

Conférence

Mieux connaître les drones

Avant-propos

Une véritable mutation des systèmes aériens

Voler est et restera l'un des plus grands plaisirs de l'homme...

Toutefois, si celui-ci était à bord de la première machine volante, pour sa plus grande fierté, ses connaissances scientifiques et technologiques lui permettent aujourd'hui de rester au sol dans certaines circonstances et ce, pour son plus grand avantage.

Il étend ainsi de façon considérable le champ d'utilisation des aéronefs qui, prenant le nom de "drones", semblent être légitimement appelés à une carrière prometteuse.

Ce nouveau palier aéronautique franchi par l'homme est le fruit des plus récents progrès accomplis dans des domaines clés, tels que l'informatique, la robotique, l'optronique, l'imagerie radar, la transmission de données, etc.

Les drones occupent ainsi à juste titre une place de plus en plus importante dans les milieux aéronautiques et de la défense. Et l'on assiste à une montée en puissance des expérimentations dans le monde entier, encore plus ou moins opérationnelles.

Oui mais...

Si le potentiel d'applications civiles et militaires semble effectivement très élevé, ce n'est pas sans soulever certaines difficultés fondamentales qui, à défaut d'être résolues, pénaliseraient gravement une utilisation optimale des drones. Ces difficultés peuvent toutes être aplanies. A condition d'en avoir la volonté et de s'en donner les moyens...

Après les Etats-Unis et Israël, l'Europe et la France ont mis longtemps à se réveiller. Pourtant, il est indispensable de préserver notre indépendance et de nous affirmer au plan technologique, comme nous avons su le faire dans d'autres domaines (Airbus, Ariane, Eurocopter...).

L'Onera, établissement public français de recherche dédié au secteur aéronautique et spatial, est, dans le cadre de sa vocation, légitimement et fortement concerné. Il se propose de jouer son rôle de catalyseur, et de fédérer les efforts scientifiques autour des grands projets de dimension internationale, afin de répondre aux attentes de la société.

Le but de ce premier livret est à la fois d'expliquer ce que sont les drones, de démontrer leur potentiel considérable, mais aussi d'exposer leur problématique.

Il sera suivi d'un deuxième tome, démontrant pourquoi et comment l'Onera, acteur reconnu dans les domaines clés qui intéressent les drones, se propose d'apporter ses compétences en vue de répondre à chacune des questions qui sont soulevées aujourd'hui.

Une nouvelle page de l'histoire de l'aérospatiale est incontestablement en train de s'écrire.

Ce ne sera pas sans l'Onera !

Historique

Les drones déjà dans l'histoire...

Ce sont les lourdes pertes subies pendant la seconde guerre mondiale par les aviations d'observation de chacun des antagonistes qui suscitèrent l'idée d'un engin d'observation militaire sans équipage (ni pilote, ni observateur).



Les premiers drones apparurent en France dans les années 1960, tel le R 20 de Nord-Aviation, dérivé de l'engin cible CT 20. Mais les exemples significatifs d'une utilisation opérationnelle des drones sont encore peu nombreux.

Pendant la guerre du Vietnam, les Américains ont utilisé des drones (Firebee) pour localiser les rampes de lancement des missiles sol-air soviétiques «SAM-2» : 3500 missions furent recensées. Plus tard, en 1991, lors de la guerre du Golfe, ils ont fait appel au drone (Pioneer) pour la surveillance jour/nuit, l'acquisition des objectifs, et les réglages de l'artillerie. Dans ce même conflit, les Britanniques et les Français commencèrent à servir des drones.

De leur côté, les Israéliens ont saturé les défenses aériennes le long du canal de Suez lors de la guerre du Kippour (1973) et ce, avec un grand nombre de drones bon marché. Plus tard, ils ont détecté et «leurré» par le même moyen les batteries syriennes anti-aériennes.

D'une façon générale, les spécialistes considèrent que les drones ont pu vraiment démontrer leurs capacités opérationnelles d'observation aérienne (renseignement), sur les trois récents théâtres d'opération qu'ont constitué les conflits en ex-Yougoslavie, en Irak, et en Afghanistan.

C'est encore un drone (Hunter) qui a successivement assuré la surveillance des réunions du G8 à Evian en 2003, ainsi que les cérémonies de célébration du 60^{ème} anniversaire du débarquement allié en Normandie en 2004.

Les exemples d'utilisation civile, eux, se font plus rares. On peut toutefois citer la surveillance urbaine en Afrique du sud, et le traitement des cultures effectué au Japon par des drones hélicoptères télécommandés. En France, deux drones miniatures sont en expérimentation au sein de la Gendarmerie nationale et du GIGN (Coccinelle). De son côté, le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées a procédé à des essais de surveillance d'ouvrage d'art, également avec un drone à voilure tournante.

Mais le drone est encore mal connu, et suscite de ce fait des appréhensions. Une demande d'expérimentation de surveillance de trafic routier sur le périphérique d'une grande ville française à partir d'un drone miniature (environ 6 Kg) a été refusée en 2004 par les autorités et ce, pour raisons de sécurité.

I - Qu'est-ce qu'un drone ?



Eagle 1
© EADS & IAI

Il n'y a pas de pilote à bord...

Les drones sont des aéronefs (1) capables de voler et d'effectuer une mission *sans présence humaine à bord*. Cette première caractéristique essentielle justifie leur désignation de Uninhabited (ou Unmanned) Aerial Vehicle (UAV). D'origine anglaise, le mot «drone», qui signifie «bourdon», ou «bourdomement», est communément employé en Français en référence au bruit que font certains d'entre eux en volant !



Décollage automatique du RESSAC
© ONERA

La désignation de drone est très limitative puisqu'elle ne recouvre qu'un véhicule aérien. Le drone n'est en fait qu'un des éléments d'un système, conçu et déployé pour assurer une ou plusieurs missions. C'est la raison pour laquelle les spécialistes parlent de «*systèmes de drones*».

Le principe des drones peut être rapproché, toutes proportions égales par ailleurs, de celui de l'aéromodélisme, selon lequel des petites maquettes sont pilotées par télécommandes.

On distingue toutefois deux catégories de drones : ceux qui requièrent effectivement l'assistance d'un pilote au sol, par exemple pour les phases de décollage et

d'atterrissage, et ceux qui sont entièrement *autonomes*. Cette autonomie de pilotage peut s'étendre à la prise de décision opérationnelle pour réagir face à tout événement aléatoire en cours de mission ; elle constitue la deuxième caractéristique essentielle des drones.

Il est arrivé, lors d'une démonstration officielle, et à la grande stupeur des organisateurs eux-mêmes, qu'un drone "remette les gaz" alors qu'il était en approche pour un atterrissage sur piste et ce, sur "sa" propre décision...!



Prowler à l'atterrissage

© General Atomics

Bien sûr, on ne saura jamais ce qu'aurait fait un pilote «humain» dans les mêmes circonstances : aurait-il fait de même ou aurait-il cherché à atterrir à tout prix du fait de l'importance de la démonstration ?

Le drone, lui, a eu une considération totalement objective de la situation !

La vocation principale des drones est *l'observation et la surveillance aériennes*, vocation jusqu'à présent surtout utilisée à des fins militaires (actuellement 90% du marché mondial des drones). Ainsi, tous les drones, qu'ils soient autonomes ou non, requièrent la présence au sol d'au moins un opérateur, pour recueillir en temps réel les bénéfices de la mission : celui-ci reçoit, analyse et enregistre les informations transmises par le drone.

Aujourd'hui, les progrès réalisés, à la fois dans les performances des drones et leurs équipements, leur confèrent un très large potentiel d'utilisation dans le domaine civil.

Enfin, une troisième caractéristique essentielle des drones est qu'ils sont *recupérables*, ce qui permet de les *réutiliser*. Cela les différencie des missiles, auxquels on aurait pu être tenté de les assimiler.

**Le drone n'a pas de pilote à bord.
Il est autonome et réutilisable.
Il doit être considéré dans le cadre d'une mission et d'un système.**

Des formes multiples et originales

La plupart des drones sont comparables aux avions, sauf que leur forme n'est pas dictée par celle d'un fuselage devant abriter au moins un pilote (de façon confortable) : les combinaisons de formules aérodynamique et de propulsion sont donc plus larges. Il existe de nombreuses configurations de drones, très différentes les unes des autres – pratiquement une pour chaque machine – et dont certaines sont très novatrices. En fait, la forme d'un drone sera déterminée par la nature et le profil de sa mission, ainsi que par sa charge utile : à chaque demande correspond pratiquement une solution spécifique.

Les éléments composant un drone répondent aux mêmes fonctions que sur un avion.

La *cellule*, porte et abrite la charge utile, le moteur et les systèmes de bord, ainsi que le carburant.

La *sustentation* est en général assurée par une voilure fixe ou tournante, comme sur hélicoptères. Cette dernière est choisie pour certaines missions spécifiques, requérant le vol stationnaire, par exemple pour des relevés devant s'effectuer de façon horizontale (inspection des gros ouvrages d'art, photogrammétrie...), ainsi qu'une grande souplesse de manœuvre (évolutions autour de l'objectif) ; ou encore nécessitant l'appontage sur un bateau (surveillance maritime ou mission de recherche et sauvetage...).



*Golden Eye,
moteur caréné*
© Aurora Flight
Sciences



*Tracker,
fuselage bipoutre*



*X47,
aile volante*



*Drone hélicoptère
Scorpio*
© EADS

Il existe également des projets de drones à *ailes battantes*, comme celles des oiseaux ou de certains insectes, ainsi que des projets de drones «*convertibles*», qui associent, grâce à leurs rotors basculants, les capacités de vol vertical de l'hélicoptère à celles des grandes vitesses de l'avion.

La *motorisation* du drone est également dictée par la mission qui lui est attribuée ; elle est déterminée par la grosseur de la machine (et sa masse), l'altitude et la durée de son vol. On retrouve sur les drones toute la palette des motorisations possibles pour les avions (moteurs à pistons, avec ou sans turbocompresseur, turbines à hélices, turboréacteurs), auxquelles s'ajoutent, pour les petits drones et ceux dotés d'une voilure tournante, les moteurs électriques. Les Américains évaluent actuellement pour la première fois un drone doté d'un moteur diesel (sur le Hunter).



Convertible Eagle

Eye
© Bell



Global Hawk

© Northrop
Grumman

Les moteurs électriques

Ces derniers sont légers mais ne peuvent bénéficier que d'une autonomie de fonctionnement limitée du fait du poids élevé que représentent les batteries dans lesquelles sont stockées les réserves d'énergie nécessaires à leur fonctionnement. Cette difficulté reste soumise à l'évolution de la technologie des accumulateurs et, à plus long terme, au développement de piles à combustibles, qui seraient capables d'alimenter ces batteries pendant une période suffisamment élevée. Certains drones peuvent être dotés de panneaux de cellules solaires photoélectriques qui alimentent les batteries (notamment sur des ailes battantes).

La motorisation électrique évite le transport de carburant et est indétectable du point de vue thermique.

Systèmes de bord et charge utile



Helios

© AeroVironement

Les *systèmes de bord* sont essentiels car ils assurent le pilotage et la navigation de façon automatique. Ils peuvent fonctionner en parfaite autonomie ou selon des ordres émis depuis le sol, par un opérateur chargé de conduire la mission.

Le système de conduite du vol asservit plusieurs équipements entre eux : les capteurs (mesurant les paramètres du vol) ; des calculateurs, respectivement dédiés au pilotage et à la navigation, et d'où sont émis les ordres de pilotage ; une mémoire (contenant la programmation du vol et, éventuellement, des critères de décision, préalablement enregistrés), et les actionneurs (agissant sur les commandes de vol). Cette chaîne est parfaitement comparable, au degré de décision près, à celle d'un pilote automatique sur avion, couplé à un système de navigation de type FMS (Flight Management System), se référant à des données GPS (Global Positioning System). En outre, elle doit être capable de maintenir le drone dans son enveloppe de vol, protégeant celui-ci des situations dangereuses, (turbulences, configurations instables...).

La *charge utile*, proprement dite, constitue l'un des éléments fondamentaux du système drone car c'est elle qui permettra, en parfaite adéquation avec le vecteur aérien, de réaliser la mission. Souvent placée en dessous de la structure, elle consiste en un ensemble d'équipements pouvant assurer trois fonctions essentielles :

- *L'acquisition des données*, par des *capteurs*, électro-optiques (caméras visibles ou infrarouges) ou électromagnétiques (radars), capables de restituer des images, ou tout autre capteur plus spécifique (par exemple, bio-senseurs,

sorte de capteurs chimiques/biologiques capables de détecter pollution et radiations).

- *Un éventuel traitement à bord des données*, par des calculateurs, afin de les rendre directement et plus rapidement exploitables, en vol (mise à un format spécifique) ou au sol (restitution d'images pour interprétation par l'opérateur), et suivi, si nécessaire, de leurs fusion/compression.
- *Une possible sélection à bord des informations «utiles»* qui seront transmises vers le sol, requérant une pré-analyse des données acquises (effectuée par des processeurs, par comparaison aux critères entrés en mémoire). L'ensemble de ces données peut aussi être enregistré à bord, pour envoi différé ou pour dépouillement ultérieur après retour au sol.



Seeker II © Kentron

Un système spécifique produit *l'énergie électrique* nécessaire au fonctionnement de l'ensemble des équipements embarqués. Comme sur un avion, cette énergie est obtenue par transformation de l'énergie mécanique prélevée sur la partie tournante du moteur (arbre de l'hélice ou de la turbine).

Certaines charges utiles requièrent une grande quantité d'énergie, qui s'ajoute à celle consommée par les autres équipements. Ce paramètre peut devenir dimensionnant pour le drone et sa mission. Dans certains cas, et sur les drones de grande taille, un petit turboréacteur d'appoint ou APU (Auxiliary Power Unit) est nécessaire.

Un *système de transmission de données* entre le drone et le sol, achemine à la fois les ordres venant du sol (en temps réel) et les informations envoyées par le drone (en temps réel ou différé, le plus souvent par intermittence). Cette transmission s'effectue par télécommunication, soit en portée optique (ligne directe) sur de courtes distances - jusqu'à 150 km ; soit en utilisant un relais, ce dernier pouvant être un satellite ou un autre vecteur aérien (avion ou drone).

Dans les deux cas, la densité des données transmises (malgré fusion et compression) peut nécessiter des grands débits. En outre, la haute définition, en matière d'imagerie, n'est pas compatible avec une vitesse de transmission trop élevée.

La transmission par *laser* constitue une prospective qui demandera, d'une part, une connaissance précise de la position du drone, d'autre part, une parfaite stabilité du dispositif émetteur et ce, de façon à assurer avec précision et de façon constante la projection des faisceaux.



Charge utile expérimentale du Ressant

© ONERA

Une *intelligence embarquée* donne au drone ses différents degrés d'autonomie, en matière de pilotage et pour la réalisation de sa mission. Cette «intelligence» est fournie par des calculateurs dédiés, auxquels sont asservis le système de conduite de vol, d'une part, et la charge utile d'autre part, ainsi que par les bases de données spécifiques auxquelles sont comparées les informations acquises par le drone (par exemple, pour la reconnaissance et l'identification des éléments observés : terrains, sources de chaleur/départ de feu, objectifs militaires, etc.). Les logiciels mis en œuvre revêtent une importance capitale, notamment dans la rapidité et la stabilité de leurs algorithmes.

Certains drones militaires peuvent également être armés (bombes, roquettes ou missiles) afin de remplir des missions d'attaque au sol, ce qui nécessite un système de gestion spécifique à l'armement embarqué.

C'est la mission du drone et sa charge utile qui vont déterminer sa configuration. Son exploitation nécessite une capacité élevée de transmission de données avec le sol.

Des caractéristiques variées

De quelques centimètres à une quarantaine de mètres, de quelques dizaines de grammes à une quinzaine de tonnes, les drones sont de taille et de masse essentiellement variables : c'est, d'une part, les performances requises par la mission et, d'autre part, la nature et l'importance de la charge utile, qui sont déterminants.

On trouve ainsi des drones permettant des altitudes de vol qui peuvent évoluer de 0 à 20 000 mètres, une vitesse largement subsonique, de 150 km/h à Mach 0,8, et un rayon d'action qui peut dépasser les 10 000 km, avec une capacité trans-océanique.

Les coûts

Les drones ont logiquement des coûts très différents, sachant que les plates-formes seules (c'est-à-dire la cellule et la motorisation) ne représentent généralement que 15 à 25 % du coût du système complet, la charge utile, les systèmes embarqués, et les stations-sol étant la partie la plus onéreuse.

De façon plus précise, le coût de la charge utile peut être évaluée à quelque 8 000 dollars par kilogramme, et celui de la plate-forme à environ 1 500 \$/Kg.

A titre d'exemple, un drone tactique coûte de 0,5 à 3 millions d'euros, suivant les performances.

(1) Les aéronefs sont des machines volantes plus lourdes que l'air (avion, hélicoptères, planeurs, ULM...), par opposition aux aérostats, plus légers que l'air (ballons, montgolfières, etc.).

II – Comment utilise t-on un drone ?



Un concept d'utilisation de drone :
après le décollage, le drone rejoint la zone d'observation assignée en navigation autonome,
patrouille et transmet les informations utiles, puis revient se poser à son point de départ.

© ONERA

Une grande souplesse d'emploi

Le *départ* d'un drone peut s'effectuer depuis une plate-forme terrestre ou maritime, ou encore depuis un autre véhicule aérien. Il peut être lancé à la main (c'est le cas des drones de petites dimensions) ; il peut être catapulté ; enfin, il peut décoller depuis une piste, soit en mode télécommandé par un pilote au sol, soit de façon entièrement automatique.



Phase de lancement sur catapulte d'un drone SDTI

C'est une fois arrivés sur la zone de mission (après une navigation automatique) que les drones se distinguent par leur degré d'autonomie. Certains nécessiteront des interventions humaines, notamment face à des situations imprévues (dues à la mission ou au vol), d'autres seront dotés d'une intelligence embarquée leur donnant une entière autonomie de décision et donc, d'action ou de réaction.

Pour la *récupération* du drone, deux solutions sont possibles : faire revenir celui-ci à l'endroit d'où il est parti et le faire atterrir (en mode automatique ou télécommandé), ou le faire «se poser» à un endroit spécifié à l'avance. En général, cette dernière pratique s'applique à ceux qui sont partis d'une catapulte et qui ne sont pas dotés de train d'atterrissage. La séquence consiste, après réduction de l'altitude et de la vitesse, à ouvrir un ou plusieurs parachutes, puis à déployer des ballons gonflables («airbags») sous la structure. En outre, on peut également récupérer le drone dans un filet, ce qui élimine tout système embarqué pour l'atterrissage.



Récupération par parachute d'un Sperwer

Le «système drones»

La mise en œuvre d'un ou de plusieurs drones fait appel à différents éléments, constituant un «système drones». Ce système a deux composantes :

- *Un segment air*, lui même composé du drone, de sa charge utile et de son système de transmission.
- *Un segment sol*, constitué d'un ensemble de matériels, et de un ou plusieurs hommes, ayant un degré d'intervention plus ou moins élevé.

On distingue encore dans la composante sol deux catégories de matériels :

- Ceux ayant trait au lancement et à la récupération des drones (catapulte, filets, etc.), et auxquels s'ajoutent les moyens techniques nécessaires à la maintenance et au re-conditionnement des drones, exactement de la même façon que pour l'exploitation des avions.
- Ceux ayant trait à la conduite de la mission, et devant permettre d'assurer, au sein d'une «station sol» les fonctions suivantes :
 - *La gestion du vol et de la navigation* (en temps réel si le drone est piloté du sol, ou en simple surveillance s'il est autonome).
 - *La réception des données* envoyées depuis le drone et, éventuellement, le décryptage.

- *L'analyse et l'interprétation* des données, leur éventuelle retransmission à un centre de décision ou d'intervention, ainsi que leur enregistrement.

La station de contrôle et de réception des données peut s'envisager, dans l'avenir, étant elle-même aéroportée (avions gros porteurs ou de combat).

L'ensemble de ces composantes intervient évidemment dans l'évaluation des coûts d'un «système de drones».



Station de réception de données Sperwer

© SAGEM DS



Station au sol d'analyse d'informations transmises depuis un drone

Le drone est parfaitement interactif avec le sol.
Il peut être autonome dans le cadre d'une mission simple

III – De l'utilité des drones



Sperwer © SAGEM DS

De nombreuses qualités

Les principales qualités des drones découlent du fait qu'ils sont «sans pilote». Cette caractéristique, essentielle, *supprime toute notion de risque pour l'équipage*, notamment dans le domaine militaire (dangerosité des missions), mais également pour toutes les missions considérées comme physiologiquement difficiles ou pénibles pour l'homme (accès à haute altitude, long temps passé sur site...). En outre, là où il faut 2 à 3 hommes pour réaliser des tâches multiples à bord d'un avion (pilotage, mise en œuvre de la charge utile, analyse et décision, transmission radio...), de même que là où il faut compter plusieurs équipages techniques pour qu'un avion d'observation soit parfaitement opérationnel (compte-tenu des repos et congés réglementaires, des maladies, etc.), le drone est économique en personnel navigant. Néanmoins, les premières «expériences» ont montré que l'exploitation d'un drone mobilisait beaucoup de monde au sol.

Enfin, l'entraînement et les qualifications des opérateurs au sol sont moins complexes et moins coûteux.

La deuxième qualité essentielle d'un drone est sa *souplesse d'opération* (envoi, récupération, réutilisation), et son *efficacité*. On citera par exemple : l'accessibilité des sites à survoler ; la qualité de l'observation (logiquement meilleure à 5000 m qu'à 800 km par satellite...) ; le temps élevé passé sur zone ; la transmission des données, en temps réel ou peu différé. Cette dernière qualité permet l'exploitation des informations dans un délai très court.

Enfin, des drones de même modèle peuvent constituer un *vecteur commun à plusieurs missions* différentes mais faisant appel aux mêmes équipements de base (observation et surveillance aériennes) et, surtout, au même sous-système sol. De même, des drones de différents types, peuvent utiliser la *même station-sol*. Ils peuvent par exemple être rentabilisés sur plusieurs saisons pour différentes missions

civiles (surveillance des feux de forêts, du trafic routier, des avalanches, des frontières, du trafic maritime côtier, etc.). C'est un facteur important d'amortissement et donc de rentabilité de ces moyens aériens.

Les drones représentent une solution intéressante pour les missions dans lesquelles la présence d'équipage à bord n'apporte pas de plus-value ou au cours desquelles le niveau de risque est très élevé. Par leurs particularités, permanence, endurance, rayon d'action, réactivité, discrétion et polyvalence d'emploi, les drones apportent de nouvelles possibilités qui renforcent les capacités des avions modernes. Les perspectives technologiques conduiront à élargir le domaine d'utilisation des systèmes non pilotés dans les opérations aériennes, bien au delà de leurs missions initiales de renseignement, leur donnant ainsi une vocation de compléter, voire de remplacer à terme, plusieurs avions et satellites.

Les drones ne mettent pas de vie humaine en danger. Ils sont polyvalents et efficaces.

Une vocation militaire affirmée



Exemples d'utilisation de drones militaires : largage de packs de survie (parachutés) à des commandos avancés, surveillance de mouvements ennemis sur route, désignation par laser d'un objectif au sol permettant le tir depuis un avion d'armes et relais de communications (entre une station au sol et un avion haute altitude).

© ONERA

Le développement des drones sur une large gamme - du mini drone tactique, à l'échelle du fantassin, au drone stratégique de haute technologie - incite les forces armées à les intégrer progressivement dans la panoplie des moyens aériens engagés sur les théâtres d'opérations et ce, en complément des systèmes classiques, avions, hélicoptères, missiles de croisière, et satellites. Ainsi, le domaine d'action des drones ne cesse de s'élargir.

Des progrès réalisés au niveau des systèmes de guidage et des liaisons sécurisées pourront permettre d'envisager la généralisation de la gestion à distance des missions réalisées par les drones...envoyés très loin dans la profondeur des dispositifs adverses aussi bien qu'au contact immédiat des forces ennemis.

On peut en fait décomposer en trois grandes catégories, les missions militaires confiées aux drones :

- La surveillance et le renseignement
- Le support au combat
- Le combat proprement dit



Catapultage opérationnel
d'un Sperwer en Afghanistan

© SAGEM DS

by courtesy of the Canadian Forces

1/ La surveillance et le renseignement

Le «renseignement» militaire au profit des instances gouvernementales ou des armées (incluant la Gendarmerie), qu'il soit d'ordre stratégique ou tactique, résulte de la très grande capacité d'observation aérienne et d'écoute des drones. Cette mission est naturellement la première qui leur ait été attribuée et reste encore la principale.

La conduite des opérations dans les nouveaux conflits devient extrêmement exigeante en termes de temps de réaction, de besoin d'identification ami/ennemi, ainsi que d'interopérabilité des forces terrestres, aériennes ou navales, non seulement entre elles mais également entre celles de plusieurs pays.

La variété des capteurs utilisés permet de recueillir plusieurs types d'informations, restituées sous forme d' *images*, d'origine électro-optique ou *électromagnétique* et ce, en temps réel, sur terre, sur mer, depuis l'espace aérien inférieur ou même supérieur.

Les drones peuvent observer à longue distance, à travers les nuages, hors des menaces sol-air, et pendant des périodes significatives (de 12 à 24 heures et

potentiellement beaucoup plus : les opérateurs pouvant se relayer au sol) : l'autonomie n'est plus qu'une question de quantité de carburant embarquée.

Les informations transmises par le drone peuvent être exploitées de différentes manières : pour l'évaluation de la situation sur un théâtre d'opérations, la surveillance d'une zone, la détection et l'identification des objectifs à traiter à court terme, l'évaluation des dommages après une frappe aérienne ou un tir d'artillerie à longue portée, et même, pour l'alerte au départ de missiles balistiques. En observant la phase balistique du missile ennemi dans des conditions plus favorables qu'à partir d'un satellite géostationnaire, le drone devrait également pouvoir prédire le point d'impact.

Les drones répondent ainsi parfaitement aux exigences modernes de continuité du renseignement par la *permanence spatiale et temporelle* qu'ils permettent d'assurer sur zone.

Les drones sont des vecteurs essentiels de recueil du renseignement militaire.



Drone du fantassin (Bourdon)



SDTI en vol

2/ Le support au combat

La polyvalence des équipements embarqués et les évolutions technologiques rapides des systèmes multiplient les perspectives d'emploi des drones dans le domaine dit du «support au combat». Ces missions sont plus précisément les suivantes :

- *La désignation d'objectifs* : une charge utile de type illuminateur laser confère aux drones des capacités d'illuminer un objectif fixe ou mobile en vue de sa

destruction par des moyens d'attaque aéroportés, avions ou hélicoptères de combat (utilisant eux-mêmes des armes guidées par laser). Ces capacités ont déjà fait leur preuve sur les théâtres d'opération des Balkans, d'Afghanistan et d'Irak.

- *Le relais de communication* : l'évolution en altitude permet de s'affranchir du relief qui pénalise les faisceaux hertziens et permet éventuellement aux drones de remplacer avantageusement les satellites de communication géostationnaires, dont les capacités sont réduites en termes de débit et de largeur de bande.
- *Le soutien aux opérations spéciales* : les mini ou micro-drones, portables à dos d'homme, discrets et simples d'emploi, peuvent constituer «l'œil avancé», de jour et de nuit, du commando appelé à intervenir en zone hostile, dans un environnement accidenté ou urbanisé.
- *Le brouillage* : communications, émissions des radars de défense aérienne, systèmes sol-air, localisation par GPS, etc. peuvent être brouillés par les drones, dans le but de gêner l'ennemi tout en assurant la protection électromagnétique des frappes aériennes par aéronefs ou missiles. Le brouillage des émissions radio et télévisées, la diffusion d'émissions parasites ou d'informations «orientées» seront également dans leur possibilités (action psychologique).
- *Le support au déploiement* : évaluation de l'environnement des zones de déploiement des forces, notamment les menaces NRBC (Nucléaire, Radiologique, Bactériologique et Chimique), en évitant de compromettre la sécurité de vecteurs de reconnaissance pilotés.
- *Le transport* : largage discret sur le terrain - éventuellement dans un contexte hostile - de charges de dimensions et de poids réduits (vivres ou équipements) au profit d'unités isolées ou en déploiement avancé.

3/ Le combat

L'emploi de drones à hautes performances, spécifiquement conçus pour le combat, est envisagé au sein de véritables systèmes de combat mixtes, aux côtés des aéronefs de combat pilotés.

Divers concepts d'emploi sont étudiés, tels que *l'attaque d'objectifs* fixes ou mobiles, pouvant par exemple permettre la neutralisation ou la destruction des moyens sol-air adverses.

L'utilisation des drones pour des *combats aériens* semble encore relever aujourd'hui du domaine de la prospective opérationnelle. Les états-majors étudient cependant l'hypothèse de les employer comme moyen d'identification avancée, sous contrôle d'un avion de combat piloté ou d'un PC volant. Dans ce contexte, l'étape «tir» de missiles air-air embarqués sur le drone apparaît envisageable.

III – De l'utilité des drones



Quelques exemples de missions civiles
qui pourraient être attribuées à un drone, dans le domaine de la surveillance :
réseaux routiers, avalanches, côtes maritimes (dégazages sauvages),
agriculture (nuage d'insectes), feux de forêts.

© ONERA

Un fort potentiel civil

Bien que le marché soit quasi inexistant aujourd'hui, c'est très probablement dans le domaine civil que les drones sont appelés à jouer le plus grand rôle et ce, du fait de leur souplesse et de leur polyvalence d'emploi. La palette des applications potentielles est presque illimitée, celles-ci étant d'autant plus crédibles qu'elles peuvent répondre à un besoin qui n'est pas couvert par un avion piloté. C'est le cas des missions qui peuvent être considérées comme dangereuses, pénibles physiquement pour l'équipage, ou ennuyeuses.

Comme dans le domaine militaire, les exemples d'applications potentielles peuvent se diviser en plusieurs grandes catégories :

1/La surveillance et l'observation

- *Etudes scientifiques*
 - Étude de l'atmosphère, des sols (géologie) et des océans
 - Etudes et prévisions météorologiques

- *Surveillance d'urgence*
 - Incendies de forêts, avalanches
 - Volcans, tornades
 - Recherche et sauvetage

- Evaluation des dégâts en cas de catastrophe naturelle (inondation, tempête, marée noire, éruption, tremblement de terre, etc.)
- *Surveillance civile*
 - Surveillance des cultures et épandage agricole
 - Surveillance maritime (voies maritimes, trafic de drogue, clandestins, détection des pollutions par hydrocarbures, localisation pour sauvetage).
 - Surveillance urbaine, des manifestations, ainsi que des frontières
 - Inspection des ouvrages d'art tels les ponts, les viaducs, les barrages
 - Surveillance des oléoducs, gazoducs, caténaires et voies ferrées, lignes à haute tension
 - Surveillance du trafic routier et du transport de matières dangereuses

2/ Des missions exploitant le vecteur aérien

- Transport de fret
- Cartographie
- Utilisation par l'industrie cinématographique
- Largages de vivres et d'équipements de sauvetage en zones hostiles

3/ Des missions spécifiques

- Relais de communications
- Missions dangereuses (détection de gaz toxiques, radiations)
- Recherche et sauvetage (mer, montagnes, désert...)

Ces applications sont évidemment susceptibles d'intéresser un large éventail de clients utilisateurs, publics et parapublics, tels que la Police, la Gendarmerie (corps d'état militaire mais ayant des besoins assimilables aux besoins «civils»), les Pompiers (évaluation de sinistres, repérage de réfugiés dans un immeuble ou sur le toit), la Sécurité civile, EDF-GDF, la SNCF, France Télécom, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), etc.



De nombreuses entreprises privées sont également concernées, dans les secteurs du bâtiment, des travaux publics, de la prospection (minière et pétrolière), des télécommunications, etc.

Face aux problèmes potentiels de coûts d'acquisition, d'opération et de maintenance, on peut envisager le regroupement de plusieurs opérateurs afin de partager les moyens face à des besoins communs, notamment en matière de surveillance. Ce concept est déjà appliqué au Japon et en Israël.

On peut même imaginer la création de sociétés privées, sorte de «compagnies aériennes» d'un nouveau type, qui, étant propriétaires d'une flotte de machines, loueraient leurs services à des tiers. Le développement de l'utilisation civile des drones aurait vite fait, comme pour toutes nouvelles technologies, de susciter des systèmes d'exploitation structurés à buts lucratifs.

La palette des applications civiles des drones est presque illimitée.

Difficultés d'opérations

L'utilisation optimale des drones et la «généralisation» de leur emploi soulèvent toutefois un certain nombre de difficultés qui devront être aplanies à terme. Ces difficultés ne sont pas toujours du même ordre selon que l'on envisage le marché civil ou militaire, mais elles sont essentiellement de deux types :

1/ Les contraintes opérationnelles

- **Navigabilité et intégration dans la circulation aérienne.**

Les drones doivent impérativement *répondre à des critères de navigabilité* et *respecter des règles de circulation aérienne*, analogues à ceux des avions. Cela leur impose de bénéficier d'un certain niveau de *fiabilité technique* et de résistance au crash (pour assurer la sécurité au sol) mais également d'une fiabilité satisfaisante du point de vue *comportemental* (pour assurer la sécurité des autres aéronefs en vol). Celle-ci doit s'exercer en matière de détection de proximité, de contrôle du pilotage, d'échange de données avec le contrôle au sol, ainsi que de la capacité de gestion des situations dégradées.

C'est un problème crucial pour les drones qui, a priori, ne satisfont pas actuellement à ces contraintes.

La résolution de ces difficultés pourrait naturellement déboucher sur la création d'une *certification des drones* par des autorités compétentes, comme pour tous les autres aéronefs. Celle-ci apporterait certaines garanties dans les niveaux de fiabilité recherchés.

Aux États-Unis, en 2003, la NASA s'est jointe à la FAA (les autorités aéronautiques civiles) et au DOD (le ministère de la défense), en collaboration avec les six industriels américains les plus impliqués dans les systèmes de drones (formant le Groupe «Unite»), pour lancer un ambitieux programme dénommé «Access 5». Son objectif est de faire voler couramment d'ici cinq ans les drones sous plans de vol (en régime IFR), entre les niveaux 180 et 400, c'est-à-dire à des altitudes comprises entre 5500 et 12000 mètres et ce, suivant une procédure rapide, comparable à la procédure actuelle pour les avions pilotés civils.

En Europe, également en 2003, les autorités européennes de la JAA ont entamé une réflexion sur l'élaboration d'une réglementation drones,

s'appuyant sur les résultats du projet de recherche européen USICO (Unmanned Aerial Vehicle Safety Issues for Civil Operations), auquel a participé l'Onera. Ces travaux ont depuis été repris par l'Agence Européenne pour la Sécurité Aérienne (EASA). De leur côté, sept industriels européens se seraient réunis en 2004 pour établir une stratégie commune concernant la certification des drones.

En France, la Délégation Générale pour l'Armement est à l'origine d'une proposition de code de navigabilité pour les drones militaires.

- **La législation**

L'utilisation des drones doit être compatible avec les législations nationales et internationales dans le domaine des responsabilités juridiques. La question fondamentale est évidemment de déterminer la responsabilité, au sens juridique du terme, en cas de dommages au sol suite à la chute d'un drone (alors que celui-ci n'était pas piloté).

- **L'altitude**

Si l'absence de l'homme à bord permet plus facilement l'accès aux hautes altitudes, favorables à de plus grandes portées d'observation, celles-ci posent néanmoins certaines questions relativement : aux règles de souveraineté auxquelles n'échappe que l'espace extra-atmosphérique selon le droit international, domaine exclusif des satellites ; la vulnérabilité aux menaces sol-air de hautes performances (jusqu'à 92 000 pieds) ; une rupture technologique sur les moteurs au delà de 60.000ft.

- **La sécurité**

La transmission des ordres et des informations échangés entre le sol et le drone utilise un segment aérien, vulnérable aux ruptures de transmissions et aux brouillages. C'est une partie fragile du système, qui nécessite la plus haute protection pour une utilisation militaire.



Crécerelle

2/ Les contraintes techniques

- **La transmission des données**

C'est un aspect extrêmement contraignant en termes de fréquences, de débits, de portées, de résistance aux perturbations radio-électriques et au

brouillage. Il est indispensable de garantir la fiabilité des stations sol et des liaisons avec les vecteurs.

- **La discrétion**

Cette qualité militaire fondamentale, qui dépend de plusieurs facteurs, tels que la furtivité (faible signature radar) et l'intensité de différentes formes d'émissions (acoustique, électromagnétique, infrarouge...), nécessite un compromis entre les exigences aérodynamiques (formes de la structure), de performances (matériaux), de motorisation (source de chaleur), et d'architecture du système de communication (champ d'antennes).

- **La motorisation**

Principale source actuelle de panne, celle-ci doit répondre à des exigences d'endurance, de fiabilité (avec possibilité de rallumage en vol ?), de discrétion et de coût... Elle devra pour ce faire satisfaire également à règles de maintenance très strictes, pouvant aussi être soumises à des normes d'homologation par les autorités.

- **La réactivité du système et la place de l'homme dans la conduite de la mission**

L'architecture du système doit être un compromis optimisé entre l'intelligence embarquée, les aides à la décision déportée et l'action de l'opérateur.

- **La gestion des pannes en vol (situations dégradées)**

Son efficacité sera toujours un compromis entre coût et complexité du système (donc masse et volume).

- **La maintenance et le stockage**

Ils devront faire l'objet d'une politique spécifique et soumise à surveillance, qui devra être pris en compte dès la conception du système.

- **L'entraînement et le maintien en condition des opérateurs**

Si le système drone permet l'utilisation intensive de la simulation, l'expérience déjà acquise a démontré qu'un entraînement réel des équipes en situation sur le terrain était indispensable. Il permet en outre de valider l'état opérationnel et l'efficacité des systèmes.

L'utilisation civile des drones est essentiellement soumise à leur fiabilité et à leur intégration dans le trafic aérien



Merlin © SAGEM DS

Marché

Très peu d'études de marché semblent disponibles aujourd'hui. Les drones n'ont pas encore été identifiés comme pouvant représenter un véritable « marché » dans le secteur civil. Et, de fait, toutes les applications potentielles étant encore mal cernées, il est difficile d'en appréhender le développement commercial, qui plus est, dans le monde entier.

Les quelques cabinets s'étant risqués à publier des résultats d'études s'accordent en tout cas pour dire que les drones représenteront dans les années à venir l'un des secteurs les plus dynamiques de l'industrie aérospatiale, et que leurs applications exploseront sur le marché commercial... dès que des réglementations les concernant auront pu être définies et publiées.

En revanche, les avis semblent quelque peu diverger sur les prévisions chiffrées : d'une base commune d'évaluation du marché à quelque 2 milliards de dollars au début des années 2000, les estimations s'étendent de 5 à 10 Md\$, soit du simple au double, pour après 2010...

On peut s'attendre à une véritable explosion du marché des drones

IV - Un catalogue déjà large



La classification la plus logique des drones adopte pour critères principaux la taille ou les performances (essentiellement la portée, et l'altitude d'opération) ; éventuellement le type de mission si celui-ci implique une spécificité particulière (utilisation maritime par exemple).

Les drones miniatures

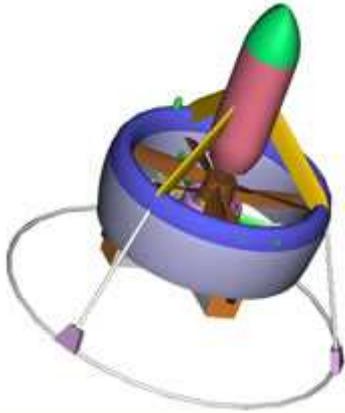


Birotan

Cette catégorie recouvre globalement tous les drones dont l'envergure est inférieure à 50 centimètres, cette dernière pouvant descendre jusqu'à quelques cm seulement (on parle dans ce cas de nano-drones).

Les *micro-drones*, dont les dimensions sont inférieures à 15 cm, pèsent environ 50 grammes, pour une vitesse de croisière de l'ordre de 50 Km/h, une autonomie d'une vingtaine de minutes et un rayon d'action d'une dizaine de kilomètres.

D'un coût unitaire de l'ordre du millier de dollars, ces micro-machines sont dédiées à la transmission d'images, de jour comme de nuit. Les missions envisagées dans le domaine militaire sont la reconnaissance d'un itinéraire, l'évaluation de dommages ou l'observation d'une cible fixe. Utilisées en milieu urbain, on peut imaginer que ces machines survolent ou contournent des pâtés de maisons et même, entrent dans un immeuble... On peut dès lors imaginer les applications civiles, au profit des pompiers, de la police, ou de tous autres services de sécurité.



Projet Bertin

© Bertin Technologies

Etudiées dès le début des années 90 aux Etats-Unis, ces machines font toutefois appel à des technologies très ambitieuses de par la miniaturisation demandée et ce, dans tous les domaines : aérodynamique complexe (à faible nombre de Reynolds), source d'énergie à haut rendement, propulseurs ultra-légers, micro systèmes... Plusieurs configurations sont étudiées : ailes fixes, voilure tournante, et même, ailes battantes, en s'inspirant réellement du principe de sustentation des insectes et des oiseaux. L'Onera mène depuis 2002 une recherche sur ce dernier type de sustentation sous le nom de *REMANTA* (Research program on Microvehicle And New Technologies Application).

Les drones de court rayon d'action

Dits encore drones TCP (Très Courte Portée), ou, dans le jargon militaire «drones du capitaine», ces drones sont destinés à «voir de l'autre côté de la colline», soit à quelques kilomètres.

D'envergure de 0,5 à 2 mètres, et généralement à voilure fixe, ils ont une faible vitesse (quelques dizaines de km/h) et évitent difficilement les obstacles. Les développements technologiques requis pour cette catégorie concernent principalement les capteurs (évitement d'obstacles et caméra jour/nuit miniaturisée).

En fait, les qualités de ces drones sont autant de critères de choix pour l'armée de terre, française par exemple : rusticité et simplicité d'utilisation, réduisant l'instruction ; transportable à dos d'homme (replié dans un sac à dos) ; lancement à la main par un seul homme ; discrétion acoustique ; faible coût ; transmission de données en temps réel (et sur une «station-sol» pouvant se réduire à une simple valise).



EMT Aladin

Les drones tactiques à moyen rayon d'action

Pouvant être dotés de vitesse lente (150 km/h) ou rapide (700 km/h), ces drones représentent la catégorie intermédiaire, avec des performances variées. Avec une masse au décollage qui reste inférieure à une tonne, leur rayon d'action s'étend de 30 à 500 km, leur altitude de vol, de 200 à 5000 mètres, et leur endurance, de 2 à 8 heures.

Cette catégorie a fait l'objet de nombreux développements dans le monde, sauf, curieusement aux Etats-Unis (excepté le drone Shadow). La plupart des systèmes opérationnels sont utilisés pour des missions de surveillance et de reconnaissance, avec utilisation de senseurs optiques (domaines visible et infrarouge).

Les deux extrêmes de vitesse sont respectivement illustrés par les deux drones utilisés jusqu'à présent par l'armée de l'air française : le CL-289 (700 km/h), et le *Crécerelle* (environ 140 km/h)



CL 289 © EADS

Les drones maritimes tactiques

La spécificité des drones maritimes embarqués vient d'une double contrainte d'utilisation, qui exige une adaptation technique complexe : disposer d'une autonomie assez importante (au moins 5 heures), et être capable d'apporter par fort vent sur une plate-forme étroite, partiellement entourée d'obstacles et soumise à des déplacements de grande amplitude, en roulis et tangage par mer agitée.



Orka © EADS

Deux démonstrateurs américains sont connus à ce jour : le *Fire Scout* de Northrop Grumman (drone hélicoptère de 1150 kg, capable d'une autonomie de 6 heures pour un rayon d'action proche de 200 km), et le *Eagle Eye* de Bell, très original puisqu'il s'agit d'un convertible (doté d'une autonomie de 5,5 heures et capable d'un rayon d'action proche de 600km avec une vitesse de 370 km/h).

En France, EADS développe l' *Orka 1200*, et ETC Industries, le *Hotel M01* (en coopération avec le bureau d'études Isnav).

Les drones à voilure tournante



RESSAC en vol

© ONERA

Cette catégorie se distingue par sa forme de sustentation mais recouvre des tailles et des performances de drones très variées.

En dehors des drones maritimes déjà cités, le *R-Max* de Yamaha a déjà été livré à plus de 1000 exemplaires, dont plusieurs pour l'épandage agricole ; c'est le seul exemple de drone ayant déjà fait l'objet d'une telle production de série.

C'est à partir de R-Max que l'Onera développe son projet de drone *RESSAC* (*Recherche Et Sauvetage par Système Autonome Coopérant*) à forte intelligence embarquée, ce qui lui confère un haut niveau d'autonomie et lui permet de réaliser de façon entièrement automatique des missions complexes, pouvant déboucher sur le sauvetage d'un homme en difficulté dans un environnement hostile et mal connu.

Les drones de longue endurance

Avec des durées de vol comprises entre 12 et 48 heures, on entre ici dans la catégorie des «grands» drones, dont la taille est essentiellement dictée par une charge utile lourde et une quantité élevée de carburant, nécessaire à la mission. Cette catégorie se divise elle-même en deux parties, en fonction de l'altitude de vol des machines : comme pour les avions, plus on vole haut, plus on va vite et plus on parcourt de la distance. On distingue ainsi les drones dits «MALE» (Moyenne Altitude Longue Endurance) des drones «HALE» (Haute Altitude Longue Endurance).

C'est cette catégorie qui serait appelée, a priori, à couvrir la plus large palette de missions.

1/ Les drones «MALE» (Moyenne Altitude Longue Endurance)



Heron © IAI

L'altitude de vol est, pour cette catégorie, comprise entre 5000 et 12000 mètres, ce qui permet de parcourir jusqu'à 1000 km, à des vitesses relativement faibles, de 220 à 360 km/h (induites par des moteurs à pistons ou des turbopropulseurs). La masse peut cette fois atteindre 3,5 tonnes, et l'envergure est généralement comprise entre 10 et 20 mètres.

Si les Américains ont été peu présents dans le domaine des drones tactiques à moyen rayon d'action, ils ont d'emblée conçu des systèmes MALE à la dimension de leurs théâtres d'opérations en vue, non seulement de missions de reconnaissance et de surveillance, mais aussi de désignation et de destruction d'objectifs au sol.

Les MALE opérationnels les plus connus sont le *Hunter* et le *Heron* d'Israel Aircraft Industries, ainsi que le *Predator* américain (General Atomics)

2/ Les drones «HALE» (Haute Altitude Longue Endurance)

On atteint dans cette catégorie les *dimensions d'un avion civil* (Airbus A320 par exemple) pour des autonomies de plusieurs milliers de kilomètres (10 000 km et plus) parcourues en volant largement au dessus des trafics aériens courants, tant civils que militaires (jusqu'à 20 000 m d'altitude). Les moteurs sont cette fois des turboréacteurs.

La masse au décollage des drones HALE peut largement dépasser les 10 t, dont quelque 10% pour la charge utile.

Toutes les informations recueillies par les capteurs sont transmises par satellite au centre d'opérations. Leur densité requiert en général de gigantesques capacités de transmission, et donc le support d'un important segment spatial.

Les capacités de ces drones HALE sont à rapprocher et à comparer à celles des avions pilotés, du type de l'avion espion U2 ou des avions de renseignement électronique Sigint, ainsi qu'à celles des satellites d'observation ou d'alerte.



Global Hawk

© Northrop Grumman

L'exemple le plus connu de HALE est le Global Hawk américain, de Northrop Grumman, qui, en avril 2001, a volé depuis la Californie jusqu'en Australie. Peu après, en octobre 2003, dans le cadre de l'initiative allemande «Euro Hawk» et en coopération avec EADS, un drone du même type a effectué un vol transatlantique, depuis la Californie jusqu'au nord de l'Allemagne, afin d'effectuer des vols de démonstration à partir de ce pays.

Les drones de combat, ou UCAV (Unmanned Combat Aerial Vehicle)

Il s'agit bien sûr des drones à vocation offensive, dont la charge utile comprend des armements – le plus souvent, des missiles – afin d'effectuer des missions d'attaque au sol voire, à plus long terme de défense aérienne et de police du ciel.

Ce sont de véritables avions de combat non pilotés mais dont la gestion déportée de l'armement accroît considérablement la complexité technologique. Ces engins doivent être capables d'identifier et de désigner des cibles, avec la capacité d'être réorientés en vol à partir d'informations obtenues en temps réel sur l'évolution de la situation au sol, pour des tirs d'opportunité. Ils doivent également disposer d'une certaine autonomie pour la poursuite des cibles, et être capables de manœuvres de dégagement après le tir.

Ces ambitions relèvent encore actuellement de la prospective industrielle et opérationnelle.



X-45A © Boeing

En outre, il faut prévoir que l'homme reste toujours dans la boucle décisionnelle, depuis une station au sol ou un PC volant (AWACS ou avion de combat), afin qu'il garde la décision de tir et puisse éventuellement annuler la mission.

Un Predator américain a tiré à plusieurs reprises des missiles antichars Hellfire (à guidage laser) et antiaériens Stinger.

Le paysage industriel

La vocation actuelle, essentiellement militaire, des drones fait des Etats les principaux clients. Ils entrent ainsi dans le cadre de «programmes» nationaux, souvent développés sur crédit publics, et obéissant aux choix des instances militaires et gouvernementales.

L'absence de marché privé n'a encore pas ou peu incité les constructeurs à développer des machines sur fonds propres, afin que celles-ci soient disponibles prêtes à l'emploi, pour telle ou telle mission. Un contre exemple est toutefois celui de Yamaha, sur le marché de l'épandage agricole, avec son R-Max.

On retrouve chez les drones les différents métiers qui participent à la construction des avions : avionneurs (cumulant en général les fonctions de constructeur de cellules, d'assembleur et d'intégrateur), de motoristes, de systémiers et d'équipementiers. Toutefois, l'industrialisation des drones n'étant pas encore bien structurée, on trouve aussi des «équipementiers» qui, sous-traitant les parties structure et moteurs, intègrent eux-mêmes leurs propres systèmes/charges utiles. Pourtant, l'efficacité du drone dépend de la parfaite adéquation entre le vecteur aérien et sa charge utile.



Atelier d'intégration des drones Sperwer
© SAGEM DS

Le métier de «dronier» n'est pas encore parfaitement défini !

V - Les drones dans le monde



X-45A © Boeing

Selon des estimations américaines, quelque 32 pays développeraient ou construirait actuellement en série plus de 250 modèles de drones différents, 80 de ceux-ci étant exploités par 41 nations, essentiellement dans le domaine militaire.

La production et le développement des drones sont largement dominés par l'industrie américaine, mais plusieurs pays se sont lancés avec succès dans la compétition, en particulier Israël, qui possède une longue expérience, grâce au fait que son espace aérien n'est contrôlé que par les militaires, et la France.

Aux Etats-Unis

Très tôt, la défense américaine a été convaincue que les drones pourraient contribuer à accroître sa supériorité stratégique. L'armée de l'air (US Air Force ou USAF) élabore en conséquence une doctrine d'emploi spécifique pouvant s'appuyer sur un important programme d'équipement. Elle analyse une nouvelle tactique de puissance aérienne grâce aux systèmes de drones de combat dont elle envisage l'intégration dans ses forces à l'horizon 2015. Ces systèmes seraient consacrés en priorité à des missions de reconnaissance, à la suppression des défenses aériennes ennemies, puis à des opérations de frappe par tout temps.



X-47A

© Northrop Grumman

Plusieurs programmes de démonstrateurs d'UCAV réunissent en ce sens la DARPA (Defence, Advanced Research Projects Agency), l'US Air Force et l'US Navy qui se sont regroupées en octobre 2003 sous le sigle « Joint Unmanned Combat Air System » (J-UCAS) afin de faire converger des spécifications jusqu'alors assez différentes. Après une première étape réalisée par des modèles réduits (X-45A de Boeing et X-47A de Northrop Grumman), un programme de démonstration baptisé Block 2 doit se poursuivre avec des véhicules de plus grandes dimensions. Le but est, entre autres, d'examiner la capacité des drones de communiquer entre eux (afin de mener des missions coordonnées), d'effectuer le largage d'une bombe à guidage GPS, de faire l'objet de reprogrammation de mission en cours de vol, ainsi que d'un transfert de contrôle de la mission, d'un opérateur vers un autre, distant du premier.

La démonstration des véritables capacités opérationnelles seront les objectifs des deux nouveaux démonstrateurs en cours de développement chez les deux mêmes constructeurs, respectivement le X-45C et le X-47B, cette fois de masse et de dimensions comparables à celles d'avions de combat (Le X-45C de Boeing aura une envergure de 15 m et une masse au décollage de 16 570 Kg, dont 2040 Kg de charge utile). Selon les spécifications communes du J-UCAS, ces appareils devront avoir un rayon d'action maximal supérieur à 2000 km, une vitesse de croisière de Mach 0,85, à une altitude supérieure à 10500 m, et emporter deux bombes de 1 tonne en soute.

Le programme de démonstration devrait aboutir en 2007 ; il sera suivi d'une phase d'évaluation opérationnelle qui se poursuivra pendant deux ans.

Il semble ainsi qu'aux États-Unis, la place des UCAVs dans l'ensemble des systèmes d'armes, le choix de leurs missions prioritaires et surtout les coûts d'acquisition et de possession, feront l'objet d'études et de discussions pendant plusieurs années, avant une décision de lancement d'un programme opérationnel.

Plusieurs autres programmes d'évaluation ou de démonstration de drones sont en cours (au total, une douzaine), comme par exemple le *BAMS* (Broad Area Maritime

Surveillance) lancé par l'US Navy pour 2 Md\$, en complément du futur avion multi-mission MMA (devant remplacer le P-3C Orion), pour la surveillance, l'appui tactique et le relais de communications (parmi les candidats figure le Predator B de Lockheed Martin), ou l'*UCARE*, programme de drones de combat à voilure tournante, dotés de missiles et de roquettes.

En Europe

L'Europe s'est ralliée tardivement au concept des drones, tant dans la réalisation des plates formes non pilotées que dans l'élaboration d'une doctrine d'emploi, hormis quelques engins tactiques utilisés par les armées de terre.

Ainsi, il n'existe pas encore de véritable politique européenne en matière de drones, en dehors de quelques programmes de recherche très amont. En revanche, des accords ponctuels ont été passés à plusieurs reprises entre pays, de leur propre initiative. Par exemple, le premier accord de coopération, préfigurant le futur programme *Euromale* a été signé fin 2003 entre la France et les Pays-Bas sur les études de faisabilité d'un drone MALE. Inscrit dans le cadre de la PESD (Politique Européenne de Sécurité et de Défense), cet accord était dès le départ, ouvert à d'autres pays européens...



Démonstrateur Petit Duc
© Dassault Aviation

D'autres projets industriels, à retombées européennes, ont vu le jour depuis, tels l'*EuroHawk* (un Global Hawk américain doté d'une charge utile européenne à vocation d'écoute à longue distance qui réunit la France et l'Allemagne), et l'*UCAV français*, piloté par la France, qui associe celle-ci avec la Suède et la Grèce.

Les possibilités de coopération des états européens sur les programmes futurs sont traitées par le sous-groupe « système de combat aérien futur européen » (SCAFE), les plates formes, vecteurs pilotés et UCAV étant inscrits dans le périmètre de l'étude.

Une nouvelle initiative a été prise dans le cadre du « Security Framework ». Naturellement orientée sur l'utilisation des drones pour développer la sécurité en Europe, elle prévoit plusieurs projets, pour un total de 15 M€.

On doit noter au Royaume-Uni, le programme de drones de renseignement militaire *Watchkeeper* – le plus important envisagé à ce jour en Europe (1,2 Md€) – dont la maîtrise d'œuvre a été confiée à Thales, placée à la tête d'un consortium international réunissant six entreprises. Ce programme s'appuie sur les drones *Hermes 450 et 180* d'Elbit, rebaptisés WK 450 et WK 180.

Du côté de la recherche, le 5^{ème} PCRD – Programme Cadre de Recherche et Développement (1998 – 2002) a été très ouvert au sujet des drones. Plusieurs projets d'études, impliquant fortement l'Onera, ont été lancés tels que :

- *CAPECON* (Civil UAV Applications & Economic Effectivity of Potential Configuration Solutions), cherchant à identifier les applications civiles potentielles des drones, en y associant respectivement la configuration nécessaire, la charge utile et le coût.
- *USICO* (Unmanned Aerial Vehicle Safety Issues for Civil Operations), pour la certification des drones aux plans de la navigabilité et de leur utilisation opérationnelle, incluant leur intégration dans la circulation aérienne.
- *UAV-Net* (Unmanned Aerial Vehicle Network), visant à élaborer un réseau thématique européen permettant l'échange et la diffusion de la connaissance relative aux technologies des drones.

Ces programmes de recherche, dont les résultats sont maintenant disponibles, ont permis de faire avancer considérablement certains sujets vitaux pour l'avenir des drones.

En revanche, le 6^{ème} PCRD (2002 – 2006) n'a rien prévu dans le domaine des drones, ce qui pourrait refléter un manque profond de conviction de la part de certains décideurs politiques.

En France

Dans ce contexte, la France représentait, à mi-2004, le quart de l'ensemble des investissements européens dans le domaine des drones. Malgré un budget «drones» en forte croissance (multiplication par 10 en 10 ans), il ne correspondra, à l'horizon 2010, qu'à moins de 1% du budget total d'équipement militaire.

A cette même date, les Américains, dont le financement du Département de la Défense pour le développement, l'achat et l'utilisation des drones prévoit d'être, lui aussi, multiplié par 10 en dix ans, dépenseront 16 fois plus que nous ! (en 2010, ce budget dépassera 3 milliards de dollars).

La prise de conscience de la révolution majeure que représente l'introduction progressive des drones dans les systèmes opérationnels de défense s'est concrétisée en France par la création de deux groupes de travail UAV / UCAV, d'une part au sein du Conseil Général de l'Armement, d'autre part sous l'égide du Conseil Scientifique de la Défense, dont les mandats visent à mettre en perspective le calendrier des besoins et des évolutions, et à préconiser les actions à entreprendre.

C'est l'armée de terre qui a perçu la première l'intérêt des drones avec l'utilisation opérationnelle dès 1993 des drones tactiques CL-289 (Canadair/EADS) puis Crécerelle (Sagem) en 1995, ce qui lui a permis d'acquérir une certaine expérience pratique, avant d'entrer dans une démarche plus volontariste de se forger une véritable culture "drone".



SDTI prêts au départ (France)

Réticente dans un premier temps, l'armée de l'air a pris conscience du potentiel de ces nouveaux systèmes, et adopte aujourd'hui une démarche résolument volontariste. Ce sont les contraintes budgétaires qui rythment la lente montée en puissance du plan d'équipement : des programmes «intérimaires» (SDTI et SIDM) permettront d'assurer une continuité entre l'obsolescence des systèmes actuels et l'arrivée des programmes futurs (MCMM et MALE). Ainsi, par étapes pragmatiques, l'armée de l'air estime pouvoir se constituer une doctrine d'emploi évolutive, fonction des progrès technologiques démontrés, à intégrer dans un nouveau concept de combat aérien.

La France a pris en 2003 et 2004 plusieurs initiatives fédératrices de projets industriels à l'échelle européenne.

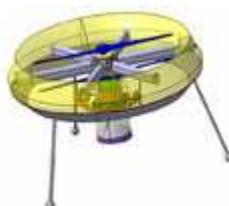
Les projets français en cours

1/ Drones miniatures

La Délégation Générale pour l'Armement (DGA) a lancé, en coopération avec l'Onera, un concours d'idées universitaire sur les drones miniatures, prévoyant la réalisation de démonstrateurs qui devront prouver en juin 2005 leurs capacités à réaliser des missions de surveillance au-dessus d'un paysage urbain.



Auryon



Projet ENSMM



Projet ENSMA

2/ Drones de court rayon d'action

A l'issue d'une première expérimentation par l'armée de Terre des drones Pointer, le Ministère de la défense a lancé un appel d'offres pour un programme DRAC (Drone de Reconnaissance Au Contact, c'est-à-dire un drone du fantassin), suscitant la mise en compétition des industriels, avec une sélection en 2004, suivie d'un an d'évaluation opérationnelle.

Ce programme semble intéresser beaucoup de candidats, parmi lesquels on trouve des grands industriels de nature différentes (EADS, Thales, Sagem...), aux côtés de sociétés plus modestes (Bertin Technologies, Tecknisolar-Seni...).

3/ Drones tactiques à moyen rayon d'action

Le drone lent Crécerelle de l'armée de terre doit être remplacé par un nouveau système SDTI (Système de Drones Tactiques Intérimaires) comprenant deux stations-sol disposant chacune de neuf drones Sperwer de Sagem.

Il s'agit d'un drone lent (175 km/h) mais endurant (5 heures, extensibles à 8), évoluant à une altitude de 300 à 5000 mètres, et destiné à l'acquisition de jour comme de nuit des objectifs dans la zone de responsabilité d'une division.

Puis la loi de programmation militaire prévoit l'arrivée vers 2010 du futur drone tactique MCM (Multi Capteurs Multi Missions), qui ajouteront aux fonctions de renseignement et d'acquisition de leurs prédécesseurs (SDTI), une capacité de guerre électronique (brouillage...).



Slowfast

© Dassault Aviation

4/ Drone maritime tactique

Deux types de démonstrateurs ont été lancés par la Marine française : d'une part, le démonstrateur DMT (Drone Maritime Tactique) axé sur les problèmes de récupération sur un bâtiment de taille moyenne (et probablement à voilure tournante); d'autre part, le démonstrateur de drone naval dit DELE (Drone Embarqué Longue Endurance). Ce dernier devrait être capable de décoller depuis un pont plat de porte-avions ou du futur transport de chalands de débarquement, réaliser des missions de reconnaissance et de surveillance, et atterrir de façon automatique ; son rayon d'action atteindra 110 km et son endurance sera de 12 heures.

5/ Drones MALE

A l'issue de l'expérience acquise depuis 1998 par l'armée de l'air avec les drones *Hunter* (au nombre de quatre), celle-ci devrait mettre en œuvre à partir de 2005 un escadron opérationnel équipé du système *SIDM* (Système Intermédiaire de Drone Male - 2 station-sol et 3 drones).



Eagle 1/Kiruna

© EADS & IAI

Le vecteur aérien de ce système sera basé sur le drone *Eagle 1* proposé par EADS/IAI, lui-même dérivé du drone israélien Heron. Il représentera un important saut qualitatif par rapport au Hunter puisque capable d'emporter simultanément des charges utiles électro-optique (imagerie jour), infrarouge (imagerie nuit), SAR (radar d'imagerie tout temps), MTI (détection de cibles mobiles), ainsi que d'un système de communication par satellite (le Hunter est limité à 150 Km de portée en direct).

A l'horizon 2009, un système plus performant « *MALE futur* » ou *SDM (Système de Drone MALE)*, réalisé dans le cadre d'un appel d'offre industriel international et conçu selon une architecture ouverte et modulaire, permettra de couvrir, grâce à une charge utile de l'ordre de 150 Kg, une très large gamme de missions, de renseignement, de désignation d'objectifs et de communication opérationnelle, par tout temps. Ainsi l'armée de l'air devrait disposer d'un système capable de communiquer avec les centres de décisions situés au sol, mais aussi avec les autres pilotes de systèmes d'armes, qu'ils soient situés en vol ou au sol.

L'acquisition des technologies requises pour le MALE futur se fera grâce au démonstrateur multimission *EUROMALE*. Ce projet, financé pour une bonne part par l'état français mais ouvert à une large coopération européenne, associe au départ EADS, maître d'œuvre, à Dassault Aviation, Thales et Sagem pour la partie française, à Stork/Fokker (Pays-Bas), pour l'étranger. Des discussions sont en cours avec d'autres partenaires possibles dont la Suède, l'Italie, et l'Espagne. Le premier vol est prévu en 2008.

6/ Drones HALE

Compte-tenu de son coût, estimé très élevé, cette catégorie ne figure pas encore dans la programmation française, et ne pourrait être envisagé qu'en acquisition commune de machine existante au niveau européen (par exemple sur le même schéma que pour les avions de surveillance AWACS ou les Hawkeye). A noter que la France n'aurait probablement besoin que de quatre ou cinq drones HALE pour couvrir ses besoins.

7/ UCAV

Le Ministère de la Défense a lancé le développement d'un démonstrateur de drone de combat, désigné « *UCAV* ». Doté d'une taille réduite, celui-ci pèserait de 2 à 4 tonnes à vide, bénéficierait d'une vitesse subsonique et pourrait emporter deux bombes guidées de 250 kg. La maîtrise d'œuvre est confiée à Dassault Aviation, associé à des partenaires Suédois (Saab) et Grecs (HAI). Des discussions sont en

cours avec d'autres partenaires possibles dont l'Espagne, l'Italie, la Belgique et la Suisse.

Le premier vol du démonstrateur, connu sous le nom de *Neuron*, est prévu en 2008. Ne préfigurant aucun programme ; il s'agit purement d'un démonstrateur de technologies, devant assurer : la discrétion radar et infrarouge, le tir d'un armement air-sol depuis une soude, le contrôle du vol depuis une station au sol, et l'intégration de technologies susceptibles de réduire fortement les coûts.



Démonstrateur Neuron

© Dassault Aviation

Conclusion

Des vecteurs d'innovation et de supériorité stratégique

L'expérience déjà acquise avec les drones et leurs développements technologiques potentiels permettent d'affirmer que leur rôle va considérablement s'accroître, tant dans les domaines civil que militaire. Dans le domaine civil, en couvrant des besoins auxquels les aéronefs pilotés traditionnels ne peuvent pas toujours satisfaire. Dans le domaine militaire, en complétant, voire en remplaçant les avions pour certaines missions dangereuses ou de très longue durée, ainsi que les missiles pour les missions d'observations qui nécessitent de la permanence sur zone ou de l'observation précise directement contrôlable. Entre les deux, les drones semblent pouvoir apporter une réponse satisfaisante au souci émergent de «défense-sécurité» des Nations modernes et ce, en raison des nouvelles menaces de type terroriste auxquelles elles doivent faire face, et qui peuvent affecter aussi bien les populations civiles que les forces armées.

Pour toutes ces raisons, les Etats-Unis intègrent les drones dans leurs systèmes d'armes, en les considérant comme des vecteurs d'innovation et de supériorité stratégique.

En Europe, les drones doivent permettre de garder une indépendance en matière de maîtrise de l'information et de moyens de commandement ou de conduite des opérations. La France a acquis, avec le Mirage IV, une compétence dans la reconnaissance aérienne tactique, qu'elle peut mettre à profit pour le développement de drones MALE.

Grâce à leur intérêt tactique, voire stratégique, les drones constituent à la fois une opportunité industrielle exceptionnelle pour l'Europe, avec un grand potentiel à l'exportation, et un facteur d'impulsion nouvelle pour la recherche et les bureaux d'études pénalisés par la restriction des programmes d'armement majeurs.

Un nouveau défi s'offre à l'aéronautique européenne. Ce défi demandera d'importants efforts afin de franchir deux obstacles fondamentaux.

D'un côté, résoudre les difficultés incontournables qui interdisent aujourd'hui la généralisation de l'emploi des drones :

- Leur intégration dans la circulation aérienne, cette démarche pouvant entraîner des évolutions de réglementations établies autour de certains principes et ce, au titre des progrès des équipements embarqués.
- Les transmission des données, qui doivent être extrêmement performantes au vu de la densité des informations recueillies par les drones, et du caractère stratégique de cette partie du système.

De l'autre côté, réaliser les progrès nécessaires pour augmenter le potentiel des drones, dans les domaines des performances du vecteur, des charges utiles, de l'intelligence embarquée, et de leur fiabilité.

Bénéficiant d'une vision globale de tous ces aspects de par ses activités courantes, l'Onera est prêt à apporter toute sa contribution pour relever ce défi.

Mieux connaître les drones

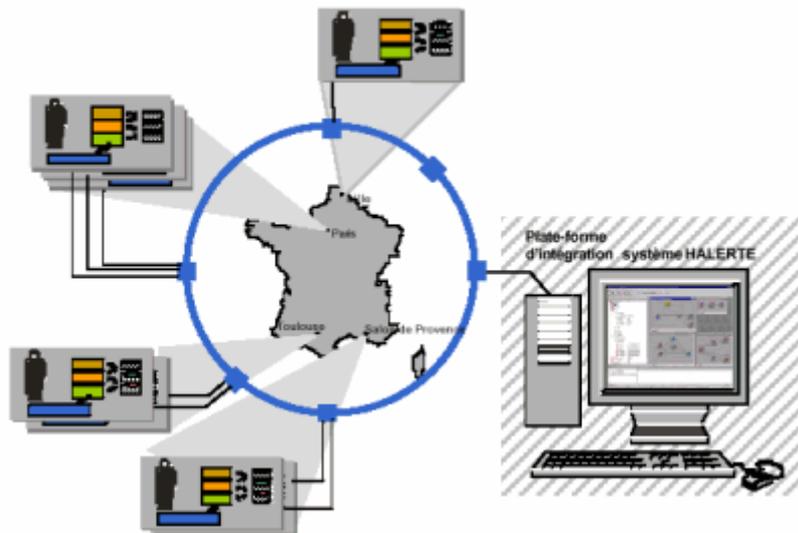
Les drones à l'Onera

HALERTE

Haute Altitude Longue Endurance des Robots Transportant des Equipements

Méthode outillée de définition et d'évaluation de concepts de drones Hale

www.onera.fr/dcps/halerte/



RESSAC

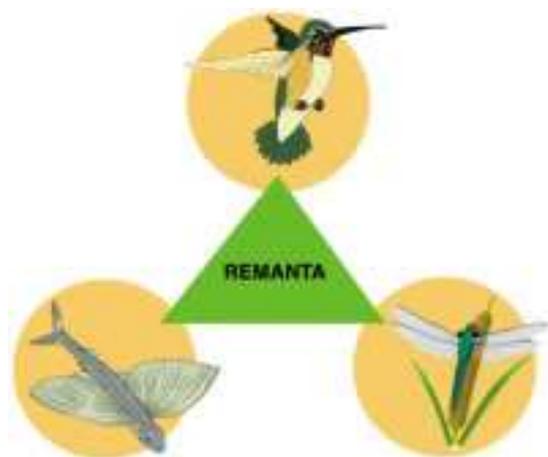
Recherche Et Sauvetage par Système Autonome Coopérant

Autonomie de décision pour atterrissage en terrain inconnu



REMANTA

REsearch program on Microvehicle And New Technologies Application
Recherche sur les microdrones à ailes battantes



3MAV (EUCLID CEPA 3.30)

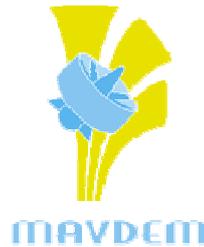
Materials and Mechanism for Micro Air Vehicle
Etude des matériaux et mécanismes pour microdrones

MAVDEM (EUROPA CEPA 15.10)

Mini Air Vehicle DEMonstrator

Définition et réalisation d'un drone miniature capable de vol stationnaire et de croisière économique rapide

www.mavdem-project.org



Agence de Défense Européenne – Sense & Avoid

Technology demonstration study on Sense & Avoid technologies for Long Endurance UAV

Etude des technologies potentielles pour la réalisation de la fonction "sense & avoid" par des drones longue endurance



Réseau thématique UAVNet (5ème PCRD)

Unmanned Aerial Vehicle NETwork

Constitution d'un réseau d'industries, de centres de recherche et d'universités pour le développement des drones civils

www.uavnet.com



CAPECON (5ème PCRD)

Civil UAV Applications & Economic Effectivity of Potential Configuration Solutions

Recensement d'applications civiles potentielles pour drones et définition de configurations de véhicules associées.

www.uavnet.com



USICO (5ème PCRD)

Unmanned Aerial Vehicle Safety Issues for Civil Operations

Etude et recommandations sur les réglementations à mettre en place pour permettre l'insertion de drones civils dans la circulation aérienne générale.

www.uavnet.com



IFATS (6ème PCRD)

Innovative Future Air Transport System

Projet de définition d'un système de transport aérien entièrement automatisé pour étudier et analyser par simulation ce que pourrait être le système de transport aérien futur. www.ifats-project.org

EXDRO

Expertise sur les systèmes de drones

MIRADOR

Moyen Infra-Rouge Aéroporté pour la Désignation d'Objectif Rapide antimissile
Etude d'un moyen aéroporté de détection de missile balistique

DEVIL

Expertise et assistance technique sur le thème de drones à voilure tournante embarqués sur porte-avion

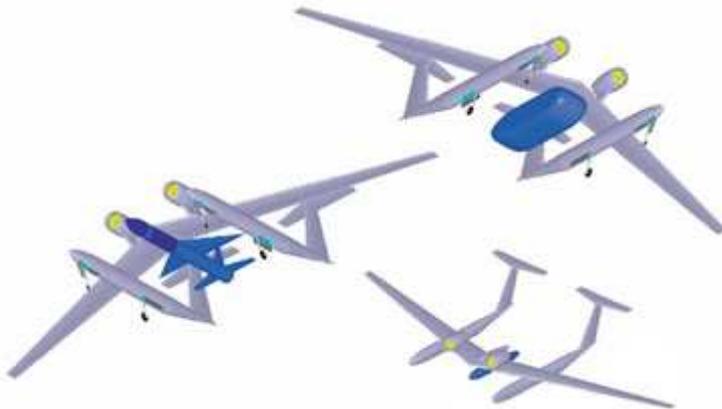
OTAN SCI124

System Concept and Integration

Analyse des concepts d'opération conjointe d'UAV et d'avions habités pour des missions militaires

Etudes de concepts de drones

Conception d'un drone Hale multimission pour largage aéroporté de lanceur de satellites, de transport de fret et d'observation par pod multi capteur - Contrat Cnes



Concours drones miniatures Onera-DGA

Stimuler une nouvelle génération d'ingénieurs pour définir et construire ces systèmes de véhicules aériens automatiques/autonomes

concours-drones.onera.fr



BUSARD

Banc d'essais Ultra léger pour Systèmes Aéroportés de Recherche sur les Drones

Motoplaneur permettant la réalisation d'essais en vol de charges utiles pour drones

