la possibilité de servir pour des fonctions de :

- renseignement, surveillance, reconnaissance et communications (ISRC),
- soutien logistique (habité) pour les décisions et les manœuvres au niveau tactique,
- défense aérienne à basse altitude ou protection des forces au niveau des unités, au profit des bateaux de la marine ou des forces terrestres du corps des marines.

Un système typique pourrait comporter plusieurs véhicules aériens, une station terrestre de contrôle, des charges multi missions adaptables et un équipement de lancement, de récupération et soutien, avec un rayon d'action de 5 000 milles marins.

Engins volants de tous types

<http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/58344.htm>
BE Russie 19 26/03/2009

La 3^{ème} édition du Forum international UVS-TECH 2009 a donné l'occasion aux ingénieurs russes de présenter différents projets d'engins volants, même de soucoupes volantes. Les machines proposées, avec ou sans pilote, peuvent aller d'un petit engin léger de quelques kilos à des "monstres" de 250 m de diamètre. Le Centre scientifique et technique RISSA a mis au point un engin volant sans pilote (EVSP) totalement automatique, sorte d'hybride entre l'avion et l'hélicoptère. Ces appareils, appelés en russe "*vertikalki*", ressemblent extérieurement à des soucoupes volantes, leur hélice, comme tous les autres instruments, étant intégrée dans le corps de l'appareil, explique le directeur général et constructeur général de RISSA, Evguéni Yantchouk. Ce sont des sortes de drones, utilisables notamment par l'armée. Le principe du pilotage est proche de celui du guidage des fusées. "*Nos EVSP n'ont pas besoin de pistes d'atterrissage, ni d'aérodromes équipés. Ils peuvent se poser dans un champ*", affirme Evguéni Yantchouk. Le ministère de la Défense pourrait être intéressé par un autre appareil volant, baptisé Lokomskaner, dont le dessin rappelle une soucoupe volante. Selon ses concepteurs, le diamètre de cette

machine devrait être de 250 m, et sa hauteur de 100 m. Ce géant pourrait embarquer une charge utile d'un millier et demi de tonnes. Cet appareil peut se déplacer en ligne droite, faire demi-tour, descendre vers un point précis, ou atterrir à la verticale. Sa forme lui assure une bonne stabilité même en cas de forts vents. Selon un de ses concepteurs, Igor Trifonov, les possibilités du Lokomskaner ont déjà attiré l'attention de possibles commanditaires tant en Russie qu'à l'étranger. Le ministère russe de l'Intérieur se montre pour sa part très intéressé par le Dozor-4, un nouvel avion sans pilote, qui rappelle un peu un appareil d'aéromodélisme, en plus gros. Mais ce n'est pas pour jouer que les gardes-frontières russes entendent l'utiliser. Cet appareil a fait étalage de toutes ses possibilités. Il se commande facilement depuis le sol à l'aide de manettes servant à le guider, gérer le moteur et faire pivoter la caméra embarquée. A la différence des autres appareils russes conçus à ce jour, dont la durée de vol est limitée à deux heures, le Dozor-4 peut demeurer en vol huit heures durant. Les gardes-frontières envisagent très sérieusement de créer une unité reposant sur cette machine. 12 appareils supplémentaires ont d'ores et déjà été commandés pour des tests plus approfondis. L'Institut aéronautique de Moscou (MAI) a quant à lui présenté le Voron, un nouveau type d'hélicoptère sans pilote : il est doté d'un rotor principal en forme de "X", ce qui constitue une première mondiale. L'engin conçu par les ingénieurs du MAI est de petite taille (il ne pèse que 38 kilos), mais il est capable d'emporter plus d'une cinquantaine de kilos. Son rotor en "X" lui confère, aux dires de ses concepteurs, des qualités exceptionnelles. Cet appareil est, selon eux, aussi maniable qu'un hélicoptère sportif tout en ayant la résistance d'un hélicoptère de transport de fret. Il peut fonctionner en régime aussi bien automatique que manuel.

FEDTECH 01/01/2006

Contrôle de véhicules plus légers que l'air

Princeton Satellite Systems propose de développer un système de contrôle et de surveillance d'une station, relais de données à haute altitude, portée par une enveloppe plus légère que l'air. La proposition comporte trois innovations majeures : une loi de contrôle qui englobe toute l'enveloppe volante, une optimisation de la trajectoire en fonction des directions du vent et du soleil pour améliorer le rendement énergétique, et une architecture logicielle adaptable donnant la capacité de modifier à distance les conditions de vol.

Entre Zeppelin et hélicoptère – Un nouveau concept d'aéronef

<http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/55071.htm>
BE Allemagne 390 18/06/2008

Dans le cadre d'un projet débuté en mars 2008, des étudiants en électronique de l'école supérieure d'Aalen développent un aéronef fonctionnant sur le principe d'un Zeppelin et d'un hélicoptère. L'engin attirerait déjà l'attention et la reconnaissance des spécialistes. Les quatre étudiants d'Aalen (Sebastian Maier, Stefan Saulig, Christian Banzhaf et Pascal Klipstein) développent tout l'engin, depuis la construction mécanique, le choix des capteurs et la conception des circuits électroniques jusqu'au développement des logiciels. Le nom de l'invention, QuadZeppCopter, vient du fait que le Zeppelin est équipé de quatre rotors (au lieu d'un habituellement). "*Nous utilisons quatre chambres (toroïdes) séparées les unes des autres et remplies d'hélium, ainsi que quatre hélices indépendantes*", explique le Prof. Dr. Manfred Bartel. L'équipement redondant de l'aéronef permettra à ce dernier d'être ramené au point de départ en cas de perte d'une unité de lévitation ou d'un rotor. L'électronique de pilotage est également conçue de façon redondante pour qu'en cas de panne (capteur ou processeur) un deuxième système puisse être activé. "*La structure globale rend possible de nouveaux modes de vol, comme le maintien statique dans l'air et le pilotage dans toutes les directions*", continue le Prof. Bartel. Les étudiants veulent y placer une caméra pour enregistrer des images aériennes de haute qualité ou des vidéos aériennes, technique applicable par exemple aux sites archéologiques ou aux sites en travaux. Selon le Prof. Bartel, le Zeppelin pourrait alors constituer une alternative aux techniques d'enregistrement actuelles, nettement plus coûteuses et nécessitant à la fois le recours à des avions et à des grues. Dans la pratique, le QuadZeppCopter sera piloté par Radio Data System (RDS) depuis une station au sol, tandis que ses mouvements seront observés par une deuxième caméra embarquée. Le QuadZeppCopter pourrait également voler de façon autonome, à l'aide d'un

pilotage par GPS. Une prédéfinition des tâches permettrait même à l'aéronef de réaliser une suite de déplacements sans intervention de l'utilisateur, par exemple une séquence décollage suivie de différents mouvements. Les composants mécaniques devront être conçus en vue d'une construction légère, par exemple avec des matériaux tels que des polymères renforcés par fibres de carbone. Pour l'ensemble, différents partenaires ont été contactés : l'entreprise C.F. Maier Königsbronn se chargera des composants mécaniques, l'entreprise Zeppelin NT Friedrichshafen pourrait apporter un soutien au niveau de la construction du Zeppelin. L'entreprise Praxair Bopfingen fournira l'hélium nécessaire aux étudiants et Vate Ellwangen les batteries lithium-polymère. Le concept global a déjà été présenté à Michael Stephan, Directeur de la recherche et du développement d'Eurocopter, qui s'est montré convaincu par les travaux réalisés jusqu'à présent.

FEDTECH 02/02/2011

La DARPA a l'intention de notifier au laboratoire de sciences physiques de l'Université d'État du Nouveau Mexique (NMSU/PSL) un contrat pour la fourniture de moyens, de matériels et de soutien, au profit des essais en vol du véhicule aérien de démonstration en vol (FD) du programme Vulture. Deux phases sont prévues. La première portera sur une étude et une analyse d'ingénierie des aspects navigabilité et sûreté, et sur le développement d'un plan d'essais en vol. Elle durera jusqu'au 14 août 2011. La seconde portera sur la modification des installations existantes et l'acquisition de tous les moyens nécessaires pour effectuer les essais en vol. Elle débutera le 15 août 2011 et durera jusqu'à la fin des essais en vol, prévue au troisième trimestre de l'année fiscale 2014.

Des "soucoupes volantes" à Oulianovsk

<http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/63233.htm>
BE Russie 30 04/05/2010

Un programme, s'étalant sur plusieurs années, de construction de "soucoupes volantes" a été approuvé par le gouvernement de la région d'Oulianovsk. Ce programme ciblé prévoit, plus précisément, au niveau local, "la création pour 2010-2014 d'appareils volants aérostatiques à lest thermique" (abréviation russe : ATLA), autrement dit de dirigeables. Un accord a été signé à la fin de l'année dernière entre les sociétés Lokomosky et Bedford Group pour la construction de ces "soucoupes volantes". Le contrat se monte à 1,8 milliard de roubles. La réalisation du projet permettra de créer un moyen de transport universel fondamentalement nouveau. L'exploitation de ce type d'appareils ne sera pas tributaire des saisons et des conditions climatiques. L'aérostat sera capable de transporter une lourde charge (60 tonnes), pour une faible dépense de carburant, la distance et la durée pouvant être quasiment illimitées. Il ne nécessitera pas la présence d'aérodromes ni d'infrastructures au sol complexes, explique le ministre de l'Économie de la région d'Oulianovsk, Oleg Amous. Ce projet avait été présenté lors de la réunion du bureau du Conseil d'État qui s'était tenu à Oulianovsk en novembre 2009, sous la présidence de Dimitri Medvedev. Selon les spécialistes du ministère de l'Économie de la région, la réalisation de ce projet de création de l'ATLA intéresse les militaires, les sauveteurs, le secteur de la construction et du génie civil, les médecins. C'est la raison pour laquelle prendront une part active à ce projet diverses sociétés et organisations scientifiques et de production. Les concepteurs du projet espèrent bien recevoir également le soutien des organes exécutifs du pouvoir. La réalisation du projet nécessitera plus de 2,7 milliards de roubles. Elle générera la création de quelque 800 emplois et permettra de faire rentrer annuellement 120 millions de roubles d'impôts supplémentaires. Au total, ce projet devrait permettre d'injecter 5,5 milliards de roubles dans l'économie nationale.

Objectif du premier dirigeable à énergie solaire : traverser la Manche

<http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/60161.htm>
BE France 230 30/07/2009

Une équipe constituée d'étudiants a décidé de traverser la Manche à bord de Nephelios, le premier dirigeable à énergie solaire conçu dans le cadre du projet Sol'R. Une seconde version de ce dirigeable, équipée de panneaux solaires et d'une pile à combustible, qui pourrait être prête avant la fin de cette année, pour tenter de traverser l'Atlantique courant 2010.

Le développement durable ouvre-t-il le ciel au dirigeable ?

<http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/57215.htm>

BE France 220 09/01/2009

Pégase, pôle de compétitivité dont la vocation est de développer l'activité économique du secteur aéronautique et spatial de la Région Provence-Alpes-Côte-d'Azur (PACA), s'est intéressé dès sa création à la filière "dirigeable". Celle-ci s'est d'ailleurs imposée parmi les sujets les plus urgents à traiter sous la forme d'un workshop. D'où le premier du genre, organisé par Pégase dès mai 2007. Durant trois jours, la réflexion des participants s'est articulée autour de deux marchés du dirigeable : le dirigeable transport de charges lourdes de quelques tonnes à 1 000 tonnes et le dirigeable stratosphérique comme complément du satellite. Trois jours au cours desquels tous les sujets ont été examinés : faisabilité technique et rentabilité économique de la filière, pertinence d'une filière unique ou de plusieurs sous-filières, définition d'une feuille de route réaliste et interactive, mobilisation des décideurs économiques et politiques, etc. A la suite de ce workshop et d'un travail visant "à consolider la pertinence et les modalités du développement la filière dirigeable en France et en Europe", le pôle Pégase a donc décidé de proposer une synthèse de ce travail sous la forme d'un "Livre Blanc". Intitulé "*Les Dirigeables*", celui-ci établit ainsi l'état de l'art de cette filière en France et dans le monde, en précise les enjeux de développement et définit les problèmes technologiques inhérents à ce type de projet, exposés sous la forme de recommandations à destination des décideurs nationaux, politiques et financiers. Ce "Livre Blanc" propose également une feuille de route générale qui pourrait permettre de concrétiser de manière pragmatique les promesses de cette filière.

Ballon dirigeable

NewScientist 2762 P 4 29/05/2010

Un dirigeable qui mesure 20 x 80 mètres est destiné à transporter des charges de 900 kg à des altitudes de 6 000 mètres et de se déplacer à des vitesses de 130 km/h. Il constitue une plateforme idéale pour surveiller la surface de la Terre et étudier la météo et l'atmosphère. On espère aussi l'utiliser pour la télédiffusion. Les militaires pourraient l'utiliser pour les communications et même pour transporter des armes. Le matériau constituant l'extérieur est résistant aux balles. Il est intéressant pour la faible consommation de carburant, mais son prix d'investissement est élevé (8 M\$). Il doit être lancé au cours des prochains mois.

Pollution et traitement de la pollution de l'air

Un dirigeable pour la recherche sur le changement climatique

<http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/69949.htm>

BE Allemagne 570 10/05/2012

Dans quelques jours commencera le plus long déploiement de Zeppelin NT pour la recherche climatique. Le 4 mai 2012 dans la ville de Friedrichshafen (Bade-Wurtemberg), commune sur la rive nord du lac de Constance (Bodensee), la Ministre fédérale de l'enseignement et de la recherche Annette Schavan a lancé ce nouveau projet conjointement avec Robert-Jan Smits, Directeur Général de la DG Recherche de la Commission Européenne, et divers représentants du monde scientifique. Au total, le Zeppelin NT volera une vingtaine de semaines à travers le ciel européen, et mesurera la composition de l'air dans les Pays-Bas, l'Italie, et au-dessus de l'Adriatique, pour finir sa course en Finlande. Les coordinateurs du projet, des scientifiques du Centre de recherche de Jülich (Rhénanie du Nord-Westphalie), font également partie du projet de recherche de l'Union européenne "PEGASOS" (Pan-European-Gas-AeroSOI-Climate Interaction), financé par la Commission dans le cadre du 7^{ème} PCRD. "*Le grand projet européen Pegasos et les vols de recherche du Zeppelin NT peuvent apporter une contribution importante à la protection climatique et à la recherche pour la durabilité*", a souligné la Ministre. "*L'étude et la protection du climat sont des tâches qui ne peuvent se traiter qu'à l'échelle internationale. Pegasos est un exemple particulièrement impressionnant de coopération réussie en matière de politique de recherche européenne. Le Zeppelin NT et les scientifiques du Centre de recherche de Jülich apportent une contribution significative dans ce domaine*". L'Institut Max-Planck de chimie de Mayence (Rhénanie-Palatinat), l'Institut Leibniz de recherche sur la troposphère de Leipzig (Saxe) et le Centre Helmholtz de Geesthacht (Schleswig-Holstein) sont également

impliqués dans ce projet. La recherche sur le climat est une priorité de la politique de financement du Ministère fédéral de l'enseignement et de la recherche. Placée sous le signe de "la Terre – un projet d'avenir", l'Année de la Science 2012 est dédiée à la recherche pour le développement durable, dans laquelle le climat joue un rôle central. La campagne du Zeppelin NT permettra de mesurer le lien entre la chimie atmosphérique et les changements climatiques et ainsi d'en clarifier les processus déterminants. Les résultats sont destinés à fournir une base de données utilisable à l'échelle européenne pour l'amélioration de la qualité de l'air en tenant compte des bouleversements climatiques. Les chercheurs de Jülich utilisent pour la troisième fois le Zeppelin NT comme plate-forme de recherche, mais c'est une première dans l'espace de vol européen. Dans les deux précédentes missions (2007 et 2008), les climatologues avaient volé principalement dans la région du lac de Constance.

Énergie à bord d'un aéronef léger

FEDTECH 01/01/2007

L'*United States Special Operations Command* (USSOCOM) a l'intention de négocier avec AeroVironment Inc. la réalisation d'un démonstrateur technologique de capacité conjointe (JCTD) pour "l'observateur global" (GO). Ce démonstrateur doit permettre de vérifier l'utilité tactique d'un système d'aéronef non habité (UAS) fonctionnant à l'hydrogène pour des missions de longue durée (cinq à sept jours) à des altitudes de 55 000 à 65 000 pieds. AeroVironment a déjà réalisé un UAS prototype à échelle réduite utilisant une pile à combustible et un réservoir léger pour hydrogène liquide. Il a également réalisé un moteur à combustion interne fonctionnant à l'hydrogène et démontré son fonctionnement dans une chambre simulant une altitude supérieure à 65 000 pieds, pendant un cycle correspondant à une mission de cinq jours.

Premier vol réussi d'un modèle d'avion équipé d'une pile à combustible

BE Allemagne 329 05/04/2007

Le premier vol d'un modèle d'avion équipé d'une pile à combustible s'est déroulé avec succès dans les environs de Berne (Suisse). L'avion nommé "HyFish", développé par le DLR (centre de recherche aérospatiale allemand) en partenariat avec des industriels, pèse 6 kg, a une envergure de 1 mètre et une longueur de 1,2 mètre. Les chercheurs de l'Institut de thermodynamique du DLR à Stuttgart ont réussi à intégrer dans un volume restreint une pile à combustible dans son intégralité permettant ainsi au système de pouvoir fonctionner. La pile à combustible à électrolyte polymère (PEFC) produit une puissance de 1 kW pour une masse totale de 3 kg, incluant le système de production d'hydrogène. Le réservoir d'hydrogène à haute pression comprend 200 litres et permettrait un vol d'une durée de l'ordre de 15 minutes. La pile à combustible sert à alimenter une hélice située à l'intérieur de l'appareil. Le projet HyFish a pour but essentiel de servir de plate-forme de démonstration pour les chercheurs, leur permettant ainsi de tester la puissance des piles à combustible.

FEDTECH 12/12/2006

Star Technology Research Inc propose une conception innovante d'aéronef qui combine des cellules solaires et des piles à combustible pour produire et stocker l'énergie, une propulsion par un moteur électrique et un propulseur à haute altitude, et une conception structurale adaptable à la phase de vol, pour aboutir à une plate-forme aérodynamiquement stable et ayant une grande endurance, capable de rester indéfiniment à des altitudes au-dessus de 20 km.

Amélioration des sources d'énergie pour aéronefs

Kinetic BEI LLC propose de développer le principe du moteur à nutation de disque de Meyer, dont un prototype de 80 kW existe, pour atteindre un niveau de performance et de fiabilité compatible avec les besoins militaires. L'objectif du projet serait une version de 20 chevaux, adaptée à des applications sur véhicules aériens non habités (UAV).

Génération électrique pour véhicules aériens non habités

Aeroenvironment Inc et Lynntech Inc proposent d'étudier la faisabilité de systèmes de stockage d'énergie hybrides, intégrant une pile à combustible et des batteries, ayant une énergie spécifi-

que élevée (800 Wh/kg), et utilisant un hydrure chimique combiné avec de l'eau pour produire le carburant hydrogène. L'étude serait orientée vers un emploi sur un petit véhicule aérien non habité de l'Air Force, tel que le Raven ou le PUMA. L'autonomie visée serait de 12 heures au lieu de 1 ou 2 heures actuellement.

Stockage d'énergie dans la structure de véhicules aériens

Advanced Ceramics Manufacturing propose de faire la démonstration d'une technique qui utilise des fibres de carbone et des polymères résistant à haute température pour stocker de l'énergie électrique dans la structure de véhicules aériens non habités ou de missiles, et réduire leur masse globale. Ce stockage pourrait remplacer ou renforcer les batteries pour répondre à des besoins de puissance temporaire de courte durée. Les électrodes seraient formées de fibres de carbone insérées dans des composites résine – fibres de carbone pour accroître la capacité de stockage.

Mesoscribe Technologies Inc propose de réaliser des condensateurs multicouches et de grande surface directement sur les surfaces de l'aéronef ou de l'UAV pour stocker l'énergie. La réalisation serait faite par application directe de matière et oxydation amorcée par plasma afin d'obtenir des couches isolantes très fines (20-50 nm) entre des plaques métalliques. En répétant le procédé pour avoir 30 à 100 couches, on pourrait atteindre une capacité de 1 à 2 farad par mètre carré.

FEDTECH 06/06/2008

Le bureau des technologies tactiques de la DARPA a l'intention de confier au National Institute of Aerospace les travaux de la phase finale de l'étude Sky Walker. L'objectif de cette étude est d'aboutir à une définition conceptuelle et à une évaluation des sous-systèmes, qui permettraient à des véhicules aériens non habités (UAV) d'utiliser l'énergie de convection de l'atmosphère pour augmenter l'altitude, la durée et la distance en vol, sans nécessiter de carburant supplémentaire ni réduire la charge utile. Le but des travaux et simulations à venir serait essentiellement de mesurer la possibilité de détecter et d'utiliser l'énergie présente dans l'atmosphère, et de déterminer si cette énergie utilisable serait suffisante pour répondre aux besoins opérationnels.

Développement d'un hélicoptère miniature alimenté par des piles à combustible

<http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/57937.htm>
BE Allemagne 425 25/02/2009

Un hélicoptère miniature alimenté par une pile à combustible (PAC) particulièrement légère a été développé par des chercheurs allemands. Dans un avenir proche, de tels appareils pourraient offrir un soutien dans le secours de personnes se trouvant par exemple dans un immeuble en feu. Pour qu'une pile à combustible ait un bon rendement, plusieurs cellules doivent être placées les unes à la suite des autres. Habituellement, les constructeurs empilent plusieurs plaques en métal les unes au-dessus des autres, contenant chaque fois un canal pour l'air et un autre pour l'hydrogène. Cette structure alourdit la pile. Des chercheurs de l'Institut Fraunhofer de fiabilité et de micro intégration (IZM) et l'Université technique de Berlin (TU) ont travaillé en coopération de façon à développer une pile à combustible pesant 30 grammes et fournissant une puissance de 12 Watt. La PAC légère est ainsi assez puissante pour alimenter un hélicoptère d'une taille de 20 cm. La haute densité de puissance (400 W/kg), fournie par les PAC, n'avait jamais été atteinte par des systèmes pesant quelques centaines de grammes. Pour parvenir à leur résultat, les chercheurs allemands ont remplacé les plaques de métal par des plaques polymères. L'alimentation de la PAC fonctionne comme suit : le vent des pales de rotor parvient directement dans l'auvent garantissant l'approvisionnement en air. La PAC est alimentée en hydrogène par le biais d'un petit réacteur comparable à une cannette en aluminium miniature, dans laquelle se trouve du borohydrure de sodium (NaBH₄) : par réaction avec l'eau, de l'hydrogène est produit. Une grande partie de l'énergie sert à maintenir l'hélicoptère dans les airs, ce qui sous-entend une production constante d'hydrogène. Si l'appareil manque d'hydrogène, l'hélicoptère chute ; s'il y en a trop, davantage de "carburant" doit être transporté, ce qui augmente le poids. Un premier prototype de la PAC légère a déjà été développé : il est de la taille d'une boîte d'allumettes. Au cours de cette année, la PAC devrait permettre à l'hélicoptère d'effectuer un premier vol. L'étape suivante consistera à régler la production d'hydrogène et à optimiser le

système de façon à ce qu'il s'adapte aux différents besoins. Ainsi, les possibilités d'application du système pourraient s'élargir par exemple aux chargeurs d'ordinateurs ou de téléphones portables.

Capteurs

FEDTECH 01/01/2007

La DARPA annonce une présentation à l'industrie du programme système de surveillance du sol en temps réel, autonome et doté d'ubiquité (ARGUS-IS). L'objectif est de développer un système qui fournira une capacité de surveillance permanente par vidéo, en temps réel, à haute résolution, sur une large zone. Il sera constitué de trois composants principaux : un senseur Gigapixel, un système de traitement aéroporté et un système de traitement au sol. Le système sera compatible avec plusieurs types de véhicules aériens non habités, dont le "Extended Range/Multiple Purpose (ER/MP)", "l'Aerostat," et le "A-160 (Hummingbird)". Une liaison de données de 200 mégabits par seconde sera utilisée pour les expérimentations.

Bibliographie

« L'utilisation scientifique des dirigeables : historique, bilan et perspectives », Eric Faure, Laboratoire Systématique Evolutive, case 5, EA 2202 Biodiversité, Place Victor Hugo, Université de Provence, 13331 Marseille cedex 3, France.

RPAS – *Remoted Piloted Aerial Systems* – The Global Perspective 2012/2013 – 10th Edition – June 2012.